



Journal of Turkish Operations Management

Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile yeşil tedarik zincirindeki risklerin karşılaştırılması

Ahmet Çalık^{1*}

¹Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya, Türkiye, e-mail: ahmetcalik51@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-6796-0052>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 12.03.2021

Revize: 19.04.2021

Kabul: 17.08.2021

Anahtar Kelimeler:

ARAS,
Bulanık AHP,
Mobilya sektörü
Risk değerlendirmesi,
TOPSIS,
VIKOR

Özet

Çevresel düşünceleri tedarik zinciri yönetimi araştırma ve uygulamalarına entegre etmek için artan bir ihtiyaç bulunmaktadır. İşletmeler çevresel düzenlemelere ve müşteri taleplerine cevap verebilmek için yeşil tedarik zinciri (YTZ) stratejileri aramaya çalışmaktadırlar. YTZ uygulamalarının başarıyla yönetilmesinde rol oynayan çeşitli riskler ve risk faktörleri vardır. Belirsiz riskler YTZ operasyonlarını bozma ve dolayısıyla tedarik zincirinin başarı oranını düşürme eğilimindedir. Bu çalışmanın amacı, bulanık ortamda YTZ faaliyetlerinin uygulanmasıyla ilgili riskleri değerlendirmek için Analitik Hiyerarşi Sürecine (AHP) ve TOPSIS, VIKOR ve ARAS metodolojisine dayanan entegre bir karar yaklaşımı önermektir. Türkiye’de mobilya sektöründen bir işletme üzerinden, Bulanık AHP yöntemi tanımlanmış risklerin önceliğini elde etmek için uygulanmış, bulanık TOPSIS, VIKOR ve ARAS yöntemleri elde edilen risk önceliklerini dikkate alarak tedarikçi risk değerlendirmesi için kullanılmıştır. Bu çalışmada önerilen risk değerlendirme yaklaşımı, stratejik karar süreçlerinde risklerin önemini anlamak ve farklı karar verme yöntemlerinin değerlendirilmesi için mantıklı araçlar sunmaktadır.

Comparison of risks in green supply chain with fuzzy multi criteria decision-making methods

Article Info

Article History:

Received: 12.03.2021

Revised: 19.04.2021

Accepted: 17.08.2021

Keywords:

ARAS,
Fuzzy AHP,
Furniture sector
Risk assessment
TOPSIS
VIKOR.

Abstract

There is an increasing need to integrate environmental considerations into supply chain management research and practices. From this viewpoint, companies are trying to look for green supply chain (GSC) strategies to respond to environmental regulations and customer demands. There are various risks and risk factors that play a role in the successful management of GSC applications. Uncertain risks tend to disrupt GSC operations and thus reduce the success rate of the supply chain. The aim of this study is to propose an integrated decision approach based on the Analytical Hierarchy Process (AHP), TOPSIS, VIKOR and ARAS methodology to assess the risks associated with the implementation of GSC activities in a fuzzy environment. Through the furniture manufacturing company in Turkey, the fuzzy AHP method is applied to obtain the priority of the identified risks, and the fuzzy TOPSIS, VIKOR and ARAS methods are used for supplier risk assessment considering the risk priorities obtained from fuzzy AHP. The proposed risk assessment approach used in this study provides logical tools for understanding the importance of risks in strategic decision processes and for assessing different decision-making methods.

1. Giriş

Tedarik zinciri girişimleri, geçtiğimiz yıllarda müşterilerin dinamik talebine yanıt olarak firma operasyonlarında hayati bir faktör haline gelmiştir ve artan müşteri taleplerini karşılayabilmek için tedarik zincirleri daha geniş alanlara yayılmıştır (Mangla, Kumar ve Barua, 2015a). Küresel pazarda rekabet edebilmek, stratejik olarak daha iyi performans ve rekabet avantajı sağlayabilmek için işletmeler farklı tedarikçilerden dış kaynak kullanmayı seçmişlerdir (Chatterjee ve Kar, 2016). Bir işletme ancak çalıştığı tedarikçilerin zinciri kadar güçlüdür. Arz ve talepteki belirsizlikler, piyasaların küreselleşmesi, ürün ve teknoloji yaşam döngülerini kısaltması tedarik zincirinde risklere maruz kalma olasılığını artırmıştır. Bu yüzden işletmeler, tedarik zincirinde risk yönetimini destekleyen yöntemleri tanımak ve anlamak için gayret göstermektedirler.

Çevrenin tahrip edilmesi, kirlilik seviyelerinin artması, atık sahalarının taşması ve hammadde kaynaklarının azalmasıyla, işletmelerin faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkileri hem araştırmacılar hem de uygulayıcılardan her geçen gün daha fazla ilgi görmektedir (Hashemi, Karimi ve Tavana, 2015). İşletmeler, daha az ambalaj kullanan, kirliliği azaltan ve/veya enerji tüketimini azaltan ürünler geliştirerek kirlilik faktörlerini azaltmaya çalışmışlardır (Humphreys, Wong ve Chan, 2003). Bununla birlikte yeşil veya çevre dostu malzeme hareketini etkileyebilecek öngörülemez olaylar vardır ve bu olaylar ürünlere zarar verebilmekte, ürün tesliminde gecikmelere neden olabilmekte ve hatta finansal durumları etkileyebilmektedir.

Tedarik zinciri yönetiminde, tedarikçi seçim kararları yöneticilerin en önemli sorumluluklarından biri olduğu düşünülmektedir. Doğru kurgulanmış alıcı-tedarikçi ilişkileri kaliteli malzemeleri garanti altına almanın, yeni teknolojileri hızlıca dağıtmanın, yeni bir pazara girmenin, finansal kısıtlamaları aşmanın, devlet kısıtlamalarını atlamanın ve belirli bir alanda önde gelen firmalardan hızlı bir şekilde öğrenmenin etkili yolları olabilmektedir (Lee, 2009). Tedarikçilerle çevresel konulara ilişkin işbirliğine dayalı ilişkiler, işletmelerin çevresel performanslarını iyileştirmelerini sağlamaktadır. Yeşil üretim ve ilgili işlemler için işletmelerin Yeşil Tedarik Zinciri (YTZ) performanslarını geliştirebilmeleri yeşil yeteneklere sahip tedarikçilerle çalışmak zorunda olmalarını gerektirmektedir (Akman, 2015).

Uygun bir tedarikçinin seçimi, alıcı-tedarikçi ilişkisini etkileyen önemli bir faktördür. İşlem doğru yapılırsa, daha kaliteli, daha sağlam ve daha uzun süreli ilişki sonuçlarına ulaşılabilir. Belirsizliklerin ve öngörülmezi olayların artması gelecekteki olayları tahmin etmeyi zorlaştırmakta ve alıcı-tedarikçi ilişkilerinde problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle tedarik zinciri risk yönetimi, iş dünyası ve araştırmacılar için daha fazla dikkat çekmeye başlamaktadır (Fahimnia, Sarkis ve Davarzani, 2015; Tang, Matsukawa ve Nakashima, 2012).

Tedarikçi risklerinin değerlendirme sürecinde üretim, finans ve pazarlama gibi satın alma dışındaki bölümlerden gelen karar vericiler, tedarikçi seçme sürecindeki karar alma sürecine sıklıkla katılmakta ve bu durum seçim süreci ile ilgili çeşitli belirsizliklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Sanayei, Farid Mousavi ve Yazdankhah, 2010). Ayrıca, kesin yaklaşımlar, belirsiz ortamlarda uzman kararlarının doğasını sunmada her zaman yararlı olmayabilir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı Türkiye'de faaliyet gösteren bir mobilya imalat şirketinin tedarikçilerini YTZ'ndeki riskleri dikkate alarak değerlendirmek için bulanık küme teorisine dayalı bir yaklaşım, entegre bulanık AHP-TOPSIS AHP-VIKOR ve AHP-ARAS metodolojisi önermektedir.

Bu çalışma, aşağıda belirtilen vurgulanan hedeflere ulaşılmasına yardımcı olmaktadır.

- YTZ ile ilgili çeşitli riskleri tanımlamak ve önceliklendirmek,
- Çeşitli çevresel kriterlerden yararlanarak YTZ risk yönetiminde yeşil tedarikçi seçim çerçevesini geliştirmek,
- Farklı bulanık ÇKKV yöntemlerini kullanarak en risksiz tedarikçiyi belirleyebilmek,
- Bulanık ÇKKV yöntemleri arasında karşılaştırma yapabilmek.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: birinci bölüm, YTZ'nde risk yönetimi çalışmaları hakkında kısa bir literatür taraması içermektedir. İkinci bölüm, bulanık ÇKKV yöntemlerine dayalı olarak önerilen yaklaşımı ve kullanılan yöntemleri açıklamaktadır. Üçüncü bölüm, tedarikçi seçim problemi örneği kullanarak önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermektedir. Dördüncü bölüm çalışmayı gelecekteki bazı araştırma önerileriyle sonlandırmaktadır.

2. Literatür Araştırması

YTZ ile ilgili risklerinin yeterince anlaşılmasını sağlamak için, bu bölüm YTZ yönetiminde risk değerlendirmesi ve yönetimine dahil olan riskleri açıkça sunmaktadır.

Tedarik zinciri riskleri, aksaklıklar veya gecikmeler nedeniyle tedarik zinciri ağındaki akışta beklenmeyen değişikliklere neden olarak tedarik zinciri sorunları yaratabilmektedir (Christopher ve Lee, 2004). Bu aksaklıklar ister küçük isterse büyük her işleme kısa veya uzun vadede değişen tehditler oluşturabilir. Malzeme akışındaki gecikmeler genellikle tedarikçiler talep değişikliklerine cevap veremediğinde ortaya çıkmaktadır. Bu gecikmeler ekonomik olarak yerleştirilerek ve boyutlandırılarak çözülebilmektedir. Bununla birlikte, tedarik zinciri

yönetiminde çevre sorunları zorunlu hale gelmekte Y TZ'nde risk değerlendirmesi gittikçe önem kazanmaktadır (Mangla, Kumar, ve Barua, 2016).

Chatterjee, Zavadskas, Tamošaitienė, Adhikary ve Kar (2018) inşaat proje risklerini öncelik sırasına koymak için D sayılarına dayalı bir ANP-MABAC karar verme metodolojisi geliştirerek, belirsiz ve eksik karar ortamlarında risk azaltma stratejileri bulmayı hedeflemişlerdir. Mangla ve diğ. (2016) bütünlük hata ağacı analizi (FTA) ve bulanık AHP metodolojisi ile Y TZ'ndeki riskleri değerlendirmek için kalitatif ve kantitatif grup karar vermesini bütünlük önermişlerdir. Ürün geri kazanım riskleri ve süreç riskleri Y TZ'nde ortaya çıkma olasılığı en yüksek riskler olarak belirlenmiştir. Mital, Del Giudice, ve Papa (2018) bilişsel haritalar ve AHP yöntemini kullanarak birden fazla ürün kategorisinde tedarik zinciri riskini tanımlamış ve değerlendirmişlerdir. Perakende sektöründen 20 katılımcı ile süt, pirinç, cep telefonu ve sigara gibi dört ürün üzerinde yoğunlaşarak tedarik zinciri riskleri değerlendirilmiş ve riskin tedarik zincirlerine göre değiştiği tespit edilmiştir. Rostamzadeh, Ghorabae, Govindan, Esmaceli, ve Nobar (2018) İran'daki petrokimya endüstrisinin önemi göz önüne alınarak sürdürülebilir tedarik zinciri risk yönetimi değerlendirmesi için bir çerçeve yaratılmıştır. TOPSIS ve CRITIC yöntemi bulanık bir ortamda geliştirilerek tedarikçilerin sıralamaları elde edilmiştir. Mangla ve diğ. (2015a) Bulanık AHP yöntemi, tanımlanmış risklerin önceliğini belirlemek için kullanılmış, risk sıralamasını analiz etmek için IRP metodolojisi Hindistan'daki bir üretim şirketinde uygulanmıştır. Chatterjee ve Kar (2016) yöneticilerin daha az riskli tedarikçileri doğru analiz etmelerinde ve seçmelerinde yöneticilere yardımcı olabilecek bir mekanizma oluşturmuşlardır. Elektronik tedarik zincirinde tedarikçi seçim problemini ele almak için aralık-değerli TOPSIS tabanlı bir yöntem geliştirmişlerdir. Mangla, Kumar, ve Barua (2015b) en yaygın Y TZ risklerinin belirlenmesi için iki aşamalı bir metodoloji önermişlerdir. Dört farklı Hint imalat şirketi incelenerek belirlenen riskler bulanık AHP yaklaşımı kullanılarak analiz edilmiştir. Operasyonel kategori riskleri en önemli risk kriteri olarak belirlenmiştir. Hu, Hsu, Kuo ve Wu (2009) Y TZ'ndeki yeşil bileşenlerle bağlantılı riskleri analiz etmek için nicel temelli bir yaklaşım önermiştir. Ruimin, Yao ve Huang (2012) Y TZ ile geleneksel tedarik zinciri arasındaki farkı ve Y TZ yönetiminde risk kaynaklarını ortaya koymuşlardır. Wang, Chan, ve Diaz-Rainey (2012) moda endüstrisi tedarik zincirinde çeşitli yeşil girişimlerin uygulanmasına yönelik toplam riskin analizini mümkün kılan bir risk değerlendirme modeli geliştirmişlerdir.

Kumar, Sunil, ve Suresh (2018) Y TZ'yle ilişkili riskleri değerlendirmek için bulanık hata türleri ve etkileri analizi yaklaşımını önererek, bir plastik üreticisi üzerinde önerilen yaklaşımın uygulamasını göstermişlerdir. Yudi, Tim, Norris, Won ve Masatoshi (2018) proje risk yönetimi ve Y TZ yönetimiminin proje yönetimi performansı ve proje başarısı ile pozitif ilişkili olup olmadığını, Malezya otomobil imalat endüstrisindeki 145 proje yöneticisinden veri toplayarak ve yapısal eşitlik modellemesini kullanarak analiz etmişlerdir. Majumdar, Sinha, Shaw ve Mathiyazhagan (2020) yeşil giyim tedarik zincirine ait riskleri, bulanık AHP yaklaşımı kullanılarak analiz etmişlerdir. Beş ana kritere ayrılan risklerin önceliği bulanık AHP ile elde edilmiş, ardından her bir riskin, etki ve olasılıklarına göre eşleştirildiği bir hasar (zarar) görebilirlik matrisi geliştirilmiştir. Ngan, Promentilla, Yatim ve Lam (2019) ANP yöntemini, Malezya'daki yeşil projelerle ilişkili risklerin değerlendirilmesinde risk faktörlerini belirlemek ve öncelik sırasına koymak için kullanmışlardır. Jabbarzadeh, Haughton ve Pourmehdi (2019) erteleme stratejisini benimseyen bir tedarik zincirinin üretim-dağıtım planlaması için iki amaçlı sağlam bir optimizasyon modeli oluşturmuşlardır. Geliştirilen sağlam modelde karar vericilerin risk tercihleri talep değişimlerine dâhil edilmiştir. Ozturkoglu, Kazancoglu ve Ozkan-Ozen (2019) üçlü karlılık yaklaşımını kullanarak gemi geri dönüşüm endüstrisindeki riskleri tanımlayarak, riske dayalı kavramsal model geliştirmişler ve bulanık DEMATEL yöntemi ile kriterler arasındaki nedensel bağlantıları analiz etmişlerdir. Wong (2020) tedarikçi portföy seçimi ve sipariş tahsisi problemini çözmek için yeni üç aşamalı dinamik tedarik sistemi modeli önermiştir. Tedarikçi dinamik risklerini ve yeşil pazar segmentasyonunu tedarikçi seçim problemine entegre etmiştir.

Tablo 1, farklı yazarlar tarafından kullanılan yöntemler ve çeşitli risk değişkenleri hakkındaki önceki araştırmaların özetini göstermektedir.

Tablo 1. Önceki araştırmaların kısa özeti

Yazar(lar)	Risk değişkenleri	Kullanılan Yöntem(ler) & Model(ler)	Ana Özellikler
Chatterjee ve diğ. (2018)	Dış riskler (politik istikrarsızlık, ekonomik risk, sosyal risk), Proje riski (teknolojik risk, iş kalitesi riski, zaman ve maliyet riski), İç riskler (kaynak riski, belgeler ve bilgi riski, paydaş riski)	D-ANP-MABAC	İnşaat projesi risklerini önceliklendirmek için D numaralarına dayalı ANP-MABAC metodolojisi geliştirmek

Mangla ve diğ. (2016)	Bilgi teknolojisi riskleri, finansal riskler, arz riskleri, süreç riskleri, devletin müdahale riskleri, sosyal ve çevresel riskler, talep riskleri, ürün geri kazanım riskleri*	FTA ve bulanık AHP	Bir plastik üreticisi örneğinde sekiz risk kriteri ve 30 alt kriter değerlendirmek
Mital ve diğ. (2018)	Kalite, maliyet, arz sürekliliği, tedarikçi hizmeti ve alıcı tedarikçi ilişkisi*	Bilişsel haritalar ve AHP	Süt, pirinç, cep telefonları ve sigaralar olmak üzere dört ürün üzerinde tedarik zinciri risklerini analiz etmek
Rostamzadeh ve diğ. (2018)	Çevresel riskler, kurumsal riskler, sürdürülebilir tedarik riskleri, sürdürülebilir üretim riskleri, sürdürülebilir dağıtım riski, sürdürülebilir geri dönüşüm riskleri, bilgi teknolojisi ile ilgili riskler*	Bulanık TOPSIS ve CRITIC	Sürdürülebilirlikle ilgili sorunları ve tedarik zinciri risklerini bulanık TOPSIS - CRITIC yöntemi ile birlikte ele almak
Mangla ve diğ. (2015a)	Talep riskleri, ürün geri kazanım riskleri, arz riskleri, operasyonel riskler*	Bulanık AHP ve IRP	Y TZ bağlamında riskleri değerlendirebilecek esnek bir karar modeli sunmak
Chatterjee ve Kar (2016)	Çevre riski, talep riski, arz riski, kontrol riski, süreç riski, sigorta riski	Aralık değerli bulanık TOPSIS	Çalışmanın tamamında aralık değerli bulanık kümelerin özelliklerini kullanmak
Wang ve diğ. (2012)	Teslimat, kalite, tedarik güvencesi, esneklik, maliyet, üretim, satın alma, lojistik, pazarlama*	Bulanık AHP	Bir yeşil girişimin uygulanması için genel risk düzeyi için gösterge oluşturmak
Ozturkoglu ve diğ. (2019)	İş sağlığı ve güvenliği değerlendirme serisi (fiziksel tehlikeler, kimyasal tehlikeler, ergonomi, kazalar), yanıt verebilirlik (esneklik, güvenilirlik, çabukluk), Y TZ yönetimi (yeşil tasarım, yeşil satın alma, yeşil üretim, yeşil yönetim, yeşil pazarlama)	Bulanık DEMATEL	Gemi geri dönüşümünde önleyici risk yönetimiyle karşılaşılabilecek bütüncül bir çerçeve tasarlamak
Majumdar ve diğ. (2020)	Arz riskleri, talep riskleri, süreç veya operasyon riskleri, iş ortamı riski, finansal riskler*	Bulanık AHP	Yeşil giyim tedarik zinciri için riskleri önceliklendirmek
Ngan ve diğ. (2019)	Teknoloji, finans, tedarik zinciri, yasal, çevresel ve sosyal riskler*	ANP	Malezya'daki yeşil projelerle ilişkili riskleri değerlendirmek

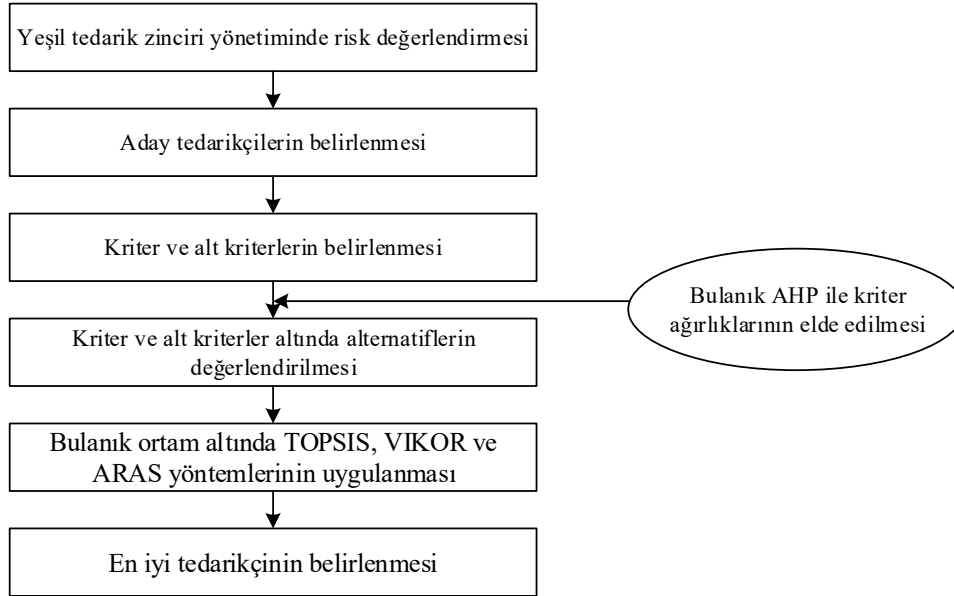
Mevcut çalışma	Operasyonel risk, tedarik riski, ürün kurtara riski ve finansal riskler*	Bulanık AHP, bulanık TOPSIS, VIKOR ve ARAS	Farklı ÇKKV ile riskler arasında karşılaştırma yapmak
----------------	--	--	---

*Sadece ana kriterler belirtilmiştir

Literatürün gözden geçirilmesi sonucunda, YZ risk yönetimi konusunda çokça çalışma yapıldığı ortaya konmuştur. ÇKKV yöntemlerinin yaygın olarak uygulanan yöntemler olduğu ve YZ’nde risk yönetimi problemini çözmek için bulanık yaklaşımların en uygun olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada karar problemini daha mantıklı bir probleme dönüştürdüğü için bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Ek olarak, farklı ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırmalarını içeren çalışmalara rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, en az riskli tedarikçileri belirlemek için bulanık TOPSIS, VIKOR ve ARAS yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu nicel çalışmaların eksikliği açıkça farklı ÇKKV yöntemlerine dayanan risk değerlendirmelerinde araştırmayı genişletmek için bilimsel olarak ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

3. Önerilen Entegre Yaklaşım

Önerilen entegre yaklaşımı temsil eden bir şema Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu yaklaşım, YZ yönetiminde tedarikçi seçiminde farklı ÇKKV yöntemleri ile risk değerlendirmesi sorununun nasıl ele alındığını göstermektedir. Tedarikçi risk değerlendirmesinin ilk adımı, işletmenin gereksinimleri hakkında doğru ve eksiksiz bilgi toplamaktır. İkinci adım, ürün gereksinimlerine göre potansiyel tedarikçilerin bir listesini oluşturmaktır. Çözüm aşaması, kriter ağırlıklarını elde edebilmek için bulanık AHP yönteminin kullanılmasıyla başlamakta ve bulanık ortamda TOPSIS, VIKOR ve ARAS yöntemleriyle alternatiflerin sıralanmasıyla sonlandırılmaktadır.



Şekil 1. Önerilen Entegre Yaklaşım

3.1. Bulanık AHP Yöntemi

AHP, farklı kriterler arasında öncelikleri belirlemek için sıklıkla kullanılan bir karar verme metodolojisidir. Ancak, AHP yöntemi, karar verici yargılarındaki belirsizliği hesaba katmaz. Bu nedenle, farklı yazarlar tarafından sağlanan çeşitli bulanık AHP yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada sözel belirsizliği daha iyi ifade edebilmek amacıyla Buckley (1985) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır. Bulanık AHP dört temel adımı kapsamaktadır (Tzeng ve Huang, 2011):

Adım 1: Hiyerarşik yapıda yer alan tüm kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır.

Adım 2: Her kriter için geometrik ortalama alınarak bulanık ağırlık matrisi oluşturulur (Denklem (1)).

$$\tilde{z}_i = \left[\prod_{j=1}^n \tilde{t}_{ij} \right]^{1/n}, \forall i \quad (1)$$

Adım 3: Her kriterin bulanık ağırlıkları elde edilir (Denklem (2)).

$$\tilde{w}_i = \tilde{z}_i \oplus \left[\sum_{j=1}^n \tilde{z}_j \right]^{-1} \quad (2)$$

3.2. Bulanık TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi, alternatifler arasındaki mesafeleri göz önünde bulunduran Hwang ve Yoon (1981) tarafından önerilmiş bir ÇKKV yöntemidir. Bulanık TOPSIS yöntemi ise, bulanık ortam altındada grup karar verme problemini çözmek için çok uygundur. Bulanık TOPSIS yönteminin adımları kısaca aşağıda verilmiştir:

Adım 1: Amaçlar belirlenerek, değerlendirme kriterleri ve alternatifler tanımlanır.

Adım 2: Karar vericilerin görüşleri ile birleştirilmiş bulanık karar matrisi oluşturulur.

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$\tilde{x}_{ij}^k = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$; k . uzman tarafından C_j kriterine göre A_i alternatifinin değerlendirmesi olmak üzere alternatiflerin birleştirilmiş bulanık değerlendirmeleri (\tilde{x}_{ij}) Denklem (4) ile hesaplanabilir:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + \tilde{x}_{ij}^K] \quad (4)$$

Adım 3: Bulanık normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur (Denklem (5)).

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{l_{ij}}{\sqrt{\sum_i u_{ij}^2}}, \frac{m_{ij}}{\sqrt{\sum_i u_{ij}^2}}, \frac{u_{ij}}{\sqrt{\sum_i u_{ij}^2}} \quad (5)$$

Adım 4: Ağırlıklı normalize edilmiş matris, değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları normalize bulanık karar matrisi ile çarpılarak hesaplanır (Denklem (6)).

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j \quad (6)$$

Adım 5: Bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS) ve bulanık negatif-ideal çözüm (FNIS) değerleri her kriter için hesaplanır (Denklemler (7-8)).

$$FPIS = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+\} \quad (7)$$

$$FNIS = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\} \quad (8)$$

burada $\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1)$ ve $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$.

Adım 6: Her alternatif için FPIS ve FNIS'e olan uzaklıklar hesaplanır (Denklemler (9-10)).

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad (9)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (10)$$

Adım 7: Her alternatifin yakınlık katsayısı (CC_i) hesaplanır (Denklem (11)).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (11)$$

3.3. Bulanık VIKOR Yöntemi

VIKOR yöntemi, alternatiflerin sıralanmasında uzlaşık çözümlere ulaşmak için kullanan bir ÇKKV yöntemidir. Bulanık VIKOR yöntemi alternatifleri sıralamaya odaklanır ve çelişen kriterlere sahip bir sorun için uzlaşmacı çözümler belirlemektedir. Bulanık VIKOR yönteminin temel adımları aşağıdaki şekilde sunulmuştur (Kaya ve Kahraman, 2010):

Adım 1: Alternatifler için bulanık karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Tüm kriterlerin en iyi (f_j^*) ve en kötü (f_j^-) değerleri belirlenir (Denklem (12)).

$$f_j^* = \left\{ \begin{matrix} \max \\ i \end{matrix} \tilde{x}_{ij} \right\}, \quad f_j^- = \left\{ \begin{matrix} \min \\ i \end{matrix} \tilde{x}_{ij} \right\} \quad (12)$$

Adım 3: \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerlerini hesaplanır (Denklemler (13-14)).

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n (\tilde{w}_j \otimes \tilde{d}_{ij}) \quad (13)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j (\tilde{w}_j \otimes \tilde{d}_{ij}) \quad (14)$$

Adım 4: Q_i değerleri hesaplanır (Denklem (15)).

$$\tilde{Q}_i = v \frac{(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*)}{(S^{ou} - S^{*l})} + (1 - v) \frac{(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*)}{(R^{ou} - R^{*l})} \quad (15)$$

burada $\tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i$, $S^{ou} = \max_i S_i^u$, $\tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i$, $R^{ou} = \max_i \tilde{R}_i$ ve v maksimum grup faydasını sağlayan strateji için ağırlığı ifade ederken ve $1 - v$ karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını göstermektedir.

Adım 5: \tilde{Q}_i değerlerini durulaştırılır ve alternatifler Q_i değerlerine göre sıralanır.

Adım 6: Minimum Q_i değerine sahip alternatif en iyi alternatif olarak belirlenir.

3.4. Bulanık ARAS Yöntemi

Zavadskas ve Turskis (2010) tarafından tanıtılan ARAS yöntemi, yalnızca alternatiflerin performansını belirlemekle kalmayıp, aynı zamanda her alternatifin ideal alternatife oranını da hesaplamaktadır. Turskis ve Zavadskas (2010) tarafından geliştirilen Bulanık ARAS yönteminin temel adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1: Alternatifler için bulanık karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Bulanık karar matrisini normalize edilir (Denklemler (16-17)).

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=0}^m \tilde{x}_{ij}} \quad \text{fayda kriterleri için} \quad (16)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{\tilde{x}_{ij}^*}; \tilde{x}_{ij}^* = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=0}^m \tilde{x}_{ij}} \quad \text{maliyet kriterleri için} \quad (17)$$

Adım 3: Bulanık ağırlıklı normalize karar matrisi hesaplanır (Denklem (18)).

$$\tilde{\hat{x}}_{ij} = \tilde{x}_{ij} \otimes \tilde{w}_j, i = 0, 1, \dots, m \quad (18)$$

Adım 4: Bulanık optimallik fonksiyonu değerleri (\tilde{S}_i) hesaplanır (Denklem (19)).

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{\hat{x}}_{ij}, i = 0, 1, \dots, m \quad (19)$$

Adım 5: \tilde{S}_i değerlerini durulaştırılır (Denklem (20)).

$$S_i = \frac{1}{3}(S_{il} + S_{im} + S_{iu}) \quad (20)$$

Adım 6: Alternatifler artan bir şekilde fayda derecelerine (K_i) göre sıralanır ve en yüksek K_i değeri olan alternatif seçilir (Denklem (21)).

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}, i = 0, 1, \dots, m \quad (21)$$

4. Endüstriyel Bir Örnek

Bu çalışmada Konya'nın sanayi bölgesinde yer alan bir mobilya ürünleri imalat şirketinin YTZ yönetiminde tedarikçilerin risk değerlendirmesi örneği ele alınmıştır. Organizasyonlar için tanımlanan risk faktörleri, uygulamalardaki olası sonuçları ve potansiyel eğilimleri belirlemek için kullanılabilir. Ayrıca, zamanla yeni risk faktörleri ortaya çıkabilmektedir. Bu faktörleri belirlemek, risk değerlendirmesini güncellemek, müşteri ihtiyaçlarını, teknolojiyi, rakipleri ve ağdaki değişiklikleri izlemek gereklidir. Tedarik zincirinde artan belirsizlik nedeniyle, organizasyonların kırılganlığının azaltılması ve tedarik zincirinde sürdürülebilirliklerini artırılması gerekmektedir. Belirsizlikleri tespit etmek ve tedarik zincirinin kırılganlığını azaltmak için tedarik zinciri risk yönetimi gerekli araçlardan birisidir.

Mobilya endüstrisi dünyanın en etkili ve en büyük endüstrilerinden biridir. Türkiye mobilya ürünleri meclisi sektör raporu (2017)'na göre 2015 yılında mobilya üretimi yaklaşık 473\$ milyar olup, tüketim ise 466\$ milyardır. Çin mobilya pazarında 164 milyar dolar hacim ile öncü olup dünyadaki üretimin %25'ini tek başına gerçekleştirmektedir. Türkiye %1.2'lik mobilya üretim ve 5.8\$ milyar ile dünyadaki paydan çok az alabilmektedir.

Ofis mobilyaları ürün imalatı alanında öncü olmayı vaat eden şirket, genel performansını çevresel, ekonomik, operasyonel ve rekabet edebilirlik performansı açısından iyileştirmek için YTZ ile ilişkili riskleri değerlendirmek istemektedir. Ek olarak, şirket yöneticileri YTZ ile ilişkili risklere ilişkin faktörlerin önceliğini de belirlemek istemektedir.

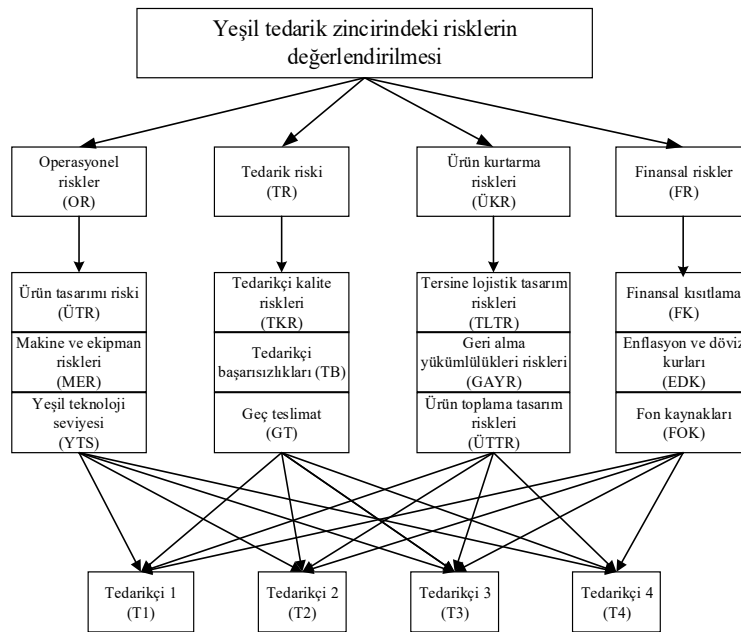
Örnek şirketin araştırması için planlama müdürü, üretim müdürü ve endüstri mühendisinden oluşan bir karar verme grubu oluşturulmuştur. Karar grubuna dahil olan profesyoneller karar verme becerisine sahiptir ve uzmanlarda her biri 7 yıldan daha uzun bir endüstriyel deneyime sahiptirler. Karar verme grubunun oluşturulmasından sonra, bir sonraki aşama veri toplama sürecidir. Bunun için uzmanlarla iletişime geçilmiş ve onlarla etkileşimli oturumlar düzenlenmiştir. Buna dayanarak, bu çalışma için gerekli veriler toplanmıştır. Uzmanlarla yapılan görüşmelerde, bu araştırmanın amacı ve bu çalışmanın endüstriyel bakış açısına göre etkili YTZ içerisinde risk faktörlerini benimsemedeki önem açıklanmıştır. Örnek şirketin YTZ yönetimindeki başarı oranını arttırmayı hedefleyen bu toplantıda bulanık AHP ve risk değerlendirme yaklaşımlarına dayalı önerilen entegre yaklaşım uygulanmıştır. Analiz detayları aşağıdaki şekilde verilmiştir:

Bu çalışmada ele alınan risk değerlendirme yaklaşımını kullanılırken ele alınabilecek bir dizi risk vardır. Kalite, teslimat, hizmet sorunları, stokastik müşteri talebi, belirsiz arz ve değişen maliyetler dâhil gibi işletmelerin üretim yeteneklerini ve karlılığını etkileyen operasyonel riskler; tedarikçilerin güvenilirliği, başarısızlıkları gibi hammadde ve parçaların tedarikçilerden işletmelere taşınmasında ortaya çıkan tedarik riskleri; ürünlerin iade

edilmesi ve geri kazanılması sırasında ortaya çıkan belirsizlikleri ve sorunları içeren ürün kurtara riskleri ve işletmelerin finansal performansı üzerinde olumsuz etki oluşturan kur riski gibi finansal riskler araştırmanın temelini oluşturmaktadır.

Araştırmada kullanılan dört ana kriter (operasyonel risk (OR), tedarik riski (TR), ürün kurtara riski (ÜKR) ve finansal riski (FR)) ve bu kriterlere ait üçer alt kriter, literatür taraması ve uzmanların görüşü ile belirlenmiştir. Ana kriterler ile ilgili ayrıntılı bilgiler için ((Majumdar ve diğ., 2020); Wang ve diğ., (2012); Rostamzadeh ve diğ., (2018); Mangla ve diğ., (2015a)) çalışmalarından faydalanılabilir. Ek olarak, alt kriterlerin kaynakları aşağıdaki gibi belirtilmiştir. Ürün tasarımı riski (Rostamzadeh ve diğ., (2018); (Dehdasht, Mohamad Zin, Ferwati, Mohammed Abdullahi, Keyvanfar ve McCaffer, 2017)), makine ve ekipman riskleri ((Aqlan ve Lam, 2015)), yeşil teknoloji seviyesi (Mangla ve diğ., (2015a)), tedarikçi kalite riskleri (Wang ve diğ., (2012); (Venkatesh vd., 2015)), tedarikçi başarısızlıkları ((Song, Ming ve Liu, 2017)), geç teslimat ((Ruimin ve diğ., 2012)); tersine lojistik tasarım riskleri (Mangla ve diğ., (2015a)); geri alma yükümlülükleri riskleri (Mangla ve diğ., (2015a); (Ngan ve diğ., 2019)), ürün toplama tasarım riskleri (Mangla ve diğ., (2015b)), finansal kısıtlama (Mital ve diğ., (2018); Mangla ve diğ., (2016)), enflasyon ve döviz kurları (Chatterjee ve diğ., (2018)) ve fon kaynakları (Mangla ve diğ., (2015b); (Majumdar ve diğ., 2020)).

En uygun mobilya tedarikçisinin seçilmesine yönelik oluşturulan hiyerarşik yapı şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Mobilya Sektöründe En İyi Alternatif Tedarikçiyi Seçmek İçin Önerilen Hiyerarşik Yapı

4.1. Bulanık AHP-TOPSIS Sonuçları

Şekil 2'de verilen hiyerarşik yapıya göre ikinci seviye dört ana riskten, üçüncü seviye her bir ana risk kriteri altında üç alt kriterden ve dördüncü seviye dört tedarikçi (T1, T2, T3, T4) alternatifinden oluşmaktadır. Karar vericiler, Tablo 2'de gösterilen dilsel değişkenleri kriterlerin ağırlıklarını ve Tablo 3'de verilen dilsel değişkenleri alternatif tedarikçileri her bir kriterle ilişkin değerlendirmek için kullanmışlardır. Tablo 4, karar vericilerin ikili karşılaştırmasını göstermektedir. Tablo 5, üç karar vericinin ikili karşılaştırmalarının geometrik ortalamasını göstermektedir. Karar vericiler tarafından belirlenen kriterlerin ağırlıkları Buckley (1985)'in geometrik ortalama yöntemini kullanılarak elde edilmiş ve Tablo 6'da gösterilmiştir. Benzer şekilde alt kriterler de değerlendirilmiş ve Tablo 7'deki sonuçlar elde edilmiştir. Dört alternatif tedarikçi (Tablo 3'e dayanarak) belirlenen kriterler altında karar vericiler tarafından değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 8'de gösterilmiştir. Tedarikçilerin bulanık karar matrisi Tablo 8'den yararlanarak hesaplanmış ve Tablo 9'da gösterilmiştir. Daha sonra, Tablo 10'da gösterildiği gibi karar matrisi normalize edilmiş ve Tablo 11'de gösterildiği gibi ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisine dönüştürülmüştür. Son olarak, her bir alternatifin yakınlık katsayısı ve sıralamaları Tablo 12'de azalan sırayla $T3 > T4 > T1 > T2$ olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. İkili Karşılaştırma Matrisinde Kullanılan Görelî Önem Ölçeği (Lin, 2010)

Dilsel Değişken	Önem Düzeyi	Bulanık Ölçek
Eşit derecede önemli	1	(1, 1, 1)
Orta	2	(1, 2, 3)

Zayıf derecede önemli	3	(2, 3, 4)
Orta	4	(3, 4, 5)
Kuvvetli derecede önemli	5	(4, 5, 6)
Orta	6	(5, 6, 7)
Çok kuvvetli derecede önemli	7	(6, 7, 8)
Orta	8	(7, 8, 9)
Kesinlikle daha önemli	9	(9, 9, 9)

Tablo 3. Sözel Değerlendirmeler Ve Bulanık Sayı Karşılıkları

Sözel ifade	Bulanık karşılık
Çok Düşük (ÇD)	(0, 1, 3)
Düşük (D)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
İyi (İ)	(5, 7, 9)
Çok İyi (Çİ)	(7, 9, 10)

Tablo 4. Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

	KV1*				KV2				KV3			
	OR	TR	SO	FR	EC	EN	SO	FR	EC	EN	SO	FR
OR	(1,1,1)	(3,4,5)	(4,5,6)	(2,3,4)	(1,1,1)	(3,4,5)	(2,3,4)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(5,6,7)	(4,5,6)	(3,4,5)
TR		(1,1,1)	(1, 2, 3)	(1/5,1/4,1/3)		(1,1,1)	(1, 2, 3)	(1/7,1/6,1/5)		(1,1,1)	(2,3,4)	(1/3,1/2,1)
ÜKR			(1,1,1)	(1/5,1/4,1/3)			(1,1,1)	(1/8,1/7,1/6)			(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)
FR				(1,1,1)				(1,1,1)				(1,1,1)

*Karar Verici: KV olarak kısaltılmıştır.

Tablo 5. Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi

	OR	TR	SO	FR
OR	(1,1,1)	(3.557,4.579,5.593)	(3.175,4.217,5.241)	(1,1.339,1.710)
TR	(0.179,0.218,0.281)	(1,1,1)	(1.260,2.289,3.302)	(0.212,0.275,0.405)
ÜKR	(0.191,0.237,0.315)	(0.303,0.437,0.794)	(1,1,1)	(0.161,0.193,0.240)
FR	(0.585,0.747,1)	(2.466,3.634,4.718)	(4.160,5.192,6.214)	(1,1,1)

Tablo 6. Kriterlerin Ağırlıkları

Ana kriterler	Bulanık Ağırlıklar	Kesin Ağırlıklar	Normalize Ağırlıklar
OR	(0.293,0.436,0.637)	0.455	0.431
TR	(0.075,0.118,0.188)	0.127	0.120
ÜKR	(0.050,0.073,0.119)	0.080	0.076
FR	(0.250,0.374,0.557)	0.394	0.373

Tablo 7. Alt Kriterlerin Yerel ve Global Ağırlıkları

Ana kriterler	Alt-kriterler	Yerel Bulanık Ağırlıklar	Global Bulanık Ağırlıklar
OR (0.293,0.436,0.637)	ÜTR	(0.134,0.195,0.277)	(0.039,0.085,0.176)
	MER	(0.070,0.094,0.139)	(0.020,0.041,0.089)
	YTS	(0.534,0.711,0.941)	(0.156,0.310,0.599)
TR (0.075,0.118,0.188)	TKR	(0.435,0.638,0.902)	(0.032,0.075,0.169)
	TB	(0.199,0.284,0.430)	(0.015,0.033,0.081)
	GT	(0.059,0.079,0.110)	(0.004,0.009,0.021)
ÜKR (0.050,0.073,0.119)	TLTR	(0.094,0.130,0.193)	(0.005,0.009,0.023)
	GAYR	(0.126,0.175,0.255)	(0.006,0.013,0.030)
	ÜTTR	(0.485,0.695,0.971)	(0.024,0.050,0.115)
FR (0.250,0.374,0.557)	FK	(0.404,0.585,0.855)	(0.101,0.219,0.476)
	EDK	(0.068,0.095,0.137)	(0.017,0.035,0.076)
	FOK	(0.209,0.320,0.474)	(0.052,0.120,0.264)

Tablo 8: Kriterlere Göre Tedarikçilerin Dilsel Değerlendirmesi

	Tedarikçiler	Karar Vericiler				Tedarikçiler	Karar Vericiler		
		KV1	KV2	KV3			KV1	KV2	KV3
ÜTR	T1	ÇD	D	O	TKR	T1	İ	Çİ	O
	T2	O	D	İ		T2	D	İ	ÇD
	T3	Çİ	İ	İ		T3	O	İ	İ
	T4	O	İ	O		T4	D	İ	O

MER	T1	O	O	D	TB	T1	O	O	D
	T2	ÇD	ÇD	O		T2	D	ÇD	O
	T3	İ	İ	İ		T3	İ	Çİ	İ
	T4	Çİ	İ	O		T4	D	İ	O
YTS	T1	İ	O	İ	GT	T1	ÇD	O	İ
	T2	ÇD	İ	D		T2	D	O	D
	T3	O	İ	Çİ		T3	O	İ	D
	T4	O	D	O		T4	İ	O	O
	Tedarikçiler	Karar Vericiler				Tedarikçiler	Karar Vericiler		
		KV1	KV2	KV3			KV1	KV2	KV3
TLTR	T1	O	O	O	FK	T1	ÇD	D	ÇD
	T2	İ	İ	Çİ		T2	D	D	D
	T3	İ	İ	O		T3	İ	İ	İ
	T4	O	İ	O		T4	İ	Çİ	O
GAYR	T1	İ	O	İ	EDK	T1	O	O	D
	T2	İ	İ	Çİ		T2	D	ÇD	D
	T3	İ	Çİ	İ		T3	İ	İ	Çİ
	T4	O	O	İ		T4	O	İ	O
ÜTTR	T1	ÇD	D	D	FOK	T1	D	D	D
	T2	O	İ	İ		T2	İ	İ	O
	T3	O	O	D		T3	O	D	D
	T4	İ	İ	İ		T4	İ	İ	İ

Tablo 9. Bulanık Birleştirilmiş Karar Matrisi

	ÜTR	MER	YTS	TKR	TB	GT	TLTR	GAYR	ÜTTR	FK	EDK	FOK
T1	(1,66,3,5)	(2,33,4,33,6,33)	(4,33,6,33,8,33)	(5,7,8,33)	(2,33,4,33,6,33)	(3,4,33,6,33)	(3,5,7)	(4,33,6,33,8,33)	(1,2,33,4,33)	(1,1,66,3,66)	(2,33,4,33,6,33)	(1,3,5)
T2	(3,5,7)	(1,66,2,33,4,33)	(2,33,3,66,5,66)	(2,33,3,66,5,66)	(1,66,3,5)	(1,66,4,33,5,66)	(5,66,7,66,9)	(5,66,7,66,9)	(4,33,6,33,8,33)	(1,3,5)	(1,2,33,4,33)	(4,33,6,33,8,33)
T3	(5,66,7,66,9)	(5,7,9)	(5,7,8,33)	(4,33,6,33,8,33)	(5,66,7,66,9)	(3,5,7)	(4,33,6,33,8,33)	(5,66,7,66,9)	(2,33,4,33,6,33)	(5,7,9)	(5,66,7,66,9)	(1,66,3,66,5,66)
T4	(3,66,5,66,7,66)	(5,7,8,33)	(2,33,4,33,6,33)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,66,5,66,7,66)	(3,66,5,66,7,66)	(3,66,5,66,7,66)	(5,7,9)	(5,7,8,33)	(3,66,5,66,7,66)	(5,7,9)

Tablo 10. Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	ÜTR	MER	YTS	TKR	TB	GT	TLTR	GAYR	ÜTTR	FK	EDK	FOK
T1	(0,184,0,333,0,556)	(0,259,0,481,0,703)	(0,520,0,760,1,000)	(0,600,0,840,1,000)	(0,259,0,481,0,703)	(0,392,0,565,0,826)	(0,333,0,556,0,778)	(0,481,0,703,0,926)	(0,111,0,259,0,481)	(0,111,0,184,0,407)	(0,259,0,481,0,703)	(0,111,0,333,0,556)
T2	(0,333,0,556,0,778)	(0,184,0,259,0,481)	(0,280,0,439,0,679)	(0,280,0,439,0,679)	(0,184,0,333,0,556)	(0,217,0,565,0,739)	(0,629,0,851,1,000)	(0,629,0,851,1,000)	(0,481,0,703,0,926)	(0,111,0,333,0,556)	(0,111,0,259,0,481)	(0,481,0,703,0,926)
T3	(0,629,0,851,1,000)	(0,556,0,778,1,000)	(0,600,0,840,1,000)	(0,520,0,760,1,000)	(0,629,0,851,1,000)	(0,392,0,653,0,914)	(0,481,0,703,0,926)	(0,629,0,851,1,000)	(0,259,0,481,0,703)	(0,556,0,778,1,000)	(0,629,0,851,1,000)	(0,184,0,407,0,629)
T4	(0,407,0,629,0,851)	(0,556,0,778,0,926)	(0,280,0,520,0,760)	(0,360,0,600,0,840)	(0,333,0,556,0,778)	(0,478,0,739,1,000)	(0,407,0,629,0,851)	(0,407,0,629,0,851)	(0,556,0,778,1,000)	(0,556,0,778,0,926)	(0,407,0,629,0,851)	(0,556,0,778,1,000)

Tablo 11. Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	ÜTR	MER	YTS	TKR	TB	GT	TLTR	GAYR	ÜTTR	FK	EDK	FOK
T1	(0,007,0,028,0,098)	(0,005,0,020,0,062)	(0,081,0,235,0,599)	(0,019,0,063,0,169)	(0,004,0,016,0,057)	(0,002,0,005,0,017)	(0,002,0,005,0,018)	(0,003,0,009,0,028)	(0,003,0,013,0,055)	(0,011,0,040,0,194)	(0,004,0,017,0,054)	(0,006,0,040,0,147)
T2	(0,013,0,047,0,137)	(0,004,0,011,0,043)	(0,044,0,136,0,407)	(0,009,0,033,0,115)	(0,003,0,011,0,045)	(0,001,0,005,0,015)	(0,003,0,008,0,023)	(0,004,0,011,0,030)	(0,012,0,035,0,107)	(0,011,0,073,0,265)	(0,002,0,009,0,037)	(0,025,0,084,0,244)
T3	(0,025,0,072,0,176)	(0,011,0,032,0,089)	(0,094,0,260,0,599)	(0,017,0,057,0,169)	(0,009,0,028,0,081)	(0,002,0,006,0,019)	(0,002,0,007,0,021)	(0,004,0,011,0,030)	(0,006,0,024,0,081)	(0,056,0,170,0,476)	(0,011,0,030,0,076)	(0,010,0,049,0,166)
T4	(0,016,0,053,0,150)	(0,011,0,032,0,082)	(0,044,0,161,0,455)	(0,012,0,045,0,142)	(0,005,0,019,0,063)	(0,002,0,007,0,021)	(0,002,0,006,0,019)	(0,003,0,008,0,026)	(0,013,0,039,0,115)	(5,7,8,33)	(3,66,5,66,7,66)	(5,7,9)

Tablo 9. Tedarikçilerin Bulanık TOPSIS Yöntemine Göre Sıralamaları

Tedarikçiler	d_i^+	d_i^-	CC_i	Sıralama
T1	11.330	0.917	0.075	3
T2	11.343	0.893	0.073	4
T3	11.068	1.234	0.100	1
T4	11.147	1.136	0.092	2

4.2. Bulanık AHP-VIKOR Sonuçları

Bulanık VIKOR yönteminin adımları, TOPSIS yönteminde elde edilen bulanık karar matrisi kullanılarak uygulanmıştır. İlk önce en iyi bulanık (f_j^*) ve en kötü bulanık (f_j^-) değerleri hesaplanmış, sonra bulanık \tilde{S}_i , \tilde{R}_i ve \tilde{Q}_i değerleri her alternatif için $v = 0.5$ alınarak elde edilmiştir. Son aşamada bulanık sayılar durulaştırılmış ve S , R ve Q değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 13'de gösterilmektedir.

Tablo 10. Tedarikçilerin Bulanık VIKOR Yöntemine Göre Sıralamaları

Tedarikçiler	Q		S		R	
	Değer	Sıralama	Değer	Sıralama	Değer	Sıralama
T1	0.629	3	2.171	3	0.476	3
T2	0.682	4	2.669	4	0.599	4
T3	0.201	1	0.526	1	0.221	1
T4	0.371	2	1.381	2	0.449	2

Tablo 13, dört tedarikçiyi S_i , R_i ve Q_i değerlerine göre artan düzende sıralamaktadır. En iyi Q_i değerine göre T3'ün en iyi sırada olduğu görülmektedir.

4.3. Bulanık AHP-ARAS Sonuçları

Bulanık karar matrisi normalleştirilmesi ile bulanık ARAS yönteminin uygulanmasına başlanmış ardından tedarikçiler bulanık ARAS yöntemine göre sıralanmış ve sonuçlar Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 11. Tedarikçilerin Bulanık ARAS Yöntemine Göre Sıralamaları

Tedarikçiler	\tilde{S}_i	S_i	K_i	Sıralama
İdeal Değerler	(0.131,0.258,0.506)	0.298	1	
T1	(0.067,0.151,0.351)	0.189	0.635	3
T2	(0.061,0.146,0.349)	0.185	0.622	4
T3	(0.116,0.235,0.473)	0.275	0.921	1
T4	(0.097,0.210,0.442)	0.250	0.837	2

Mevcut durumda, yukarıdaki analize dayalı olarak, T3, en yüksek K_i değerine sahip tedarikçidir ve seçilen kriterlere göre diğer üç alternatiften daha iyi performans göstermektedir.

4.4. Duyarlılık Analizi

Bu bölümde, tedarikçiler arasındaki sıralamanın kriter ağırlıklarındaki değişikliklere duyarlılığını incelemek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Tablo 15, dikkate alınan durumlar için ele alınan kriter ağırlıklarını göstermektedir. Şekil 3, farklı bulanık ağırlık değerlerine bağlı olarak alternatiflerin sıralamasını göstermektedir.

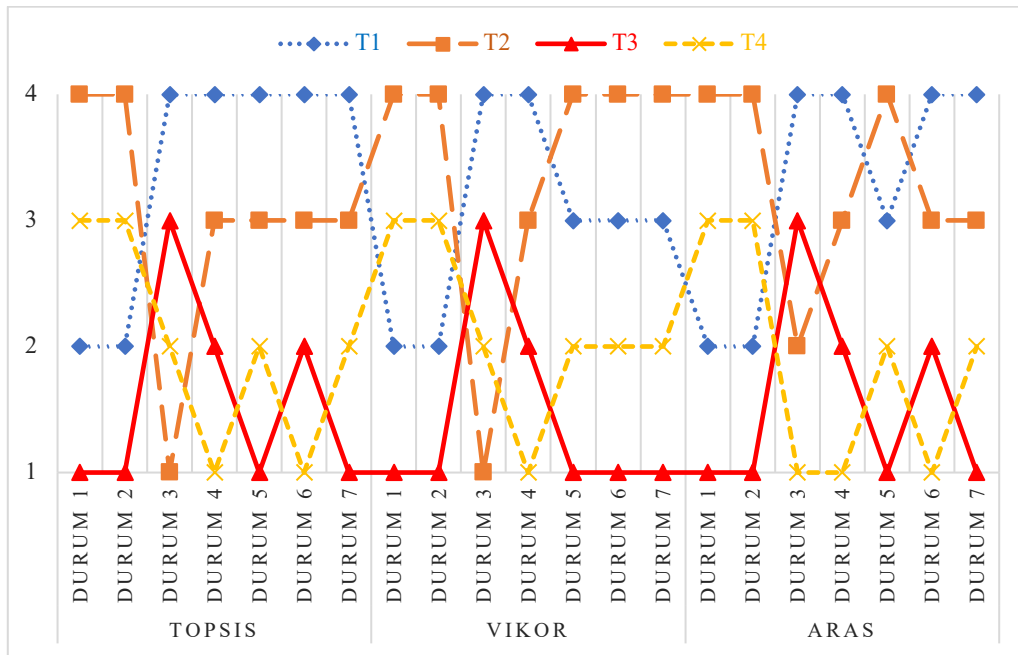
Tablo 12. Dikkate alınan durumlara ilişkin kriter ağırlıkları

	OR	TR	ÜKR	FR
Mevcut Ağırlıklar	(0.293,0.436,0.637)	(0.075,0.118,0.188)	(0.050,0.073,0.119)	(0.250,0.374,0.557)
Durum 1	(1,1,1)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
Durum 2	(0,0,0)	(1,1,1)	(0,0,0)	(0,0,0)
Durum 3	(0,0,0)	(0,0,0)	(1,1,1)	(0,0,0)
Durum 4	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(1,1,1)
Durum 5	(0.075,0.118,0.188)	(0.293,0.436,0.637)	(0.050,0.073,0.119)	(0.250,0.374,0.557)

Durum 6	(0.050,0.073,0.119)	(0.075,0.118,0.188)	(0.293,0.436,0.637)	(0.250,0.374,0.557)
Durum 7	(0.050,0.073,0.119)	(0.075,0.118,0.188)	(0.293,0.436,0.637)	(0.250,0.374,0.557)

Şekil 3'e göre mevcut ağırlıklara göre en iyi tedarikçi elde edilen T3 alternatifi TOPSIS yönteminde dört durumda, VIKOR yönteminde beş durumda ve ARAS yönteminde dört durumda en iyi alternatif olarak elde edilmiştir. VIKOR yönteminde durum 5,6 ve 7'de, ARAS yönteminde ise durum 5'de mevcut elde edilen sıralama değişmezken diğer durumlarda tedarikçilerin sıralamaları değişmiştir. T1 alternatifi sadece TOPSIS yönteminde bir kez en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. T4 alternatifi TOPSIS yönteminde durum 4 ve 6'da, VIKOR yönteminde durum 4'de ve ARAS yönteminde durum 3, 4, ve 6'da en çok tercih edilen alternatif konumuna gelmiştir. Duyarlılık analizi, alternatifler arasındaki sıralamanın ana kriterlerin ağırlıklarındaki değişikliklere duyarlı olduğunu göstermektedir.

Önerilen entegre yaklaşımların güvenilir sonuçlar üretip üretmediği sorusuna cevap vermek için üç farklı yaklaşım tercih edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, elde edilen tedarikçi sıralama sonuçları farklı ÇKKV yöntemleri ile elde edilerek sonuçların doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Sıralama sonuçları, üç farklı yaklaşımın aynı sıralamayı elde ettiğini göstermektedir.



Şekil 3. Duyarlılık Analizi Sonuçları

5. Tartışma ve Sonuç

Tedarik zinciri yönetiminde tedarikçi seçimi için risk değerlendirmesi, belirsizliği ve bulanıklığı içeren bir ÇKKV problemidir. Uygulanan yöntemler, karar vericilerin kararlarının artılarını ve eksilerini tespit etmelerini ve takdir etmelerini sağlamaktadır. Bu çalışma, tedarikçi seçim probleminde risk analizini desteklemek için bulanık ÇKKV yaklaşımlarının değerlendirilmesini önermektedir. Önerilen yaklaşım iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, karar vericilerin ağırlıkları, belirlenen risk kriterlerinin ağırlıkları bulanık kümeler ile AHP yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bir sonraki aşamada, tedarikçi seçiminde karar vericilerin önyargısını ortadan kaldırmak ve alternatiflerin değerlendirilmesinde meydana gelen hataların olasılığını ortadan kaldırmak için, bulanık ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS, VIKOR ve ARAS yöntemleri uygulanarak tedarikçi sıralamaları elde edilmiştir.

Bu çalışmanın getirdiği önemli katkılar ve yenilikler aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- AHP, TOPSIS, VIKOR ve ARAS yöntemleri güçlü bir karar verme aracı olmasına rağmen, belirsizlikle başa çıkmak için tek başına yeterli değildir.
- Önerilen bulanık entegre yaklaşımlar, karar verme sürecindeki belirsizliklere ele alabilmeyi mümkün kılmaktadır.
- YTZ ile ilgili riskler farklı entegre yöntemlerle önceliklendirilerek sonuçların karşılaştırılmasına imkan sağlamıştır.

Ana kriter ağırlıkları incelendiğinde en önemli kriterin 0.431 değeri ile operasyonel riskler olduğu görülmektedir. Y TZ kapsamında operasyonel riskler ürünlerin üretiminde etkin olmayan çevre dostu malzemeler, yetersiz veya başarısız iç süreçler, operasyonlar, sistemler gibi faktörler operasyonel risk olarak tanımlanabilir (Yang & Li, 2010). Bu nedenle işletmenin başarısını olumsuz etkileyebilecek operasyonların başarısız olması, üretim süreçleri sırasında verimlilik sorunlarına yol açabilir. Bu kriteri 0.373 değeri ile finansal riskler, 0.120 değeri ile tedarik riskleri takip ederken en son sırada 0.120 ürün kurtarma riskleri kriteri yer almaktadır. Ana kriterler altında alt kriterlerin ağırlıkları incelenmiş ve Tablo 7’de sunulmuştur oluşturulmuştur. Bu tabloya göre, uzmanların verdiği cevaplar doğrultusunda yeşil teknoloji seviyesi en önemli alt kriterdir. Diğer iki kriter ise finansal kısıtlamalar ve fon kaynakları olarak elde edilmiştir.

Farklı ÇKKV ile elde edilen tedarikçi sıralamaları incelendiğinde alternatif olarak belirlenen T3 tedarikçisi ilk sırada yer almaktadır. Üçüncü tedarikinin en uygun alternatif olarak öne çıkmasının sebebi, operasyonel ve finansal risklere ait alt kriter değerlendirmelerinde uzmanlara göre performansının genel olarak iyi ve çok iyi olarak belirtilmesidir. Buna karşılık T2 tedarikçisinin performansının diğerlerine göre düşük değerlendirilmesi en az tercih edilebilecek tedarikçi olmasını sağlamıştır.

Y TZ yönetiminde risk değerlendirmesi için, entegre yaklaşımlarına dayanarak, bulanık ÇKKV süreci geliştirilmiştir. Dört ana kriter ve 12 alt kriter önerilmiştir. En önemli kriterin operasyonel riskler (OR), ürün kurtarma risklerinin (ÜKR) en az önemli olduğu araştırma sonucunda tespit edilmiştir. (Mangla ve diğ., 2015a) en önemli riski operasyonel riskler olarak elde etmişken en az önemli olarak talep riski olarak bulmuştur. (Mangla ve diğ., 2015a) poli plastik üretimi yapan bir şirket üzerinde uygulama yapmış ve ana kriterlerin farklı olması risk önceliklerinin farklı elde edilmesini sağlamıştır. (Rostamzadeh ve diğ., 2018) en önemli kriterin üretim/üretici riskleri olduğu ifade etmişken, (Chatterjee ve diğ., 2018) için tedarik riski ilk sırada yer almıştır. Her an risk kriteri için en baskın alt kriter şu şekilde bulunmuştur: yeşil teknoloji seviyesi, tedarikçi kalite riskleri, ürün toplama tasarımı riskleri ve finansal kısıtlama. Ayrıca tedarikçilerin risk sıralaması şu şekildedir; Üçüncü tedarikçisini (T3) en iyi aday olduğu bilinmektedir. T4 ikinci sırada, T1 ve T2 üçüncü ve dördüncü sırada yer almıştır.

Bu çalışmadaki yöntemler mobilya sektöründe dört farklı tedarikçinin performans değerlendirmesini ele almış ve en uygun tedarikçiyi seçmiştir. AHP yönteminin en büyük avantajı, basitliği, kullanım kolaylığı ve karar verme problemin parçalarını hiyerarşik bir yapıda sıralama kabiliyetine sahiptir. Bununla birlikte, karmaşık sistemlerde uygulamaları kısıtlayan kriterler arasındaki karşılıklı bağımlılıkları modelleme yeteneğinden yoksundur (Qu ve diğ., 2018). TOPSIS yöntemi basitlik, rasyonellik, anlaşılabilirlik, iyi hesaplama etkinliği ve her alternatif için göreceli performansı basit bir matematiksel formda ölçme kabiliyeti gibi avantajlara sahip olmasına rağmen kullanılan öklid uzaklık algoritması kriterlerin korelasyonunu dikkate almaz ve uzman kararları tarafından elde edilen ağırlık katsayıları öznel değerlendirmeye sahip olduğu için dezavantajları da bulunmaktadır (P. Wang ve diğ., 2015). VIKOR yönteminde bir uzlaşık çözümü karşılıklı tavizlere dayanarak belirlenirken, TOPSIS yönteminde en iyi çözüm, alternatifler arasındaki mesafelerin göreceli önemi dikkate alınmadan pozitif ideal çözüme en kısa mesafe ve negatif ideal çözüme en uzak mesafe ile belirlenir (Opricovic ve Tzeng, 2007). ARAS yöntemine göre, uygun bir alternatifin göreceli etkinliğini belirleyen bir fayda fonksiyon değeri, bir projede dikkate alınan ana kriterlerin değerlerinin ve ağırlıklarının nispi etkisiyle doğrudan orantılıdır (Zavadskas ve diğ., 2010).

Gelecekteki araştırmalar, burada gerçek dünyadaki grup karar verme problemi için sunulan karar çerçevesinin tedarik zinciri yönetiminde farklı karar verme problemlerine uygulanmasına odaklanacaktır. Bir sonraki adımda, belirsizlik ve bulanıklığı modellemeye yönelik karar modellerini ve uygulamalarını daha da ileri götürmek olacaktır. Ayrıca, tedarikçi risk değerlendirmesi için önerilen çerçevenin daha da geliştirilmesi, gelecekteki araştırmalar için yönlendirici olarak kabul edilebilecektir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akman, G. (2015). Evaluating suppliers to include green supplier development programs via fuzzy c-means and VIKOR methods. *Computers and Industrial Engineering*, 86, 69–82. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.013>

Aqlan, F., & Lam, S. S. (2015). Supply chain risk modelling and mitigation. *International Journal of Production Research*, 53(18), 5640–5656. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1047975>

Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233–247. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(85\)90090-9](https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9)

Chatterjee, K., & Kar, S. (2016). Multi-criteria analysis of supply chain risk management using interval valued

fuzzy TOPSIS. *OPSEARCH*, 53(3), 474–499. <https://doi.org/10.1007/s12597-015-0241-6>

Chatterjee, K., Zavadskas, E., Tamošaitienė, J., Adhikary, K., & Kar, S. (2018). A Hybrid MCDM Technique for Risk Management in Construction Projects. *Symmetry*, 10(2), 46. <https://doi.org/10.3390/sym10020046>

Christopher, M., & Lee, H. (2004). Mitigating supply chain risk through improved confidence. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(5), 388–396. <https://doi.org/10.1108/09600030410545436>

Dehdasht, G., Mohamad Zin, R., Ferwati, M., Mohammed Abdullahi, M., Keyvanfar, A., & McCaffer, R. (2017). DEMATEL-ANP Risk Assessment in Oil and Gas Construction Projects. *Sustainability*, 9(8), 1420. <https://doi.org/10.3390/su9081420>

Fahimnia, B., Sarkis, J., & Davarzani, H. (2015). Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics*, 162, 101–114. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2015.01.003>

Hashemi, S. H., Karimi, A., & Tavana, M. (2015). An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis. *International Journal of Production Economics*, 159, 178–191. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.027>

Hu, A. H., Hsu, C.-W., Kuo, T.-C., & Wu, W.-C. (2009). Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 7142–7147. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2008.08.031>

Humphreys, P. ., Wong, Y. ., & Chan, F. T. . (2003). Integrating environmental criteria into the supplier selection process. *Journal of Materials Processing Technology*, 138(1–3), 349–356. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00097-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00097-9)

Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Springer-Verlag. <https://books.google.com.tr/books?id=X-wYAQAIAAJ>

Jabbarzadeh, A., Haughton, M., & Pourmehdi, F. (2019). A robust optimization model for efficient and green supply chain planning with postponement strategy. *International Journal of Production Economics*, 214, 266–283. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2018.06.013>

Kaya, T., & Kahraman, C. (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy*, 35(6), 2517–2527. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2010.02.051>

Kumar, M. S., Sunil, L., & Suresh, J. (2018). Benchmarking the risk assessment in green supply chain using fuzzy approach to FMEA: Insights from an Indian case study. *Benchmarking: An International Journal*, 25(8), 2660–2687. <https://doi.org/10.1108/BIJ-04-2017-0074>

Lee, A. H. I. (2009). A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2879–2893. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.01.045>

Lin, H.-F. (2010). An application of fuzzy AHP for evaluating course website quality. *Computers & Education*, 54(4), 877–888. <https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2009.09.017>

Majumdar, A., Sinha, S. K., Shaw, M., & Mathiyazhagan, K. (2020). Analysing the vulnerability of green clothing supply chains in South and Southeast Asia using fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Production Research*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1708988>

Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2015a). Flexible Decision Modeling for Evaluating the Risks in Green Supply Chain Using Fuzzy AHP and IRP Methodologies. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 16(1), 19–35. <https://doi.org/10.1007/s40171-014-0081-x>

Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2015b). Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 375–390.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.01.001>

Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2016). An Integrated Methodology of FTA and Fuzzy AHP for Risk Assessment in Green Supply Chain. *International Journal of Operational Research*, 25(1), 77–99. <https://doi.org/10.1504/IJOR.2016.073252>

Mital, M., Del Giudice, M., & Papa, A. (2018). Comparing supply chain risks for multiple product categories with cognitive mapping and Analytic Hierarchy Process. *Technological Forecasting and Social Change*, 131, 159–170. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2017.05.036>

Ngan, S. L., Promentilla, M. A. B., Yatim, P., & Lam, H. L. (2019). A Novel Risk Assessment Model for Green Finance: the Case of Malaysian Oil Palm Biomass Industry. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 3(1), 75–88. <https://doi.org/10.1007/s41660-018-0043-4>

Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514–529. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2006.01.020>

Ozturkoglu, Y., Kazancoglu, Y., & Ozkan-Ozen, Y. D. (2019). A sustainable and preventative risk management model for ship recycling industry. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117907. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.117907>

Qu, Z., Wan, C., Yang, Z., & Lee, P. (2018). A Discourse of Multi-criteria Decision Making (MCDM) Approaches. İçinde *International Series in Operations Research and Management Science* (ss. 7–29). https://doi.org/10.1007/978-3-319-62338-2_2

Rostamzadeh, R., Ghorabae, M. K., Govindan, K., Esmacili, A., & Nobar, H. B. K. (2018). Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS- CRITIC approach. *Journal of Cleaner Production*, 175, 651–669. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.12.071>

Ruimin, M., Yao, L., & Huang, R. (2012). The Green Supply Chain Management Risk Analysis. *Advanced Materials Research*, 573–574, 734–739. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.573-574.734>

Sanayei, A., Farid Mousavi, S., & Yazdankhah, A. (2010). Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 24–30. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2009.04.063>

Song, W., Ming, X., & Liu, H.-C. (2017). Identifying critical risk factors of sustainable supply chain management: A rough strength-relation analysis method. *Journal of Cleaner Production*, 143, 100–115. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.12.145>

Tang, O., Matsukawa, H., & Nakashima, K. (2012). Supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, 139(1), 1–2. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2012.06.015>

Turskis, Z., & Zavadskas, E. K. (2010). A new fuzzy additive ratio assessment method (ARAS-F). Case study: The analysis of fuzzy multiple criteria in order to select the logistic centers location. *Transport*, 25(4), 423–432. <https://doi.org/10.3846/transport.2010.52>

Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making. Methods and applications* (1st Editio). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/b11032>

Venkatesh, V. G., Rathi, S., & Patwa, S. (2015). Analysis on supply chain risks in Indian apparel retail chains and proposal of risk prioritization model using Interpretive structural modeling. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 26, 153–167. <https://doi.org/10.1016/J.JRETCONSER.2015.06.001>

Wang, P., Li, Y., Wang, Y.-H., & Zhu, Z.-Q. (2015). A New method based on TOPSIS and response surface method for MCDM problems with interval numbers. *Mathematical Problems in Engineering*, 11. <https://doi.org/10.1155/2015/938535>

Wang, X., Chan, H. K., & Diaz-Rainey, I. (2012). A two-stage fuzzy-AHP model for risk assessment of implementing green initiatives in the fashion supply chain. *International Journal of Production Economics*,

135(2), 595–606. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2011.03.021>

Wong, J.-T. (2020). Dynamic procurement risk management with supplier portfolio selection and order allocation under green market segmentation. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119835. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119835>

Yang, Z. k., & Li, J. (2010). Assessment of green supply chain risk based on circular economy. *2010 IEEE 17Th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 1276–1280. <https://doi.org/10.1109/ICIEEM.2010.5645996>

Yudi, F., Tim, W., Norris, I. M., Won, S. Y., & Masatoshi, K. (2018). Managing project success using project risk and green supply chain management: A survey of automotive industry. *International Journal of Managing Projects in Business*, 11(2), 332–365. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-01-2017-0007>

Zavadskas, E.K., Turskis, Z., & Vilutiene, T. (2010). Multiple criteria analysis of foundation instalment alternatives by applying Additive Ratio Assessment (ARAS) method. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 10(3), 123–141. [https://doi.org/10.1016/S1644-9665\(12\)60141-1](https://doi.org/10.1016/S1644-9665(12)60141-1)

Zavadskas, Edmundas Kazimieras, & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Ukio Technologinis ir Ekonominis Vystymas*, 16(2), 159–172. <https://doi.org/10.3846/tede.2010.10>