

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEMİR-ÇELİK ENDÜSTRİSİNDE METAL MALZEME
SEÇİMİ İÇİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ GRUP KARAR VERME
MODELİ ÖNERİSİ**

DOKTORA TEZİ

Muharrem ÜNVER

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İbrahim ÇİL

Ocak 2020

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEMİR-ÇELİK ENDÜSTRİSİNDE METAL MALZEME
SEÇİMİ İÇİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ GRUP KARAR VERME
MODELİ ÖNERİSİ**

DOKTORA TEZİ

Muharrem ÜNVER

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 29 / 01 / 2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
İbrahim ÇİL
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Alpaslan FIĞLALI
Üye



Prof. Dr.
Hadi GÖKÇEN
Üye



Doç. Dr.
Numan ÇELEBİ
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Halil İbrahim DEMİR
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Muharrem ÜNVER

29.01.2020

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. İbrahim ÇİL'e teşekkürlerimi sunarım.

Yine tez çalışmalarım boyunca fikirleri ve yaptıkları değerli katkılardan ötürü Sayın Doç. Dr. Numan ÇELEBİ ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim DEMİR'e teşekkür ederim.

Son olarak, hayatımın her adımında desteklerini hep hissettiğim, bana gösterdiği sevgi ve destekle her zaman yanımda olan kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLOLAR LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Demir-Çelik Endüstrisi ve Metal Malzeme Seçimi	5
2.1.1. Metal malzeme seçiminde kullanılan ölçütler.....	7
2.1.2. Metal malzeme tercihlerinin belirlenmesi.....	9
2.1.2.1. Eleme yöntemleri ile belirleme.....	9
2.1.2.2. Seçim yöntemleri ile belirleme	10
2.2. Bulanık Mantık.....	14
2.2.1. Belirsizlik kavramı ve bulanık mantık kuramı.....	14
2.2.2. Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları	16
2.2.3. Bulanık mantığın uygulama alanları	17
2.3. Karar Verme Süreci.....	18
2.3.1. Karar verme modelleri	19
2.3.2. Grup karar verme	20

2.3.2.1. Grup karar vermede kararların çarpımsal seçim biçimine dönüşümü	22
2.3.2.2. Grup karar vermede dönüştürülmüş seçim biçimlerinin bütünleştirilmesi.....	23
2.3.3. Çok ölçütlü grup karar verme.....	24
2.4. Kaynak Araştırması Sonuçlarının Değerlendirilmesi	24
 BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	34
3.1. Materyal	34
3.1.1. Metal malzeme alternatiflerinin belirlenmesi	34
3.1.2. Uzman görüşlerinin saptanması ve değerlendirilmesi	35
3.2. Yöntem	36
3.2.1. Bulanık multimoora yöntemi	36
3.2.2. Bulanık copras yöntemi.....	39
 BÖLÜM 4.	
UYGULAMA	43
4.1. Bulanık Ortamda Metal Malzeme Seçimi İçin Başlangıç Matrisinin Oluşturulması	43
4.2. Metal Malzeme Seçimi Probleminin Bulanık MULTIMOORA ile Modellenmesi	49
4.3. Metal Malzeme Seçimi Probleminin Bulanık COPRAS ile Modellenmesi	51
 BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	53
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BNP	: En iyi bulanıklığı giderme operatörü
COPRAS	: Karmaşık oransal değerlendirme yöntemi
ÇÖGKV	: Çok ölçütlü grup karar verme
ÇÖKV	: Çok ölçütlü karar verme
GKV	: Grup karar verme
MULTIMOORA	: Çarpım formulu oran analizine dayalı çok amaçlı optimizasyon

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Yıllara göre “Çok Ölçütlü Grup Karar Verme” ile ilgili akademik yayın sayıları	25
Şekil 2.2. “Çok Ölçütlü Grup Karar Verme” ile ilgili akademik yayınların türlerine göre gösterimi	26
Şekil 2.3. Konularına göre “Çok Ölçütlü Grup Karar Verme” ile ilgili akademik yayınların dağılımı.....	27
Şekil 2.4. Ülkelerine göre “Çok Ölçütlü Grup Karar Verme” ile ilgili akademik yayınların dağılımı.....	27
Şekil 2.5. Ülkelerine göre “Çok Ölçütlü Grup Karar Verme” ile ilgili akademik yayınların dağılımı.....	28
Şekil 4.1. Kapalı bir tren vagonunun boyutları ve bileşenleri [11].....	44
Şekil 4.2. Malzeme seçimi için genel amaç, ana kriterler ve alt kriterler [17].	45

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Literatürde (Scopus, WoS, Sciencedirect veritabanları) çok ölçütlü grup karar verme ana başlığı altında metal/endüstriyel malzeme seçimi üzerine yapılan yayınlanmış çalışmalar	29
Tablo 2.2. Uluslararası doktora tezleri literatürü olarak (Proquest veritabanı) çok ölçütlü grup karar verme ana başlığı altında metal/endüstriyel malzeme seçimi üzerine yapılan yayınlanmış çalışmalar	32
Tablo 3.1. Çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemlerinin kıyaslanması	37
Tablo 3.2. Alternatifler değerlendirmede kullanılan dilsel değişkenler (Tam Sayılı).....	37
Tablo 4.1. Değerlendirmek için yedili dilsel ifade.....	46
Tablo 4.2. Uzman görüşleri ile oluşturulmuş karar matrisi	47
Tablo 4.3. Dört karar verici uzman görüşünün üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmesi.....	48
Tablo 4.4. Her bir alternatifte ait toplanmış derecelendirmeler	49
Tablo 4.5. Her bir alternatif için normalleştirilmiş toplu derecelendirmeler ve maksimum objektif referans noktaları	50
Tablo 4.6. Bulanık Referans Noktası Yaklaşımı.....	50
Tablo 4.7. Bulanık oran sistemi ve bulanık çarpım formu.....	51
Tablo 4.8. BNP ile Bulanıklıktan Arındırma Sonrası Her Alternatif için Veri Normalizasyonu.....	51
Tablo 4.9. Ağırlıklı normalize değişim matrisi.....	52
Tablo 4.10. Bulanık COPRAS'a göre sıralama ve ilgili sırayı hesaplamak için bulunan toplam S^+ , S^- , Q_i , P_i değerleri	52

ÖZET

Anahtar kelimeler: Malzeme seçimi, raylı sistemler, çok ölçütlü grup karar verme metodu

Malzeme seçimi, ürünlerin tasarımı, süreç planlaması ve üretim süreçleri açısından önemlidir. Ayrıca, farklı bir mekanizma için uygun malzemelerin seçimi, ürün geliştirmedeki ve ürünün çeşitli endüstriyel uygulamalar için işlevselliğini sağlayan en zor görevlerden biridir.

Bu çalışmada, faydalı malzemelerin seçimi, ürün geliştirme ve ürünün çeşitli endüstriyel uygulamalar için işlevselliğini sağlamada önemli zor görevlerden biridir. Yanlış seçilmiş bir malzeme nihai üründe çeşitli arızalara neden olabilir. Ayrıca, Malzeme seçimi konusunda, malzemenin imalat için uygunluğu, maliyeti en aza indirme, performansı en üst düzeye çıkarma gibi faktörler de dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, malzemenin sağlam seçimi için etkili bir yaklaşım gereklidir. Demiryolu ulaştırma malzemelerinin seçiminde ilgili problemi çözmek için MULTIMOORA (Çarpım Formlu Oran Analizine Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon) ve COPRAS (Karmaşık Oransal Değerlendirme Yöntemi) yöntemleri bu çalışmada uygulanmaktadır. Bu çalışma özellikle demir çelik endüstrisi açısından, kategorik olarak demiryolu sistemleri; tren vagon paneli ve bileşenlerinin seçimi için faydalı bir model önerisi sunmaktadır. Bu model, Bulanık Çok Nitelikli Grup Karar Verme Modeli olarak değerlendirilmiş olup, karar vericilerin kararlarının belirsizliğini açıklığa kavuşturmak için grup karar verme süreci ile birleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda, istenen işlevsellikleri başarmak için en iyi malzeme alternatifinin sağlanması beklenmektedir.

MULTI-CRITERIA GROUP DECISION MAKING MODEL PROPOSAL FOR METAL MATERIAL SELECTION IN IRON- STEEL INDUSTRY

SUMMARY

Keywords: Material selection, rail systems, multi attribute group decision making methods

Material selection is significant in terms of the design, process planning and manufacturing processes of the products. Also, the selection of proper materials for a distinct mechanism is one of the most difficult duty in the product development and providing the functionality of the product for various industrial applications.

In this study, the selection of useful materials is one of the important difficult tasks in product development and providing the functionality of the product for various industrial applications. An incorrectly selected material may cause various malfunctions in the final product. In addition, factors such as the suitability of the material for manufacturing, minimizing costs and maximizing performance are also considered. Therefore, an effective approach is necessary for the robust selection of the material. For solving this problem of railway transportation materials, it is applied the MULTIMOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis with multiplicative Form) and COPRAS (COMplex PROportional ASsessment) method. This study focuses especially iron and steel industry, categorically railway systems; freight train wagon panel. Moreover, fuzzy logic with the MULTIMOORA method and the COPRAS method are combined with the group decision process to clarify the uncertainty of decision-makers' decisions, such as the Multi-Attribute Group Decision Making Model for Decision Makers. As a result of this study, it is expected to provide the best material alternative to achieve the desired functionalities.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Profesyonel ve özel yaşamımızda sürekli kararlar almaktayız. Bu kararları verirken ihtiyaçlarımızı belirler, çeşitli kriterleri göz önünde bulundurur, alternatifleri değerlendirir ve tüm bu bilgileri nihai sonuca ulaşmak için işleriz. Birden fazla kişi böyle bir karar sürecinde yer aldığında problem bir grup karar verme problemi haline gelir. Son yıllarda, çok sayıda karar vericiyle çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yani bu doğrultuda çok ölçütlü grup karar verme (ÇÖGKV) yöntemlerine olan ilgi büyük ölçüde artmaktadır.

ÇÖGKV ortamında karar vericiler (uzmanlar, paydaşlar, katılımcılar, vb.), çok kriter altında alternatiflerin performanslarına ilişkin değerlendirmeler sağlar. Karar vericiler eldeki problem hakkında farklı bilgi birikimine ve tecrübelerine sahip olabilir. Farklı alanlardaki birçok çok boyutlu karar probleminde birden fazla uzman ve/veya karar vericiye ihtiyaç duyulduğundan, ÇÖGKV yöntemleri enerji, lojistik, tesis yer seçimi, malzeme seçimi, tedarikçi seçimi, üretim sistemleri değerlendirmesi, sürdürülebilir kalkınma gibi farklı araştırma konularında uygulama alanı bulmaktadır [1].

Grup karar verme süreci, kendi tutum ve motivasyonları olan çok sayıda karar vericinin bir arada bulunması nedeniyle son derece zordur. Dahası, çoğu gerçek hayat karar verme probleminde işlenmesi gereken bilgi heterojen olabilir. Heterojen bilgi, öznel ve nesnel faktörlerin (kriterlerin, ölçütlerin) bir arada göz önüne alınması, kendi kriter kümesine sahip karar vericilerin bu kriterler altında alternatifleri değerlendirmek için kendi tercih biçimlerini kullanmasından, karar sürecindeki uzmanların farklı önem derecelerine sahip olmasından veya eksik bilgidir kaynaklanabilir. ÇÖGKV ortamında, bahsedilen heterojen bilgi türlerinden en az biri ortaya çıktığında problem heterojen ÇÖGKV problemi olarak adlandırılır [2].

Bu tez çalışmasının amacı, yapılan literatür araştırması sonucunda gözlenen eksiklikleri gidermek amacıyla ÇÖGKV için grup karar verme sürecinde yer alan temel kavramları ve bunların ilişkilerini içeren bir kavramsal çerçeve oluşturulması, ÇÖGKV yöntemlerinin ayrıntılı olarak araştırılması ve sınıflandırma şeması önerilmesi ve heterojen bilgi altında ÇÖGKV problemi için yeni bir yaklaşım geliştirilmesidir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde ÇÖGKV yöntemleri için temel kavramlar ve ilişkilerini içeren bir kavramsal çerçevenin olmadığı görülmektedir. Çalışma alanı ile ilgili kavramsal içeriğin ayrıntılı bir şekilde tanımlanması, teori ortaya koyma sürecinin önemli bir adımı olarak görülebilir [3]. Bu nedenle, ortaya konulacak kavramsal çerçeve, yeni bir ÇÖGKV yöntemi tasarımı ve geliştirilmesi ve/veya bir probleme ÇÖGKV yöntemi uygulanması alanında çalışan araştırmacı ve uygulamacılar için yararlı bir rehber ve etkili bir araç olacaktır. Geliştirilecek kavramsal çerçeve ÇÖGKV yöntemlerini anlama ve analiz etme açısından önemlidir.

Çalışmanın bir diğer amacı ÇÖGKV literatürü için bir sınıflandırma şeması oluşturmak ve ÇÖGKV literatürünü gözden geçirerek en yeni çalışmalara bir bakış sağlamak ve olası araştırma yönlerini vurgulamaktır. Bir sınıflandırma şeması, farklı sınıflandırma başlıkları altında araştırma çalışmalarının veya yöntemlerinin sistematik analizini sağlar. ÇÖGKV literatürü için sınıflandırma şeması sunulduktan sonra, bu şemaya dayalı bir literatür araştırması yapılmıştır. Ardından ÇÖGKV literatürü için tüm gözlemler, analizler ve konuyla ilgili olası araştırma yönleri özetlenmektedir.

Literatür araştırması sonucunda heterojen bilgi ile ÇÖGKV problemleri için yeterince çalışma olmadığı görülmektedir [4]. Özellikle, karar vericilerin kendi kriter kümesini kullanmasını sağlayan, farklı kaynaklardan gelen farklı biçimlerde sunulan tercihleri birleştiren, belirsiz, eksik ve/veya ulaşılamayan bilgiyi dikkate alan ve uzlaşma süreci içeren bir yonteme ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, dörtlü uzman görüşüne dayanan yeni bir ÇÖGKV yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, yukarıda tanımlanan her türlü farklılaşmış bilgi ile başa çıkmayı amaçlamaktadır. Önerilen yaklaşımda, karar vericiler tarafından sağlanan veya nesnel kriter verisi

olarak elde edilen bilgiler önerilen model ile beraber, uzmanlar arasındaki anlaşma düzeyini ölçmek amacıyla bir uzlaşma süreci içermektedir. Uzmanların yüksek bir uzlaşma düzeyine ulaşması tercih edildiğinden, ölçülen uzlaşma derecesi düşükse, uzmanlardan belirli bir uzlaşma derecesine ulaşana kadar değerlendirmelerini gözden geçirmeleri istenebilir [5].

Önerilen modelin temel avantajı, ÇÖKV ve ÇÖGKV bağlamında farklılaşmış bilgi ile ilgilenebilmesidir. Giriş verilerini kanı derecelerine dönüştürerek farklı ölçeklerde verilen bilgilerle başa çıkabilir [6]. Uzman görüşleri daha sonra matematiksel işlemleri kolaylaştırmak için durulaştırılır ve uzmanlık eksikliğinden veya bilgi eksikliğinden kaynaklanan eksik veriler de böylelikle ele giderilebilir. Alternatiflerin nihai puanı, dilsel terim düzeylerine bir dağılım olarak da verildiğinden, sonuçların yorumlanmasını zenginleştirerek alternatifin performansı ile ilgili daha fazla bilgi sağlar [7]. Bu nedenle, ilgili model önerisi bilgi ile ÇÖGKV problemleri için önerilmektedir.

Literatürde yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu yöntemin uygulanabilirliğini göstermek için açıklayıcı örneklerden yararlanmaktadır. Fakat gerçek hayat probleminde önerilen yöntemin sınırlamalarıyla ilgili herhangi bir bilgi verilmediği görülmektedir. Geliştirilen yaklaşım, makro düzeyde birçok paydaşı ilgilendiren malzeme tedariki, enerji planlaması, çevre politikaları, sektörel politikalar vb. stratejik seviye gerçek hayat problemlerinde uygulanabilecektir [8]. Bu çalışmada, önerilen yaklaşım Metal malzeme seçim problemine uygulanmıştır. Böylece önerilen yöntemin bir gerçek hayat problemine uygulanması ile literatüre bir katkı sağlanmaktadır.

Çalışmanın bu aşamadan sonra sırasıyla şöyle düzenlenmiştir: ikinci bölümde grup demir-çelik endüstrisi ve metal malzeme seçimi; bulanık mantık ve karar verme süreci ile bu kapsamda ÇÖGKV ile ilgili temel tanımlar verilmektedir, ardından, ÇÖGKV süreci için kavramsal çerçeve sunularak literatür analizi ve kaynak araştırması ayrıntılı bir şekilde tartışılmaktadır; üçüncü bölümde modele ilişkin materyal ve yöntem tanıtılmakla beraber ÇÖGKV' nin ilgili probleme entegre edilmesi anlatılmaktadır; dördüncü bölümde ilgili problem ile ilgili ön bilgiler tablolar eşliğinde çözüm süreci

sunularak açıklanmaktadır. Beşinci bölümde, önerilen model tartışılarak bilimsel katkısı açıklanmakta ve çalışmanın sonuçları sunulmaktadır.



BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Demir-Çelik Endüstrisi ve Metal Malzeme Seçimi

Hem demir hem de çelik birkaç milenyum boyunca insan medeniyetinin gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır ve tarımda, inşaatta, elektrik üretimi ve dağıtımında, makine ve aletlerin üretiminde, ev aletleri ve tıp sektöründe kullanımları bulunmuştur [9].

Metal malzeme seçiminin en yoğun yaşandığı metal endüstrisi, birçok sanayi koluna girdi sağlamakla beraber, tüm endüstri için öncü bir nitelik taşımaktadır. İnşaat, otomotiv, savunma sanayisi ve elektronik gibi birçok sektörün üretimi bu işkoluna bağlıdır ve bu nedenle de oldukça stratejik değer taşımaktadır. Bu sektörün en temel özelliklerine bakılacak olursa:

- Anapara ve teknolojinin yoğun olduğu yatırımları gerektirmesi,
- Metal sektörü içerisindeki diğer alt sektörlerin teknolojik ve mali açıdan birbirlerine oldukça bağlı olmaları,
- İlgili iş kolunda tekelleşme oranının diğer farklı sektörlerle nazaran daha düşük olması,
- Üretim yapılan alanlarda, bölgesel yoğunlaşmanın mümkün olması,
- Sektörün kamunun nezaretinde gelişme göstermiş olmasıdır [10].

Metal sektörü oldukça gelişmiş ve çeşitlenmiş birçok alt sektörlerle sahiptir. Metal endüstrisinin dünya genelinde öncü ve egemen niteliklerini yitirmeye başladığı yıllarda, demir-çelik sanayi sermayesi gelişmiş ülkelerden, gelişmekte olan ülkelere ihraç edilmeye başlamıştır. 1960 ve takip eden yıllar, gelişmekte olan dünya ülkelerinde petro-kimya, demir-çelik gibi temel sanayi kollarına yapılan yatırımların arttığı ve üretim departmanlarının faal hale geçtiği yıllardır. 1980 ve takip eden

yıllarda ise, özel sermayeye yeni kazanç yolları oluşturmak amacıyla tüm dünyada ve özellikle Sovyetlerden ayrılacak olan doğu blokuna dahil ülkeler ile Latin Amerika'da bu sektörde yoğun bir özelleştirme rüzgârı görülmektedir. Birçok sektöre girdi sağlayan metal endüstrisinde yarı mamul ve mamul ürünlerin elde edilmesi için gerekli hammaddenin bulunması, taşınması, stoklanması ve üretime dönüştürülmesi uzun bir zaman gerektirmekte ve sektörde faaliyet gösteren şirketleri küresel ekonomilerde yaşanan dalgalanmalara karşı birçok riskle karşı karşıya bırakmaktadır. Bu ise dolaylı olarak demir-çelik sektörünü, iktisadi dalgalanmalara son derece açık hale getirmektedir. Dünya demir çelik üretimi dikkate alındığında Avrasya ülkeleri üretimin üçte ikisini sağlamaktadır. Onları Amerika Birleşik Devletleri izlemektedir. Üretimin geri kalan kısmında ise Uzakdoğu Asya, Doğu Avrupa ülkeleri ile Latin Amerika devletleri izlemektedir. Hiçbir ülkenin bu sektörde ezici bir üstünlük kurduğu söylenemeyecek olmakla birlikte, tek başına Çin Halk Cumhuriyeti dünyadaki üretimin %17'sini karşılamaktadır [11].

Malzemelerin tüm mühendislik tasarım sürecinde önemli bir rolü vardır. Malzemelerin mühendisler için uygunluğu her zamankinden çok daha fazladır [3]. Mühendislik tasarımında, malzeme seçimi için uygulama teknikleri uzun yıllardır geliştirilmiştir. Mühendislik tasarımı için uygulama tekniklerinin geliştirilmesi, bir dizi gereksinim beklemek üzere belirli bir cihaz için en uygun materyali seçmek suretiyle sağlanır [4-6]. Malzeme yönetimi politikası, herhangi bir firmada en iyi malzeme seçiminin seçimine bağlıdır.

Günümüzde yetmiş beş bin ve üzeri demir esaslı metal malzeme olmakla birlikte yüz binden fazla kullanılan geniş malzeme ortamı vardır. Ayrıca günlük hayatta karşılaştığımız ve oldukça sık kullanılan araçlarda binlerce malzeme kullanılabilir. Kullanılan her bir malzeme ayrı ayrı sayılacak olursa; yaklaşık, bir traktörde yirmi bin, bir tankta kırk beş bin, bir uçakta yüz on bin ve bir denizaltıda yüz yirmi bin adet malzeme bulunmaktadır. Bu karmaşık sistemlerde, oldukça çok sayıda malzeme bir araya getirilmekle birlikte, bünyesindeki her bir malzeme önemli görevleri yerine getirmektedir [11]. Dolayısıyla, malzemelerin en doğru şekilde seçilmesi, bulundukları yerdeki şartlara göre, uygun olarak değerlendirilmesi çok

önemlidir. Eğer böyle yapılmazsa, çalışma sırasında sistemin söz konusu parçası kırılıp telafisi mümkün olmayan can ve mal kaybına sebep olabilir. Bu durumda iş gücü kaybı ile beraber kaynakların azalmasına neden olabilir. Bu olumsuz durumlara engel olmak için, metal malzemelerin kullanılacakları şartlara ve yüksek dayanım gerektiren durumlara dayanıklı ve uygun bir biçimde seçilmesinde büyük kazanç vardır.

2.1.1. Metal malzeme seçiminde kullanılan ölçütler

Pek çok mühendislik çalışması gibi metal malzeme seçimi de, işletmeler için problem çözme işidir [12]. Bu problemi çözmek üzere, metal malzeme seçiminin adımları genel kabul olarak aşağıdaki gibi sıralanır:

- Malzemelerin genel karakteristiklerinin analizi
- Aday malzemelerin seçilmesi
- Adayların değerlendirilmesi
- Gerekli spesifikasyonlara optimum uyum gösteren malzemenin seçimi

Endüstriyel ürünlerin dizayn ve imalatı, uygun malzeme seçimi olmaksızın başarıya ulaşamaz. Dizayna uygun ideal malzemenin seçilmesi işleminde, doğru sonuca ulaşılabilmesi için uzmanların belirlemesi gereken bazı durumlar bulunmaktadır [13]. Uzmanların belirlediği bu durumlara göre bir model oluşturulup ideal malzemenin seçilmesi sağlanabilir.

Seçilmesi istenen malzemede dikkat edilmesi gereken hususlar nelerdir? Bu hususlar kapsamında hangi malzemeler kullanılabilir? Malzeme nasıl bir ortamda kullanılacaktır? Malzeme, belirlenen ortamda nasıl bir görevde kullanılacaktır? vb. gibi durumlar için bir yapı oluşturulmalıdır [14]. Malzeme seçimi işlemini gerçekleştiren pek çok çalışmada bu sorulara cevap teşkil eden örnekler bulunmaktadır.

Malzeme seçiminde, malzemeyi kullanacağınız servis şartları büyük önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmada seçilecek olan malzeme; titreşimli ve basınca duyarlı ortamlarda kullanılması gerekmektedir [15]. Ortama bağlı olarak, malzemeden beklenen özellikler doğrultusunda ana ve alt kriterler oluşturularak bu ortamda kullanıma uygun olan, farklı özellikteki alternatif malzemeler belirlenecektir.

1970’li yıllarla birlikte, kişisel tercihlerini arka plana iten, her üretileni satın alan müşteri profili yerine net bir şekilde özgürce istekte bulunabilen, fonksiyonel tasarım ve fiyat açısından reel gereksinimleri kalite boyutundan feragat etmeden seçen müşteri yapısı söz konusudur. Tüm bu gelişmeler sonunda artık firmalar için teknik mükemmelliğe sahip ürünleri pazara sürmek yeterli olmamaya başlamıştır. Müşteri gözünde ürüne değer katan özellikler; ürün ergonomisi (kolay kullanım, güvenlik ve konfor, kalite (sağlamlık, garanti), estetik (görsel, işitsel ve dokunma), his ve ürün etkisinin belirlenmesi konuları ön plana çıkmıştır [16].

Ürün tasarım prosesi açısından da müşteri (kullanıcı) gereksinimlerinin (ihtiyaçlarının) çıkarımı ürüne değer katacak fonksiyonların belirlenmesi açısından önemlidir. Belirsiz ve açık olmayan müşteri gereksinimlerinin açık ve anlaşılabilir bilgiye dönüştürülmesi ve bu bilgiler dikkate alınarak ürün tasarım prosesinin şekillendirilmesi üzerinde en çok çalışılan konulardan biridir.

Literatürde tasarımsal anlamda, “mühendislikte estetik” olarak kabul gören bir terim bulunmaktadır [17]. Mühendislikte estetik, mamüllerin veya sistemlerin tasarımında mühendislik ve bilimsel metotların nasıl ortak kullanılacağı ve ürünlerin estetik yapısı bakımından nasıl değerlendirileceğine yönelik bir yaklaşım şeklidir. Mühendislik estetiği yaklaşımının temelini iki prosesli araştırma metodolojisi oluşturmaktadır.

Üretim yönetim süreçleri de sürekli ve hızla değişen müşteri beklentilerine ayak uydurabilmek için kitlesel üretimden kitlesel bireyselleştirmeye yönelmiştir. Kitlesel bireyselleştirme için modüler ürün tasarımı ve bireysel müşteri istek ve ihtiyaçlarını karşılayacak ürün tasarımı yaklaşımları önerilmektedir.

2.1.2. Metal malzeme tercihlerinin belirlenmesi

Literatürde malzeme seçimi yapan çalışmalar incelendiğinde bu çalışmaların çoğunda tasarımı yapılan parçaya özel (odaklı) seçimler yapıldığı görülmektedir [18]. Geniş bir alanda veya farklı alanlarda malzeme seçimi yapan çalışmaların sayısı ise sınırlıdır. Malzeme seçim literatüründe, farklı kullanım alanlarında bulunan parçalar için kullanılabilecek en genel ve kapsamlı seçim metodolojisi Ashby tarafından oluşturulmuştur [19]. Malzeme seçim literatürü dikkatlice incelendiğinde geliştirilen metotların eleme ve seçim metotları olarak iki ayrı gruba ayrıldığı görülür. Eleme metotları çalışma koşulları tarif edilen parça için uygun olmayan malzemeleri eleyerek uygun aday malzemeleri kullanıcıya sunma amaçlıdır. Seçim metotları ise tarif edilen parça için verilen uygun malzemeler arasında birden fazla kriterdeki değerleri kullanarak bir sıralama yaparak en uygun malzemeyi belirler. Bu bölümde literatürde geliştirilen malzeme seçim metotları yukarıda açıklanan iki grup başlığı altında sunulmaktadır.

2.1.2.1. Eleme yöntemleri ile belirleme

Eleme metotları arasında birim maliyet metodu, tablo metodu, soru formu oluşturarak eleme yöntemi, bilgisayar destekli seçim metotları ve sinir ağları yer almaktadır [20]. Bu metotlar tanımlanan bir işe en uygun malzemeyi bulmak yerine uygun aday malzemeleri belirleme amaçlıdır. Bu yöntemler tablo yöntemi, anket yöntemi ve birim maliyet yöntemi olarak ele alınmaktadır.

– Tablo yöntemi

Malzemelerin çeşitli kriterler karşısında değerlerini içeren tabloları kullanan Tablo metotları arasında en yaygın kullanılanı Ashby tarafından hazırlanmıştır [21]. Ashby'nin tablo metodunda, malzemelere ait verilerden hazırlanan tablolar CES programı ile taranarak tarif edilen işe ait değerleri sağlamayan malzemeler elenerek kalan malzemeler kullanıcıya sunulmaktadır [22].

– Anket yöntemi

Anket metodu ile malzeme seçimi yapacak tasarımcıya çeşitli sorular sorarak kriterlerin önemlerini ve seçilecek malzemenin sağlaması gereken değerleri belirlenmeye çalışır. Sorular direkt olduğu gibi dolaylıda (kullanım şartları gibi) olabilir. Sorulara örnek olarak; “Malzeme için gereken en düşük dayanım değeri nedir?”, “Tasarımı yapılan parçanın çalışacağı çevrenin özellikleri nelerdir?” ve “Kullanım sırasında çalışma koşullarında döngüsel değişimler olmakta mıdır?” verebilir. Bu sorulara rakamsal değerle cevap verilebileceği gibi şıklar arasından cevap veya cevaplar seçilebilir. Soruların cevaplanmasının ardından malzemeler arasında tarama ve eleme işlemi yapılmaktadır [23].

– Birim maliyet yöntemi

Birim maliyet yöntemi malzeme seçiminde kriter olarak maliyetin diğer kriterlere göre önemi çok fazla olduğu durumlarda kullanılır. Yöntemde malzeme seçiminde maliyetten sonra gelen en önemli kriter belirlenir. Her malzemenin malzeme maliyetinin seçilen diğer kriterdeki değere bölünmesiyle ‘birim’ maliyeti hesaplanır. Maliyet/dayanım (\$/MPa) oranı en çok kullanılan birim maliyetlerdendir [24]. Bu oranın düşük olması istenir ve önceden belirlenen bir değer üstünde olan malzemeler elenir. Yöntemin en önemli eksikliği sadece maliyet ve bir başka kriteri kullanmasıdır.

2.1.2.2. Seçim yöntemleri ile belirleme

Malzemeler arasında tanımlanan bir parça için en uygun malzemeyi belirlemek amacıyla aday malzemelerin birden fazla kriterdeki değerlerini kullanarak tek bir değerlendirme puanı elde ederek seçim yapan metotlara seçim metotları denir. Bu metotların malzemeleri karşılaştırmak ve aralarından seçim yapabilmesi için kriterlerin önem dereceleri ve malzemelerin kriterlerdeki değerleri gerekmektedir. Literatürde, malzeme seçimlerinde ELECTRE, TOPSIS, VIKOR, AHP, PROMETHEE, MOORA, COPRAS, EVAMIX, ORESTE, OCRA, ağırlıklandırılmış kriterler metodu gibi çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) metotları ve hedef programlama

gibi metotlar bulunmaktadır [25]. Bu bölümde, seçim metotlarına örnek olması açısından Ashby'nin metodu ve ÇÖKV metotları incelenecektir.

– Ashby yöntemi

Ashby, eleme metodu ile elde ettiği aday malzemeler arasından en uygun malzemeyi belirlemek için, kullanıcı kişi, malzemenin kriterlerdeki değerlerini 1 ile 10 arasında bir puana dönüştürür. Ashby'nin metodunda her kriter aynı önemde kabul edildiğinden dolayı malzemenin her kriterde aldığı 1 ile 10 arasındaki puanları toplanır ve malzemeler toplam puanlarına göre büyükten küçüğe doğru sıralanır. Sıralamada en yüksek puanlı malzeme kullanıcıya önerilir [19].

– Çok ölçütlü karar verme yöntemleri

Çok ölçütlü karar verme yöntemleri; bir karar verme sürecinde etkili olan kriter sayısının birden çok olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bu süreç içerisinde, kullanılan kriterlerin ağırlıkları eşit olabildiği gibi farklı değerler de alabilmektedir. Aynı şekilde, değerlendirmeyi yapan kişi ya da kişiler karar verici konumunda olup, uygulamaya bağlı olarak her karar verici farklı ağırlıkta öneme sahip olabilmektedir [26].

Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin kullanılması, uygulamada oldukça kolaylık sağlamaktadır. Normal hayatta sezgisel olarak karar verilip değerlendirilen kriterler, kriter sayısı arttıkça karmaşık bir hal alacağından, sonucun doğruluğu konusunda sıkıntılar oluşmaktadır. Özellikle sosyal bilimler alanında yapılan çalışmalarda, değerlendirmenin sözel şekilde yapılması, kriter sayısının birden çok olması, karar verici sayısının birden fazla olması, karar vericilerin her birinin farklı deneyim ve önseziye sahip olması gibi nedenler sonucu olumsuz yönde etkileyebilmektedir [27]. Kriter sayısındaki artış aynı zamanda, karar verici ya da karar vericilerin; kriterlerin ağırlık değerlerini her alternatif için aynı derecede değerlendirememesine sebep olabilmektedir ki bu da seçim sürecinde objektifliği ciddi derecede etkileyen bir faktör olmaktadır.

Geniş bir kullanım alanında değerlendirildiğinde; karar verme sürecinde yapılan bir hata büyük sıkıntılar doğurabilmektedir. Bu nedenle pek çok sosyal ya da fen alanında, kişisel önsezi ve deneyimlerin yanında bilimden faydalanılmaktadır [28]. Son dönemde bulanık mantık yaklaşımı ile yapılan, pek çok ÇÖKV problemi bulunmaktadır. Teknik alanda bakıldığında, çok önemli bir süreç olan malzeme seçimi problemi için, dilsel belirsizliğin değerlendirilmesinde kolaylık sağlayan bulanık yaklaşımdan sıklıkla faydalanılmaktadır [29]. Malzeme seçiminin ardından; malzemenin performansının değerlendirilmesi gibi pek çok sosyal alanda ya da eşya, hizmet gibi ürünsel performans değerlendirmede [30,31], herhangi bir üretim tekniğinin kullanımı hakkında [32] ya da uygulama sonucu kalitenin değerlendirilmesi [33] gibi pek çok farklı alanda bulanık çok ölçütlü karar verme yöntemleri karşımıza çıkmaktadır. Bu çok ölçütlü karar verme yöntemlerin kullanılması ile karar verici ya da karar vericiler; hem kendilerini sözel şekilde ifade ederek durumu değerlendirmiş hem de kriter sayısının sezgisel bir karışıklık doğurarak seçimi etkilemesini engellemiş olmaktadır.

Çok ölçütlü karar verme yöntemleri, kriter sayısının birden fazla olduğu durumlarda kullanılmakta ve kriter sayısı için herhangi bir üst sınırlama getirmemektedir. Kullanım alanına, karar verme işlemi sonucunda elde edilen seçimin sahip olması gereken durumlara göre kriter sayısı arttırılabilmektedir [32]. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile çözüm sağlanırken, karar verici sayısı da oldukça esnek bir yapıdadır. Karar verici sayısında herhangi bir kısıtlama olmadığı gibi; önem ağırlığının belirlenebilmesi sayesinde karar vericilerin seçime katılmasında da farklı öncelikler sağlanabilmektedir. Her karar vericinin eşit söz hakkına sahip olmadığı durumlar düşünüldüğünde, bu yapı sayesinde seçimde objektif bir sonuç sağlanmaktadır. Yetki farklılıklarının bulunduğu pek çok alanda çözüm gerçekleştirilirken; hiyerarşik yapı nedeniyle karar vericiler seçim sırasında da bu yapıya uygun olarak değerlendirme yapmakta ve sonuç bu doğrultuda oluşmaktadır.

Literatürde malzeme seçimleri için kullanılan ÇKKV yöntemleri arasında MOORA, VIKOR, TOPSIS, AHP, PROMETHEE gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır [25]. Bu çalışmalar tanımlanmış bir parça veya uygulama için malzeme seçimi yapmaktadır ve

aday malzemeler ve seçim kriterleri hazır olarak verilmektedir. Çalışmalar daha çok yöntemin uygulanması üzerinedir. Bu çalışmalardan, Karande ve Chakraborty, MOORA yöntemine kullanarak volan ve kriyojenik depolama tank malzemesi için seçim yapmıştır [34]. Jahan ve arkadaşları, ise VIKOR metodunu kullanarak şaftlarda yeralan sabit pim malzemesini seçmiştir [35]. Diğer yandan, Sapuan ve arkadaşları, AHP metodunu kullanarak tampon kirişi için uygun kompozit malzeme seçimi yapmıştır [36]. Bir başka çalışmada, Tian ve ark., TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini kullanarak uzay ve nükleer endüstrisinde kullanılan yüksek dayanımlı malzeme seçimi yapmıştır [37]. Chatterjee ve Chakraborty, ise PROMETHEE, EXPROM2, COPRAS, ORESTE ve OCRA metotlarını kullanarak dişli malzemesi için seçimi yapmışlar ve beş ayrı metodun sonuçlarını karşılaştırmıştır [38]. Mayas ve ark., otomobil gövde paneli için malzeme seçimi yaparken AHP yöntemini kullanırken Chatterjee ve arkadaşları, COPRAS ve EVAMIX metodu kullanarak kriyojenik depolama tankı için uygun malzeme seçimi yapmışlardır [39]. Bir diğer çalışmada, Chakraborty ve ark., bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak zımpara taşında kullanımı en uygun aşındırıcı malzemesini belirlerken uygulamışlardır [40]. Uğur ve arkadaşları, yolcu taşıma araçlarında kullanılmak üzere tasarlanan kollu fren duvarı mekanizması için uygun doğal fiber kompozit malzemesini seçmek için AHP metodu kullanmışlardır. Son olarak Jahan ve ark., otomotiv bileşenleri için verilen on ayrı malzeme arasından VIKOR metodunu kullanarak malzeme seçimi yapmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında kullanıcıya önemli görevler yüklenmektedir. Literatürde sunulan seçim metotları aday malzemeleri ve kriterleri kullanıcının girmesini istemektedir. Ayrıca çalışmalar aday malzemeleri belirlemek veya aday malzemeleri girdi olarak alarak seçim yapmak hedeflerinden birisi üzerine odaklanmaktadır.

Tüm bu gözlemlerin ışığında bu tez çalışmasında ilk safhasında aday malzemeleri ve seçim kriterlerini belirleyen ve ardından ikinci safhasında aday malzemeler arasında sıralama oluşturarak seçim yapan iki aşamalı ve malzemeler ile ilgili değerleri, uzman görüşlerini temel alarak malzeme seçimi yapacak birçok ölçütlü grup karar verme modeli sistemini oluşturmak önerilmektedir.

2.2. Bulanık Mantık

Bulanık mantık kavramı, ilk defa 1956 yılındaki ABD’de düzenlenen uluslararası bir konferansta duyurulmuştur. Fakat, bu konuda atılan ilk ciddi adım, 1965 yılında Azerbaycan asıllı Lotfi A. Zadeh tarafından yayımlanan bir makalede, bulanık mantık veya bulanık küme kuramı adıyla ortaya konulmuş ve böylece bulanık (fuzzy) kavramı literatüre kazandırılmıştır.

Bulanık kavramının bilime kazandırılmasının ardından, bu yaklaşım, 1970’li yıllardan sonra doğu asyada, özellikle de Japonya’da önem kazanmıştır. Japonlar bulanık yaklaşımı teknolojik aygıt yapımı ve işletilmesinde kullanmışlardır. Batı dünyasında ise o günlerde hala ikili mantık olarak da adlandırılan Aristo mantığı kullanılmaktaydı. Aristo mantığı olaylara, klasik bir yaklaşım ile evet-hayır gibi veya siyah-beyaz ayrımı gibi ya da 0-1 vb. gibi ikili esasta yaklaşmaktadır [37]. Bu iki değer arasında bulunan değerlere ise kesinlik arzetmediği düşüncesiyle yer verilmemektedir.

Literature ilk defa 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından kazandırılmış olan bulanık mantık ilkesel olarak, belirsizliği açıklama kabiliyeti açısından sağladığı üstünlükler ile ön plandadır. Teorinin matematiksel işlemleri ve matematiksel programlamayı bulanık alanda uygulamaya elverişli olması diğer büyük avantajlarından biridir. Bulanık küme, her bir elemanı 0 ile 1 arasında farklılık gösteren üyelik derecelerine sahip bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır [41]. Burada üyelik derecelerine bakılacak olursa, her bir bulanık küme için bu durum, süreklilik arz eder.

2.2.1. Belirsizlik kavramı ve bulanık mantık kuramı

Bulanık mantık, belirsizlik altında sonuçlandırılması gereken ve kesin olmayan gerçek problemlerin tanımlanması ve çözülmesi için son derece elverişli bir yöntemdir. Bulanık mantık “doğru” ya da “yanlış” ile “evet” ya da “hayır” gibi klasik değişkenler yerine “orta”, “yüksek”, “düşük” gibi daha sübjektif ortalama değerleri kullanmakta olan çok değişkenli bir teoridir.

Zadeh bulanık yaklaşım ile ilgili çalışmasında insan düşünce yapısının büyük yoğunlukla bulanık olduğunu, net olmadığını belirtmiştir. Bu yüzden de 0 ve 1 ile belirtilen, boolean mantığı bu düşünce yapısını, yeterli bir şekilde ifade edememekte, normal hayata uyarlandığında boşluklar kalmaktadır [37]. Ayrıca Zadeh, insanların kontrol edildiğinde, mevcut makinelerden daha iyi olmakla beraber kesin olmayan dilsel bilgilere bağlı kalarak etkili kararlar alabileceklerini sav olarak sunmaktadır. Klasik denetim uygulamalarında, belirsiz durumlar için herhangi bir karşılık bulunmamakta bu da denetimi yarım ve yetersiz bırakmaktadır. Bu zorluklar nedeniyle, bulanık mantık kontrolü, alternatif bir metot olarak çok hızlı gelişme göstermiş ve modern kontrol sahasında geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

Literatüre bakıldığında, iki tür belirsizlik bulunmakta olup; içerisinde rassal bir değişken olan stokastik belirsizlik ve kelimelerle ilgili olan lexical ya da dilsel belirsizlik olarak sınıflandırılabilir. Bu belirsizliklerden, stokastik belirsizlik; bir olayın meydana gelmesiyle ilgili belirsizlikle ilgili olup, olasılık teorisi tarafından modellenmektedir. Bir diğer belirsizlik türü olan dilsel belirsizlik ise; durumların karar verici veya karar vericiler tarafından farklı algılanması sonucu oluşmaktadır.

Bir problemin karmaşıklığı, problemdeki kesin olmayan hesaplamalar, veri ya da mevcut bilgidaki ikilem de dilsel belirsizliğin ortaya çıkma nedenleri arasında bulunmaktadır. Bilgi ile dilsel belirsizlik arasında yakın bir ilişki söz konusudur. Çünkü dilsel belirsizlik çoğunlukla bilgi eksikliği nedeniyle oluşmaktadır [25].

Problem içerisinde dilsel değişkenlerin kullanımı, dilsel belirsizliğe neden olmaktadır. Dilsel değişken, değerleri sayısal olarak ifade edilemeyen, bir dildeki kelime ya da kelime grupları olan değişkendir. Dilsel değişkenler, kelime ile kelime gruplarını sayılar gibi kullanan değişkenlerdir ve zor ya da karmaşık durumları tanımlamaya oldukça elverişli bulunmaktadır.

Dilsel değişkenler, kelimelerle ifade edilen nitel durumları modellemek amacıyla, bir süreç haline koymak ve değerlendirmeler yapıp fikir sunmakta kullanılmaktadır.

Özellikle bulanık yaklaşım ile çözüm arandığında sıklıkla dilsel ifadelerden faydalanılmaktadır [41].

2.2.2. Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları

İşletmelerde kurulmuş olan sistemlere göre, pek çok sürecin yönetilmesi, değerlendirilmesi, sistemin doğru oluşturularak kararlılığının sağlanması, ilk kurulum veya tadilat işlemlerinde doğru yer, ekipman, sistem vb.nin seçilmesi, performansın değerlendirilmesi ya da performans bazlı seçim yapılması gibi pek çok konuda bir karar yapısı oluşturulurken; bulanık mantık yaklaşımından kolaylıkla faydalanılmaktadır.

Zadeh, küme elemanlarına farklı değerlerde üyelik derecelerinin verilmesinin, belirli olmayan durumların çözümüne en uygun yaklaşım olduğunu belirtmektedir [37]. Örneğin; ikili mantıkta bakılacak olursa, insanlar boy açısından ya kısadır ya da değildirler. Bulanık küme teorisi bu hususta uzun ve kısa boyluluğun değişik dereceleri olduğunu bildirmektedir. Uzun boylu insanlardan biri gerçek uzun boylu olarak alınır, ondan biraz daha uzun veya kısa olanlar uzun boylu değil diye dışlanamazlar. Esas alınan kısa boylu insanın boy değerinin altında ve üstündeki değerler o kadar kuvvetli olmasa bile kısa boyluluğa ait olma derecesi biraz daha az olmakla beraber yine de kısa boylular kümesine girmektedir. Buna göre, insanların boyları bakımından birer uzunluk üyelik derecelerinin olduğu kabul edilir.

İkili mantıkta bir şey, doğru ya da yanlış olabilir, ancak arada bir değer alamamaktadır. İkili mantığa dayalı kesin (klasik) kümeler teorisinde bir eleman kümeye ya aittir ya da değildir. Bu varlık ya da olmayışa bakan kesin küme anlayışı, nesneleri kümenin elemanı olup olmamasına göre iki gruba ayırır. İnsan mantığı ise, açık-kapalı, sıcak-soğuk, 0 - 1 gibi değişkenlerden oluşan, kesin ifadelerin yanı sıra az açık, az kapalı, serin, ılık, az soğuk vb. gibi ara değerleri de dikkate almaktadır. Yani insan mantığından uyarlanan bulanık mantık, klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmakta ve ifade edilmektedir [26]. Bulanık yaklaşım, uygulama alanı olarak yaşamı almakta bu nedenle de tüm anadillerin doğasında

bulunan belirsizlikten faydalanmaktadır. Anadilleri ikili mantıkla ifade etmek güçtür. Dolayısı ile matematikteki gibi küme ya da sınıf terimlerinin zıddı olarak gerçek yaşamda kesin sınırlar bulunmamaktadır. Örneğin, “A şirketinin geçmişi karanlıktır”, “x, y’den daha küçüktür” şeklinde insanlar arasında geçen konuşmalarda belirgin olmayan ifadeler kullanılmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımı bu belirgin olmayan ifadeleri işlemektedir.

Bulanık küme teorisi sınıf ya da ilgili grupları kesin sınırlar içine sokmayarak bilime büyük katkı sağlamaktadır. Bu yaklaşımın kesin küme teorisinden ayrıcalıklı olarak dikkate değer olmasındaki temel özellikleri ise şunlardır:

- Bulanık yaklaşım, dilsel belirsizliğin ölçülebilmesini sağlar ve bu belirsizliklerin ampirik uygulamalarda veri olarak kullanımına imkân vermiştir. Böylece erişilen sonuçların daha anlaşılır olmasını sağlamıştır.
- Karmaşıklığı gidermeye imkân sağlamıştır.
- Pek çok şekilde, bulanık küme teorisi ile problem çözümlerinin gerçekleştirilmesini sağlamış olup, dilsel ifade edilen kelime grupları ve cümlelerin anlamlarıyla ilgilenmektedir. Böylece dilsel belirsizliğin giderilmesiyle ilgili problemler, matematiksel olarak ifade edilebilmektedir. [34].

2.2.3. Bulanık mantığın uygulama alanları

Bulanık mantık ilk olarak 1970’li yılların başında İngiltere’de Mamdani ve Assilian (1975) tarafından bulanık denetleyici olarak buhar makinesinde uygulanmaya başlanmıştır [35]. İlk ticari uygulamalar ise 1970’li yılların sonlarına doğru çimento fabrikasında fırın kontrolü için Danimarkalı mühendisler tarafından yapılmıştır. Fırın kontrolünde sensörler vasıtasıyla veriler toplanarak ve geri besleme ile değişkenlerin kontrol edilerek ayarlanması bulanık mantık ile hassas bir şekilde yapılmıştır. Bulanık mantığın uygulandığı alanlara; el yazısı, robot kontrolü, karakter ve nesne tanıma, kameraların odaklanma ayarlarının yapılması, füzelerin kontrol edilmesi, buzdolaplarının buzlanmasının engellenmesi, bilgisayar disk kontrolü, metroların

işleyişi, asansörlerin, klimaların, emniyet fren sistemlerinin, trafik lambalarının, otomobil motorlarının programlanması, elektrikli süpürgelerin ve araç süspansiyonlarının kontrol edilmesi gibi örnekler verilebilir.

Bulanık mantık, matematiksel programlama, olasılık, yapay sinir ağı teorisi gibi alanlarda bulanık sistemlere dönüşümü sağlamakla bulanık matematiksel programlama bulanık aritmetik, bulanık olasılık teorisi, bulanık yapay sinir ağı teorisi gibi alanların meydana gelmesini sağlamıştır. Bulanık mantığın en genel uygulama alanları yapay zekâ, nümerik analiz, karar analizi, veri işleme, genetik algoritma, yapay sinir ağları, robotik sistemler ve ekonomidir. Bu anlamda karmaşık ve belirsiz sistemlerde, tahmin modellerinde, karar verme süreçlerinde, uzman sistem yapılarında, endüstriyel süreç sistemlerinde, araç kontrol sistemlerinde bulanık mantıktan yaygın olarak yararlanılmaktadır. Bulanık mantığın pratik uygulamalarına özellikle çamaşır makinelerinde, elektrik süpürgelerinde, bulaşık makinelerinde, robotik sistemlerde etkili şekilde rastlanmaktadır. Metro fren sistemleri, kameralar, fotoğraf makineleri, televizyonlar, motor kontrolü, asansörler, trafik lambaları, mikro devreler gibi birçok ürün ve bu ürünlerin üretim süreçleri bulanık mantıkla verimli ve kullanışlı hale getirilmektedir [41-45].

2.3. Karar Verme Süreci

Karar, bir iş ya da problem hakkında düşünme sonucu ortaya konan kesin yargı şeklinde tanımlanmaktadır. İnsanlar, bireysel ve toplumsal gereksinimlerini giderebilmek için karar ve karar verme kavramları ile yaşam boyu karşı karşıya kalmaktadırlar. Karar verme, en basit deyişle, belirlenen en az iki alternatif arasından bir seçim yapma durumudur. Başka bir tanıma göre karar verme; bireyin farklı alternatifler arasından, plan ve amaçlarına uygun, öncesinde belirlediği kriterlere göre en uygun alternatifi seçmesi olarak tanımlanabilmektedir [46].

Karar verme eylemlerinin iki farklı kolu bulunmaktadır. Bunlardan ilki, karar vericinin sezgi, duygu, tecrübe ve zihinsel yeteneklerine bağlı olarak gerçekleştirdiği karar verme faaliyetidir. İkincisi ise, karmaşık problemlerin çözümü için problem çözme

tekniklerini içeren, yapısal bir karar verme modelinden faydalanan karar verme faaliyetidir. Yapısal karar verme modeli, karar verme süreçlerini basitleştiren analitik teknikleri kapsamaktadır.

Bir karar verme süreci aşağıdaki adımları içermektedir.

- Karar probleminin tanımlanması
- İhtiyaçların ortaya konması
- Amaç ve hedeflerin belirlenmesi
- Alternatif ve kriterlerin ortaya konması
- Oluşturulan karar modeline uygun bir karar verme tekniğinin seçilmesi
- Kriterlere göre tüm alternatiflerin değerlendirilmesi
- Elde edilen sonucun karar problemine uygulanması ve kontrolü

İdeal bir karar verme süreci aşağıdaki şekilde görselleştirilmiştir. Süreç, problemin tanımlanması ile başlar ve kararın uygulanması ile sona erer. Karar verme faaliyet olarak bir döngüdür ve her aşaması doğru ve tatminkâr bir sonuca ulaşmaya kadar tekrarlanmalıdır [43].

2.3.1. Karar verme modelleri

Karar verme işi, karara etki eden kriterlerin gerçekleşme ihtimallerinden, ortaya konan alternatiflerin sonuçlarının belirsizliğinden ve de hangi alternatifin en uygun olduğunun saptanması için yeterli bilgi kaynağının olup olmama durumundan etkilenmektedir. Kontrol edilemeyecek türden olaylar olacağı gibi kısmen rassallık içeren durumlar da meydana gelebilir. Faktörlerin özelliklerine, alternatif ve ortaya konan sonuçların çıkış şekillerine bağlı olarak karar verme modelleri değişiklik gösterecektir.

Karar verme modelleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir: Karar verme sürecinde, problemler için çözüm yolları geliştirmek için bazı stratejiler belirlenir.

Belirlenen stratejiler içinden en uygun olanı seçilirken değişik özelliklerde karar modelleri uygulanabilir. Bu modeller:

- Belirlilik durumlarında karar verme yaklaşımı,
- Risk altında karar verme yaklaşımı,
- Belirsizlik durumlarında karar verme yaklaşımı
- Kısmi bilgi durumunda karar verme yaklaşımı
- Ek bilgi ile karar verme yaklaşımlarıdır. [41].

2.3.2. Grup karar verme

Grup karar verme birden fazla kişinin (karar verici, uzman, paydaş, seçmen, grup üyesi vb. olarak da bahsedilebilir) dâhil olduğu karar durumu olarak tanımlanır. Grup üyeleri ortak bir problemin varlığını kabul eder ve ortak bir karara ulaşmak için kendi tutum ve motivasyonlarına sahiptirler. Karar verme problemlerinde tek karar vericiden çok karar vericiye geçiş, analizde büyük bir karmaşıklık getirmektedir. Problem artık karar vericilerin tercihlerine göre oluşan baskın olmayan çözümler arasından en çok tercih edilen alternatifin seçilmesi problemidir.

Saaty 2008 yılında, bir grup insan karar aldığı anda, bu kararın yalnızca bir kişi yaptığı anda olduğundan daha fazla ağırlık taşıdığını belirtiyor ve grup karar vermenin birçok zihni birlikte çalıştırarak daha fazla etki yaratmak için bir hediye ve bir fırsat olduğunu da ekliyor. Özellikle, birbiri ile çelişen, çoğulcu ve zorlayıcı karmaşık sistem problemlerini tüm yönleriyle ele alarak analiz etmek tek bir karar verici ile mümkün değildir [43]. Hangi filmin izleneceğine karar veren bir çiftten, hangi başkanın seçileceğine karar veren bir ülkenin vatandaşlarına kadar çeşitli seviyelerde grup karar verme problemi vardır. Sonuç olarak birçok gerçek hayat probleminde karar verme süreci için ÇÖGKV yöntemlerine ihtiyaç duyulur.

Grup karar verme, tercih analizi, fayda teorisi, sosyal seçim teorisi, komite karar teorisi, oylama teorisi, oyun teorisi, uzman değerlendirme analizi, nitel faktörlerin

birleştirilmesi ekonomik denge teorisi gibi çok çeşitli ve birbirine bağlı alanlar içerir. [47]. Bu çeşitli alanlar arasında, bu tezde odaklanılan kısım ÇÖGKV'dir.

Grup karar verme yöntemleri temel olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar; içerik odaklı yaklaşımlar ve süreç odaklı yaklaşımlardır. Süreç odaklı yaklaşımlar grup karar verme sürecine odaklanmaktadır. Temel amaç problemi anlamak ve yapılandırmak için yeni fikirler üretmektir. Beyin fırtınası, yazılı beyin fırtınası, nominal grup tekniği ve Delfi tekniği gibi yaklaşımlar süreç odaklı yaklaşımlara örnek olarak gösterilebilir. Öte yandan, içerik odaklı yaklaşımlar, problemin içeriğine odaklanarak verilen toplumsal veya grup kısıtlamaları veya amaçlar doğrultusunda en uygun veya tatmin edici bir çözüm bulmaya çalışır. İçerik odaklı yöntemler üç ana sınıfta incelenebilir: Örtülü çok ölçütlü değerlendirme (Sosyal Seçim Teorisi), açık çok ölçütlü değerlendirme ve oyun teorisidir [44].

Örtülü çok ölçütlü değerlendirmede, karar vericiler alternatifleri değerlendirir ve karar safhasında seçtikleri adayı veya adayların bir sıralamasını verirler. Karar vericilerini kararlarını toplamak için kriterlere veya karar verme yöntemine ihtiyaç duyulmaz veya dikkate alınmaz. Oyun teorisi, grubun veya tek tek karar vericilerin faydasını maksimize edecek, aralarındaki çatışmayı ve iş birliğini akılcı ve rasyonel şekilde ele alacak matematiksel modellerin geliştirilmesidir [45].

Bu tezde ele alınacak grup karar verme sınıfı, çoklu karar verici ile ÇÖKV olarak da adlandırılan açık çok ölçütlü değerlendirmedir. Bu nedenle, aynı zamanda ÇÖGKV veya çok kriterli grup karar verme (ÇKGKV) olarak da isimlendirilir. ÇÖKV terimi genellikle ÇKKV ile birbirlerinin yerine kullanılır. "Çok kriterli" ve "çok ölçütlü", çoklu ve çelişen kriterlerin varlığında karar durumunu açıklar. ÇÖKV ve ÇKKV terimlerinin kullanımında farklı anlayışlar olmasına rağmen, ÇKKV, çok amaçlı karar verme (ÇAKV) ve /veya ÇÖKV ile ilgili tüm yöntemler için kabul edilmiş daha genel bir terimdir. Bu nedenle, ÇÖKV, ÇKKV'nin bir alt kümesidir. Öte yandan, ÇÖKV ve ÇAKV arasındaki temel fark alternatiflerin tanımlanmasıyla ilgilidir. ÇAKV bir matematiksel programlama yapısı ile alternatiflerin dolaylı olarak tanımlandığı ve sonsuz miktarda olduğu süreklilik gösteren durumlarda karar vermeye dayalı bir

yaklaşım iken, ÇÖKV alternatiflerin açıkça ve sınırlı sayıda tanımlandığı kesikli durumlarda karar vermeye dayanır. İlgi alanımız, sınırlı sayıda alternatifi analiz etmek için kullanılan grup karar verme yöntemleridir, dolayısıyla ÇKKV yerine ÇÖKV terimi kullanılmıştır.

ÇÖKV çoklu ve çelişen kriterler altında karar verme sürecidir. Tüm ÇÖKV problemlerinin en temel özellikleri şöyledir: Çoklu kriterler, çelişen kriterler, kıyaslanamaz birimler, sonlu sayıda alternatif ve tercih kararıdır. Tüm ÇÖKV problemleri, çok sayıda, birbiriyle çelişen ve aynı ölçü birimi kullanılmayan ölçütler, sonlu sayıda alternatif gibi ortak özellikleri taşımaktadır [48]. Birden fazla karar vericinin katılımıyla, ÇÖKV, ÇÖGKV haline gelir. Örtülü çok ölçütlü değerlendirmenin aksine, ÇÖGKV yaklaşımlarında karar vericiler kriterlere göre alternatifler için değerlendirmelerini açıkça sunarlar.

ÇÖGKV’de karar vericilerin farklı tercih yapılarının bütünleştirilmesi iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada farklı tercih yapıları çarpımsal tercih ilişkisine dönüştürülmekte, ikinci aşamada ise farklı karar vericilerden elde edilen çarpımsal tercih ilişkileri bütünleştirilmektedir [49].

2.3.2.1. Grup karar vermede kararların çarpımsal seçim biçimine dönüşümü

Karar vericilerin kullandığı farklı tercih biçimleri ilk aşamada çarpımsal tercih ilişkisine dönüştürülür. Dönüştürmede kullanılan yöntemler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir [47]:

1.Yöntem- Çarpımsal Tercih İlişkisi veya İkili Karşılaştırma: Karar verici kriterler hakkında karar verirken pozitif tercih ilişkisinden faydalanabilir. Tercih seviyesinin ölçümünde oransal skalalardan faydalanılır. 1-9 skalası oransal skalaya örnek olarak verilebilir. Bura da 1 değeri kriterler arasında bir fark bulunmadığı, 9 değeri ise kriterin diğerine göre kesinlikle tercih edildiği anlamındadır.

2.Yöntem – Tercihlerin Sıralanması Metodu: Kriterler en iyiden en kötüye doğru sıralanmaktadır.

3.Yöntem- Fayda Değeri Metodu: Her bir kriter için $[0,1]$ aralığında bir fayda-önem derecesi tayin edilerek elde edilen fayda vektörü çarpımsal tercih ilişkisine dönüştürülür.

4.Yöntem- Dilsel Terim Vektörü Biçimi: Kriterler ile ilgili seçim düzeyleri dilsel terimlerle ifade edilir. Ardından çeşitli metotlarla bu ifadeler kesin değerlere dönüştürülür.

5.Yöntem- Kriterler Kümesinin Bir Alt Kümesinin Seçimi: Bazı durumlarda kriterler kümesinde bir alt küme sağlayacağı çözüm imkânı ve kolaylığı açısından tercih edilerek çarpımsal seçime dahil edilebilir.

6.Yöntem- Bulanık Kriterler Kümesinin Bir Alt Kümesinin Seçimi: Bulanık kriter kümesi içerisinde seçilen bir alt küme, dilsel terimlerden faydalanarak bulanık olarak değerlendirme imkânı sunar.

7.Yöntem- Normal Tercih İlişkisi Metodu: Bazı durumlarda karar verici kriterlerden birini diğerine herhangi bir tercih seviyesi belirtmeden tercih edebilir.

2.3.2.2. Grup karar vermede dönüştürülmüş seçim biçimlerinin bütünleştirilmesi

Geliştirilen yaklaşımla, karar vericiler tercihlerini farklı değerlendirme biçimlerinde sunabilmelerine olanak tanır. Seçim türü yapılarının en önemli avantajlarından biri de çoğu değerlendirme biçiminin (gerçek sayılar, sıralı dilsel ifade modelleri, aralıklı değer atamaları, bulanık kümeler ve uzantıları vb.) herhangi bir bilgi kaybı olmaksızın seçim imkânı sunacak yapılara dönüştürülebilir olmasıdır. Peng ve ark., çalışmalarında gerçek sayı değerlendirmeleri, dilsel ifadeler, aralıklı değerlendirmeler için dönüşüm formüllerini sunmuşlardır [49]. Bu tez çalışmasında da bu formatların da kullanıldığı, raylı sistemler için tren vagon panellerinde metal malzeme seçimi olarak bir ÇÖGKV

modeli önerilmiş ve ilgili yapılar hesaplama sürecine dahil edilerek, uygulama safhasında tablolar içerisinde gösterilmiştir.

2.3.3. Çok ölçütlü grup karar verme

Önceki bölümde verilen literatür analizi sonuçlarına göre grup karar verme yaklaşımları arasından ÇÖGKV yöntemlerine olan ilgi son yıllarda önemli ölçüde artış göstermiştir. Bir ÇÖGKV ortamında karar vericiler, çoklu kriterlere göre alternatiflerin performansı ile ilgili değerlendirmeler yapmaktadır [48]. Bu bakımdan, ÇÖGKV problemleri en az beş nedenden ötürü türdeş olmayan bilgi içerebilir:

- Problem nesnel ve öznel kriterleri bir arada içerebilir.
- Uzmanlar farklı kriter kümelerini ele alabilir.
- Uzmanlar değerlendirmelerini farklı formatlarda yapabilirler.
- Problem eksik bilgi içerebilir.
- Uzmanlar eşit derecede öneme sahip olmayabilir.

Bu çalışmada ele alınan problem, Bölüm 3' te geniş bir şekilde ele alınan malzeme seçimi için uzman görüşlerinden faydalanılan ÇÖGKV problemidir. Amaç m sayıda alternatifi ($A_1, A_2, \dots, A_m$), n sayıda kritere ($C_1, C_2, \dots, C_n$) dayalı olarak performanslarına göre sıralamaktır. Bu tez çalışmasında, nesnel kriterler, ortak öznel kriterler ve uzmanların bireysel kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Nesnel kriterler alternatiflere ilişkin nicel faktörlerdir, uzmanlar tarafından değerlendirilmezler. Ortak öznel kriterler tüm uzmanların değerlendirdiği kriterlerdir. Bireysel kriterler ise bir veya daha fazla uzman tarafından değerlendirilen, ancak tamamı tarafından değerlendirilmeyen kriterlerdir [47].

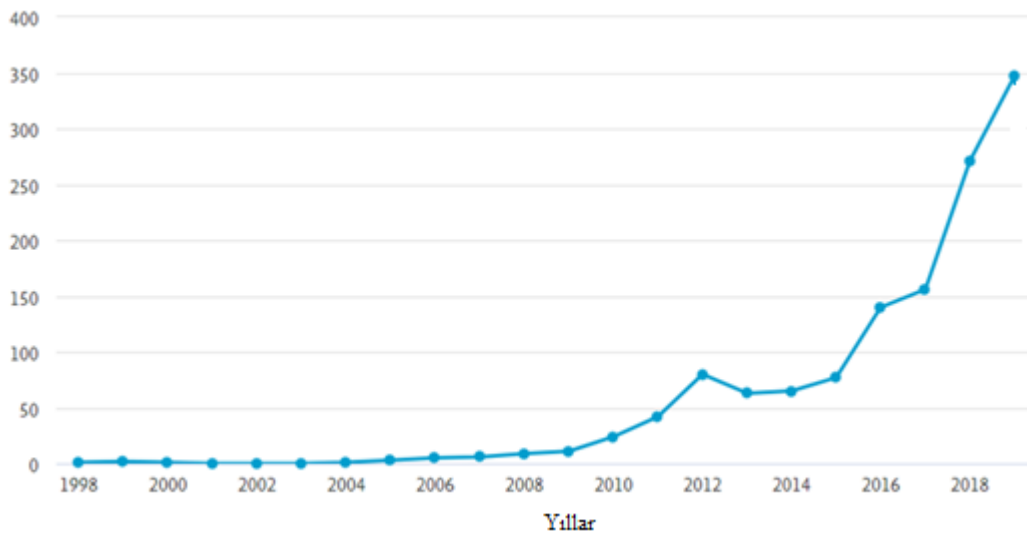
2.4. Kaynak Araştırması Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Demir-Çelik sektöründe malzeme seçimi problemiyle ilgili geçmişten günümüze kadar çok fazla çalışma yapılmış ve her birinde farklı bakış açısı ile konular değerlendirilmiş ve farklı yöntemler kullanılmıştır. Bu bölümde ilgili sektörden metal

malzeme seçimiyle ilgili yapılmış çok ölçütlü grup karar verme ile ilgili çalışmalara özet olarak değinilecektir. Bu çalışmada demir-çelik endüstrisinde metal malzeme seçimi için bulanık çok ölçütlü grup karar verme modeli önerisi ve ilgili yöntemlere ilişkin konularla bağlantılı olarak literatür araştırması yapılmıştır.

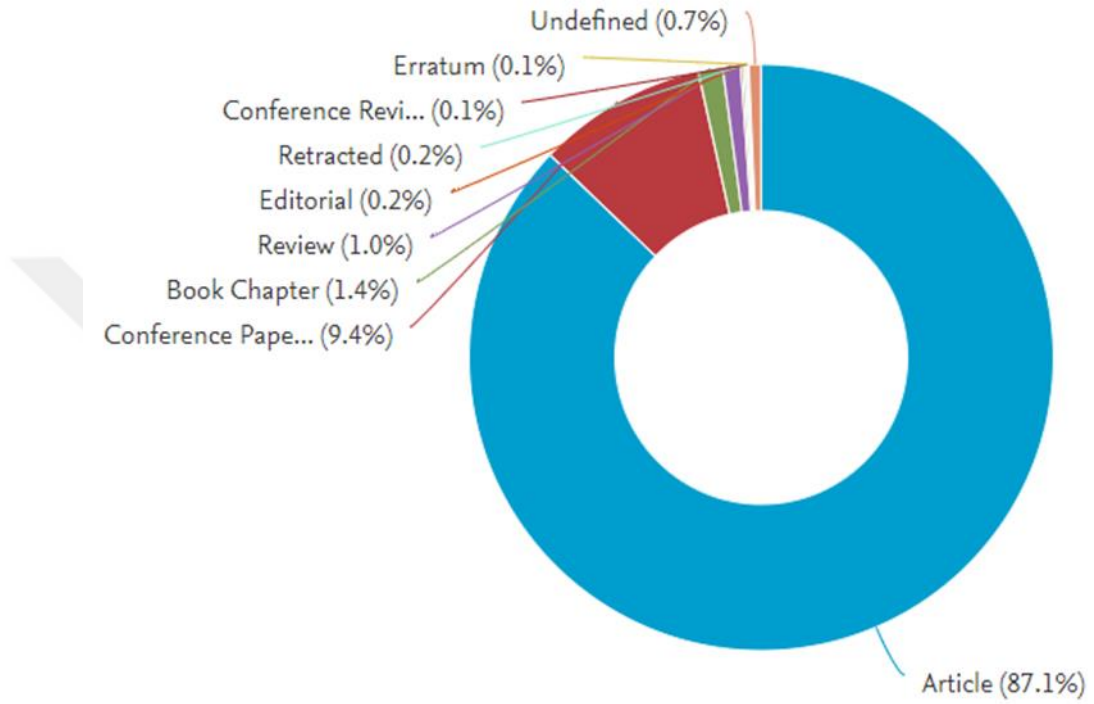
Literatür araştırmasında uluslararası makaleler, bildiriler, kitaplar ve doktora tezlerinden yararlanılmış ve yakın tarihli son yıllarda yapılan çalışmalara da çokça yer verilmiştir. Uluslararası makaleler başta “Scopus” veritabanı olmak üzere “WoS-Web of Science”, “Sciencedirect” gibi akademik yayın veritabanları üzerinden incelenmiştir. Uluslararası doktora tezleri ise, “Proquest Dissertations” veritabanı üzerinden incelenmiştir.

Tez konusu ile ilgili uluslararası akademik makalelere bakıldığında “Çok ölçütlü grup karar verme” konusu ile ilgili geçmişten günümüze 1332 akademik yayının varlığı müşahade edilmiştir. Bu yayınlar Şekil 2.1.’de görüleceği üzere son yıllarda üssel bir artış göstermektedir. Buna göre 2019 yılına kadarki süreçte, en çok yayının yapıldığı yıl, yaklaşık 350 akademik yayınlı 2019 yılı olarak görülmektedir. Bu da konunun önemine bağlı olarak güncelliğini artırması olarak değerlendirilebilir.



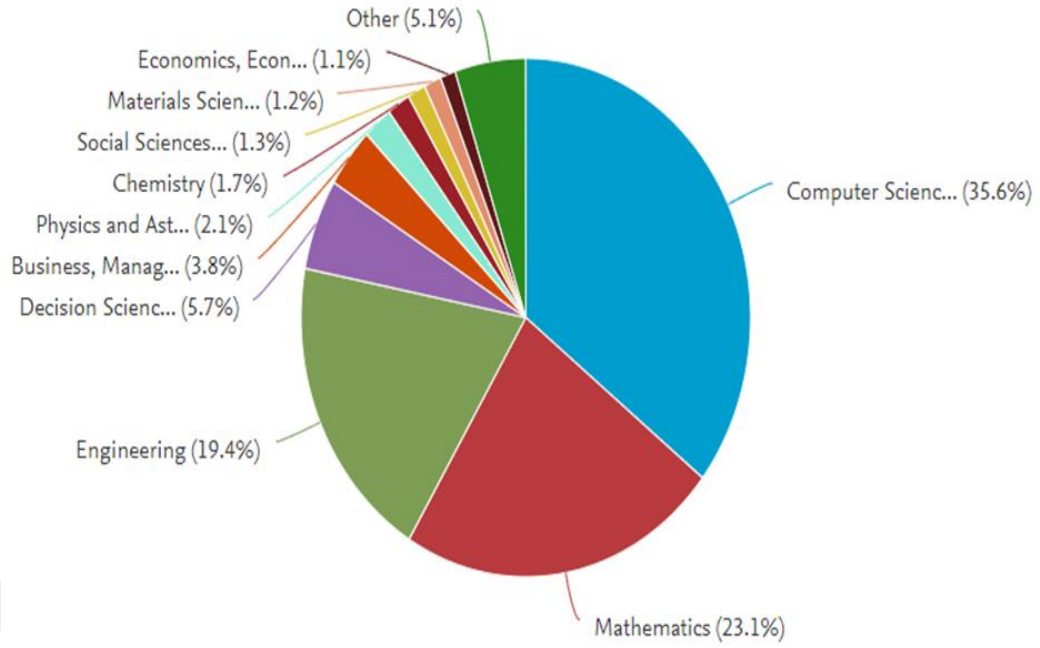
Şekil 2.1. Yıllara göre “Çok Ölçütlü Grup Karar Verme” ile ilgili akademik yayın sayıları

Günümüze dek yapılan 1332 yayının büyük bir çoğunluğu akademik makale olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 2.2.' e bakıldığında yapılan yayınların yüzde 87,1'i makale, yüzde 9,4'ü konferans bildirisi, yüzde 1,4'ü kitap bölümü olarak karşımıza çıkmaktadır.



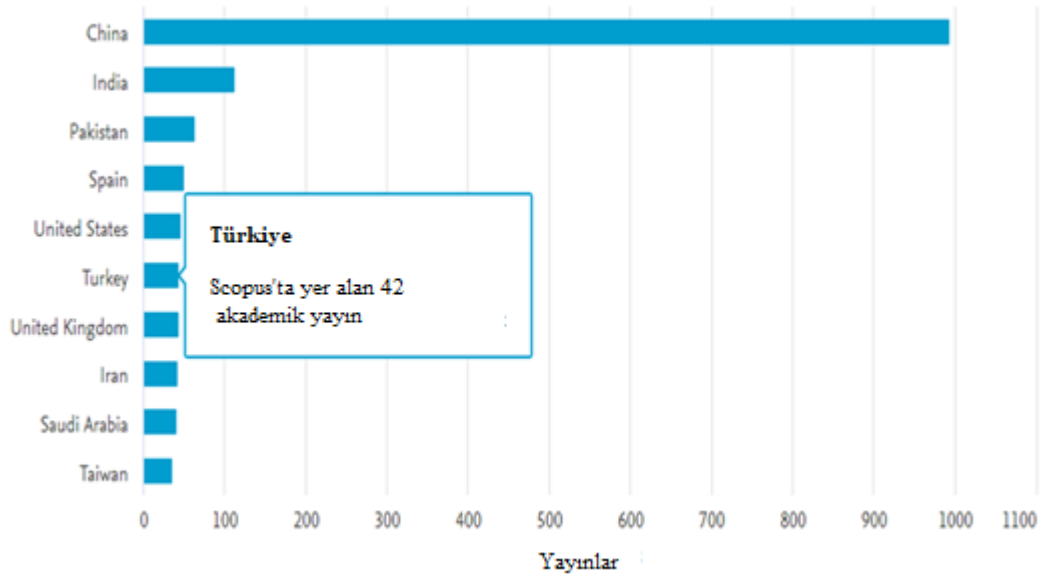
Şekil 2.2. “Çok Ölçütlü Grup Karar Verme” ile ilgili akademik yayınların türlerine göre gösterimi

Yapılan çalışmalar konularına göre tasnif edilecek olursa, Şekil 2.3.'de görüldüğü üzere, 1332 akademik yayının yüzde 35,6'sı bilgisayar bilimleri, yüzde 23,1'i matematik alanı, yüzde 19,4'ü mühendislik alanları, yüzde 5,7'si karar verme bilimi, yüzde 3,8'i işletme-yönetim bilimleri olarak kabul edilmiştir. Geriye kalan konu başlıkları; fizik, kimya, sosyal bilimler, malzeme bilimleri, ekonomi ve diğer konular olarak sınıflandırılmıştır.



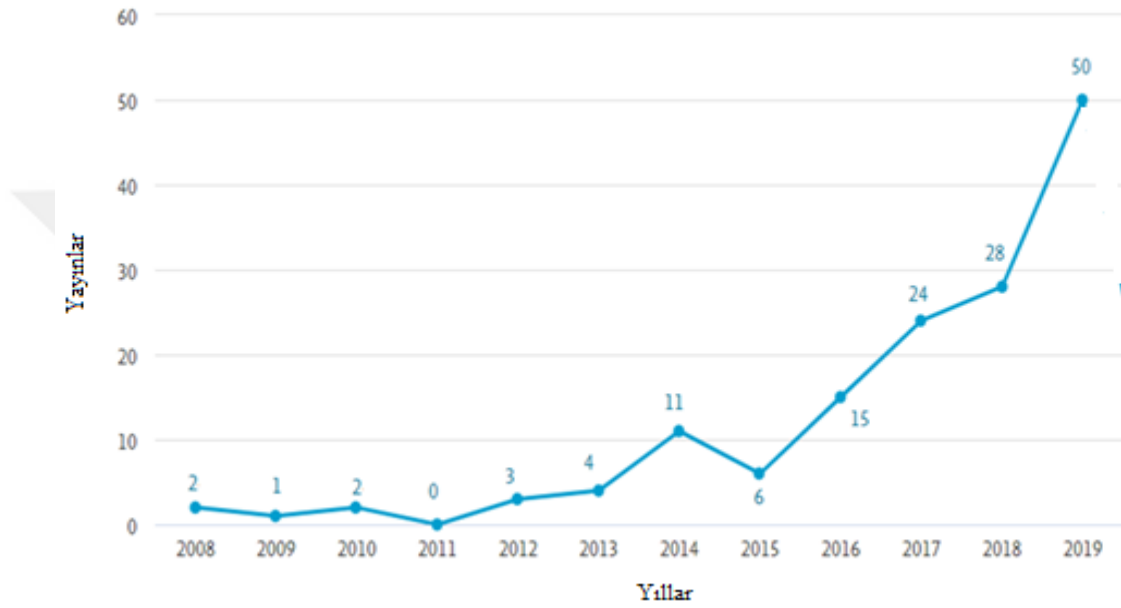
Şekil 2.3. Konularına göre “Çok Ölçütlü Grup Karar Verme” ile ilgili akademik yayınların dağılımı

Yapılan 1332 akademik yayının büyük bir çoğunluğu Çin Halk Cumhuriyeti kaynaklı olarak yayınlandığı Şekil 2.4.’e bakıldığında görülebilmektedir. Literatür incelendiğinde Çin’i, Hindistan ve Pakistan takip etmektedir. Sıralamada İspanya ve Amerika Birleşik Devletleri’nin ardından 42 adet yayın ile Türkiye yer almaktadır. Nüfusa oranla Türkiye’nin yayın sayısı yüksek kabul edilebilir.



Şekil 2.4. Ülkelerine göre “Çok Ölçütlü Grup Karar Verme” ile ilgili akademik yayınların dağılımı

Çok ölçütlü grup karar verme ana başlığı altında, günümüze kadar “malzeme seçimi”ne yönelik yapılan yayın sayısı toplamda 152 olarak görülmektedir. Bu yayınların yıllara göre sayısı Şekil 2.5.’te görüldüğü üzere son yıllarda artmakta olup, grafiği 2019 yılına dek incelediğimizde 2019 yılı 50 adet akademik yayın ile en çok yayının çıkarıldığı yıldır. Bu yılı 28 adet yayın ile 2018 yılı ve 24 adet yayın ile 2017 yılları izlemiştir.



Şekil 2.5. Ülkelerine göre “Çok Ölçütlü Grup Karar Verme” ile ilgili akademik yayınların dağılımı

Çok ölçütlü grup karar verme konu başlığı altında malzeme seçimi konusunda yapılan çalışmaları, özellikle tez konusuna bağlı olarak “Demir-Çelik endüstrisi” ve/veya “Metaller” alt başlıklarında incelediğimiz takdirde, literatürde çok fazla yayının olmadığı görülecektir. Bu sayının azlığı ilgili konuda yapılacak çalışmaların özgünlüğünü daha da ortaya çıkaracaktır. Tablo 2.1.’de görüldüğü üzere, “çok ölçütlü grup karar verme ile metal malzeme seçimi” konusunda akademik veritabanlarında yapılan daraltılmış “ileri arama (advanced search)” araştırmada, yayınların güncel olarak 2014 yılı ile beraber başladığı yıldan yıla çeşitlenerek 2020 yılı ile beraber devam ettiği görülmektedir.

Tablo 2.1. Literatürde (Scopus, WoS, Sciencedirect veritabanları) çok ölçütlü grup karar verme ana başlığı altında metal/endüstriyel malzeme seçimi üzerine yapılan yayınlanmış çalışmalar

Yazarlar	Yayın Yılı	Yayın Adı (Orijinal Adı)	Yayınlandığı Dergi/Kitap/Bildiri
Ouyang, L.-Y., Chen, K.-S., Yang, C.-M., Hsu, C.-H.	2014	Using a QCAC-Entropy-TOPSIS approach to measure quality characteristics and rank improvement priorities for all substandard quality characteristics	International Journal of Production Research
Mastura, M.T., Sapuan, S.M., Mansor, M.R.	2015	A framework for prioritizing customer requirements in product design: Incorporation of FAHP with AHP	Journal of Mechanical Engineering and Sciences
Shan, M.-M., You, J.-X., Liu, H.-C.	2016	Some Interval 2-Tuple Linguistic Harmonic Mean Operators and Their Application in Material Selection	Advances in Materials Science and Engineering 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery
Yang, S., Yang, M., Ju, R., Huang, K.	2016	Multi-attribute group decision making for weapon system selection based on intuitionistic fuzzy values	Applied Mathematical Modelling
Arian Hafezalkotob, Ashkan Hafezalkotob, Mohammad Kazem Sayadi	2017	Extension of MULTIMOORA method with interval numbers: An application in materials selection	Knowledge-Based Systems
Kabak, Ö., Ervural, B.	2017	Multiple attribute group decision making: A generic conceptual framework and a classification scheme	IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems
Tian, G., Zhang, H., Zhou, M., Li, Z.	2018	AHP, Gray Correlation, and TOPSIS Combined Approach to Green Performance Evaluation of Design Alternatives	Engineering and Applied Science Research
Aikhuele, D.O.	2019	A hybrid-fuzzy model with reliability-based criteria for selecting consumables used in welding dissimilar aluminum alloy joint	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
Wang, Y.-C., Chen, T., Yeh, Y.-L	2019	Advanced 3D printing technologies for the aircraft industry: a fuzzy systematic approach for assessing the critical factors	International Journal of Mechanical Sciences
Yang, S., Sun, Y., Qi, C.	2020	Performance assessment and optimal design of hybrid material bumper for pedestrian lower extremity protection	Computers and Industrial Engineering
Mishra, A.R., Rani, P., Mardani, A., (...), Govindan, K., Alrasheedi, M.	2020	Healthcare evaluation in hazardous waste recycling using novel interval-valued intuitionistic fuzzy information based on complex proportional assessment method	Emerging Materials Research
Ünver, M., Cil, I.	2020	Material selection by using fuzzy complex proportional assessment	

Literatürde yapılan akademik makale, kitap bölümü, bildiri vb. çalışmalar tarih sırasıyla kısaca incelendiği takdirde;

Ouyang vd., 2014 yılında yayınlamış olduğu makalesinde, Malzeme seçimi özelinde malzemelerin kalite standartlarını ölçmek için “QCAC-Entropy-TOPSIS” yaklaşımını kullanma yoluna gitmişlerdir. Buna göre ÇÖGKV metodolojisi ile tüm standart altı kalite özellikleri taşıyan malzemeleri sıralama yaparak, iyileştirme öncelikleri olan malzeme alternatiflerini belirlemeye çalışmışlardır [50].

Mastura vd., 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada, ürün tasarımı ve buna ilişkin metal malzeme seçimi için müşteri gereksinimlerine öncelik veren bulanık AHP temelli bir ÇÖGKV model önerisi sunmuşlardır [51].

Shan vd., 2016 yılında bulanık mantık 2. aralık metodolojisinin, dilsel harmonik ortalama operatörleri vasıtasıyla metalik malzeme seçimi üzerine bir uygulama sunarak literatüre katkı yapmışlardır [52].

Yang vd., 2016 yılında sezgisel bulanık ağırlıklı ortalama ve gri ilişkisel analiz kullanarak silah sistemi seçimi için ÇÖGKV yöntemlerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmayı “Bulanık Sistemler ve Bilgi Keşfi” başlıklı uluslararası konferansta sunmuşlardır [53].

Arian vd., 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında, güç dişlilerinin malzeme seçimi ile ilgili bir vaka analizi sunmuşlardır. Bulanık MULTIMOORA yöntemi kullanılan çalışmada, uzman görüşleri incelenerek, çalışmanın ÇÖGKV modeli olarak oluşmasını sağlamıştır [54].

Kabak ve Ervural, 2017 yılında yapmış oldukları çalışmalarında ve de Bilal Ervural’ın 2018 yılında yayınlanan doktora tezine katkı sunduğu makalelerinde, ÇÖGKV konusunu kavramsal çerçevede inceleyerek sınıflandırma şeması oluşturarak proje seçimi ve malzeme seçimi temelinde birikimli kanı dereceleri yaklaşımına dayalı olarak çok ölçütlü grup karar verme yöntemi sunmuşlardır [46].

Tian vd., 2018 yılında yayınladıkları çalışmalarında, malzeme seçimi temelinde AHP, Gri Korelasyon ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak tasarım alternatiflerinin yeşil performans değerlendirmesine yönelik birleşik bir yaklaşım önermişlerdir [55].

Aikhuele, 2019 yılında yayınlanan çalışmasında, farklı alüminyum alaşımlarının birleşim yerlerinin kaynağında kullanılan sarf malzemeleri seçmek için güvenilirlik tabanlı kriterleri olan hibrit bulanık bir model önermiştir. Bu model, üçgen sezgisel bulanık çekiçleme mesafesine (TIFHD) ve üçgen sezgisel bulanık temelli ağırlıklı geometrik (I-TIFOWG) operatörüne dayanmaktadır [56].

Wang vd., 2019 yılında yayınlamış oldukları makalelerinde, uçak endüstrisi için gelişmiş 3D baskı teknolojilerinin uçak bileşenlerine uygulanmasına yönelik; kritik faktörleri değerlendirmek için bulanık sistematik bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışmaları ÇÖGKV temelli olup metal malzemelere uyum kapsamında yer almaktadır [57].

Yang vd., 2020 yılında yayınlanacak olan makalelerinde, yayaların asgari korunması için hibrid malzeme yapılarından oluşan tampon ve metal sac bileşenlerinin seçimi sürecinde performans değerlendirmesi ve optimum tasarım tercihi için yeni bir model sunmaktadırlar. Çalışmalarında genetik algoritmalar kullanılarak TOPSIS yöntemi ile bir model geliştirmişlerdir [58].

Mishra vd., 2020 yılında yayınlanacak olan makalelerinde, karmaşık orantılı değerlendirme yöntemine dayanan yeni aralık değerli sezgisel bulanık bilgiler kullanarak tehlikeli ve metalik malzeme yoğunluklu atık geri dönüşümünde sağlık odaklı değerlendirme yapmışlardır. Bu çalışmalarında tezde de kullanılan Bulanık COPRAS yöntemi çözüme katkı sunmuştur [59].

Ünver ve Çil, 2020 yılında yayınlanacak olan makalelerinde Bulanık COPRAS temelinde, raylı sistemlerde tren vagon panellerinin malzemelerinin seçiminde yeni bir model sunmuşlardır. İlgili yöntem, bu tez çalışmasında ikincil bir yöntem olan Bulanık MULTIMOORA ile birlikte yeni bir model önerisi olarak karşımıza çıkmaktadır [60].

Tablo 2.2. Uluslararası doktora tezleri literatürü olarak (Proquest veritabanı) çok ölçütlü grup karar verme ana başlığı altında metal/endüstriyel malzeme seçimi üzerine yapılan yayınlanmış çalışmalar

D. Tez Yazarı	Tez Başlığı	Tezin Sunulduğu Fakülte/ Üniversite	Yayın Yılı
Daniel Georgiadis	Using Multi Criteria Decision Making In Analysis Of Alternatives For Selection Of Enabling Technology	The Faculty Of The School Of Engineering And Applied Science, The George Washington University	2013
Aditi Dattatreya Joshi	Optimal End-Of-Life Decision-Making Strategies For Products With Design Alternatives	The Department Of Mechanical And Industrial Engineering, Northeastern University Boston, Massachusetts	2017
Alaa Momena	Using Pythagorean Fuzzy Sets (Pfs) In Multiple Criteria Group Decision Making (McgKV) Methods For Engineering Materials Selection Applications	The Department Of Mechanical And Industrial Engineering, The University Of Wisconsin-Milwaukee	2019

Proquest veritabanı üzerinden incelenen ve Tablo 2.2.'de gösterilen uluslararası doktora çalışmaları, literatür kapsamında kısaca incelendiği takdirde;

Daniel Georgiadis, 2013 yılında yapmış olduğu doktora tezinde, mevcut çok ölçütlü grup karar verme yöntemlerinin kapsamlı bir literatür taramasından sonra, bir ışık ve aralık algılama sisteminin etkinleştirme teknolojisinin geliştirilmesi için uzay-metal malzeme seçimini gösteren bir vaka çalışması örneği sunulmaktadır [61].

Aditi Dattatreya Joshi, 2017 yılında yapmış olduğu doktora tezinde, alternatif tasarımlı malzemeler için optimum karar verme stratejilerinin sunulması için geliştirilen bir model sunmuştur [62].

Alaa Momena, 2019 yılında yapmış oldukları doktora tezi, ÇÖGKV metodolojisi olarak kullanılan yaklaşım açısından bu doktora tezi ile yakınlık göstermektedir. Alaa Momena yapmış olduğu çalışmada, Bulanık TOPSIS ve Bulanık COPRAS yöntemleri temelinde, mühendislik malzemeleri seçim uygulamaları için çok ölçütlü grup karar verme ve yöntemlerde pisagor bulanık kümelerinin (pfs) kullanımı üzerine bir yaklaşım modeli sunmuştur [63].

Literatür açısından, gelişme gösteren bir konu olan, malzeme seçiminde bulanık çok ölçütlü grup karar verme modeli önerisi yeni çalışmalarda kullanıma açıktır. Bu konudaki materyal ve metot aşaması bir sonraki bölümde daha açıklayıcı olarak sunulmaktadır.



BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasının en önemli amaçlarından biri literatür analizi sonucunda tespit edilen çok ölçütlü grup karar verme problemi için karar sürecindeki belirsizliği modelleyen, karar vericilerin kendi kriter kümesini kullanmasına izin veren, farklı kaynaklardan gelen farklı biçimlerdeki veriyi işleyebilen, eksik ve/veya ulaşılamayan bilgiyi dikkate alan ve uzlaşma süreci içeren bir model geliştirilmesidir. İlgili modeli iki farklı yöntemi işleyerek, seçim ve sıralama için sonuç kontrolü ve teyidi sağlayacak bir yeni bir yapı kurmak ana gayedir. Bu bilgiler ışığında bu bölümde, yeni bir ÇÖGKV modeli önerilmiştir. Daha sonra önerilen yaklaşım bir örnek üzerinden açıklanmış ve önerilen modelin kritiği yapılmıştır. Önerilen model için öncelikli olarak alternatif ve ölçütlerin belirlenmesi büyük öneme sahiptir. Önerilen model için verilen örnek metal malzeme seçimi ve uygulama sahası raylı sistemlerdeki tren vagon panelleri olduğu için, önceki çalışmalarda başarı göstermiş 7 metal malzeme cinsi, 18 alt kriter 4 ana ölçüt bağlamında bütünleştirilerek 4 uzman görüşüne göre iki farklı yöntemin birlikte kullanıldığı bir model olarak önerilmiştir.

3.1.1. Metal malzeme alternatiflerinin belirlenmesi

Demir-çelik endüstrisi için seçim yapılacak malzeme havuzunda yer alan, önceki dönemde farklı operasyonlarda benzer işlevleri başarıyla göstermiş bulunan 7 farklı malzeme cinsi, alternatif malzeme kaynakları olarak seçilmiştir. Karar verici, uzman görüşleri doğrultusunda, mevcut bulunan alternatifleri, ihtiyaçların karşılanması için, önceden belirlenen ölçütlerinin varlığı ile değerlendirerek, kendisi adına en uygun olan alternatifi, üç aşamalı olarak belirlemektedir [64]. İlk aşama olarak; ölçütlerin tespiti ve bu ölçütlerin birbirlerine göre önem derecelerinin sıralanmasıdır. İkinci aşamada

ise; alternatiflerin bu ölçütleri ne oranda karşıladıkları belirlenerek, bütün ölçütler açısından, her alternatife ait son değerlendirmeye ulaşılmasıdır. Son aşamada ise; en yüksek puan değerine sahip, ilk sıradaki alternatifin tercih edilmesidir.

Malzeme seçimi ölçütleri pek çok zaman, belirsiz bir ortamda karşıtlık gösterebilen, çok sayıda alt kriteri barındırabilen bir karardır. Karar verme süreci; problemin belirlenmesi, buna yönelik amaç, kriter ve alternatiflerin belirlenmesinin sonucunda en iyi alternatifin seçimini içeren bir süreçtir. Bazı ortamlarda belirsizlik fazladır. Bu bağlamda karar alma sürecinde bulanık yaklaşımlardan yararlanmak anlamlı olacaktır. Bu karmaşık sürecin incelemesini ve kontrolünü gerçekleştirmek için Bulanık ÇÖKV yöntemlerinden de yararlanılır. Karar verici, sürece etki eden pek çok faktörü eş zamanlı olarak göz önüne alıp değerlendirilir. Bu faktörler arasında farklı uzman/heyet görüşleri de değerlendirmek söz konusu ise süreç Bulanık ortamda ÇÖGKV yapısında çözüm gerektirir.

3.1.2. Uzman görüşlerinin saptanması ve değerlendirilmesi

Bu çalışmada, uzman görüşleri, seçilecek malzeme alternatiflerinin çoklu kriter altında değerlendirilmesinde bulanık dilsel ifade terimlerinden faydalanarak temsil edilmekte ve tercih yapıları üzerinde işlem yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu bölümde öncelikle, önerilen modelde genel bir bakış sağlanmakta ve farklı tercih biçimlerinin kesin tercih biçimlerine dönüştürülmesi için dönüşüm formülleri sunulmaktadır.

Uzman görüşlerini kararsız bulanık kümeler biçiminde toplamak için çeşitli bulanık birleştirme operatörleri önermiştir. Örnek uygulama olarak ise demir-çelik endüstrisi için raylı sistemlerde vagon panelleri için metal malzeme değerlendirilmesi ve seçilmesi ile ilgili grup karar verme problemi ele alınmıştır [65]. Sektörün alternatif olarak belirlediği yedi metal malzeme alternatifi ve 18 alt kriteri barındıran 4 ana ölçüt bulunmaktadır. Yedi alternatif üzerinde değerlendirmeler yapmak için farklı bölümlerden dört uzmandan oluşan bir komite oluşturulmuş ve uzmanlar alternatifleri kararsız bulanık kümeler ile değerlendirmişlerdir.

Uzman görüşlerini etkili bir şekilde toplamak için farklı değerlendirme formatlarını kullanabilecekleri bir anket tasarlanmıştır. Ayrıca, uzmanlar bilgi eksikliği veya uzmanlık eksikliği nedeniyle bir alt kriter hakkında tercihlerini sunmayabilirler. Bu çalışmada, uzmanlar özellikle alt kriterleri de değerlendirebilecek yetkinlikte alanında profesyonel konularında bağımsız görüş bildiren kişilerden seçilmiştir. Tamamen bu bağlamda uzman görüşleri toplanarak adeta tek bir potada değerlendirilerek sonuca varılmaya çalışılarak bir model önerisi sunulmuştur.

3.2. Yöntem

Çalışmanın yöntemi olarak, verilecek karar dilsel ifadeler temelinde belirsizlik içerdiğinden bulanık mantık temelli olup, farklı görüşleri barındırması ve farklı yapıda ölçütleri çeşitli malzemeler üzerinde değerlendirmeye alması nedeniyle de çok ölçütlü grup karar verme yapısındadır. Bu yapı bütünleşik olarak, “bulanık çok ölçütlü grup karar verme (Bulanık ÇÖGKV)” olarak adlandırılmaktadır. Bu yapı kapsamında pek çok yöntem kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, yöntemlerin diğer yöntemlere nazaran kullanım kolaylığı ve hesaplama süresi elverişliliği gibi sebepler neticesinde Bulanık MULTIMOORA ve Bulanık COPRAS yöntemleri bir arada başlangıç matrisleri ortak ele alınarak kullanım avantajı sağlamakta olup, yöntemler kıyaslandığında ortaya çıkan sonuç açısından yöntem tutarlılığı da gözlenebilmektedir [66]. Yöntem bakımından bu iki yöntem bu aşamada algoritmik bilgi düzeyinde açıklanacak olup bir sonraki aşamada (Bölüm 4) uygulama kapsamında kullanılacaktır.

3.2.1. Bulanık multimoora yöntemi

Oransal analize dayalı çok amaçlı optimizasyon tekniği olan MOORA yöntemi 2006 yılında Brauers and Zavadskas tarafından ortaya çıkarılmıştır. MOORA yöntemi, AHP, TOPSIS, Electre, VIKOR gibi diğer çok ölçütlü karar verme yöntemlerine göre çok yenidir. Tablo 3.1.’de MOORA yönteminin bazı özellikleri bakımından farklı ÇKKV yöntemleri ile kıyaslanmasını göstermektedir.

Tablo 3.1. Çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemlerinin kıyaslanması

ÇÖKV Yöntemleri	Veri Türü	Güvenilirlik	İşlem Miktarı	Basitlik Düzeyi	Hesaplama Zamanlaması
AHP	Karışık	Zayıf	Maksimum	Çok Kritik	Çok Fazla
VIKOR	Nicel	Orta	Orta	Basit	Az
ELECTRE	Karışık	Orta	Orta Kritik	Orta	Fazla
PROMETHEE	Karışık	Orta	Orta	Orta Kritik	Fazla
TOPSIS	Nicel	Orta	Orta	Orta Kritik	Orta
MULTIMOORA	Nicel	İyi	Minimum	Çok Basit	Çok Az

Bu tezde alternatifler değerlendirilirken kullanılan Bulanık MULTIMOORA yönteminin işlem adımları aşağıdaki gibidir;

1. Adım: Üçgensel bulanık sayılar kullanılarak bulanık karar matrisinin oluşturulması.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} [x_{11}^l, x_{11}^m, x_{11}^n] & [x_{12}^l, x_{12}^m, x_{12}^n] & [x_{1n}^l, x_{1n}^m, x_{1n}^n] \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ [x_{m1}^l, x_{m1}^m, x_{m1}^n] & [x_{m2}^l, x_{m2}^m, x_{m2}^n] & [x_{mn}^l, x_{mn}^m, x_{mn}^n] \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Bulanık karar matrisindeki $x_{ij}^l, x_{ij}^m, x_{ij}^n$ değerleri; j. kriter açısından i. alternatif için üçgensel bulanık sayıdaki sırasıyla küçük, orta ve büyük değerleri temsil etmektedir. Bu çalışmada, karar vericiler bulanık karar matrisini oluştururken Tablo 3.2'deki ölçekten faydalanmışlardır.

Tablo 3.2. Alternatifler değerlendirmede kullanılan dilsel değişkenler (Tam Sayılı)

Dilsel İfadeler	Bulanık Üçgensel Sayılar
Çok İyi	(9,10,10)
İyi	(7,9,10)
Orta Üstü	(5,7,9)
Vasat	(3,5,7)
Vasat Altı	(1,3,5)
Zayıf	(0,1,3)
Çok Zayıf	(0,0,1)

2. Adım: Vektör normalizasyonu ve normalize bulanık karar matrisi hesaplanır.

$$\begin{aligned}\tilde{x}_{ij1}^* &= x_{ij1} / \sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij1})^2 + (x_{ij2})^2 + (x_{ij3})^2]} \\ \tilde{x}_{ij}^* &= (\tilde{x}_{ij1}^*, \tilde{x}_{ij2}^*, \tilde{x}_{ij3}^*) = \tilde{x}_{ij2}^* = x_{ij2} / \sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij1})^2 + (x_{ij2})^2 + (x_{ij3})^2]}, \forall i, j. \quad (3.2) \\ \tilde{x}_{ij3}^* &= x_{ij3} / \sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij1})^2 + (x_{ij2})^2 + (x_{ij3})^2]}\end{aligned}$$

3. Adım: Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi hesaplanır.

$$\begin{aligned}v_{ij}^l &= w_j * r_{ij}^l \\ v_{ij}^m &= w_j * r_{ij}^m \\ v_{ij}^n &= w_j * r_{ij}^n\end{aligned} \quad (3.3)$$

4. Adım: Fayda ve maliyet kriterleri bakımından bütün alternatifler için sıralama hesaplanır.

Fayda kriteri için;

$$\begin{aligned}s_i^{+l} &= \sum_{j=1}^n v_{ij}^l \\ \forall s_i^+ &= s_i^{+m} (= \sum_{j=1}^n v_{ij}^m) \quad \text{I } j \in j^{max} \\ s_i^{+n} &= \sum_{j=1}^n v_{ij}^n\end{aligned} \quad (3.4)$$

Maliyet Kriteri İçin;

$$\begin{aligned}s_i^{-l} &= \sum_{j=1}^n v_{ij}^l \\ \forall s_i^- &= s_i^{-m} (= \sum_{j=1}^n v_{ij}^m) \quad \text{I } j \in j^{min} \\ s_i^{-n} &= \sum_{j=1}^n v_{ij}^n\end{aligned} \quad (3.5)$$

5. Adım: Bütün alternatifler için performans puanları hesaplanır. Performans puanları için, ilgili vertex metodolojisi yardımıyla alternatifler için maliyet ve kazanç-fayda değerleri durulaştırılır.

$$S_i(s_i^+, s_i^-) = \sqrt{\frac{1}{3}[(s_i^{+l} + s_i^{-l})^2 + (s_i^{+m} + s_i^{-m})^2 + (s_i^{+n} + s_i^{-n})^2]} \quad (3.6)$$

6.Adım: Performans puanlarına göre alternatifler sıralanır. En yüksek performans puanına sahip olan alternatif tercih edilir.

3.2.2. Bulanık copras yöntemi

Karar problemlerinin doğası gereği bünyesinde barındırdığı belirsizlik, etkin karar almanın önünde engel teşkil etmektedir. Bulanık küme, sayı ve sistemlerin karar alma sürecinde karşılaşılan belirsizliği gidermek üzere çeşitli Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemleri ile bütünleşik olarak kullanıldığı birçok çalışma literatürde kabul görmüştür. COPRAS yönteminde de belirsizlikten doğan etkin karar alamama durumunun üstesinden gelmek üzere bulanık mantık entegrasyonu ile tasarlanan Bulanık COPRAS yöntemi formunda kullanılması mümkündür. Bulanık COPRAS yönteminde bulanık sayılardan oluşan performans değerleri kullanılmaktadır. Karar probleminin niteliği bakımından subjektif değerlendirmeler içerdiği durumlarda etkin karar alınmasına olanak sağlayan Bulanık COPRAS yöntemi dilsel ölçeklerden faydalanmaktadır.

Örneğin malzeme seçimi karar probleminde alternatiflerin maliyet ölçütüne göre değerlendirilmesinde kesin sayılar kullanılması yerine “iyi”, “kötü”, “çok iyi”, “çok kötü” vb. dilsel değerlendirmeler kullanılması kararın daha etkin ve olmasını sağlamaktadır. Bulanık COPRAS yönteminde COPRAS yöntemi adımları temel alınarak bulanık sayılar ile işlem yapılmaktadır. Yöntemin işleyişinde üçgensel ya da yamuksal bulanık sayılar kullanılabilir. Bu tez çalışmasında Bulanık COPRAS yöntemi üçgensel bulanık sayılar ile kullanılacağından yamuksal bulanık sayılar ile işlem süreci adımları ele alınmamıştır. Yamuksal bulanık sayıların kullanıldığı Bulanık COPRAS yöntemi hakkında bilgi edinmek için Nourianfar ve Montazer (2013) çalışmaları incelenebilir. Bulanık COPRAS yönteminde izlenen adımlar aşağıdaki gibidir (Fouladgar vd., 2012):

Adım 1. Bulanık karar matrisinin oluşturulması:

$\tilde{x}_{ij}$: m adet alternatifin ve n adet kriterin yer aldığı bir karar probleminde i . alternatifin j . kritere göre değerlendirilmesinden elde edilen bulanık performans değerini ifade etmektedir. Bu bulanık sayı;

$$\tilde{x}_{ij} = (x_{ij}^l, x_{ij}^m, x_{ij}^n) \quad (3.7)$$

parametrelerinden oluşmaktadır. Burada bulanık performans değerlerinden oluşan karar matrisi aşağıdaki gibidir;

$$\tilde{X} = [\tilde{x}_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.8)$$

Bulanık COPRAS yönteminde karar matrisi oluşturulurken, birden çok karar vericinin olduğu durumda, karar vericilerin kararları tek bir grup kararına dönüştürülmektedir.

Adım 2. Bulanık karar matrisinin durulaştırılması ve karar matrisinin oluşturulması:

Bir önceki adımda elde edilen bulanık karar matrisini oluşturan bulanık sayılar crisp (kesin) sayılara dönüştürülerek karar matrisi hesaplanan kesin değerlerden hareketle oluşturulur. Bulanık sayıların dönüştürülmesinde basitliği ve işlem kolaylığı açısından sıklıkla “Best Non-fuzzy Performance” (BNP) faydalandığı görülmektedir. Bulanık COPRAS yöntemi de bulanık sayıları kesin sayılara dönüştürmede BNP yönteminden faydalanmaktadır. BNP yöntemi ile dönüştürme işlemi,

$$BNP_i = \frac{(x_{ij}^n - x_{ij}^l) + (x_{ij}^m - x_{ij}^l)}{3} + x_{ij}^l \quad (3.9)$$

eşitliği kullanılarak yapılmaktadır. Kesin sayılara dönüştürülen x_{ij} performans değerleri ile oluşturulan X karar matrisi,

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i=1, 2, \dots, m \quad j=1, 2, \dots, n \quad (3.10)$$

eşitliği ile gösterilir.

Adım 3. Normalizasyon ve normalize karar matrisinin oluşturulması:

Bulanık COPRAS yönteminde durulaştırma sonucu elde edilen ve de karar matrisini oluşturan x_{ij} performans değerleri,

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (3.11)$$

eşitliği kullanılarak $\tilde{x}_{ij}$ normalize performans değerlerine dönüştürülür.

Adım 4. Ağırlıklandırma ve ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması:

X normalize karar matrisini oluşturan x_{ij} *ağırlıklandırılmış* normalize performans değerleri,

$$\tilde{x}_{ij} = \sum_{k=1}^K \tilde{w}_k \tilde{x}_{ij}^k / \sum_{k=1}^K \tilde{w}_k, \quad (3.12)$$

eşitliği kullanılarak $\tilde{x}_{ij}$ ağırlıklı normalize performans değerlerine dönüştürülür.

Adım 5. Fayda ve maliyet ölçütlerini baz alan toplam ağırlıklı normalize değerlerin hesaplanması:

Kriterin fayda ya da maliyet özelliği göstermesi bakımından ölçüt bazlı toplam ağırlıklı normalize değerler, S_{+i} fayda ölçütleri toplamını, S_{-i} ise maliyet ölçütleri toplamını göstermek üzere,

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^k \tilde{x}_{+ij} \quad i=1, 2, \dots, m \quad j=1, 2, \dots, k \quad (3.13)$$

$$S_{-i} = \sum_{j=k+1}^n \tilde{x}_{-ij} \quad i=1, 2, \dots, m \quad j=1, 2, \dots, k \quad (3.14)$$

eşitlikleri kullanılarak hesaplanır.

Adım 6. Göreceli önem değerlerinin hesaplanması

S_{+i} ve S_{-i} parametreleri kullanılarak hesaplanacak Q_i değeri i . alternatifin göreceli önem değerini göstermek üzere,

$$Q_i = S_{+i} \frac{S_{-min} * \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} * \sum_{i=1}^m (\frac{S_{-min}}{S_{-i}})} \quad i=1, 2, \dots, m \quad (3.15)$$

eşitliği kullanılarak belirlenir. Eşitlikte yer alan $\min S_{-min}$ parametresi, S_{-i} değerlerinden en küçük (minimum) olanını ifade etmektedir.

Adım 7. Performans indeksi değerlerinin hesaplanması ve alternatiflerin değerlendirilmesi

P_i , i . alternatifin performans indeksi değerini göstermek üzere,

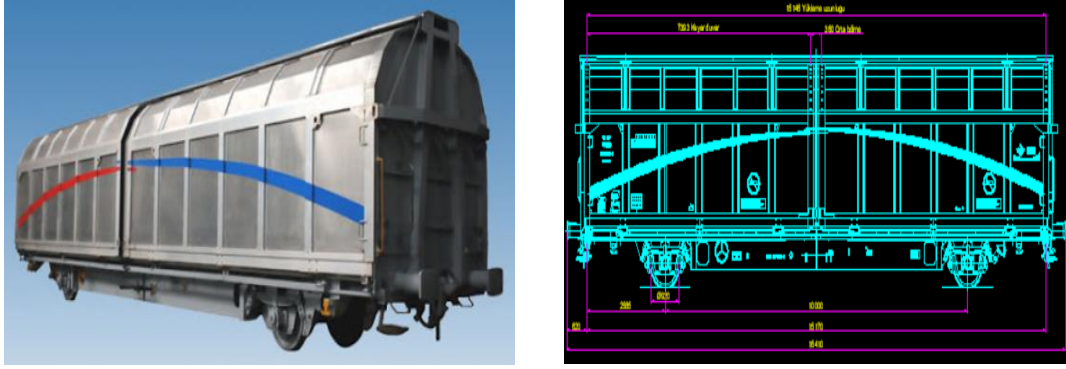
$$P_i = \left[\frac{Q_i}{Q_{max}} \right] * 100\% \quad i=1, 2, \dots, m \quad (3.16)$$

Eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır. Tüm hesaplama adımlarının ardından elde edilen P_i değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak alternatiflerin tercih sıralaması elde edilir.

BÖLÜM 4. UYGULAMA

4.1. Bulanık Ortamda Metal Malzeme Seçimi İçin Başlangıç Matrisinin Oluşturulması

Metal malzeme seçimi ve tasarımı dikkate alınarak yapılan uygulama çalışmasında raylı sistemlerden bir örnek alınması oldukça öneme sahiptir. Çünkü demir-çelik yoğun bir ulaştırma sistemi olan raylı sistemler için malzemenin karakteristiği, işlenebilirliği, çevresel koordinasyonu ve maliyeti dikkate değer ana unsurlardır. Bununla birlikte, malzemeler genel olarak mekanik, kimyasal ve fiziksel olarak sınıflandırılabilir, mukavemet, sertlik, korozyon direnci, yoğunluk, ısı iletkenliği vb. gibi istenen özel özellikleri vurgulayarak bunları uygulamaya bağlar. “Demiryolu Vagonları ve Bileşenleri” ile ilgili uygulamanın malzeme bilgisi önemlidir (Bkz. Şekil 4.1), burada ayrıca seçilen malzemelerin imalat uygunluğu üzerinde, özellikle de çalışma ortamı ve ölçülendirme açısından büyük bir etkisi söz konusudur. Bu nedenle, bu uygulamada belirtilen model yaklaşımlarını geliştirirken gerçek dünyadaki uygulamalar genel uygulamalar olarak kabul edilse de, gerçek vaka çalışmalarına dayanan bir entegre uygulama gelecekte malzeme seçimini daha da hassaslaştırmaya ve önemli detayları vurgulamaya yardımcı olacaktır [22].

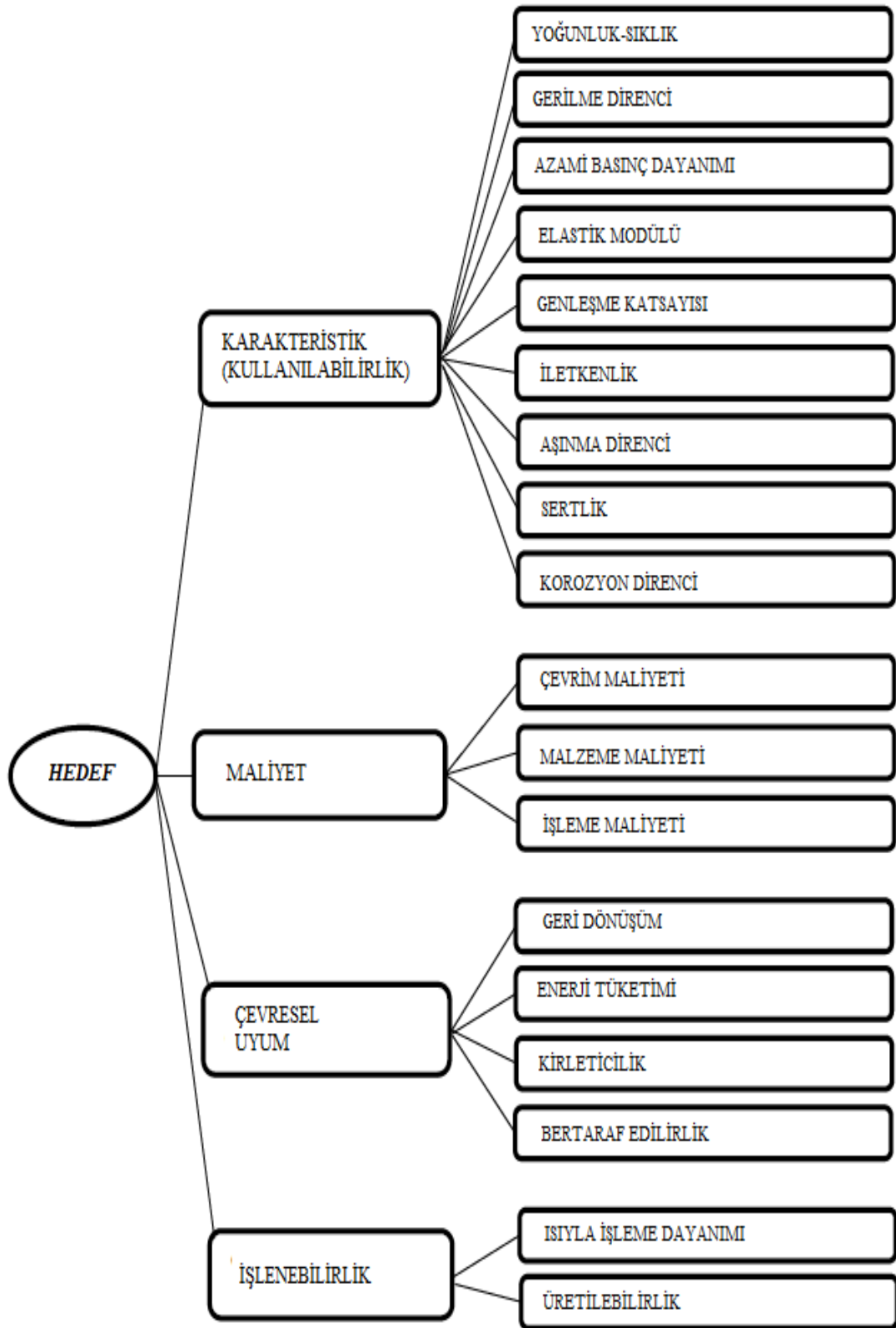


Şekil 4.1. Kapalı bir tren vagonunun boyutları ve bileşenleri (Tüdemsaş-Alüminyum Kayar Duvarlı Vagon).

Bir tren vagonu panelinin ağırlığı öncelikle malzemenin özelliklerine bağlıdır, vagonlar arasındaki ve her vagondaki ağırlık dengesi güvenlik için çok önemlidir çünkü tren hızlı hareket eder. Bir trenin ağırlık dengesi göz önünde bulundurulmazsa, ciddi kazalar veya demiryolu bozulmaları meydana gelebilir [60]. Raylı sistemlerdeki bir malzeme seçim problemi, bulanık çok ölçütlü grup karar verme modeli olarak Bulanık COPRAS ve Bulanık MULTIMOORA yöntemleri kullanılarak açıklanacaktır. İşletme burada, en iyi malzeme türünü tedarik etmek üzere, ilgili departmanın sipariş edilecek malzeme ve süreç planlama konusunda uzman bir grup oluşturmuştur. Grup, sırasıyla dört karar vericiden oluşur; (KV1, KV2, KV3 ve KV4). Uzmanlar, yedi hammaddeden (Al-1: Alüminyum, Al-2: Alüminyum Alaşımları, Al-3: Çelik (Düşük Karbonlu), Al-4: Titanyum (Ti) Alaşımları, Al-5: Çinko (Zn) Alaşımları, Al-6: Nikel (Ni) Alaşımları ve Al-7: Bakır (Cu) Alaşımları) trenlerin vagon panelinin üretiminde kullanılmak üzere faydalanılabilir olduğunu düşünmektedirler. Komite aşağıdaki dört ana kriteri dikkate almaya karar vermiştir:

- Karakteristik Özellikler (C-1)
- Maliyet (C-2)
- Çevresel Koordinasyon (C-3)
- İşlenebilirlik (C-4)

Bu dört ana kriter oluşturulurken ayrıca 18 alt kriter dikkate alınması beklenerek, Şekil 4.2.'de gösterildiği üzere dört ana kriter içerisinde toplanmışlardır.



Şekil 4.2. Malzeme seçimi için genel amaç, ana kriterler ve alt kriterler [17].

İlgili kriterler bulanık sayılara dönüştürülmek üzere, Tablo 4.1.'de gösterildiği gibi yedi seviyeli ölçek kullanılarak, dilsel ifadelerle belirtilmektedir.

Tablo 4.1. Değerlendirmek için yedili dilsel ifade

DİLSEL İFADELER	BULANIK SAYILAR
En düşük (L)	(0, 0, 0.17)
Oldukça düşük (QL)	(0, 0.17, 0.33)
Orta düşük (ML)	(0.17, 0.33, 0.50)
Orta (M)	(0.33, 0.50, 0.67)
Orta yüksek (MH)	(0.50, 0.67, 0.83)
Oldukça yüksek (QH)	(0.67, 0.83, 1)
En yüksek (H)	(0.83, 1, 1)

Daha spesifik olarak, bu kriterler Tablo 4.1.'de gösterildiği gibi yedi puanlık skalaya ait dilsel değişkenlerle ifade edilir. Burada, tüm kriterler, dilsel olarak net ifadelerden yoksun ve sübjektif iken bulanık sayılara dönüştürüldüğünde, ilgili durum matematik diliyle anlatılır hale gelir. Bulanıklık diğer bir başka ifadeyle belirsizlik, peşi sıra yapılan işlemlerle net kararlara varan kararların oluşmasına imkân sağlar.

Tablo 4.2. Uzman görüşleri ile oluşturulmuş karar matrisi

		C1: KARAKTERİ STİK	C2: MALİYE T	C3: ÇEVRESEL KOORDİNAS YON	C4: İŞLENEBİLİR LİK
KARAR VERİCİ 1	A1: ALÜMİNYUM	H	MH	MH	MH
	A2: ALÜMİNYUM ALAŞIM	H	H	MH	H
	A3: ÇELİK (DÜŞÜK KARBON)	QH	QH	MH	MH
	A4: TİTANYUM (Ti) ALAŞIM	ML	ML	H	M
	A5: ÇİNKO (Zn) ALAŞIM	ML	L	M	L
	A6: NİKEL (Ni) ALAŞIM	L	QL	L	L
	A7: BAKIR (Cu) ALAŞIM	ML	M	ML	QL
KARAR VERİCİ 2	A1: ALÜMİNYUM	QH	MH	H	QH
	A2: ALÜMİNYUM ALAŞIM	H	QH	QH	QH
	A3: ÇELİK (DÜŞÜK KARBON)	QH	H	MH	M
	A4: TİTANYUM (Ti) ALAŞIM	MH	M	QH	M
	A5: ÇİNKO (Zn) ALAŞIM	L	ML	QL	QL
	A6: NİKEL (Ni) ALAŞIM	L	L	ML	L
	A7: BAKIR (Cu) ALAŞIM	M	QL	MH	ML
KARAR VERİCİ 3	A1: ALÜMİNYUM	MH	QH	MH	MH
	A2: ALÜMİNYUM ALAŞIM	H	H	QH	H
	A3: ÇELİK (DÜŞÜK KARBON)	M	H	MH	MH
	A4: TİTANYUM (Ti) ALAŞIM	M	QL	QH	M
	A5: ÇİNKO (Zn) ALAŞIM	QL	M	QL	L
	A6: NİKEL (Ni) ALAŞIM	L	QL	L	QL
	A7: BAKIR (Cu) ALAŞIM	M	ML	MH	ML
KARAR VERİCİ 4	A1: ALÜMİNYUM	MH	M	QH	QH
	A2: ALÜMİNYUM ALAŞIM	QH	QH	MH	QH
	A3: ÇELİK (DÜŞÜK KARBON)	MH	H	QH	MH
	A4: TİTANYUM (Ti) ALAŞIM	M	M	MH	MH
	A5: ÇİNKO (Zn) ALAŞIM	M	L	L	QL
	A6: NİKEL (Ni) ALAŞIM	L	L	QL	L
	A7: BAKIR (Cu) ALAŞIM	ML	M	M	M

Uzmanlar karar verici için görüş sunarken, her biri Tablo 4.2.'deki gibi dört ana kriteri; diğer 18 alt kriteri göz önünde bulundurarak görüşlerini belirtmişlerdir. Böylece belirlenen tüm alternatifleri değerlendirmişlerdir.

Tablo 4.3. Dört karar verici uzman görüşünün üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmesi

	C1	C2	C3	C4
KV1	A1 (0.83, 1, 1)	(0.50, 0.67, 0.83)	(0.50, 0.67, 0.83)	(0.50, 0.67, 0.83)
	A2 (0.83, 1, 1)	(0.83, 1, 1)	(0.50, 0.67, 0.83)	(0.83, 1, 1)
	A3 (0.67, 0.83, 1)	(0.67, 0.83, 1)	(0.50, 0.67, 0.83)	(0.50, 0.67, 0.83)
	A4 (0.17, 0.33, 0.50)	(0.17, 0.33, 0.50)	(0.83, 1, 1)	(0.33, 0.50, 0.67)
	A5 (0.17, 0.33, 0.50)	(0, 0, 0.17)	(0.33, 0.50, 0.67)	(0, 0, 0.17)
	A6 (0, 0, 0.17)	(0, 0.17, 0.33)	(0, 0, 0.17)	(0, 0, 0.17)
	A7 (0.17, 0.33, 0.50)	(0.33, 0.50, 0.67)	(0.17, 0.33, 0.50)	(0, 0.17, 0.33)
KV2	A1 (0.67, 0.83, 1)	(0.50, 0.67, 0.83)	(0.83, 1, 1)	(0.67, 0.83, 1)
	A2 (0.83, 1, 1)	(0.67, 0.83, 1)	(0.67, 0.83, 1)	(0.67, 0.83, 1)
	A3 (0.67, 0.83, 1)	(0.83, 1, 1)	(0.50, 0.67, 0.83)	(0.33, 0.50, 0.67)
	A4 (0.50, 0.67, 0.83)	(0.33, 0.50, 0.67)	(0.67, 0.83, 1)	(0.33, 0.50, 0.67)
	A5 (0, 0, 0.17)	(0.17, 0.33, 0.50)	(0, 0.17, 0.33)	(0, 0.17, 0.33)
	A6 (0, 0, 0.17)	(0, 0, 0.17)	(0.17, 0.33, 0.50)	(0, 0, 0.17)
	A7 (0.33, 0.50, 0.67)	(0, 0.17, 0.33)	(0.50, 0.67, 0.83)	(0.17, 0.33, 0.50)
KV3	A1 (0.50, 0.67, 0.83)	(0.67, 0.83, 1)	(0.50, 0.67, 0.83)	(0.50, 0.67, 0.83)
	A2 (0.83, 1, 1)	(0.83, 1, 1)	(0.67, 0.83, 1)	(0.83, 1, 1)
	A3 (0.33, 0.50, 0.67)	(0.83, 1, 1)	(0.50, 0.67, 0.83)	(0.50, 0.67, 0.83)
	A4 (0.33, 0.50, 0.67)	(0, 0.17, 0.33)	(0.67, 0.83, 1)	(0.33, 0.50, 0.67)
	A5 (0, 0.17, 0.33)	(0.33, 0.50, 0.67)	(0, 0.17, 0.33)	(0, 0, 0.17)
	A6 (0, 0, 0.17)	(0, 0.17, 0.33)	(0, 0, 0.17)	(0, 0.17, 0.33)
	A7 (0.33, 0.50, 0.67)	(0.17, 0.33, 0.50)	(0.50, 0.67, 0.83)	(0.17, 0.33, 0.50)
KV4	A1 (0.50, 0.67, 0.83)	(0.33, 0.50, 0.67)	(0.67, 0.83, 1)	(0.67, 0.83, 1)
	A2 (0.67, 0.83, 1)	(0.67, 0.83, 1)	(0.50, 0.67, 0.83)	(0.67, 0.83, 1)
	A3 (0.50, 0.67, 0.83)	(0.83, 1, 1)	(0.67, 0.83, 1)	(0.50, 0.67, 0.83)
	A4 (0.33, 0.50, 0.67)	(0.33, 0.50, 0.67)	(0.50, 0.67, 0.83)	(0.50, 0.67, 0.83)
	A5 (0.33, 0.50, 0.67)	(0, 0, 0.17)	(0, 0, 0.17)	(0, 0.17, 0.33)
	A6 (0, 0, 0.17)	(0, 0, 0.17)	(0, 0.17, 0.33)	(0, 0, 0.17)
	A7 (0.17, 0.33, 0.50)	(0.33, 0.50, 0.67)	(0.33, 0.50, 0.67)	(0.33, 0.50, 0.67)

Burada ise değerlendirmeye bağlı olarak, (Tablo 4.3.'te), ilgili görüş derecelendirmelerinin dilsel ifadelerle belirtilmesi sonrasında, Tablo 4.1.'de açıklanan bulanık sayılara çevrilmesinin, sonuçları sunulmaktadır.

İlgili aşama sonrasında tablo verileri üzerinde, “bulanık ortalama ağırlıklandırma operatörü” (FWA) bütün ölçütler için eş değer olarak uygulamaya konulmuştur. “ $\tilde{w}_k$ ”

ile ifade edilen bu önem katsayıları ile $\tilde{w}_k = (1/4, 1/4, 1/4, 1/4)$ şeklindeki değerlerle çarpılarak uygulanmıştır.

Tablo 4.4. Her bir alternatife ait toplanmış derecelendirmeler

	C_1	C_2	C_3	C_4
A1	(0.63,0.79,0.92)	(0.5,0.66,0.84)	(0.63,0.79,0.92)	(0.59,0.75,0.92)
A2	(0.79,0.96,1)	(0.75, 0.92, 1)	(0.58,0.75,0.92)	(0.75,0.92,1)
A3	(0.54,0.71,0.88)	(0.79, 0.96, 1)	(0.54,0.71,0.88)	(0.46, 0.63, 0.80)
A4	(0.33, 0.50, 0.67)	(0.21,0.38,0.54)	(0.66,0.84,0.96)	(0.38,0.54,0.71)
A5	(0.13,0.25,0.42)	(0.13,0.21,0.38)	(0.09,0.21,0.38)	(0,0.09,0.25)
A6	(0,0,0.16)	(0,0.09,0.25)	(0.06,0.13,0.29)	(0,0.06,0.21)
A7	(0.25,0.42,0.58)	(0.21,0.38,0.54)	(0.25,0.54,0.71)	(0.16,0.33,0.50)

Dolayısıyla karar alma komitesinin ölçütler konusunda homojen yaklaşım gösterdiği kabul edilir. İlgili ağırlıklandırılmış değerler yöntem dahilinde bir araya getirilip bütünleştirme uygulanır. Bu işlemsel sürece ait oluşan sonuçlar Tablo 4.4.'te verilmektedir.

Yukarıda dört adet tablo ile belirtilen yapı, bu haliyle hem MULTIMOORA ve hem de COPRAS yöntemleri için kullanıma başlamadan önceki, başlangıç matrisini ortak kullanılabilir halde sunmuştur. Çalışmanın kilit noktası buradadır. Böylece her iki yöntem için uzman görüşleri toplanmış ve yöntemlerin işlemsel nihai sonuçlarının karşılaştırmasına imkan verir hale gelmiştir. Bu şekliyle önerilen yapı yeni bir model önerisi olarak dikkate alınmalıdır.

4.2. Metal Malzeme Seçimi Probleminin Bulanık MULTIMOORA ile Modellenmesi

Seçilecek malzemeye ait görüşlerin derecelendirilmesiyle beraber ilgili veri setindeki her bir veri normalleştirme işlemine tabi tutulur. Buradan hareketle maksimum objektif referans noktaları Tablo 4.5.'da belirtildiği üzere her kriter için belirlenir.

Tablo 4.5. Her bir alternatif için normalleştirilmiş toplu derecelendirmeler ve maksimum objektif referans noktaları

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A1	(0.23, 0.29, 0.33)	(0.18, 0.24, 0.30)	(0.22, 0.27, 0.32)	(0.23, 0.29, 0.35)
A2	(0.29, 0.35, 0.36)	(0.26, 0.33, 0.36)	(0.20, 0.26, 0.32)	(0.29, 0.35, 0.38)
A3	(0.20, 0.26, 0.32)	(0.28, 0.35, 0.36)	(0.19, 0.24, 0.30)	(0.18, 0.24, 0.31)
A4	(0.12, 0.18, 0.24)	(0.08, 0.14, 0.19)	(0.23, 0.29, 0.33)	(0.15, 0.21, 0.27)
A5	(0.05, 0.09, 0.15)	(0.05, 0.08, 0.14)	(0.03, 0.07, 0.13)	(0, 0.03, 0.10)
A6	(0, 0, 0.06)	(0, 0.03, 0.09)	(0.02, 0.04, 0.10)	(0, 0.02, 0.08)
A7	(0.09, 0.15, 0.21)	(0.08, 0.14, 0.19)	(0.09, 0.19, 0.24)	(0.06, 0.13, 0.19)
<u>R</u>	(0.29, 0.35, 0.36)	(0.28, 0.35, 0.36)	(0.23, 0.29, 0.33)	(0.29, 0.35, 0.38)

Normalleştirilmiş toplu derecelendirmeler bulanıklıktan BNP (Best Non-fuzzy Performance) formülasyonu ile durulaştırılarak “crisp” kesin-net değerlere dönüştürülür. Elde edilen değerler Tablo 4.6.’da gösterilmektedir. Burada belirlenen değerlerden her bir alternatife ait veri değeri çıkarılır. Bu fark değerleri(sapmalar) üzerinde her bir alternatife ait maksimum olan değer gösterilir. Bu sapma değerleri içerisinde en küçük olan değer, istenen nitelikteki malzeme yapısını diğer tüm malzemelere nazaran sunmaktadır. Bu şekilde en küçüktan en büyüğe doğru yapılacak sıralama ile tercih sıralaması da ortaya çıkartılabilir. Buna göre yapılacak öncelikli malzeme tercihi “A-2” alternatifi olarak belirtilen “alüminyum alaşım” yapıli malzemedir.

Tablo 4.6. Bulanık Referans Noktası Yaklaşımı

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	MAKSİMUM SAPMA MİKTARI	SIRA
A1	0.0495	0.09	0.0137	0.0522	0.09	2
A2	0	0.0133	0.0241	0	0.0241	1
A3	0.0748	0	0.0138	0.0992	0.0992	3
A4	0.1520	0.1944	0	0.1323	0.1944	4
A5	0.2353	0.2436	0.1805	0.2966	0.2966	6
A6	0.3124	0.2892	0.198	0.3055	0.3124	7
A7	0.1809	0.1944	0.0862	0.2138	0.2138	5

MULTIMOORA yönteminin alt yapısını oluşturan üç yöntemden bulanık referans noktası yaklaşımı dışında, bulanık oran sistemi ve bulanık çarpım formu alt yöntemlerinin de Tablo 4.7.’de belirtildiği üzere, aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Bu durum uygulanan çözümün ve verilerinin tam tutarlı bir yapı gösterdiği sonucuna varmamızı sağlamaktadır.

Tablo 4.7. Bulanık oran sistemi ve bulanık çarpım formu

BULANIK ORAN SİSTEMİ				BULANIK ÇARPIM FORMU			
yi		BNP _i	SIRA			BNP _i	SIRA
A1	(0.851, 1.085, 1.302)	1.0790	2	(0.00201, 0.005356, 0.011137)		0.006167	2
A2	(1.032, 1.287, 1.421)	1.2470	1	(0.00426, 0.010421, 0.01579)		0.010157	1
A3	(0.837, 1.092, 1.288)	1.0725	3	(0.001791, 0.005299, 0.010633)		0.005908	3
A4	(0.54, 0.783, 1.022)	0.7815	4	(0.000262, 0.00132, 0.003995)		0.001859	4
A5	(0.125, 0.273, 0.515)	0.3044	6	(0, 0.000017, 0.00026)		0.000092	6
A6	(0.021, 0.1, 0.328)	0.1497	7	(0, 0, 0.000042)		0.000014	7
A7	(0.313, 0.601, 0.84)	0.5849	5	(0.000036, 0.000488, 0.001908)		0.000811	5

Yöntem kendi içerisinde alt yöntemler ile sonuca gitmektedir. Bu alt yöntemlerin oluşturmasının nedeni ortaya çıkan sonuçların tutarlı olup olmadığını saptamamıza olanak sağlaması içindir. Burada alt yöntemler tek başlarına kullanılacağı gibi birlikte değerlendirildiğinde karar vericinin tercihinin netleştirmesinde karar vericiye destek görevi görmektedir.

4.3. Metal Malzeme Seçimi Probleminin Bulanık COPRAS ile Modellenmesi

Bu çalışma için toplanan derecelendirmelerin net değerini belirlemek için BNP denklemi kullanıldı. Böylece bulanıklıktan arındırma yapılarak, Tablo 4.8. 'deki gibi her bir veri için normalizasyon sağlanmıştır.

Tablo 4.8. BNP ile Bulanıklıktan Arındırma Sonrası Her Alternatif için Veri Normalizasyonu

	C-1	C-2	C-3	C-4
A-1	0,780	0,667	0,780	0,753
A-2	0,917	0,890	0,750	0,890
A-3	0,710	0,917	0,710	0,630
A-4	0,497	0,377	0,820	0,543
A-5	0,267	0,240	0,227	0,113
A-6	0,053	0,113	0,160	0,090
A-7	0,417	0,377	0,500	0,330

Önceden tanımlanmış olan bu veri normalizasyonu göz önüne alındığında, her bir alternatifin ağırlıklarının hesaplanması yapılmıştır. Dolayısıyla, normalize edilmiş veriler ağırlıklandırılarak, alternatifler için ağırlıklı normalize değişim tablosu ortaya çıkarılmış olup. Tablo 4.9'daki gibi derecelendirilmiştir.

Tablo 4.9. Ağırlıklı normalize değişim matrisi

	(MAX.)	(MIN.)	(MAX.)	(MAX.)
	C-1	C-2	C-3	C-4
A-1	0,214	0,186	0,198	0,225
A-2	0,252	0,249	0,190	0,266
A-3	0,195	0,256	0,180	0,188
A-4	0,136	0,105	0,208	0,162
A-5	0,073	0,067	0,057	0,034
A-6	0,015	0,032	0,041	0,027
A-7	0,114	0,105	0,127	0,099

Alternatiflere ait veriler bu aşamada, Bulanık COPRAS yöntemi içerisindeki denklemler vasıtasıyla değerlendirilerek, Tablo 4.10.'daki gibi hesaplama ve ardından uygunluk niteliklerine göre sıralanır.

Tablo 4.10. Bulanık COPRAS'a göre sıralama ve ilgili sırayı hesaplamak için bulunan toplam S_{+i} , S_{-i} , Q_i , P_i değerleri

					BULANIK COPRAS
	S_{+i}	S_{-i}	Q_i	P_i	SIRA
A-1	0,637	0,186	0,705	0,941	2
A-2	0,708	0,249	0,749	1,000	1
A-3	0,563	0,256	0,591	0,789	3
A-4	0,506	0,105	0,544	0,726	4
A-5	0,165	0,067	0,203	0,271	6
A-6	0,082	0,032	0,137	0,183	7
A-7	0,340	0,105	0,352	0,470	5

Bu yöntem sonucunda da, ikinci alternatif olan (A-2); asıl ismi ile “alüminyum alaşım” ile elde edilerek kullanıma sunulan malzeme, en uygun seçenek olarak kabul edilirken; altıncı alternatif olan (A-6) diğer ismi ile “nikel alaşım” ile elde edilen malzeme, en uygun olmayan alternatiftir. Bu nedenle, işlem için ikinci alternatif (A-2) seçilmelidir.

Böylece bu çözümler sonucunda, edinilen sonuçlar karşılaştırma imkânı sağlamakla beraber tercihler uzman görüşleri doğrultusunda, eleştirel bir şekilde açıklanmaktadır. İlgili bu yöntemler, karar almayı desteklemek için gerçek hayat problemlerinde kullanılabilir olarak başarıyla denenebilir ve uygulanabilir.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Malzeme seçimi, herhangi bir kuruluştaki malzeme yönetimi politikasının önemli bir parçasıdır. Çoklu mevcudiyette en uygun materyali seçmek, tipik birçok ölçütlü karar verme ÇÖKV problemi. Bu çalışmada referans ölçüm yöntemlerinin yanı sıra, grup değer ölçümünü de kapsayacak şekilde seçim yöntemleri uygulanmıştır. İlgili ÇÖGKV yöntemi, bulanık ağırlıklı ortalama alma FWA operatörü kullanılarak grup karar verme süreciyle başa çıkmak için kullanılmıştır. Bir malzeme seçimi problemi, grup seçimi için grup karar alma prosedürünü göstermektedir. İşletme bu prosedürü, öncelikle vagon paneli üretmek için yedi malzeme tipinden en iyi alternatifini seçmek için dört karar alıcıdan oluşan bir yürütme komitesi oluşturarak sağlamıştır. Komite, çok sayıda alt kriteri, dört nitel ana kriter haline getirerek dikkate almaya karar vermiştir. Mevcut modelin bir sonucu olarak "alüminyum alaşımları", daha hafif tren vagonları için en iyi malzemeler olarak bulunmuştur. Değerlendirmek üzere seçilen malzeme cinsleri, önceki konunun uzmanı yazarlar tarafından da, yapmış oldukları çalışmaların sonucunda elde ettikleri sonuçlarla da neredeyse örtüşmektedir. Bu da grup karar verme süreçleri için uygulanan bu çalışmadaki yöntemlerin kullanışlılığını ifade etmektedir.

Model önerisinin iki temel yöntemi içerisindeki MULTIMOORA yönteminin farklı bölümleri, yani Bulanık Oran Sistemi, Bulanık Referans Noktası ve Bulanık Çok Çarpım Formu ile sağlanan sonuçlar diğer yöntem olarak kullanılan COPRAS yöntemi ile eşdeğer sonuçlar sağlayıcı olarak karşımıza çıkmaktadır. Uygulamada başlangıç temel işlemler ortak düzeyde ilerlerken ağırlıklı normalizasyon işlemleri sonrasında yöntemlerin kendine özgü algoritmik yapısında dallanmıştır. Bu nedenle, Bulanık MULTIMOORA ve Bulanık COPRAS yöntemleri temelde, materyal seçimi olarak stratejik kararlar verirken, bir arada değerlendirmede faydalı yöntemler olduğu ileri sürülebilir.

Önerilen modelin çok çeşitli karar alma uygulamalarında kullanılması beklenmektedir. Ayrıca, karar verme sürecinin doğruluğunu mühendislik tasarımcısının becerisine ve geçmiş deneyimine bağlı kılar. "Demiryolu Vagonları ve Bileşenleri" ile ilgili uygulama önemlidir, çünkü özellikle çalışma ortamına ilişkin olarak malzemelerin uygunluğu üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Gelecekte, mühendislik tasarım problemlerinin doğasına daha fazla dayanan bulanık veya bulanık olmayan ortamda karar alma modelleri geliştirilebiliyorsa, malzeme mühendisleri ve tasarımcıları için yararlı olacaktır. Verilen örnek ile Bulanık MULTIMOORA ve Bulanık COPRAS uygulanarak malzeme ihtiyaç planlamasının iyileştirilmesi için olanaklar ortaya koymuştur. Bununla birlikte, hem farklı toplama operatörlerinin uygulanmasını hem de sezgisel bulanık sayıların uygulanmasını tanıtarak yöntemin genişletilmesi için daha ileri çalışmalar yararlı olabilir. Bu nedenle çalışmada, genellikle tasarımın erken safhasında gerekli olan metal malzeme tanımlaması ve akış aşağı tasarım safhalarında gerekli olan malzeme seçimi ile ilgilenmiştir. Malzeme seçimi, konseptten gerçekleştirmeye kadar üretilen ürünler için tüm tasarım sürecinde önemli bir rol oynamaktadır.

Öte yandan, bakır ve nikel alaşımlar vagon duvarları için aday malzemeler olarak daha kötü çözümler vermektedir, çünkü çelikten bile daha ağırdırlar. [6-8]. Buna ek olarak, titanyum alaşımları ortada yer alır, çelikten daha hafif fakat daha ağır alüminyum alaşımlarıdır ve hem çelik hem de alüminyum alaşımları için daha pahalı malzemelerdir. Bu amaçla, tasarım görevi genellikle sonlu bir malzeme kümesinin özelliklerini karşılaştırmaya ve bu sonlu kümeden en iyi olanları, yani malzeme seçimini seçmeye odaklanır.

Malzeme seçimi alanındaki çoğu ÇÖGKV çalışması, daha küçük değerlerin her zaman tercih edildiği maliyet kriterleri üzerinde yoğunlaşmıştır ve daha yüksek değerleri istenen sıralama ve optimal malzemenin seçimi olan mühendislik kriterleri mühendislik tasarım sürecinde önemli bir aşamadır. Bununla birlikte, malzeme seçiminde sıralama için önerilen yöntemlerin çoğu maliyet ve fayda kriterlerine odaklanma eğilimindedir.

Demiryolu Vagonları ve Bileşenleri' ile ilgili uygulama dikkate değerdir, çünkü özellikle çalışma ortamına ilişkin olarak malzemelerin uygunluğu konusunda büyük bir rehberliğe sahiptir. Bu nedenle, bulanık ortamdaki yaklaşımlar geliştirilirken gerçek dünya uygulamaları genel olarak ele alınsa da, gerçek vaka çalışmalarına dayanan bir doğrulama programı gelecekteki kalkınma için yönlerin düzeltilmesine ve vurgulanmasına yardımcı olacaktır.

Bu çalışma, demiryolu taşımacılığı sistemlerinde Bulanık MULTIMOORA ve Bulanık COPRAS'ı dilsel akıl yürütme için grup kararları altında genişletmeyi amaçlamaktadır. Bu genişletilmiş yöntem, bir malzeme seçim problemini çözmek için uygulanmıştır. Çok özellikli grup karar verme süreci oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir, bu nedenle çözümlerin kolaylaştırılması gerekliliği avantajlıdır. Bu konuda, Bulanık MULTIMOORA ve Bulanık COPRAS yöntemlerini kullanarak grup karar vermenin, Bulanık Grup Karar Verme Yöntemi BGKVY basitliği ve niceliksel bilgi türü bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Karande, P., Chakraborty, S., Application Of Multi-Objective Optimization On The Basis Of Ratio Analysis MOORA. Method For Materials Selection. Materials and Design, 37:317–324, 2012.
- [2] Jahan, A., Ismail, M., Mustapha, F., Sapuan, S., Material selection based on ordinal data. Materials and Design, 31: 3180–7, 2010.
- [3] Brauers, W., Zavadskas, E., Peldschus, F., Turskis, Z., Multiobjective Decision-Making For Road Design. Transport, 233., 183–193, 2008.
- [4] Bekar, E., Cakmakci, M., Kahraman, C., Fuzzy COPRAS method for performance measurement in total productive maintenance: a comparative analysis, Journal of Business Economics and Management, 17:5, 663-684, DOI:10.3846/16111699.2016.1202314, 2016.
- [5] Fathi, M., Amereh, L., Maleki, M., Combining Fuzzy AHP-Fuzzy COPRAS Model for Personnel Selection: A Case Study, Global Journal of Management Studies and Researches, 41. 2, 1-12: ISSN: 2345-6086, 2017.
- [6] Noh, D., Kim, B., Cho, H., Park, J., A Multi-Leg Load-Planning Algorithm For A High-Speed Freight Train, International Journal of Industrial Engineering, 233., 183-194, 2016.
- [7] Beycioğlu, A., Başıyigit, B., Rule-Based Mamdani-Type Fuzzy Logic Approach to Estimate Compressive Strength of Lightweight Pumice Concrete, Acta Physica Polonica A, 128:2-B, B-424, 2015.
- [8] Jahan, A., Bahraminasab, M., Edwards, K., A target-based normalization technique for materials selection. Materials and Design, 35: 647–654, <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2011.09.005>, 2012.
- [9] Uğur, L., Baykan, U., A Model Proposal for Wall Material Selection Decisions by Using Analytic Hierarchy Process AHP., Acta Physica Polonica A, 132:3, 577-579, 2017.
- [10] Jahan, A., Ismail, M., Shuib, S., Norfazidah, D., Edwards, K., An aggregation technique for optimal decision-making in materials selection. Materials and Design, 32: 4918–4924, 2011.

- [11] Findik, F., Turan K., Materials Selection For Lighter Wagon Design With A Weighted Property Index Method. *Materials and Design*, 37: 470–477, 2012.
- [12] Toklu, M., Determination of Customer Loyalty Levels by Using Fuzzy MCKV Approaches, *Acta Physica Polonica A*, 132:3, 650-654, 2017.
- [13] Jahan, A., Edwards, K., VIKOR method for material selection problems with interval numbers and target-based criteria. *Materials and Design*, 47:759–765, <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2012.12.072>, 2013.
- [14] Khabbaz R., Mansadi B., Abedian A, Mahmudi R., A simplified fuzzy logic approach for materials selection in mechanical engineering design, *Materials and Design*, 30: 687–697, 2009.
- [15] Kromm F., Quenisset J., Lorriot T, et al., Definition of a multimaterials design method, *Materials and Design*, 28: 2641–2646, 2007.
- [16] Jeya Girubha R, Vinodh S., Application of fuzzy VIKOR and environmental impact analysis for material selection of an automotive component. *Materials and Design*, 2012; 37: 478–486, 2012.
- [17] Dizdar, E. N., Ünver, M. The Assessment of Occupational Safety and Health in Turkey by Applying a Decision-Making Method; MULTIMOORA, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, DOI: 10.1080/10807039.2019.1600399, 2019.
- [18] Bayram, U., Acar, E., Tolerance Analysis with Multiple Surrogate Models, *Acta Physica Polonica A*, 128:2-B, B-447, 2015.
- [19] Ashby, M., Brechet, Y., Cebon, D., Salvo, L., Selection strategies for materials and processes. *Materials and Design*, 25: 51–67, <http://dx.doi.org/10.1016/S0261-306903.00159-6>, 2004.
- [20] R. Qiang, D. Liz, An Inhomogeneous Multi-Attribute Decision Making Method And Application To It/Is Outsourcing Provider Selection. *International Journal of Industrial Engineering*, 222., 279-293, 2015.
- [21] Ashby, M., Brechet, Y., Cebon, D., Salvo, L., Selection strategies for materials and processes. *Materials and Design*, 25: 51–67, <http://dx.doi.org/10.1016/S0261-306903.00159-6>, 2004.
- [22] Ünver, M., Tekez, E. K., Dizdar, E. N., The Assesment Of Turkish Railway Transportation System At The First Decade of The 21th Century By Applying Multi-Criteria Decision Making Methods, 2nd International Symposium On Railway Systems Engineering Iserse'13., 09-11 October, Karabuk, Turkey, 2013.

- [23] Çil, İ., Ünver, M., Urban Rail Transportation Investment Activities' Development Process In Turkey: A Comparative Study, 4th International Symposium On Railway Systems Engineering Iserse'18., 10-12 October, Karabuk, Turkey, 2018.
- [24] Dizdar E. N., Ünver, M. Koçar, O., Karakoç, Ö. C., Assessment of OSH Activities in the Agricultural Sector by Multiple Criteria Decision Making Methods, 9th International Congress on Occupational Safety And Healthy, 6-9 May, İstanbul Halic Congress Center, Turkey, 2018.
- [25] Nguyen, H., Dawal, S., Nukman, Y., Aoyama, K., Case, An Integrated Approach of Fuzzy Linguistic Preference Based AHP and Fuzzy COPRAS for Machine Tool Evaluation, PLoS ONE, 2015.
- [26] Stefanov, P., Savic, A., Dobric, G., Development and Operational Planning of Power Systems by Comparing Scenarios during Multi-Objective Optimization, Acta Physica Polonica A, 128:2-B, B-138, 2015.
- [27] Budinski, K.G., Budinski, M.K., Engineering Materials: Properties and Selection. 9th ed. London: Pearson, 2010.
- [28] Farag M., Quantitative methods of materials selection. In: Kutz M, editor. Handbook of materials selection, 2002.
- [29] Natalia S., Kirill G., Jan L., Materials selection combined with optimal structural design: concept and some results. Mater Des, 23: 459–70, 2002.
- [30] Guisbiers G, Wautelet M., Materials selection for micro electro mechanical systems. Mater Des, 28: 246–8, 2007.
- [31] Findik, F., Turan K., Materials Selection for Lighter Wagon Design with A Weighted Property Index Method. Materials and Design, 37: 470–7, 2012.
- [32] Balez̃entis A., Balez̃entis, T., Brauers, W.K.M., Personnel Selection Based on Computing with Words and Fuzzy MULTIMOORA. Expert Systems with Applications, 39: 7961–7967, 2012.
- [33] Belton, V., Stewart, T., Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach. Boston: Kluwer Academic Publications, 2002.
- [34] Chatterjee P., Athawale V., Chakraborty S., Selection of material using compromise ranking and outranking methods. Materials and Design, 30: 4043–53, 2009.
- [35] Jahan, A., Edwards, K., VIKOR method for material selection problems with interval numbers and target-based criteria. Materials and Design, 47:759–765, <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2012.12.072>, 2013.

- [36] Løken, E., Use of Multicriteria Decision Analysis Methods for Energy Planning Problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1584–1595, 2007.
- [37] Brauers, W., Zavadskas, E., The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, 352., 445–469, 2006.
- [38] Brauers, W., Zavadskas, E., Turskis, Z., Vilutiene, T., Multiobjective Contractor's Ranking by Applying the MOORA Method. *Journal of Business Economics and Management*, 94., 245–255, 2008a.
- [39] Brauers, W., Zavadskas, E., Peldschus, F., Turskis, Z., Multiobjective Decision-Making for Road Design. *Transport*, 233., 183–193, 2008b.
- [40] Chakraborty, S., Applications of The MOORA Method for Decision Making in Manufacturing Environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54, 1155–1166, 2010.
- [41] Kalibatas, D., Turskis, Z., Multicriteria Evaluation of Inner Climate by Using MOORA Method. *Information Technology and Control*, 371., 79–83, 2008.
- [42] Brauers, W., Zavadskas, E., MULTIMOORA Optimization Used to Decide on A Bank Loan To Buy Property. *Technological and Economic Development of Economy*, 171., 174–188, 2011a.
- [43] Brauers, W., Balez̄entis, A., Balez̄entis, T., MULTIMOORA For the EU Member States Updated with Fuzzy Number Theory. *Technological and Economic Development of Economy*, 172., 259–290, 2011.
- [44] Torlak, G., Sevkli, M., Sanal, M., Zaim, S., Analyzing Business Competition by Using Fuzzy TOPSIS Method: An Example of Turkish Domestic Airline Industry. *Expert Systems with Applications*, 384., 3396–9406, 2011.
- [45] Merigo, J., Casanovas, M., Induced and Uncertain Heavy OWA Operators. *Computers & Industrial Engineering*, 60, 106–116, 2011.
- [46] Kabak, Ö., Ervural, B., Multiple attribute group decision making: A generic conceptual framework and a classification scheme, *Knowledge-Based Systems*, 2017.
- [47] Deng Y., Edwards K., The role of materials identification and selection in engineering design. *Material and Design*; 26, 2005.
- [48] Liu, W., Liu, P. D., Hybrid Multiple Attribute Decision Making Method Based on Relative Approach Degree of Grey Relation Projection. *African Journal of Business Management*, 417., 3716–3724, 2010.

- [49] Peng, A., Xiao, X., Material Selection Using PROMETHEE Combined with Analytic Network Process Under Hybrid Environment. *Materials and Design*, 47: 643–652, 2013.
- [50] Ouyang, L.-Y., Chen, K.-S., Yang, C.-M., Hsu, C.-H., Using a QCAC-Entropy-TOPSIS approach to measure quality characteristics and rank improvement priorities for all substandard quality characteristics, *International Journal of Production Research*, 2014.
- [51] Mastura, M.T., Sapuan, S.M., Mansor, M.R., A framework for prioritizing customer requirements in product design: Incorporation of FAHP with AHP, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 2015.
- [52] Shan, M.-M., You, J.-X., Liu, H.-C., Some Interval 2-Tuple Linguistic Harmonic Mean Operators and Their Application in Material Selection, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016.
- [53] Yang, S., Yang, M., Ju, R., Huang, K., Multi-attribute group decision making for weapon system selection based on intuitionistic fuzzy values, 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2016.
- [54] Hafezalkotob, A., Hafezalkotob, A., Sayadi, M., Extension of MULTIMOORA method with interval numbers: An application in materials selection, *Applied Mathematical Modelling*, 2017.
- [55] Tian, G., Zhang, H., Zhou, M., Li, Z., AHP, Gray Correlation, and TOPSIS Combined Approach to Green Performance Evaluation of Design Alternatives, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2018.
- [56] Aikhuele, D., A hybrid-fuzzy model with reliability-based criteria for selecting consumables used in welding dissimilar aluminum alloy joint, *Engineering and Applied Science Research*, 2019.
- [57] Wang, Y.-C., Chen, T., Yeh, Y.-L., Advanced 3D printing technologies for the aircraft industry: a fuzzy systematic approach for assessing the critical factors, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2019.
- [58] Yang, S., Sun, Y., Qi, C., Performance assessment and optimal design of hybrid material bumper for pedestrian lower extremity protection, *International Journal of Mechanical Sciences*, 2020.
- [59] Mishra, A., Rani, P., Mardani, A., (...), Govindan, K., Alrasheedi, M., Healthcare evaluation in hazardous waste recycling using novel interval-valued intuitionistic fuzzy information based on complex proportional assessment method, *Computers and Industrial Engineering*, 2020.
- [60] Ünver, M., Cil, I., Material selection by using fuzzy complex proportional assessment, *Emerging Materials Research*, 2020.

- [61] Daniel, G., Using Multi Criteria Decision Making in Analysis of Alternatives For Selection Of Enabling Technology, The Faculty Of The School Of Engineering And Applied Science, The George Washington University, Dissertation, 2013.
- [62] Joshi, A., Optimal End-Of-Life Decision-Making Strategies for Products With Design Alternatives, The Department of Mechanical and Industrial Engineering Northeastern University Boston, Massachusetts, Dissertation, 2017.
- [63] Momena, A., Using Pythagorean Fuzzy Sets (Pfs) In Multiple Criteria Group Decision Making (McgKV) Methods for Engineering Materials Selection Applications, The DepartmentOf Mechanical and Industrial Engineering The University Of Wisconsin- Milwaukee, Dissertation, 2019.
- [64] TCDD technical catalogue, Sakarya, Turkey; 2016.
- [65] Ashby M, Johnson K., Chapter 10 – conclusions. Materials and design. Second ed. Oxford: Butterworth-Heinemann; p. 172–5, 2010.
- [66] Edwards K., Deng Y., Supporting design decision-making when applying materials in combination. Mater Des; 28: 1288–97, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Muharrem ÜNVER 1985 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2004 yılında Ankara Atatürk Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde 2004 yılında başladığı mühendislik eğitimi, 2009 yılında tamamladı. 2010-2013 yılları arasında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimi tamamladı. 2013 yılında Sakarya Üniversitesinde Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında doktora başlamıştır. Halen Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.