



**T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİNDEN AHP
VE COPRAS YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TEDARİKÇİ
SEÇİM KARARININ VERİLMESİ: OTOMOTİV
SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

Gökçen BALIKÇILAR USTA

Yüksek Lisans Tezi



**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİNDEN
AHP VE COPRAS YÖNTEMLERİ KULLANILARAK
TEDARİKÇİ SEÇİM KARARININ VERİLMESİ:
OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

Gökçen BALIKÇILAR USTA



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİNDEN AHP VE COPRAS
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TEDARİKÇİ SEÇİM KARARININ
VERİLMESİ: OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

Gökçen BALIKÇILAR USTA
ORCID ID: 0009-0003-8440-2129

Prof. Dr. Âli Yurdun ORBAK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2025
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİNDEN AHP VE COPRAS YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TEDARİKÇİ SEÇİM KARARININ VERİLMESİ: OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Gökçen BALIKÇILAR USTA

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Âli Yurdun ORBAK

VUCA (V: değişkenlik, U: belirsizlik, C: karmaşıklık, A: belirsizlik) dünyasında küresel ticari rekabet, değişkenler ve belirsizlik yüksektir. Şirket paydaşlarının tedarik zincirindeki önemi her geçen gün artıyor. Müşterilerin yüksek kalite ve düşük fiyat beklentilerini karşılamak ve rekabet güçlerini koruyabilmek için firmaların tedarikçileriyle iş birliği sağlamaları ve geliştirmeleri gerekmektedir. Satın alma stratejisi tedarik zinciri yönetiminin temelidir. Bu çalışmada satın alma uzmanlarının tedarikçi seçiminde karar aşamasında kullanabilecekleri yöntemler üzerinde çalışılmıştır.

Tedarikçi seçimi problemlerinde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaygın olarak kullanılmaktadır. Hem niteliksel hem de niceliksel verileri bir arada işleyebildiği için AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) ve COPRAS (Karmaşık Orantılı Değerlendirme) yöntemleri sunulmuştur. Hem AHP hem de AHP-COPRAS hibrit modelleri ile tedarikçi seçim problemi çözülmüştür. Hibrit modelde AHP'nin kriter ağırlıklandırmadaki becerisinden, COPRAS'ın seçim sıralamasını başarılı yapmasından faydalanılmıştır. Her iki yöntem için de karar matrisi oluşturulur. Her bir kriter önem bakımından birbiriyle karşılaştırılmış ve oluşturulan özvektör her iki metotta da kullanılmıştır. Bu iki yaklaşımda alternatiflerin değerlendirilmesi aşamasında farklılık bulunmaktadır. Bu çalışmada bir otomotiv sanayi firmasının verileri kullanılmış olup, bir proje için 4 farklı tedarikçi alternatifi (A1, A2, A3, A4) mevcuttur. Seçim kararı şu kriterlere göre verilmiştir: parça fiyatı, yatırım maliyeti, kalite, teknik yapabilirlik ve teslimat performansı.

AHP ve COPRAS yöntemleri seçim tercihinin $A1 > A2 > A3 > A4$ şeklinde olması gerektiğini göstermiştir. Her iki yöntem de bize aynı sonuçları vermiştir. Tutarlılık oranı kontrolü yapılmış olup oranın 0,1'den küçük olması gerekirken bu çalışmada 0,086 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tedarik Zinciri, Tedarikçi Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme, AHP, COPRAS

2025, xii + 31 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

SUPPLIER SELECTION MULTI CRITERIA DECISION MAKING BY USING AHP AND COPRAS METHODS: AN AUTOMOTIVE SECTOR APPLICATION

Gökçen BALIKÇILAR USTA

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Âli Yurdun ORBAK

In VUCA (volatility, uncertainty, complexity, ambiguity) world, global commercial competition, variables, and ambiguity are high. The importance of companies' stakeholders in supply chain is increasing day by day. In order to meet customer expectations of high quality and low price and to maintain their competitiveness, companies should provide and develop cooperation with their suppliers. Purchasing strategy is fundament of supply chain management. In this study, we work on the methods for purchasing specialists to use in decision phase of supplier selection.

Multi-criteria decision-making (MCDM) is commonly used in supplier selection problems. We presented AHP (Analytic Hierarchy Process) and COPRAS (Complex Proportional Assessment) methods since they are able to process both qualitative and quantitative data together. In both AHP and AHP-COPRAS hybrid models, supplier selection problem was solved. In the hybrid model, the ability of AHP in criteria weighting and COPRAS's successful selection ranking were utilized. For both methods, decision matrix is created. Each criterion was compared with each other according to their importance and this eigenvector is used in both AHP and COPRAS. These two methods differ in evaluation phase of alternatives. This study will use the data from an automotive industry company; there are four different supplier alternatives (A1, A2, A3, A4) for a project. Selection decision will be made with the criteria following: part price, tooling cost, quality, technical capability and delivery performance.

AHP and COPRAS methods showed that the selection preference should be as following $A1 > A2 > A3 > A4$. Both methods gave us the same results. Consistency check was performed, and the ratio should be less than 0.1 and it is found as 0.086 in this study.

Key Words: Supply Chain, Supplier Selection, Multi Criteria Decision Making, AHP, COPRAS

2025, xii + 31 pages.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde beni motive eden, zaman ayıran, bilgilerini benimle cömertçe paylaşan ve sabırla bu çalışmayı mümkün kılan değerli hocam bölüm başkanımız Prof. Dr. Âli Yurdun Orbak’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans yolculuğum boyunca bana sağlamış olduğu katkılar için sayın Prof. Dr. Erdal Emel’e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında beni destekleyen tüm aileme, özellikle eğitimim boyunca benimle uykusuz kalan annem Ayşe Ayşen Balıkçılar’a, yanı başımda gücünü hep hissettiğim babam Hasan Balıkçılar’a, onunla geçireceğim zamandan feragat ettiğimde büyük bir sabır gösteren sevgili küçük kızım İpek Usta’ya, her zaman yanımda olan, seçilmiş ailem eşim Tayfun Usta’ya teşekkürü borç bilirim.

Gökçen BALIKÇILAR USTA
11/03/2025

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	7
3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci.....	7
3.2. COPRAS.....	11
4. BULGULAR.....	14
4.1. Kriter Seçimi.....	15
4.1.1. Ürün Fiyatı Kriteri.....	15
4.1.2. Yatırım Maliyeti Kriterleri.....	15
4.1.3. Teknik Yapabilirlik Kriteri.....	16
4.1.4. Kalite Kriteri.....	17
4.1.5. Teslimat Performansı Kriteri.....	17
4.2. AHP Yönteminin Uygulanması.....	17
4.3. COPRAS Yönteminin Uygulanması.....	22
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	25
KAYNAKLAR	27
ÖZGEÇMİŞ	31

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar Açıklama

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
COPRAS	Complex Proportional Assessment (Karmaşık Oransal Değerlendirme)
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
m	Alternatif sayısı
MCDM	Multi-criteria decision making
n	Kriter sayısı
RI	Rassal İndeks
SRM	Supplier Relations Management (Tedarikçi İlişkileri Yönetimi)
TI	Tutarlılık İndeksi
TO	Tutarlılık Oranı
TSP	Tedarikçi Seçim Problemi
VUCA	Volatility, uncertainty, complexity, ambiguity (Değişkenlik, belirsizlik, karmaşıklık, muğlaklık)
PILUM	Satın alma birimleri tarafından kullanılan bir araç
PQTOOL	Kalite birimleri tarafından kullanılan bir araç
K1	Kriter-1: Ürün fiyatı
K2	Kriter-2: Yatırım maliyeti
K3	Kriter-3: Teknik yapabilirlik
K4	Kriter-4: Kalite
K5	Kriter-5: Teslimat performansı
A1	Alternatif tedarikçi 1
A2	Alternatif tedarikçi 2
A3	Alternatif tedarikçi 3
A4	Alternatif tedarikçi 4

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	AHP hiyerarşik yapısı	Sayfa 7
Şekil 4.1.	AHP analizi için uyarlanmış hiyerarşi	19



ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 3.1.	Karşılaştırma matrisi değerleri	8
Çizelge 3.2.	Rassal indeks değerleri	11
Çizelge 4.1.	Kriter matrisi hesaplamaları	19
Çizelge 4.2.	AHP için tutarlılık analizi verileri	19
Çizelge 4.3.	Ürün fiyatı kriterine göre alternatif karşılaştırılması	20
Çizelge 4.4.	Yatırım maliyeti kriterine göre alternatif karşılaştırılması	20
Çizelge 4.5.	Teknik yapabilirlik kriterine göre alternatif karşılaştırılması	21
Çizelge 4.6.	Kalite kriterine göre alternatif karşılaştırılması	21
Çizelge 4.7.	Teslimat performansı kriterine göre alternatif karşılaştırılması	21
Çizelge 4.8.	Alternatiflerin özvektörleri matrisi	22
Çizelge 4.9.	Tedarikçi sıralaması	22
Çizelge 4.10.	COPRAS alternatif matrisi	23
Çizelge 4.11.	Normalize edilmiş karar matrisi	23
Çizelge 4.12.	Kriter ağırlıkları	23
Çizelge 4.13.	Ağırlıklandırılmış karar matrisi	23
Çizelge 4.14.	COPRAS hesaplama verileri	24

1. GİRİŞ

Global ticari rekabetin, değişkenlerin ve muğlaklığın fazla olduğu günümüzde tedarik zincirinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Tedarik zinciri, üretilen bir ürünün veya hizmetin, üreticisinden son müşterisine kadar yürütülen pek çok süreci kapsar. Firmalar, talepleri doğru yönetebilmek için hem müşteri ilişkilerini hem de satın alma faaliyetlerini iyi yönetmeli; müşterilerinin yüksek kalite, düşük fiyat beklentilerini karşılamak ve rekabetçiliklerini sürdürebilmek için paydaşları ile iş birliğini korumalı ve geliştirmelidir.

Satın alma maliyetleri, işletmelerin en büyük maliyet kalemlerindendir (Baynal ve Yüzügüllü, 2013). Bu maliyetleri azaltabilmek için en iyi fiyata sahip tedarikçilerden alım yapılması ilk akla gelen çözüm olsa da durum bu kadar yalın değildir. Maliyetleri azaltırken ürün veya hizmet kalitesi müşteri talebi doğrultusunda sağlanmalıdır. Tedarikçi seçimi problemi (TSP), karar alma sürecinde çeşitli kriterler dikkate alındığı için karmaşıktır. TSP, tedarikçilerin farklı kriterler için farklı performans özelliklerine sahip olabilmesi nedeniyle daha da karmaşıktır (Xia ve Wu, 2007).

Sektörel bazda analiz yapıldığında teknolojiyi takip eden sektörlerde daha fazla çalışma yapıldığı ortaya çıkarılmıştır. Gerçek verilerle yapılan çalışmalarda otomotiv sektörünün tedarikçi seçimi konusunda en fazla araştırma yapılan sektörler arasında olduğu görülmektedir (Pınar, 2020). Bu çalışmada, otomotiv sektöründeki bir firmanın satın alma uzmanları tarafından tedarikçi seçimi yaparken karar alma aşamasında kullanılabilecek metotlar çalışılmıştır.

Mevcut iş ortamında firmalar ve tedarikçiler geleneksel ilişkileri terk edip ve kazan-kazan politikası uygulamaktadır (Pınar, 2020). Bu politikanın yarattığı olumlu etki bugün işbirlikçi yaklaşım sergileyen firmalarda açıkça görülmektedir. Günümüzde piyasa, ihtiyaçlara hızlı cevap verilmesini ve esneklik gerektirmektedir (Taherdoost ve Brard, 2019). Bu tez çalışmasındaki problemde, karar verme sürecinde pek çok ölçütü göz önünde bulundurmak gerektiğinden, problem çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Literatürde pek çok metot bulunmaktadır ancak burada ele alınacak metotlar karmaşık problemi olabildiğince yalın çözen AHP ve COPRAS metotlarıdır.

Bulunan sonuçların güvenilirliğini göstermek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu yöntemlerin seçilmesinin nedeni yaşadığımız dünyada belirsizliklerin ve eksik bilgilerin bulunmasıdır, yani değerlendirmeye alınacak her kriterin nicelik taşımasıdır. Uzman görüşlerine yer verilmiş ve bu sayede alanında tecrübeli kişilerin bilgi birikiminden faydalanılmıştır.

Özdağoglu ve Özdağoglu (2007) çalışmasında AHP ve bulanık AHP yöntemlerini karşılaştırmıştır ve sonuç olarak değerlendirmeler kesin ve bilgiye dayalı ise klasik AHP'nin, değil ise bulanık yöntemin kullanılmasını tavsiye etmiştir. Popovic vd. (2012) değerlendirmelerin net verilere dayanmadığı durumlarda COPRAS-G metodunun daha işlevsel olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmada klasik AHP ve COPRAS metodlarının seçilmesinin nedeni, ele alınan problemin gerçek verileri göz önünde bulundurularak kriterlerin değerlendirilmesidir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tedarikçi seçimi, tedarik zincirinin baş unsurlarından biri olup maliyetleri direkt etkileyen en önemli faktördür. Müşterinin talep ettiği zamanda, yüksek kaliteli ve düşük maliyetli ürünler üretmek tüm firmalar için zorluk içerir. En ucuz fiyatı veren tedarikçiler üretim aşamasında müşterilerini ürün veya üretim süreçleri hakkında uzmanlıkları olmadığı için veya istenen kalitede malzeme kullanmadıkları için hayal kırıklığına uğratabilirler.

“Tedarikçi seçimi, işletmenin kısa ve uzun vadeli planları göz önüne alınarak alternatif tedarikçiler arasından kendisine rekabet avantajı sağlayacak en iyi tedarikçiyi seçmek olarak tanımlanırken, tedarikçi değerlendirme, belirli bir zaman aralığında ve belirli kriterlere bağlı olarak tedarikçilerin performansının ölçülmesi olarak tanımlanmaktadır.” der (Dağdeviren ve Erarslan, 2008). Seçim yapılırken piyasanın güncel durumu, tedarikçilerin ve hatta onların tedarikçilerinin mali durumları ve müşteri tutumları, malzeme maliyetleri, ulaşım maliyetleri gibi birbirinden bağımsız hatta bazen birbiriyle çakışan faktörler göz önünde bulundurulur. Bu nedenle karmaşık olan tedarikçi yönetiminde bir strateji uygulanmalı ve düzenli tedarikçi değerlendirmeleri, uzmanlar tarafından yapılmalıdır. Satın alma ve tedarik yönetiminin stratejik kavramları, tedarik zinciri yönetiminin temellerindendir, çünkü gelen malzeme kalitesi, teslimat süresi ve satın alma fiyatı, alıcı-tedarikçi ilişkisi ve tedarikçilerin kabiliyetinden etkilenir (Wisner vd., 2021).

Aynı problem için birden fazla tedarikçi seçimi yapılması da olasıdır. Thiruchelvam ve Tookey (2011)’in çalışmalarına göre tek tedarikçi ile anlaşma sağlamak belirli avantajlar getiriyor, buna örnek olarak tedarikçi ile stratejik birlik oluşturma, parça birim maliyeti düşürme, ulaşım maliyetlerinin azalması verilebilir. Bu çalışmada, projedeki müşteri adetleri çok yüksek olmadığı için birden fazla tedarikçi ile anlaşma sağlamak, parça maliyetini ve yatırım maliyetini arttıracığı için dezavantaj olacaktır. Proje bütçesi de göz önünde bulundurularak tek tedarikçi seçimi uygun görülmüştür ancak belirtmekte fayda vardır ki aynı firmada bir proje için birden fazla tedarikçi ile çalışılmasının getirdiği avantajlardan da farklı projelerde yararlanılmaktadır.

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) alanında merkez çalışmayı Hwang ve Yoon (1981) yapmıştır. Bu, farklı alternatiflerin içinden, birden fazla kriter hesaba katılarak en iyi çözümü/alternatifi seçen sistematik bir yaklaşımdır. Son yıllarda çok kriterli karar verme alanındaki araştırma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmış ve katlanarak büyümeye devam etmektedir (Zavadskas vd., 2014).

Tedarikçi seçimi problemlerinde ÇKKV yaygın olarak kullanılmaktadır. Ho vd. (2010) çalışmasında bize tedarikçi değerlendirme ve seçiminde çok kriterli karar verme yaklaşımlarını detaylandırır. ÇKKV yöntemleri üç adımı takip eder (Mulliner vd., 2016; Podvezko, 2011):

1. İlgili kriter ve alternatiflere karar verme
2. Kriterlerin önem derecesinin ve alternatiflerin bu kriterler üzerindeki etkilerinin sayısal değerlendirmesinin yapılması
3. Her alternatifin sıralamasını belirlemek için sayısal verilerin işlenmesi

Tedarik zincirinde karar verme metotlarını inceleyen bir çalışmada (Karakoç vd., 2023) bu alanda yapılan çalışmaların 60%'ının hibrit metot kullandığı ortaya konmuştur. Yine aynı çalışmada Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Karmaşık Oransal Değerlendirme (COPRAS) metotlarının taranan literatürde birlikte kullanımına az rastlandığı görülmüştür.

AHP ve COPRAS yöntemleri birlikte az çalışıldığından bu tez çalışmasında çok sayıdaki alternatif tedarikçi arasından doğru tedarikçi seçiminin yapılabilmesi için kullanılmıştır. Farklı projelerden bağımsız olarak her bir tedarikçi seçimi kararı verme problemi için uygulanabilir olması açısından, değerlendirmeler için gerekli formüller Microsoft Excel kullanılarak elde edilmiştir. Aynı zamanda seri üretimde tedarik edilen parçalar için de aynı yöntem kullanılarak tedarikçi değişimi yapılabilir ve bu sayede firma maliyet azaltma potansiyeline sahip olabilecektir.

AHP ilk olarak Saaty (1980) tarafından tanıtılmıştır. Alternatifleri, değerlendirildikleri kriterlerin önem derecelerini ikili karşılaştırma yöntemi kullanarak sıralar. AHP metodu uygulanırken takip edilen dört faz vardır (Ćosić vd., 2020):

1. Problemin yapılandırılması
2. Önemli kriterlerin kararlaştırılması
3. En dikkate değer alternatiflerin kararlaştırılması
4. Nihai hedefin kararlaştırılması

Lukinskiy vd. (2021) açıkladığı üzere alternatiflerin katsayıları arasında bir lineerlik yoktur. Verilen örneğe göre, A alternatifi B alternatifine göre iki kat, B alternatifi, C alternatifine göre üç kat daha iyidir ancak A alternatifi C alternatifine göre altı kat daha iyidir denilemez. Bu nedenle tutarlılık oranı (TO) hesaplanmalıdır.

COPRAS metodu, Zavadskas vd. (1996) tarafından ortaya konmuştur. Çeşitli seçim problemlerinin çözümünde kullanılabilir, esnek bir yapısı vardır ve hızlı bir çözüm sunar: uygun fiyatlı konut seçimi (Mulliner vd., 2016), otel seçimi (Sarıçalı ve Kundakçı, 2016), inşaat sektörü firma seçimi (Kaklauskas vd., 2006), makine seçim süreci (Sarıçalı, 2018) vb. Rahim vd. (2024)'a göre, “düşük karmaşıklığı, verimliliği ve dayanıklılığıyla tanınan COPRAS yaklaşımı, hesaplamaları karmaşık matematiksel prosedürlere ihtiyaç duymayan, bu sayede daha erişilebilir ve uygulanabilir bir sıralama sistemidir”. Kriterlerin ağırlıklandırılması için AHP yöntemindeki ikili karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır.

Hailiang vd. (2023) çalışmasında kriterleri üç başlık altında toplamıştır: ekonomik, sosyal ve çevresel. Dickson (1996) tarafından da 1966-2010 yılları arasında en çok değerlendirilen kriter fiyat olarak görülmektedir. Çağdaş tedarik zinciri yönetiminde, potansiyel tedarikçilerin performansı tek bir faktörü: maliyeti, dikkate almak yerine birden fazla kritere göre değerlendirilir (Ho vd., 2010).

Abdolshah (2013) ise kalitenin en yüksek değerlendirilen kriter olduğunu vurgulamıştır. Aynı çalışmada Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'daki 273 satın alma ajansı ile yapılan ankette fiyat, teslimat ve kalite en önemli kriterler olarak çıkmıştır. Bu çalışmada

bahsedilen üç kriter seçim kriteri olarak değerlendirilmiştir. Pal vd. (2013), tedarikçi seçimi problemlerinde kullanılan 18 farklı kriterden bahsetmiştir.

Bu çalışmada ele alınan projedeki ürün yüksek teknoloji ürünüdür ve tedarikçilerin bilgi seviyelerinin oldukça fazla olması beklenmektedir. Ürün montajı yapılmış halde satın alındığından bu ürünü teknik olarak yapabilecek tedarikçi sayısı oldukça azdır. Aynı zamanda firmanın tedarikçi sistemine kayıtlı firmalardan alım yapılması gerekmektedir ki çalışılan firmaların belirli bir kalite standardını sağladığından emin olunsun. Bu nedenle alternatiflerin sayısı limitlidir.



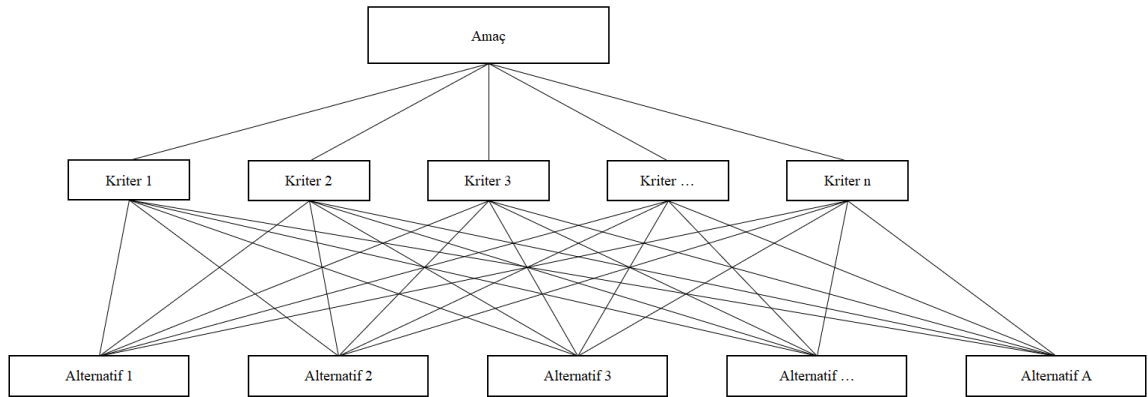
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde çalışma için kullanılan metotlar detaylı biçimde anlatılmıştır. Formülasyonlar ve kullanılan matrisler verilmiştir.

3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci

AHP hem nitel hem de nicel yönlerin dikkate alınması gereken karmaşık problemler için bir araçtır. AHP, karar problemini daha kolay anlaşılabilir alt problemlere bölerek yanlış karar alma riskini azaltır (Zolfani vd., 2012). Karmaşık karar problemlerinde etkin karar vermek için bir çerçeve sunar (Hruška vd., 2014). Problemi hiyerarşik bir yapıya çevirir ve karşılaştırmalar yoluyla belirli bir ölçek üzerinden uzmanların yargılarına dayanarak potansiyel tedarikçileri değerlendirir. Nicel/maddi olmayanları göreceli terimlerle ölçer (Saaty, 2008). AHP için gerekli matematiksel açıklamalar bu bölümde beş adımda verilmiştir.

Adım 1: Problemin amacı, göz önünde bulundurulacak kriterler ve çözüm alternatifleri bu adımda belirlenmelidir. Şekil 3.1.'deki hiyerarşik yapı kurulmalıdır. Problem çok karmaşıksa, alt kriterlerden faydalanılabilir.



Şekil 3.1. AHP'nin hiyerarşik yapısı

Adım 2: Kriterlerin önem derecesini belirlemek için kriterler kendi aralarında ikili karşılaştırmalar yapılarak değerlendirilir. Bu ikili karşılaştırma matrisinin değerleri (s_{ij})

Saaty'nin metoduna göre, Çizelge 3.2.'de verilen ölçüt baz alınarak karşılaştırılır. s_{ij} , “i” kriterinin “j” kriterine göre önemi olarak okunabilir. 2, 4, 6, 8 değerleri ara değerlendirmeler için kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. Karşılaştırma matrisi değerleri

Değerler	Açıklama
1	Eş değerdir
3	Biraz daha tercih edilir
5	Şiddetle tercih edilir
7	Çok şiddetle tercih edilir
9	Kesinlikle tercih edilir
2, 4, 6, 8	Ara / uzlaşma değerleri

Karşılaştırma matrisinin köşegeninde, her kriterin kendisi ile karşılaştırılması durumu söz konusu olduğundan tüm değerler “1”dir. Köşegenin bir tarafındaki değer s_{ij} iken, diğer tarafındaki değer s_{ji} 'dir,

$$s_{ji} = \frac{1}{s_{ij}}$$

olarak hesaplanır. Kriterlerin karşılaştırma matrisi ise

$$S = \begin{bmatrix} 1 & s_{12} & s_{13} & \dots & s_{1j} \\ s_{21} & 1 & \dots & \dots & \dots \\ s_{31} & \dots & 1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ s_{i1} & \dots & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & s_{12} & s_{13} & \dots & s_{1j} \\ 1/s_{12} & 1 & \dots & \dots & \dots \\ 1/s_{13} & \dots & 1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ 1/s_{1j} & \dots & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

şeklinde gösterilir.

Adım 2.1: Kriter matrisinin normalize edilmesi

Her bir matris değeri bulunduğu sütundaki değerlerin toplamına bölünür (3.1).

$$X_{ij} = \frac{s_{ij}}{\sum_{i=1}^n s_{ij}} \quad (3.1)$$

Böylece normalize edilmiş matris (X) oluşturulur ve

$$\begin{bmatrix} 1 & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1j} \\ x_{21} & 1 & \dots & \dots & \dots \\ x_{31} & \dots & 1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ x_{i1} & \dots & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

şeklinde gösterilir. Her bir sütundaki değerlerin toplamı “1”e eşittir.

Adım 2.2: Öncelikler vektörünün (W_{ij}) belirlenmesi (3.2)

$$W_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n} = \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{12} \\ \dots \\ W_{1n} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Adım 2.3: Tüm öncelikler matrisinin (T) oluşturulması (3.3)

$$\begin{bmatrix} 1 & s_{12} & s_{13} & \dots & s_{1j} \\ s_{21} & 1 & \dots & \dots & \dots \\ s_{31} & \dots & 1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ s_{i1} & \dots & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{12} \\ \dots \\ W_{1n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} \\ T_{21} \\ \dots \\ T_{n1} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Adım 2.4: Öncelikler vektörünün (V) oluşturulması (3.4)

$$\begin{bmatrix} V_{11} \\ V_{21} \\ \dots \\ V_{n1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11}/W_{11} \\ T_{21}/W_{12} \\ \dots \\ T_{n1}/W_{1n} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Adım 2.5: Özdeğer (λ_{max}) oluşturulması (3.5)

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n V_{n1} \quad (3.5)$$

Adım 3: Kriterlerin ikili karşılaştırmaları nitel olarak değerlendirildiği için karşılaştırmalar arasındaki tutarlılık kontrol edilmelidir, tutarlılık oranı (TO) hesaplanmalıdır. Sarraf ve McGuire (2020) TO denklemini şöyle açıklamıştır: tutarlılık indeksinin (TI) rastgele indekse (RI) oranıdır. TO eşiği ilk 0,1 olarak verilmiştir (Saaty, 1980), sonrasında (Saaty, 1994) güncelleme yapmıştır ve $n=3$ için 0.05, $n = 4$ için 0.08 ve $n>4$ için 0.10 olarak belirtilmiştir, bu değerler içinde kalan TO değerleri tutarlı kabul edilebilirdir (Lin vd., 2022).

TO değeri

$$TO = \frac{TI}{RI}$$

olarak hesaplanır.

TI , bize tutarlı matristen ne kadar uzakta olduğumuzu söyleyen sayıdır (Pant vd., 2022). Eğer matris mükemmel şekilde tutarlı ise $TI=0$ 'dır (Franek ve Kresta, 2014).

$$TI = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1} \quad (3.6)$$

Franek ve Kresta (2014) çalışmasında bahsettiği gibi, RI seçimi karar vermede önemli rol oynamaktadır. RI seçimi Çizelge 3.3'e göre yapılmıştır (Zhao vd., 2021). Beş kriterli bir matris kullanıldığı için RI değeri 1,12 olarak alınmıştır.

Çizelge 3.2. Rassal indeks değerleri

Matris Büyükliği	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>RI</i>	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Adım 4: Alternatiflerin karşılaştırmaları her bir kriter için ayrı ayrı yapılır. Oluşturulan karşılaştırma matrisleri “BULGULAR” bölümünde detaylı biçimde gösterilmiştir.

Adım 4.1: Alternatif karşılaştırma matrislerinin normalize edilmesi, her bir sütundaki değerlerin sütun toplamına bölünmesi ile sağlanır. Her sütundaki değerler toplamı “1” olur.

Adım 4.2: Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi, normalize edilen her bir matrisin satır değerlerinin aritmetik ortalamasının alınmasıyla elde edilir. Böylece kriter özvektörünün bulunduğu formül ile alternatiflerin özvektörleri bulunmuş olur. Bu özvektörler tek bir matriste toplanır.

Adım 5: Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi ve kriter özvektörü çarpılarak alternatif tedarikçilerin tercih edilme sıralaması oluşturulur.

3.2. COPRAS

COPRAS yani karmaşık oransal değerlendirme metodu Zavadskas vd. (1996) tarafından oluşturulmuştur. COPRAS yöntemi, sistematik olarak seçenekleri önem ve fayda derecelerine göre derecelendirir ve değerlendirir (Taherdoost ve Mohebi, 2024). Karar vericiye tüm alanlarda kullanılabilir bir esneklik sağlamaktadır (Altın, 2021). Birçok yöntem karar alternatiflerini belirli bir üstünlüğe göre sıralamayı hedeflerken, COPRAS yöntemi alternatifleri karşılaştırırken birinin diğerinden yüzde olarak ne kadar daha iyi/kötü olduğunu ortaya koyar (Demirci, 2021). Mesafe tabanlı olan bu yöntem, sıralama probleminin çözümü, alternatifin en küçük ve en büyük (minimum ve maksimum) değerden uzaklığına dayanır (Komatina, 2024). Karar verme sürecinde hem fayda/getiri

sağlayan kriteri maksimize etmek hem de zarara/efora/gidere neden olan kriteri minimize etmek için kullanılır (Podvezko, 2011).

Adım 1: Karar matrisi oluşturulur. y_{ij} i. alternatifin j. kriterini temsil eder. Kriter sayısı “n”, alternatif sayısı “m” olarak gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 2: Karar matrisi (3.9) formüllü ile normalize edilmelidir.

$$y_{ij}^* = \frac{y_{ij}}{\sum_{j=1}^n y_{ij}} \quad (3.7)$$

Adım 3: Bu çalışmada, Zolfani vd. (2012) tarafından yapıldığı gibi, AHP metodunda belirlenen kriter ağırlıkları COPRAS metodunda da uygulanmıştır. Kriter ağırlıkları AHP’de oluşturulan kriter özvektörü olarak alınmıştır. Ağırlıklandırılmış karar matrisi elemanları

$$d_{ij} = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^n y_{ij}} \cdot y_{ij} = W_j \cdot y_{ij}^*$$

formülü ile hesaplanır.

Adım 4: Getiri sağlayan kriterler maksimize, götürüye neden olan kriterler minimize edilmiştir, bu nedenle kriterler ikiye ayrılmalıdır. Örneğin maliyete neden olan kriter minimize, firma prestiji sağlayan kriter maksimize edilmiştir. Her bir kriter grubu için matristeki satır toplamaları (3.8) ve (3.9)’teki formülleri kullanılarak bulunur.

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^k d_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (3.8)$$

$$S_i^- = \sum_{j=k+1}^n d_{ij} \quad j = k+1, k+2, \dots, n \quad (3.9)$$

Adım 5: Her alternatif tedarikçinin, Beheshti vd. (2016) tarafından belirtildiği gibi getiri ve götürü kriterlerine göre derecelendirmesi (Q_i)

$$Q_i = S_i^+ + \frac{S_{min}^- \cdot \sum_{i=1}^m S_i^-}{S_i^- \cdot \sum_{i=1}^m \left(\frac{S_{min}^-}{S_i^-} \right)}$$

şeklinde hesaplanır.

Adım 6: En iyilik ölçütü (Q_{max}), (3.13) formülüne göre hesaplanır. Q_{max} 'ı veren değer, sıralamada ilk sırada yer alır.

$$Q_{max} = \max_i Q_i \quad (3.10)$$

Adım 7: Alternatif tedarikçilerin seçim sıralamasını verecek etkinlik değeri (U_i)

$$U_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} * 100\%$$

olarak hesaplanır. U_i değeri en büyük yani 100 olan alternatif birinci sırada, değeri en küçük alternatif ise son sırada yer alır.

4. BULGULAR

Potansiyel tedarikçilerin değerlendirilmesi için ilk adım kriterlerin seçimidir. Ajalli vd. (2017) yaptıkları çalışmada AHP yönteminin yöneticilerin kararı kendi gördükleri gibi yapılandırarak ve ardından kriterler ve alternatifler hakkındaki tüm mevcut bilgileri tam olarak değerlendirerek daha rasyonel kararlar almalarına yardımcı olduğunu belirtir.

Fiyat, teslimat ve kalite hemen hemen tüm çalışmalarda en önemli faktör olarak yer alsa da günümüzde rekabetçi kalabilmek için firmaların farklı alanlarda da iyi performans göstermeleri gerekmektedir. Pal vd. (2013) tedarikçi seçimi problemlerinde kullanılan 18 farklı kriterden bahsetmiştir.

Bazı durumlarda kriterlerle ilişkili olarak alt kriterler de kullanılabilir. Alt kriterlerin kriter olarak düşünülmemesinin nedeni, bunun durumu daha da karmaşık hale getirmesi ve ikili karşılaştırmaların zorlaşmasıdır. Örneğin çevresel etki kriterinin alt kriteri olan kurumsal sosyal sorumluluk ile fiyat kriterinin alt kriteri olarak alınan malzeme maliyetinin karşılaştırılması anlamlı değildir.

Hailiang vd. (2023) çalışmasında kriterleri üç başlık altında toplamıştır: ekonomik, sosyal ve çevresel. Sosyal kriterler başlığı altında bulunan iş sağlığı ve güvenliği elbette ki en önemli kriterdir. Bizim çalışmamızın yapıldığı firmanın iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili katı kural ve denetlemeleri olduğundan ve her potansiyel tedarikçinin bu denetlemeleri başarıyla tamamlaması gerektiğinden, bu bir kriter olarak dikkate alınmamıştır.

Bu çalışmada maliyet, kalite, teslimat performansı gibi birbiriyle ilişkili, ticari aktivitelere etki eden, firmanın hedeflerine ulaşması için önemli olan kriterlerle potansiyel tedarikçiler değerlendirilmiştir. Kriter sayısı elbette ki çok tutulabilir ancak bu çalışmada kriterler olabildiğince yalın seçilmeye çalışılmıştır. Bunun nedeni proje satın alma uzmanının tüm değerlendirme alanlarında konuya fazlasıyla dahil olmasıdır.

Alternatiflerin değerlendirildiği kriterleri sıralayacak olursak:

1. Ürün fiyatı (K1)
2. Yatırım maliyeti (K2)
3. Teknik yapabilirlik (K3)
4. Kalite (K4)
5. Teslimat performansı (K5)

4.1. Kriter Seçimi

Daha önce bahsedildiği gibi, kriter seçimi önemli bir rol oynamaktadır. Bu bölümde seçilen kriterler ve verilerin nasıl elde edildiği anlatılmıştır.

4.1.1. Ürün fiyatı kriteri

Proje başlangıcında satın alma uzmanının kullandığı PILUM isimli araç üzerinden portföydeki tüm tedarikçilere resmi bir teklif talebi gönderilir, fiyat ve teslim süresi çalışmaları için süre tanınır. Bu sürenin sonunda proje ile ilgilenen tedarikçiler resmi taleplerini PILUM üzerinden iletirler. Bir ürünün fiyatı hesaplanırken elbette pek çok element hesaba katılmaktadır. Bu çalışmada her bir tedarikçiden ürün fiyatlarının alt kırılımı istenmiştir. Bu alt kırılımda direkt ve endirekt tüm kalemler bulunmaktadır ve inceleme sonucunda en önemli maliyet kaleminin malzeme olduğu görülmüştür.

Bu çalışmadaki verilerde tedarikçiler ürün fiyatına paketleme maliyetlerini dahil etmişlerdir. Ulaşım maliyetleri tedarikçi bazında değişiklik göstermez ve proje dahilinde değerlendirilmemektedir bu nedenle satın alma sürecinin bir parçası değildir. Firmanın uyguladığı gizlilik politikaları gereği fiyatlar açıkça verilememiştir.

4.1.2. Yatırım maliyeti kriteri

Bu çalışmada tedarikçi seçimi yapılacak ürün otomobil motor bloğuna monte edildiğinden ve her müşteri ve otomobil modeli için motor geometrisi de farklılık gösterdiğinden, müşteriye özel olarak tasarlanmaktadır. Diğer bir deyişle standart üretim

bir ürün olmadığı için ve tedarik edilen ürüne yapılması gereken bazı testler olduğu için ürüne özel kalıp, takım ve makine yatırım maliyetleri bulunmaktadır ve bu da toplam maliyet etkinliğini etkilemektedir. Bu çalışmada yatırım maliyeti, ürün fiyatı kriterinin yanı sıra ikinci bir kriter olarak değerlendirilmiştir.

4.1.3. Teknik yapabilirlik kriteri

Bu problemdeki ürünün üretimi ve testleri yüksek derecede teknik uzmanlık gerektirmektedir ve tedarikçilerin teknik yapabilirliği de bir kriter olarak ele alınmıştır. Tedarikçi seçimi öncesinde merkezi satın alma departmanına bağlı proje satın alma, kalite-teknoloji, kalite yönetimi mühendisleri, ayrıca üretim mühendisi, araştırma geliştirme departmanından tasarım ve test mühendisleri ve lojistik departmanından paketleme mühendisinin katılımı ile bir teknik değerlendirme görüşmesi yapılmaktadır. Tedarikçilere daha önce gönderilmiş teknik dokümanlar ve kalite gereklilikleri bu toplantıda tedarikçiyle birlikte değerlendirilmektedir. Teknik yapılabilirlik için tüm alt parçalar teknik çizimlerdeki ölçü ve toleranslara uygun üretilmeli, malzemeler istenen normlara göre temin edilmeli, üretim süreçleri belirlenen spesifikasyonlar doğrultusunda yönetilmeli ve kalite standartlarına uyumlu olmalıdır. Çalışmamızda ele aldığımız ürün için otomobil motorunun bulunduğu ortamdaki sıcaklık, titreşim ve basınç gibi faktörlere karşı da dayanıklı olmalıdır. Toplantı sonucunda eğer tedarikçi alıcı firmanın talep ettiği her gerekliliği yerine getirebiliyorsa teknik yapabilirlik onay belgesi imzalar; eğer üzerine görüşülmesi gereken konular varsa bunlar üzerine detaylı tartışılabilmesi için yakın zamanda ilgili sorumlularla toplantılar düzenlenir.

Tedarikçi seçimi her zaman bu süreç sona erdiği zaman yapılmaz, proje yönetiminin doğasından kaynaklanan zaman baskısı nedeniyle bazen devam eden teknik görüşmeler paralelinde yapılır. Bu durumda satın alma uzmanının durumu iyi değerlendirmesi ve kritik bir konu bulunması durumunda o tedarikçiyi bir alternatif olarak hesaba katmaması gerekir. Sonuç olarak bu çalışmada teknik yapabilirlik kriteri içerisinde teknik uzmanlık ve kullanılan teknoloji, Taherdoost ve Brard (2019)'da da bahsedildiği gibi birlikte değerlendirilmiştir.

4.1.4. Kalite kriteri

Kalite, ürün ve tedarikçi kalite performansı göz önünde bulundurulmuştur. Tedarikçi kalite değerlendirmesi için Noshad ve Awasthi (2018)'in çalışmalarında 14 farklı element sunulmuştur. Ürün kalitesi ise temelde ürünün fonksiyonunu yerine getirebilmesi, verimli çalışması, kullanıcı dostu olması ve güvenilirliği olarak tanımlanmıştır.

Kalite verileri firmadaki PQTool aracı üzerindeki verilerden alınmıştır. Bu araçtaki değerlendirmeler firmanın kalite prensipleri ile ilgili yapılan denetlemelerin tarihi, skorları, aksiyon planları, kalite kaza bildirimleri ve şikayetler gibi verilere dayanmaktadır. Daha fazla veriyi hesaba katabilmek için tarih filtrelemesi 2024 yılının başından itibaren yapılmıştır.

Kalite-teknoloji satın alma mühendisleri yılda bir kez yaptıkları strateji toplantısında sorumlu oldukları tedarikçiler için yıllık bir öngörü oluşturarak bir sonraki yılı planlarlar.

4.1.5. Teslimat performansı kriteri

Tedarikçilerin hali hazırda seri üretimde olan diğer ürünler için sağladıkları teslimat verileri, bu çalışmada teslimat performansı kriteri olarak değerlendirmeye alınmıştır. Bu veriler yalnızca tedarik yapacak üretim fabrikası için değil, çalışmanın yapıldığı firmanın globaldeki tüm üretim fabrikaları için yapılmış bir değerlendirmedir. Tedarikçiler merkezi birimler tarafından değerlendirilmektedir. Satın alma uzmanları ve teknik satın alma uzmanlarının periyodik olarak yaptıkları değerlendirmeler oldukça kapsamlıdır. Tedarikçilerin teslimat performansları, CO₂ skorları, lojistik süreçleri ve veri işlemleri de bu değerlendirmelere dahildir. Teslimat performansı verileri firmanın SRM (Supplier Relations Management) portalında yer alan veriler doğrultusunda hazırlanmıştır.

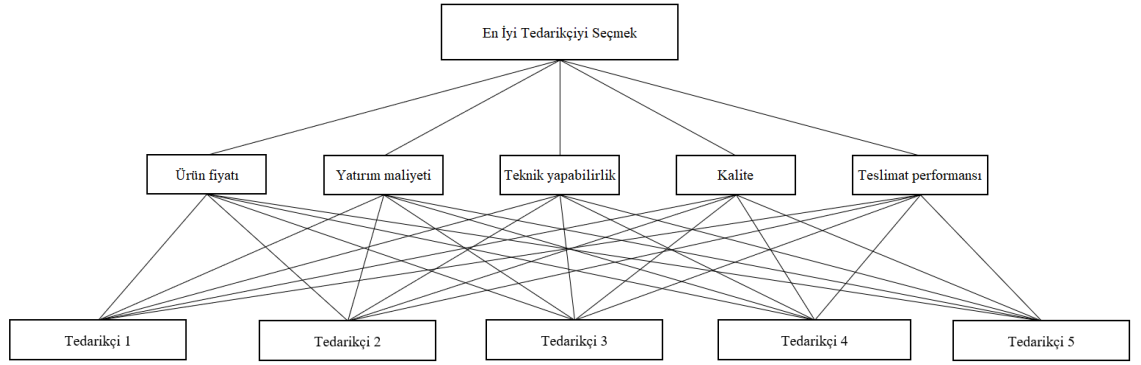
4.2. AHP Yönteminin Uygulanması

Kriterlerin belirlenmesi sonrasında hiyerarşi Şekil 4.1'deki gibi güncellenmiş ve AHP analizine geçilmiştir. Öncelikle kriter karşılaştırmaları yapılarak kriterlerin seçim

üzerindeki önem derecesi belirlenmiştir. Kriter karşılaştırma matrisi verileri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu matris üzerinde ‘Materyal ve Yöntem’ bölümünde anlatıldığı biçimde normalizasyon yapılmıştır ve özvektör (W) hesaplanmıştır, Çizelge 4.1’de hesaplanan değerler bulunmaktadır. Özvektör değerlerine göre en önemli kriter kalite olarak görülmüştür (0,404). Diğer kriterlerin sıralaması en önemliden başlamak suretiyle ürün fiyatı (0,254), teknik yapılabilirlik (0,199), yatırım maliyeti (0,101) ve teslimat performansı (0,041) şeklindedir. Bu değerlendirmedeki en önemli iki kriter literatürdeki diğer çalışmalarla örtüşmektedir. Yatırım maliyetinin dördüncü önem sırasında olmasının nedeni bu ödemenin verilen bütçe dahilinde tutulması şartıyla direkt müşteri tarafından yapılması olarak yorumlanmıştır. Teslimat performansının öneminin nispeten daha az olması ise projenin yürütüldüğü firmanın tedarikçilerine karşı uyguladığı disiplinli yaklaşım sayesinde bu kriterde sapmaların çok az yaşanmasıdır.

Kriterler belirli veriler üzerinden değerlendirilse bile değerlendirme hala subjektif özelliktedir ve bu nedenle tutarlılık analizi ile kriter değerlendirmelerinin uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir. Kriter karşılaştırma matrisi üzerinden Bölüm 3’te anlatıldığı gibi özdeğer (λ_{max}) hesaplanır ve bu değer kullanılarak TI hesaplanır. Çizelge 4.2’de tutarlılık analizi verileri verilmiştir.

TO değeri, Çizelge 3.3’te gösterildiği gibi RI değerinin 1,12 alındığı durumda 0,086 olarak hesaplanmıştır. Saaty’nin ilk ve güncellenmiş ölçütlerine göre kriter sayısının dörtten fazla olması durumunda TO değerinin 0,10 altında olması gerekmektedir. Problemimizde bu gereklilik sağlanmaktadır ve tutarlılık sağlanmıştır.



Şekil 4.1. AHP Analizi için uyarlanmış hiyerarşi

Çizelge 4.1. Kriter matrisi hesaplamaları

	K1	K2	K3	K4	K5	W	T	V
K1	1	3	2	0,500	6	0,254	1,406	5,539
K2	0,333	1	0,333	0,200	5	0,101	0,540	5,332
K3	0,500	3	1	0,333	8	0,199	1,096	5,506
K4	2	5	3	1	5	0,404	2,223	5,496
K5	0,167	0,200	0,143	0,167	1	0,041	0,210	5,067

Çizelge 4.2. AHP için tutarlılık analizi verileri

λ_{max}	5,388
TI	0,097
RI	1,120
TO	0,086

Her bir kriter için alternatiflerin birbiri ile karşılaştırmaları Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de gösterilmiştir. Daha sonra bu matrisler normalize edilmiştir. Normalizasyon sonrasında alternatiflerin özvektörleri, karşılaştırma matrisi ile verilmiş ve yorumlanmıştır. Hesaplama kullanılan özvektör matrisi Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Ürün fiyatı alternatifler için karşılaştırılırken, fiyatlar arasındaki farklar beşer beşer artacak şekilde skala haline getirilmiştir. Yani eğer fiyat farkı yoksa ikili karşılaştırma değeri 1, fark beş ise 2, fark on ise 3, ..., fark 40 ise 9 değerini alacak şekilde matris oluşturulmuştur. Ara değerler için satın alma uzmanının tecrübesi doğrultusunda ürün fiyatları için tedarikçilerden alınan alt kırımlar incelenmiş ve yapılabilecek indirimler göz önünde bulundurulmuştur, fiyat farkı için aşağı veya yukarı yuvarlamalar yapılmış ve matrise yansıtılmıştır. Ürün fiyatı için alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi ve özvektörü Çizelge 4.3'te görülmektedir, A2 tedarikçisi ciddi bir fiyat avantajına sahipken onu sırasıyla A4, A1 ve A3 takip eder.

Çizelge 4.3. Ürün fiyatı kriterine göre alternatif karşılaştırılması

Ürün fiyatı	A1	A2	A3	A4	Özvektör
A1	1,000	0,250	6,000	0,500	0,164
A2	4,000	1,000	9,000	3,000	0,546
A3	0,167	0,111	1,000	0,143	0,041
A4	2,000	0,333	7,000	1,000	0,249

Yatırım maliyetleri karşılaştırmaları için ürün fiyatında yapıldığı gibi bir skala oluşturulmuştur. Yaklaşık olarak her bir 75.000 birim fiyat için bir değerlendirme puanı fark etmektedir. Burada önceki tecrübelerden bilindiği üzere bazı tedarikçiler proje esnasında ilave maliyetler çıkaracaklardır, bu nedenle skala filtrelenerek kullanılmıştır. Yani önceki tecrübelerle göre fiyat artışı talep edecek tedarikçiler için artış miktarı göz önünde bulundurulmuş ve ham veri yerine yorumlanmış veri kullanılmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Yatırım maliyeti kriterine göre alternatif karşılaştırılması

Yatırım maliyeti	A1	A2	A3	A4	Özvektör
A1	1,000	0,333	6,000	0,250	0,151
A2	3,000	1,000	8,000	0,500	0,315
A3	0,167	0,125	1,000	0,111	0,039
A4	4,000	2,000	9,000	1,000	0,495

Teknik yapabilirlik karşılaştırmaları tedarikçilerle yapılan teknik değerlendirme görüşmesi sonucunda proje kalite ve proje satın alma mühendisleri tarafından geliştirme

bölümü fikirleri alınarak yüz puan üzerinden değerlendirilerek yapılmıştır. A1 yüz puan, A2 seksen puan, A3 ve A4 ise yetmiş puan almışlardır. Çizelge 4.5'te karşılaştırma verileri bulunmaktadır.

Çizelge 4.5. Teknik yapabilirlik kriterine göre alternatif karşılaştırılması

Teknik yapabilirlik	A1	A2	A3	A4	Özvektör
A1	1,000	3,000	4,000	4,000	0,536
A2	0,333	1	2,000	2,000	0,220
A3	0,250	0,500	1,000	1,000	0,122
A4	0,250	0,500	1,000	1,000	0,122

Kalite bakımından yapılan karşılaştırmalar Çizelge 4.6'da görülmektedir. Her ne kadar bu veriler daha önce bahsedilen kalite aracı üzerinden alınmış olsa da kalite mühendisi tarafından toplam bir değerlendirme yapılmıştır ve alternatifler kalite kriterine göre subjektif olarak da değerlendirilmiştir. Elde edilen özvektöre göre A1 tedarikçisi en iyi kaliteye sahip görülmektedir.

Çizelge 4.6. Kalite kriterine göre alternatif karşılaştırılması

Kalite	A1	A2	A3	A4	Özvektör
A1	1,000	5,000	4,000	6,000	0,598
A2	0,200	1,000	0,500	2,000	0,123
A3	0,250	2,000	1,000	3,000	0,203
A4	0,167	0,500	0,333	1,000	0,076

Teslimat performansı tedarikçilerin önceki teslimatları göz önünde bulundurularak lojistik birimi tarafından puanlanmıştır. Çizelge 4.7'de görüldüğü üzere teslimat açısından en başarılı tedarikçi A1 olarak görülmektedir.

Çizelge 4.7. Teslimat performansı kriterine göre alternatif karşılaştırılması

Teslimat performansı	A1	A2	A3	A4	Özvektör
A1	1,000	2,000	3,000	4,000	0,469
A2	0,500	1,000	2,000	3,000	0,280
A3	0,333	0,500	1,000	1,000	0,136
A4	0,250	0,333	1,000	1,000	0,115

Çizelge 4.8. Alternatiflerin özvektörleri matrisi

	Ürün fiyatı	Yatırım maliyeti	Teknik yapabilirlik	Kalite	Teslimat performansı
A1	0,164	0,151	0,536	0,598	0,469
A2	0,546	0,315	0,220	0,123	0,280
A3	0,041	0,039	0,122	0,203	0,136
A4	0,249	0,495	0,122	0,076	0,115

(4x5) boyutundaki gibi alternatiflerin özvektörleri matrisi ile (5x1) boyutundaki kriter özvektörü çarpılarak tedarikçi sıralaması bulunur, Çizelge 4.10’da gösterilmiştir. En çok tercih edilen tedarikçi A1 iken en son tercih edilen tedarikçi A4 olmuştur.

Çizelge 4.9. Tedarikçi sıralaması

Tedarikçi	Değerleme	Sıralama
A1	0,425	1
A2	0,276	2
A3	0,126	3
A4	0,173	4

4.3. COPRAS Yönteminin Uygulanması

COPRAS yönteminde Çizelge 4.10’da belirtildiği gibi satırlarda alternatifler, sütunlarda kriterler bulunacak şekilde bir matris oluşturulur. Burada ikili karşılaştırma yapılmaz, gerçek değerler kullanılır. Firmanın gerçek satın alma verilerini açıkça belirtmek etik ihlali olacağından bu değerler direkt olarak verilememiştir ancak normalize edilmiş karar matrisi Çizelge 4.11’de verildiği gibidir. Getirisi olan teknik yapabilirlik, kalite ve teslimat performansı için maksimizasyon, götürüsü olan ürün fiyatı ve yatırım maliyeti için minimizasyon işlemleri yapılmıştır ve Çizelge 4.12’de kriterlerin ağırlıkları ile gösterilmiştir. Kriter ağırlıkları daha önce bahsedildiği gibi AHP yönteminden alınmıştır yani hibrit bir yöntem sunulmuştur. Normalize edilmiş karar matrisinin ağırlıklandırılmış hali Çizelge 4.13’teki gibidir. Yönteme dair tüm hesaplama verileri ve tedarikçilerin seçim sıralaması Çizelge 4.14’te verilmiştir.

Çizelge 4.10. COPRAS alternatif matrisi

Alternatif/Kriter	Ürün fiyatı	Yatırım maliyeti	Teknik yapabilirlik	Kalite	Teslimat performansı
Alternatif 1	y_{11}	y_{21}	y_{31}	y_{41}	y_{51}
Alternatif 2	y_{12}	y_{22}	y_{32}	y_{42}	y_{52}
Alternatif 3	y_{13}	y_{23}	y_{33}	y_{43}	y_{53}
Alternatif 4	y_{14}	y_{24}	y_{34}	y_{44}	y_{54}

Çizelge 4.11. Normalize edilmiş karar matrisi

Alternatif/Kriter	Ürün fiyatı	Yatırım maliyeti	Teknik yapabilirlik	Kalite	Teslimat performansı
Alternatif 1	0,248	0,252	0,313	0,300	0,269
Alternatif 2	0,174	0,151	0,250	0,233	0,254
Alternatif 3	0,353	0,456	0,219	0,250	0,239
Alternatif 4	0,225	0,141	0,219	0,217	0,239

Çizelge 4.12. Kriter ağırlıkları

	Min	Min	Max	Max	Max
Kriter	Ürün fiyatı	Yatırım maliyeti	Teknik yapabilirlik	Kalite	Teslimat performansı
Kriter ağırlıkları (W_{ij})	0,254	0,101	0,199	0,404	0,041

Çizelge 4.13. Ağırlıklandırılmış karar matrisi

Alternatif/Kriter	Ürün fiyatı	Yatırım maliyeti	Teknik yapabilirlik	Kalite	Teslimat performansı
Alternatif 1	0,063	0,026	0,062	0,121	0,011
Alternatif 2	0,044	0,015	0,050	0,094	0,011
Alternatif 3	0,090	0,046	0,044	0,101	0,010
Alternatif 4	0,057	0,014	0,044	0,088	0,010

Çizelge 4.14. COPRAS hesaplama verileri

	S_i^+	S_i^-	S_{min}^-	$\sum_{i=1}^m S_i^-$	Q_i	Q_{max}	U_i	Sıralama
A1	0,1946	0,0885	0,0595	0,3552	0,2758	0,2758	100	1
A2	0,1546	0,0595			0,1546		56,06757176	2
A3	0,1545	0,1357			0,1545		56,0327067	3
A4	0,1410	0,0714			0,1410		51,14430956	4

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışması göstermiştir ki, amaca farklı etkileri olan kriterlerin birlikte değerlendirilmesine fırsat sunan ÇKKV yöntemleri, literatürde de belirtildiği gibi tedarikçi seçimi problemi için oldukça uygundur. Gerçek bir probleminden alınan veriler kullanılmış olup toplamda dört farklı tedarikçi için beş kriter alanında değerlendirme yapılmıştır.

Problemin verileri kullanım kolaylığı olan AHP ve COPRAS metotlarına hızlıca adapte edilmiş ve gerçek hayat ile örtüşen bir sonuç alınmıştır. Her iki yöntem için de klasik yöntemler uygun bulunmuştur çünkü her bir kriter için yeterli veri bulunmaktadır, belirsizlik yönetilebilir seviyededir. Bulanık yöntemlere ihtiyaç duyulmamıştır. İlk olarak AHP hem kriter ağırlıklandırmak için hem de seçim sıralaması yapmak için kullanılmıştır. İkinci yöntemde COPRAS metodunda kriter ağırlığı hesaplama yöntemi olarak AHP kullanılmıştır yani hibrit bir model oluşturulmuştur.

Kriterlerin alternatifler üzerindeki etkileri iki metot için ayrı ayrı çalışılmıştır. Hibrit modelde AHP'nin kriter ağırlıklandırmadaki COPRAS'ın ise seçim sıralaması yapmadaki güçlü becerileri kullanılmıştır. COPRAS, çakışan kriter etkileri (maksimize ve minimize edilmesi gerekenler) için ayrı ayrı değerlendirme yapar. Bu nedenle COPRAS'ta elde edilen sıralamada ilk sırada gelen tedarikçi puanı ile diğer sırada gelenler arasındaki fark AHP'ye göre daha fazladır, AHP'nin tek başına kullanıldığı yöntemde ise bu fark oldukça azdır. AHP yönteminde belirli veriler üzerinden alternatifleri karşılaştırılsa da subjektif değerlendirmelere göre karar matrisi oluşturulmuştur. COPRAS direkt olarak karar matrisine veri girdisi sağlanmasını gerektiren bir yöntemdir. Aynı zamanda COPRAS metodu, AHP metodunun sonuçlarını valide etmektedir.

AHP yöntemindeki değerlendirme ve COPRAS hibrit yöntemindeki nicel verilerle yapılan hesaplamada A1 tedarikçisi en çok tercih edilmesi gereken tedarikçi çıkmıştır, tüm tedarikçiler için tercih sıralaması ise $A1 > A2 > A3 > A4$ şeklindedir. Firmanın merkezi birimleri tarafından stratejik öneme sahip A1 tedarikçisi ile çeşitli projeler için satın alma

sözleşmeleri mevcuttur. Çalışmamızdaki projede de yine bu yan sanayi seçilmiş ve proje devreye alma için numune süreci başlatılmıştır. A4 ise firmaya nispeten daha yeni tanıtılan bir tedarikçidir. Son tercih olarak çıkmasının nedeni bu tedarikçinin firmaya uyum süreci olarak yorumlanmıştır. Ürün fiyatı ve yatırım maliyeti olarak avantaj sağlamakla birlikte teknik yapabilirlik ve kalite açılarından belirli bir seviyeyi yakalamaktadır ancak gelişim alanı bulunmaktadır.

Çalışılan metotlar Microsoft Excel üzerinde formüle edilmiştir, matrisler dinamik bir yapıya sahip değildir. Sonraki çalışmalar için dinamik modelleme yapılması çözüm yöntemine katkı sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- Abdolshah, M. (2013). A review of quality criteria supporting supplier selection. *Journal of Quality and Reliability Engineering*, 2013(1), 621073. <https://doi.org/10.1155/2013/621073>
- Ajalli, M., Azimi, H., Balani, A. M., & Rezaei, M. (2017). Application of fuzzy AHP and COPRAS to solve the supplier selection problems. *International Journal of Supply Chain Management*, 6(3), 112-119.
- Altın, H. (2021). Karar verme sürecinde COPRAS yöntemi uygulaması. *Ekonomi İşletme ve Maliye Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 136-155. <https://doi.org/10.38009/ekimad.929844>
- Baynal, K., & Yüzügüllü, E. (2013). Tedarik zinciri yönetiminde analitik ağ süreci ile tedarikçi seçimi ve bir uygulama. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 42(1).
- Beheshti, M., Amoozad Mahdiraji, H., & Zavadskas, E. K. (2016). Strategy portfolio optimisation: A COPRAS G-MODM hybrid approach. *Transformations in Business & Economics*, 17(4), 325–332.
- Ćosić, P., Keran, Z., & Kokot, V. (2020). Selection of an optimal supplier. *Tehnički glasnik*, 14(4), 531-539.
- Dağdeviren, M., & Erarslan, E. (2008). PROMETHEE sıralama yöntemi ile tedarikçi seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 69-75.
- Demirci, A. (2021). green supplier selection by using COPRAS and EDAS methods. *Toros Üniversitesi İİSBF Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(Special Issue on International Symposium of Sustainable Logistics), 9-21.
- Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Supply Chain Management*, 2(1), 5-17. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1966.tb00818.x>
- Franek, J., & Kresta, A. (2014). Judgment scales and consistency measure in AHP. *Procedia economics and finance*, 12(1), 164-173. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00332-3](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00332-3)
- George, J., & Badoniya, P. (2019). A decision support system for selecting best supplier for multiple criteria decision making problems using entropy weight method and COPRAS method. *National Journal of Advanced Research*, 5(3), 1–3.
- Hailiang, Z., Khokhar, M., Islam, T., & Sharma, A. (2023). A model for green-resilient supplier selection: Fuzzy best–worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(18), 54035-54058.

- Ho, W., Xu, X., & Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.009>
- Hruška, R., Průša, P., & Babić, D. (2014). The use of AHP method for selection of supplier. *Transport*, 29(2), 195–203. <https://doi.org/10.3846/16484142.2014.930928>
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*. Springer Berlin, Heidelberg: Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., Raslanas, S., Ginevicius, R., Komka, A., & Malinauskas, P. (2006). Selection of low-e windows in retrofit of public buildings by applying multiple criteria method COPRAS: A Lithuanian case. *Energy and Buildings*, 38(5), 454-462. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.08.005>
- Karakoç, Ö., Memiş, S., & Sennaroglu, B. (2023). A review of sustainable supplier selection with decision-making methods from 2018 to 2022. *Sustainability*, 16(1), 125. <https://doi.org/10.3390/su16010125>
- Komatina, N. (2024). A compromise-based MADM approach for prioritizing failures: Integrating the RADAR method within the FMEA framework. *Journal System and Management of Industries*, 8(2), 72-88. <https://doi.org/10.3390/jsmi.v8i2.9283>
- Lin, C., Kou, G., Peng, Y., & Hefni, M. A. (2022). Dynamic thresholds of geometric consistency index associated with pairwise comparison matrix. *Technological and Economic Development of Economy*, 28(4), 1137-1157. <https://doi.org/10.3846/tede.2022.16544>
- Lukinskiy, V., Lukinskiy, V., Sokolov, B., & Bazhina, D. (2021, August). An empirical examination of the consistency ratio in the analytic hierarchy process (AHP). In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 477-485). Cham: Springer International Publishing.
- Mulliner, E., Malys, N., & Maliene, V. (2016). Comparative analysis of MCDM methods for the assessment of sustainable housing affordability. *Omega*, 59, 146-156. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.013>
- Noshad, K., & Awasthi, A. (2018). Investigating critical criteria for supplier quality development. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 13(3), 215-224. <https://doi.org/10.1080/17509653.2017.1387821>
- Özdağoglu, A., & Özdağoglu, G. (2007). Comparison of AHP and fuzzy AHP for the multi-criteria decision making processes with linguistic evaluations. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(11), 65-85.

- Pal, O., Gupta, A. K., & Garg, R. K. (2013). Supplier selection criteria and methods in supply chains: A review. *International Journal of Economics and Management Engineering*, 7(10), 2667-2673.
- Pant, S., Kumar, A., Ram, M., Klochkov, Y., & Sharma, H. K. (2022). Consistency indices in analytic hierarchy process: a review. *Mathematics*, 10(8), 1206. <https://doi.org/10.3390/math10081206>
- Pınar, A. (2020). Tedarikçi seçiminde kullanılan çok kriterli karar verme metotları. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), 449-478.
- Podvezko, V. (2011). The comparative analysis of MCDA methods SAW and COPRAS. *Engineering Economics*, 22(2), 134-146.
- Popovic, G., Stanujkic, D., & Stojanovic, S. (2012). Investment project selection by applying COPRAS method and imprecise data. *Serbian Journal of Management*, 7(2), 257-269. <https://doi.org/10.5937/sjm7-2268>
- Rahim, M., Akhtar, Y., Yang, M. S., Ali, H. E., & Elhag, A. A. (2024). Improved COPRAS Method with Unknown Weights under p, q-Quasirung Orthopair Fuzzy Environment: Application to Green Supplier Selection. *IEEE Access*. [10.1109/ACCESS.2024.3400016](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3400016)
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society*, 41(11), 1073-1076.
- Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. RSW Publication.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Sarıçalı, G. (2018). Çok kriterli karar verme yöntemlerinden KEMIRA-M ve COPRAS yöntemlerinin mermer işletmesinde makine seçim sürecine uygulanması, [Yüksek lisans tezi], Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü.
- Sarıçalı, G., & Kundakçı, N. (2016). AHP ve COPRAS yöntemleri ile otel alternatiflerinin değerlendirilmesi. *International Review of Economics and Management*, 4(1), 45-66. [10.18825/irem.00736](https://doi.org/10.18825/irem.00736)
- Sarraf, R., & McGuire, M. P. (2020). Integration and comparison of multi-criteria decision making methods in safe route planner. *Expert Systems with Applications*, 154(1), 113399.
- Taherdoost, H., & Brard, A. (2019). Analyzing the process of supplier selection criteria and methods. *Procedia Manufacturing*, 32(1), 1024–1034.

- Taherdoost, H., & Mohebi, A. (2024). A comprehensive guide to the COPRAS method for multi-criteria decision making. *Journal of Management Science & Engineering Research*, 7(2), 1-14.
- Thiruchelvam, S., & Tookey, J. E. (2011). Evolving trends of supplier selection criteria and methods. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 4(1), 437-454.
- Wisner, J. D., Tan, K. C., & Leong, K. (2021). *Principles of supply chain management: A balanced approach*. South-Western, Cengage Learning.
- Xia, W., & Wu, Z. (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. *Omega*, 35(5), 494-504.
- Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Šarka, S. (1996). The new method of multicriteria evaluation of projects. *Technological and Economic Development of Economy*. 1(3), 131–139.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165-179.
- Zhao, Q., Li, J., Fediuk, R., Klyuev, S., & Nemova, D. (2021). Benefit evaluation model of prefabricated buildings in seasonally frozen regions. *Energies*, 14(21), 7119.
- Zolfani, S. H., Chen, I. S., Rezaeiniya, N., & Tamošaitienė, J. (2012). A hybrid MCDM model encompassing AHP and COPRAS-G methods for selecting company supplier in Iran. *Technological and Economic Development of Economy*, 18(3), 529–543.