

Bulanık Çok Kriterli Yöntemlerin Karşılaştırılması: Mobilya İşletmelerinin Web Siteleri Örneği

Murat YEŞİLKAYA^{1*}

¹ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye
murat.yesilkaya@gop.edu.tr

(Geliş/Received: 01/07/2024;

Kabul/Accepted: 15/10/2024)

Öz: Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri farklı alan ve disiplinlerde başarıyla uygulanmaktadır. Ancak birçok çalışmada karar problemlerine uygun yöntem ve parametrelerin seçilmesi sorunu gündeme gelmektedir. Bu makalede, ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Yöntemlerden AHP, TOPSIS, VIKOR, Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR kullanılmıştır. Bu analizleri yapmak için COVID-19 sonrası değişimlerle mobilya işletmelerinin web siteleri değerlendirilmiştir. Uygulamada literatür taraması ve uzman görüşü sonucunda altı ana kriter olmak üzere toplam 31 kriter belirlenmiştir. AHP yönteminden kullanılan kriterlerin ağırlıklarını hesaplanmıştır. Daha sonra yöntemlerden elde edilen sonuçlara göre web sitelerinin sıralamasını elde edilmiştir. Sonra ise yöntemler klasik sonuçların sıralaması, ilişki testi, işlem karmaşıklığı ve alternatif sayısındaki değişiklik ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, kullanılan tüm yaklaşımların web sitesi değerlendirmesinde uygun olduğunu göstermektedir. Fakat ilişki testinde yöntemlerin benzer sonuçlar çıktığı, hesaplama karmaşıklığında VIKOR daha iyi performans gösterdiği ve alternatif değişikliklerine uygunlukta ise bulanık TOPSIS yöntemi daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çok kriterli karar verme, bulanık, web sitesi, karşılaştırma, COVID-19.

Comparison of Fuzzy Multi-Criteria Methods: Case of Furniture Firms Websites

Abstract: Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods are successfully applied in different fields and disciplines. However, in many studies, the problem of selecting appropriate methods and parameters for decision problems comes to the fore. In this article, a comparison of MCDM methods is made. AHP, TOPSIS, VIKOR, Fuzzy TOPSIS, and Fuzzy VIKOR were used. To conduct these analyses, the websites of furniture firms were evaluated in relation to the changes that occurred after COVID-19. In application, the literature review and expert opinion determined six main criteria, with a total of 31 criteria. The weights of the criteria used in the AHP method were calculated. Then, the ranking of the websites was obtained according to the results obtained from the methods. Later, the comparison was made based on the factors: the classical ranking of results, rank similarity coefficients, computational complexity, and adequacy to changes of alternatives. The results show that all approaches used are suitable for website evaluation. However, it was observed that the methods produced similar results in the rank similarity coefficients test. VIKOR performed better in computational complexity, and the fuzzy TOPSIS method performed better in compatibility with alternative changes.

Key words: Multi-criteria decision making, fuzzy, website, comparison, COVID-19.

1. Giriş

Karar verme insan yaşamının ayrılmaz bir parçasıdır. Bu tür kararların tümü, genellikle tercihlere, deneyimlere ve karar vericinin elindeki diğer verilere dayalı olarak bireysel karar seçeneklerinin değerlendirilmesine dayalı olarak alınır [1]. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, birbiriyle çelişen birden fazla kritere sahip olan alternatiflerin değerlendirildiği senaryolarda karar almaya yardımcı olan matematiksel ve mantıksal modeller olarak ifade edilebilir. En bilinen ÇKKV yöntemleri Saaty'in geliştirdiği Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)'dir. Daha sonra birçok yöntem geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam etmektedir. Bu yöntemler tedarikçi seçimi, personel seçimi, proje değerlendirme, enerji kaynağı değerlendirme gibi birçok konularda uygulanmıştır.

Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık küme teorisindeki belirsizlik, ÇKKV meraklıları tarafından da kabul edilmiştir. ÇKKV ve bulanık küme teorisinin birleşimi, daha sonra Bulanık ÇKKV olarak bilinen yeni bir karar teorisini ortaya çıkarmıştır [2]. İlk geliştirilen ÇKKV yöntemlerinde analiz edilen bilgiler kesin yargılar içermektedir. Fakat gerçek hayatta kesin olmayan öznel bilgilerin karar süreçleri de olabilmektedir. Bu durumda klasik ÇKKV yöntemlerinin yerine bulanık küme teorisine dayalı yöntemler geliştirilmiştir. Bulanık çok kriterli

* Sorumlu yazar: murat.yesilkaya@gop.edu.tr Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-4440-1311

karar verme yöntemleri, klasik ÇKKV yöntemlerinin bulanık küme teorisinin dahil edilmiş versiyonudur. Bulanık ÇKKV yöntemleri eksik veya belirsiz karar verme süreçlerinde kullanılabilir [4].

Son yıllarda hem klasik yöntemleri hem de bulanık mantık teorisini dikkate alan birçok ÇKKV yöntemi ortaya atılmıştır. Bu yöntemlerin farklarını, üstünlüklerini veya eksikliklerini karşılaştırmak istediğimizde hangi ÇKKV yönteminin kullanılması gerektiğine dair bazı tartışmalar olsa da net bir fikir yoktur. Yöntemler arasında benzerlikleri veya farklılıkları anlayabilmek için bazı karşılaştırmalı analizler yapılmıştır [4]. Farklı ÇKKV teknikleri, farklı seviyelerde hesaplama yoğunluğu gerektirir ve farklı çıktılar üretebilir; dolayısıyla uygun bir tekniğin seçilmesi, önerilen kararın kalitesini ve bu kararı elde etmek için gereken çabayı büyük ölçüde belirler [5].

Çok sayıda ÇKKV yöntemine rağmen, hiçbir yöntemin mükemmel olmadığı ve her karar verme durumunda kullanıma veya her karar probleminin çözümüne uygun olmayabilir. Bu nedenle farklı ÇKKV yöntemlerin kullanılması farklı karar önerilerine yol açabilir [6]. Eğer farklı ÇKKV yöntemler çelişkili sonuçlara ulaşıyorsa, o zaman her birinin seçiminin doğruluğu sorgulanmalıdır. Böyle bir durumda, verilen karar problemine uygun bir yöntemin seçimi önemli bir araştırma konusu haline gelir. Çünkü probleme uygun olarak seçilmiş yöntem karar vericinin tercihlerini yansıtan doğru bir çözüm sunmaktadır [7,8].

Güncel literatürde ÇKKV yöntemlerini gerçek hayatta tedarik zinciri yönetimi [9,10], performans değerlendirme [11], sağlık yönetimi [12,13], proje değerlendirme [14], hedef pazar seçimi [15], kuruluş yeri seçimi [16], sürdürülebilir yönetim [17] gibi birçok karar verme probleminin çözümünde kullanılmaktadır. Bu bölümde ÇKKV yöntemlerini karşılaştırmalı analizini yapan çalışmaların bir literatürü sunuyoruz. Tablo 1’de literatürdeki çalışmalarda kullanılan ÇKKV yöntemleri, uygulama alanları ve karşılaştırmada kullanılan analizler sunulmuştur.

Farklı uygulama alanında yöntemleri kapsamlı karşılaştıran çalışmalar şu şekildedir; Chang [18] bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (Fuzzy Analytic Hierarchy Process - F-AHP) üzerinde genişletme analizi yönteminin uygulanmasını yapmıştır. Çalışmada ikili karşılaştırma ölçeği için üçgensel bulanık sayıların kullanılmıştır. Ayrıca F-AHP yöntemin hesaplama karmaşıklığı da analiz edilmiştir. Junior, vd. [20] tedarikçi seçim kararı için F-AHP ve Bulanık İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution – Bulanık TOPSIS- F-TOPSIS) yöntemlerinin karşılaştırmalı analizini sunmaktadır. Karşılaştırma analizlerinde; alternatiflerin veya kriterlerin değişikliğine uygunluk, karar sürecinde çeviklik, işlem karmaşıklığı, grup karar verme sürecini destekleme yeterliliği faktörlerine dayalı olarak yapılmıştır. Çalışma otomotiv üretim zincirinde yer alan bir firmanın tedarikçi seçiminde uygulanmıştır. Sonuçlar, her iki yöntemin de tedarikçi seçimi sorununda kullanılacağını göstermiştir. Fakat karşılaştırmalı analiz sonuçları, alternatiflerin ve kriterlerin değişimi, çeviklik, kriter sayısı ve alternatif tedarikçiler açısından F-TOPSIS yönteminin tedarikçi seçim problemine daha uygun olduğunu göstermiştir. Sabzi, vd. [5] bulanık SAW, AHP, TOPSIS, ELECTRE ve Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü (Visekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje- VIKOR) tekniğinin performanslarını araştırmış ve istatistiksel olarak karşılaştırmıştır. SAW ve TOPSIS istatistiksel olarak benzer performanslara elde edilmiştir. ELECTRE, alternatifler arasında tam ve sıralı sıralamalar sağlama konusunda dezavantaja sahiptir. VIKOR, en yakın alternatifi ortaya koymada güçlü bir teknik olmasına rağmen bazı olumsuzluklar vardır. Ceballos, vd., [4] TOPSIS, VIKOR ve Multi-MOORA ÇKKV yöntemlerini karşılaştırdı. Sonuçlar TOPSIS ve multi-MOORA tarafından oluşturulan sıralamalar birbirine çok benzerken, farklı VIKOR varyantları tarafından oluşturulan sıralamalar büyük bir değişkenlik göstermiştir. Dey, vd [22] depo yeri seçimi için SAW, MOORA, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE II, COPRAS, PROMETHEE yöntemlerini karşılaştırmıştır. Banaeian, vd., [23] bulanık küme teorisinin TOPSIS, VIKOR ve GRA yöntemlerine dahil edilmesiyle tedarikçi seçim alanına katkı sağlamıştır. Yöntemler tarım-gıda endüstrisindeki gerçek bir şirket için yeşil tedarikçi değerlendirme ve seçim sürecinde uygulanmıştır. Karşılaştırmalı analiz, üç bulanık yöntemin aynı tedarikçi sıralamalarına ulaştığını, ancak bulanık GRA’nın aynı sonuçları üretmek için daha az hesaplama karmaşıklığı gerektirdiğini göstermiştir. Alkahtani, vd. [24] tedarikçi seçim problemi için AHP, F-AHP ve F-TOPSIS yöntemlerinin karşılaştırmalı analizini yapmıştır. Değerlendirme faktörleri karar sürecindeki çeviklik, hesaplama karmaşıklığı, alternatiflerin veya kriterlerin değişikliğine uygunluk ve grup karar verme sürecini destekleme yeterliliği olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, hesaplama karmaşıklığı açısından AHP, F-TOPSIS ve F-AHP’den daha iyi performans göstermektedir. F-TOPSIS yaklaşımı, karar sürecindeki çeviklik, kriter ve alternatif tedarikçi sayısı ve grup kararını destekleme yeterliliği açısından daha uygun bulunmuştur.

Rashidi ve Cullinane [25] İsveç’teki bir firma için tedarikçi seçiminde bulanık veri zarflama analizi (F-DEA) ve F-TOPSIS yöntemlerini karşılaştırdı. Sonuçlar TOPSIS’in hem hesaplama karmaşıklığı hem de tedarikçi sayısındaki değişikliklere duyarlılık açısından DEA’dan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Ghaleb, vd. [26] üretim süreci planlama için TOPSIS, AHP ve VIKOR yöntemlerini karşılaştırmıştır. Karşılaştırmalar şu faktörlere bağlı olarak yapılmıştır: alternatif süreç ve kriterlerin sayısı, karar verme süreci boyunca çeviklik, hesaplama karmaşıklığı, grup kararını destekleme yeterliliği ve bir kriterin eklenmesi veya çıkarılmasıdır. Sonuçlar, hesaplama karmaşıklığı açısından VIKOR yöntemi TOPSIS ve AHP’den daha iyi

performans göstermiştir. Ayrıca VIKOR ve TOPSIS yöntemleri karar verme sürecinde çeviklik için üretim süreçlerinin seçimi, alternatif süreç ve kriterlerin sayısı, grup kararını destekleme yeterliliği, bir kriterin eklenmesi veya çıkarılması açısından daha uygun bulunmuştur. Sałabun, vd. [1] çalışmasında TOPSIS, VIKOR, COPRAS, PROMETHEE yöntemlerini kapsamlı olarak karşılaştırmıştır. Youssef [27] bulut sağlayıcı seçimi için AHP, TOPSIS, BWM yöntemleri kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, TOPSIS, BWM yönteminin hesaplama karmaşıklığı ve tutarlılık açısından AHP'den daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Kizielewicz, vd. [31] F-TOPSIS, F-VIKOR, F-WASPAS ve F-MOORA tekniklerini kullanarak konut seçimi probleminde bir çözüm önermiştir. Sıralama sonuçları korelasyon katsayıları yöntemleri (Spearman katsayısı ve Sıra benzerlik katsayısı) ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda yöntemler benzer sonuçlar üretmiştir. Varghese ve Karande [32] endüstriyel malzeme seçimi için AHP ile yeni bir yöntem olan MARCOS yöntemini bir arada kullanan hibrit bir yöntem önerdi. Bu hibrit yöntemin sonuçlarını TOPSIS ve VIKOR yöntemi sonuçları ile karşılaştırdı.

Tablo 1. ÇKKV yöntemlerini karşılaştıran çalışmalar.

Yazar	Kullanılan Yöntemler	Uygulama	Karşılaştırma				
			Klasik Sıralama	Korelasyon Katsayısı	İşlem Karmaşıklığı	Alternatif değişikliği	Kriter değişikliği
Chang [18]	F-AHP	Personel seçimi			*		
Yu, vd. [19]	AHP, F-TOPSIS	e-ticaret					
Junior, vd. [20]	F-AHP, F-TOPSIS	Tedarikçi seçimi	*		*	*	*
Ceballos, vd., [4]	TOPSIS, VIKOR, Multi-MOORA	Test verisi	*	*			
Büyüközkan ve Güleriyüz [21]	F-AHP, F-TOPSIS	Web sitesi değerlendirme	*				
Sabzi, vd. [5]	SAW, AHP, VIKOR, TOPSIS, ELECTRE	Test verisi	*	*			
Dey, vd. [22]	SAW, MOORA, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE II, COPRAS, PROMETHEE	Depo yeri seçimi	*		*	*	
Banaeian, vd., [23]	F-TOPSIS, F-VIKOR, F-GRA	Tedarikçi seçimi	*		*		
Alkahtani, vd. [24]	F-AHP, F-TOPSIS	Tedarikçi seçimi	*		*		
Rashidi ve Cullinane [25]	F-TOPSIS, D-DEA	Tedarikçi seçimi	*	*	*	*	
Ghaleb, vd. [26]	AHP, TOPSIS ve VIKOR	Üretim süreci seçimi	*		*	*	*
Youssef [27]	AHP, TOPSIS, BWM	Bulut sağlayıcı seçimi	*		*		
Sałabun, vd. [1]	TOPSIS, VIKOR, COPRAS, PROMETHEE	Test verisi	*	*			
Baczkiewicz, vd. [28]	TOPSIS-COMET, COCOSO, EDAS, MAIRCA ve MABAC	e-ticaret kararı	*	*			
Kropivšek, vd. [29]	AHP, TOPSIS	Web sitesi değerlendirme	*				
Yu, vd. [19]	AHP, TOPSIS	Web sitesi değerlendirme	*				
Pramanik, vd. [30]	EDAS, ARAS, MABAC, MARCOS, COPRAS	Kaynak seçimi	*	*	*		
Kizielewicz, vd. [31]	F-TOPSIS, F-VIKOR, F-WASPAS ve F-MOORA	Konut seçimi	*	*			
Varghese ve Karande [32]	AHP, MARCOS, TOPSIS, VIKOR	Malzeme seçimi	*			*	
Bu çalışma	TOPSIS, VIKOR, F-TOPSIS, F-VIKOR	Web sitesi değerlendirme	*	*	*	*	

Ayrıca literatürde web sitelerini değerlendiren çalışmalar olsa da bu çalışmalar sadece klasik sıralama yöntemi ile karşılaştırma yapmıştır. Yu, vd. [19] e-ticaret web sitelerinin iş birliğini AHP, F-TOPSIS yöntemi ile

değerlendirmiştir. Değerlendirmede kullanılan kriterler, ürün, tasarım, teknoloji, servis kalitesi ve lojistik hizmeti olarak belirlenmiştir. Büyükoçkan ve Güleriyüz [21] lojistik firmalarının web sitelerinin kalite performanslarının değerlendirmesini F-AHP ve F-TOPSIS yöntemi ile yapmıştır. Web sitelerini değerlendirmek için kriterler ise fiziksel yapı, karşılık verebilme, güvenilirlik, bilgi kalitesi, güvence ve empati olarak belirlenmiştir. Türk lojistik firmaları için uygulama yapılmıştır. Kropivšek, vd. [29] Sloven ahşap şirketlerinin web sitelerinin AHP ve TOPSIS yöntemleri değerlendirmiştir. Nihai web sitesi değerlendirmesi için Web Sitesi Kalite Endeksi geliştirilmiştir. Web sitelerini değerlendirmek için sistem kalitesi, bilgi kalitesi (içerik), hizmet kalitesi, tasarım ve kullanım olmak üzere beş ana kriter ve toplam 36 kriter ile incelenmiştir. Bacziewicz, vd. [28] TOPSIS-COMET, COCOSO, EDAS, MAIRCA ve MABAC çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile e-ticaret siteleri ve web siteleri seçimi için tüketici karar destek sistemi geliştirilmiştir. Korelasyon katsayısı duyarlılık analizi ile sıralama sonuçlarının benzer olduğu görülmüştür.

ÇKKV, kolaylığı ve esnekliği nedeniyle birçok gerçek hayat problemine uygulanmakta ve bu yöntemlerin farklı versiyonları geliştirilmektedir. Bilindiği üzere, bu yöntemlerin hiçbirisi mükemmel ya da kesin kararlar ve sonuçlar sağlamamaktadır. Literatürdeki çalışmalar genelde bir veya birkaç ÇKKV yöntemini seçip uygulamakta ve sonuçları analiz etmektedir. Ancak, bu yöntemleri kapsamlı şekilde karşılaştıran çalışmalar azdır (Tablo 1). Fakat bu yöntemlerin etkinliğini ve performansını analiz etmek için farklı boyutlarda karşılaştırılması önemlidir. Ayrıca spesifik uygulama alanımız olarak web sitelerinin değerlendirmesinde kullanılan çeşitli ÇKKV yöntemlerini kapsamlı şekilde karşılaştıran çalışma literatürde bulunmamaktadır. Web sitelerini değerlendiren çalışmalar olsa da bu çalışmalar genelde klasik sıralama yöntemi ile karşılaştırma yapmıştır. Bilgimiz dahilinde pandeminin getirdiği değişiklikleri değerlendirme kriterlerine dahil eden çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada COVID-19 sonrası değişimlerle mobilya işletmelerinin web siteleri bulanık ve bulanık olmayan çok kriterli karar vermek teknikleri ile kapsamlı karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerden AHP, TOPSIS, VIKOR, Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerini kullanarak sonuçlar ve yöntemler karşılaştırılmıştır. İlk olarak AHP yönteminden kullanılan kriterlerin ağırlıklarını hesaplanmıştır. Daha sonra yöntemlerden elde edilen sonuçlara dayanarak web sitelerinin sıralaması yapılmış ve yöntemler kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşımın temel avantajları şunlardır: (1) karmaşık bir web sitesi seçimine uygulanabilir; (2) farklı seçim yaklaşımlarını değerlendirmek için genel karşılaştırmalı analiz sağlar; (3) karşılaştırmalı analizde sıralamalardaki farklılık için ilişki testi, hesaplamada işlem karmaşıklığı ve bir alternatifin eklenmesi veya çıkarılması faktörleri dikkate alır. Bu makalede aşağıdaki araştırma sorularını ele almayı hedefliyoruz.

- 1) ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırması için hangi analizler yapılır?
- 2) Bulanık ve bulanık olmayan ÇKKV yöntemlerinin kapsamlı karşılaştırılmasında hangisi/hangileri daha iyi performans gösterir?
- 3) Mobilya işletmelerinin web siteleri için önemli olan kriterler hangileridir?
- 4) COVID-19 web sitelerinde ne gibi değişimler yarattı?
- 5) ÇKKV yöntemlerine göre Türkiye’de faaliyet gösteren mobilya işletmelerin hangilerinin web sitesi daha yüksek performansını gösterir?

Bu makale, yukarıda belirtilen sorular çerçevesinde ÇKKV kapsamlı karşılaştırmakta ve mobilya işletmelerinin web sitelerinin durumunu analiz etmektedir. Bu çalışmanın katkıları iki ana noktada toplanmaktadır. Birincisi, ÇKKV yöntemlerini gerçek hayat problemi üzerinde klasik sonuçların sıralama sonuçları, ilişki testi, alternatif sayısındaki değişikliğe uygunluk ve işlem karmaşıklığı ile kapsamlı karşılaştırmaktır. İkincisi, bu yöntemleri Türkiye’de ekonomik katma değeri büyük olan mobilya sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin web sitelerini değerlendirmek ve önemli olan kriterleri belirlemektir. Ayrıca, standart web sitesi değerlendirme kriterlerine ek olarak COVID-19 pandemisi sonrası değişimleri yansıtmak için online alışveriş, COVID-19 güvenli üretim belgesi, canlı müşteri hizmetleri görüşme, 360 sanal mağaza gibi yeni kriterler ekleyerek değerlendirmelere derinlik katılmıştır. Bu analizlerle, karar vericiler için mobilya ticaret stratejilerinin belirlenmesinde değerli bilgiler sağlanmaktadır.

Bu makale beş bölüm halinde yapılandırılmıştır. Giriş bölümünde genel bilgiler verildikten sonra ilgili literatüre bir bakış sunulmaktadır. Bölüm 2, çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemlerini tanıtmakta ve bu yöntemlerin nasıl uygulandığını açıklamaktadır. Bölüm 3, mobilya işletmelerinin web siteleri uygulamasında ÇKKV yöntemlerinin hesaplama sonuçlarını sunulmaktadır. Bölüm 5’de ise ÇKKV kapsamlı karşılaştırması yapılmaktadır. Son bölümde sonuçlar ve gelecekteki çalışmalar tartışılmaktadır.

2. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri

ÇKKV yöntemleri herhangi bir konuda karar vermek için birden çok kriterin karar sürecine dahil olduğu durumda en uygunu seçmek veya sıralamak için kullanılan matematiksel ve mantıksal temelli bir yaklaşımdır. Birçok farklı problemin çözümünde kullanılmaktadır [11,33,34]. Birçok ÇKKV yönteminin temeli AHP yöntemine dayanır. AHP yöntemi karar verme teorisinde en yaygın kullanılan araçlardan biridir. AHP, 1970'li yıllarda matematikçi Saaty tarafından ortaya atılan matematik temelli bir yaklaşımdır [35,36]. Bu yöntemin adımları [37,38] incelenebilir. Yöntemin amacı, birden fazla kriter ve farklı alternatiflerden oluşan hiyerarşik bir ağ yapısı ile uygun çözümü araştırmaktır. Bu çalışmada kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için klasik AHP yöntemini kullanılmıştır. Literatürde web sitelerinin değerlendirilmesinde kriterlerin belirgin [19, 29] ve birbirinden bağımsız [19,21,39] olmasından dolayı klasik AHP yöntemini tercih edilmiştir. Fakat web siteleri yani alternatifler ise belirsizlikler içerebilmektedir. Bu yüzden kriterlerin ağırlıklarını belirlerken klasik AHP yöntemleri, alternatifleri değerlendirirken hem klasik TOPSIS ve VIKOR hem de Bulanık TOPSIS (F-TOPSIS) ve Bulanık VIKOR (F-VIKOR) yöntemleri kullanılmıştır.

TOPSIS yöntemi basit hesaplama adımları, matematiksel temelleri ve anlaşılması kolay olması nedeniyle popülerlik kazanmıştır. Bu yöntem, alternatifleri pozitif ve negatif ideal çözümler arasındaki mesafeye göre sıralar [40]. VIKOR yöntemi ise karmaşık sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için geliştirilmiştir. Bu yöntem, bir dizi alternatif arasından sıralama ve seçim yapmaya odaklanır. Karar vericilerin nihai bir çözüme ulaşmalarına yardımcı olabilecek, çelişkili kriterleri olan problemler için bir uzlaşma çözümü belirler [41]. Her iki yöntem de ideale yakınlığı temsil eden bir toplama fonksiyonuna dayanır. TOPSIS ve VIKOR yöntemleri birçok alana uygulanabilmeleri ve etkili sonuçlar verebilmektedir [42]. Bu yöntemler, hesaplama karmaşıklığı, karar sürecindeki çeviklik ve yeni kriter eklenmesi veya var olan kriterin kaldırılması gibi duyarlılık analizlerinde etkili sonuç vermelerinden dolayı seçilmiştir [26].

Ayrıca, bu çalışmanın temel motivasyonlarından biri de ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırılmasıdır. Literatürde sıklıkla birlikte kullanılan bu yöntemlerin bulanık versiyonlarını karşılaştırmak ve farklarını ve yöntemlerin avantajlarını ortaya koymak literatüre önemli kazanım sağlayabilir. Bulanık küme teorisi, ÇKKV problemlerindeki belirsizliği modelleyebilmektedir. Bu yöntemlere bulanık küme teorisinin entegre edilmesiyle gerçek dünya problemlerine ekili çözüm sağlamaktadır [43]. Bu çalışmadaki web sitesi alternatiflerindeki belirsizliği modelleyebilmek ve bulanık ortamla bulanık olmayan ortam arasındaki farkları gözlemleyebilmek için TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin bulanık versiyonlarını da kullanılmıştır. Bulanık TOPSIS hem pozitif-ideal hem de negatif-ideal kavramlarını dikkate alması, iyi hesaplama verimliliğine sahip olması ve basit bir matematiksel biçimde ölçme yeteneğine sahip olması nedeniyle avantaj sağlamaktadır. Bulanık VIKOR ise çıkan ölçütlerin varlığında bir dizi alternatif arasından sıralama ve seçime odaklanmaktadır [44].

2.1. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi en iyi bilinen ve ideal çözümü bulan ÇKKV yöntemlerinden biridir [45]. Belirlenen alternatifler arasından en iyiden kötüye doğru bir sıralama yapar [46]. TOPSIS yöntemi şu adımlar ile hesaplanır. Adım 1: Karar problemi için kriter ve alternatifler uzman görüşü veya literatür taraması belirlenir.

Adım 2: Bu adımda problemin karar matrisi Denklem (1)'deki A_{nk} oluşturulur. y_{nk} , burada n . alternatif, k . kriter değerini göstermektedir.

$$A_{nk} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1K} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{N1} & y_{N2} & \cdots & y_{NK} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 3: Denklem (2)'deki gibi r_{nk} değeri hesaplanır ve standart karar matrisi R_{nk} elde edilir.

$$r_{nk} = \frac{y_{nk}}{\sqrt{\sum_{n=1}^N y_{nk}^2}}, \quad R_{nk} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1K} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{N1} & r_{N2} & \cdots & r_{NK} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Adım 4: Bu adımda ağırlıklı standart karar matrisi V_{nk} oluşturulur. $V_{nk} = R_{nk} w_k$, burada w_k kriterlerin ağırlığını ifade eder.

Adım 5: Ağırlıklı standart karar matrisindeki vektörlerindeki en büyük değerler (v_k^+) ile en küçük değerler (v_k^-) belirlenir (Eğer fayda kriteri ise, maliyet kriteri olduğunda tam tersi geçerlidir.).

Adım 6: Pozitif ideal (S_n^+) ve negatif ideal (S_n^-) değerleri Denklem (3) ile hesaplanır.

$$S_n^+ = \sqrt{\sum_{k=1}^K (v_{nk} - v_k^+)^2}, \quad S_n^- = \sqrt{\sum_{k=1}^K (v_{nk} - v_k^-)^2} \quad (3)$$

Adım 7: Son adımda alternatiflerin sırası ve en uygun kararlar C_n^* belirlenir. Burada en büyük değere sahip C_n^* en iyi alternatiftir (Denklem (4)).

$$C_n^* = \frac{S_n^-}{S_n^- + S_n^+}, \quad 0 \leq C_n^* \leq 1 \quad (4)$$

2.2. VIKOR Yöntemi

VIKOR yöntemi de bilinen klasik ÇKKV yöntemlerinden biridir. Bu metod Opricovic ve Tzeng, [42] tarafından ortaya atılmıştır. VIKOR yöntemi şu şekilde hesaplanır [47];

Adım 1: A_{nk} karar matrisinden (Denklem 1) her bir kriter maksimum değerler ($f_k^* = \max_k f_{nk}$) ve minimum değerler ($f_k^- = \min_k f_{nk}$) belirlenir. Daha sonra V_{nk} karar matrisi Denklem (5) ile oluşturulur.

$$V_{nk} = w_k (f_k^* - f_{nk}) / (f_k^* - f_k^-) \quad (5)$$

Adım 2: T_n ve U_n değerleri Denklem (6) ile hesaplanır.

$$T_n = \sum_{k=1}^K V_{nk}, \quad U_n = \max_n \{V_{nk}\} \quad (6)$$

Adım 3: Bu adımda Q_k karar vektörü Denklem (7) ile belirlenir ($v=0,5$).

$$Q_n = \frac{v(T_n - T^*)}{(T^- - T^*)} + \frac{(1-v)(U_n - U^*)}{(U^- - U^*)}, \quad 0 \leq Q_n \leq 1 \quad (7)$$

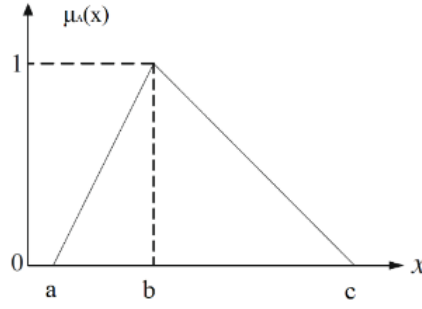
Burada $T^* = \max_n \{T_n\}$, $T^- = \min_n \{T_n\}$, $U^* = \max_n \{U_n\}$, $U^- = \min_n \{U_n\}$ ile belirlenir.

Adım 4: Son adımda alternatiflerin sırası ve en uygun kararlar Q_n belirlenir. Burada en küçük değere sahip Q_n en iyi alternatiftir. Bu adımda ayrıca testin geçerliliği test edilir [48].

2.3. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme teorisi ilk olarak Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Klasik yaklaşımlara göre bulanık mantıkta kesin sınırlamaların olmamasıdır. Klasik yöntemlerde üyelik değerleri $\{0,1\}$ sınırlı iki değer varken, bulanık mantıkta ise üyelik değerleri $[0,1]$ aralığında herhangi bir değer alabilir [49]. Dolayısıyla gerçek hayattaki belirsizlik içeren problemler için daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bu çalışmada üyelik fonksiyonu (membership function) olarak üçgen bulanık sayılar (triangular fuzzy number) kullanılmıştır. Şekil 1’de üçgen üyelik fonksiyonu ($\mu_A(x)$) ve üçgen bulanık sayılar (a, b, c) gösterilmiştir. Burada a ve c bulanık sayının alt ve üst sınır değerleri olup c ise orta değerini ifade eder. Üyelik fonksiyonu Denklem (8)’deki gibi ifade edilir [50];

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x < b \\ \frac{x-c}{b-c} & b < x < c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (8)$$



Şekil 1. Üçgensel bulanık fonksiyon.

Saaty tanımladığı 5 noktalı Likert ölçeğine karşılık gelen dilsel değişkenler ve bu değerlere karşılık gelen bulanık üçgen sayılar Tablo 2’de verilmiştir. Bu çalışmada Tablo 2’deki değerler kullanılmıştır.

Tablo 2. Dilsel değişkenler ve bulanık sayı değerleri [12].

Dilsel karşılığı (y_{nk})	Saaty değerleri	Bulanık Üçgen Sayılar [a_{nk}, b_{nk}, c_{nk}]
Eşit önem	1	[1,1,1]
Orta derece	3	[2,3,4]
Oldukça önem	5	[4,5,6]
Kesinlikle önemli	7	[6,7,8]
Son derece önemli	9	[9,9,9]
Ara değerler	2	[1,2,3]
	4	[3,4,5]
	6	[5,6,7]
	8	[7,8,9]

2.4. Bulanık TOPSIS Yöntemi

Bulanık TOPSIS (F-TOPSIS) Chen [51] tarafından ortaya atılan ilk bulanık ÇKKV yöntemlerinden biridir. Yöntem bulanık pozitif ideal ve bulanık negatif ideal çözümleri için en iyi alternatifleri belirleyerek bir sıralama yapar. Bu metodun temeli bulanık ortamda karar vericilerin dilsel olarak ifade ettiği verilerin kullanılmasına dayanır. Yöntemin adımları şu şekildedir [12,50];

Adım 1: Tablo 2’deki verilen ölçekler ve üçgen sayılar kullanılarak alternatiflerin dilsel karşılıkları için bulanık karar matrisi Denklem (9)’daki gibi geliştirilir.

$$\tilde{A}_{nk} = \begin{bmatrix} [a_{11}, b_{11}, c_{11}] & [a_{12}, b_{12}, c_{12}] & \dots & [a_{1K}, b_{1K}, c_{1K}] \\ [a_{21}, b_{21}, c_{21}] & [a_{22}, b_{22}, c_{22}] & \dots & [a_{2K}, b_{2K}, c_{2K}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [a_{N1}, b_{N1}, c_{N1}] & [a_{N2}, b_{N2}, c_{N2}] & \dots & [a_{NK}, b_{NK}, c_{NK}] \end{bmatrix} \quad (9)$$

$y_{nk} = [a_{nk}, b_{nk}, c_{nk}]$, $y_{kn} = [1/a_{nk}, 1/b_{nk}, 1/c_{nk}]$ üçgen bulanık sayılar için olarak tanımlanır.

Adım 2: Bulanık karar matrisi Denklem (10) kullanılarak normalize edilir ve R matrisi ile gösterilir. Eğer,

$$\tilde{r}_{nk} = \left[\frac{a_{nk}}{c'_{nk}}, \frac{b_{nk}}{c'_{nk}}, \frac{c_{nk}}{c'_{nk}} \right], c'_{nk} = \max(c_{nk}) \quad (10)$$

ise $\tilde{R}_{nk} = [\tilde{r}_{nk}]_{NK}$. Burada kriterin fayda kriteri olduğu varsayılmıştır. Eğer maliyet kriteri olsaydı Denklem (10)’da max yerine min olacaktır.

Adım 3: Daha sonra $\tilde{R}_{nk}$ matrisi kriterlerin ağırlıkları vektörü w_k ile çarpılarak Denklem (11)’deki gibi $\tilde{V}_{nk}$ ağırlıklı standart karar matrisi elde edilir.

$$\tilde{V}_{nk} = [\tilde{v}_{nk}]_{NK}, \quad \tilde{v}_{nk} = \tilde{r}_{nk} \cdot w_k \quad (11)$$

Adım 4: Bu adımda bulanık pozitif ideal ve bulanık negatif ideal çözümleri bulunur. $\tilde{V}_{nk}$ matrisinde bulunan değerlerin ($\tilde{v}_{nk}$) sütunların en büyük değerleri ile $\tilde{v}_k^+$ vektörü, en küçük değerleri ile $\tilde{v}_k^-$ vektörü oluşturulur ($\tilde{v}_{nk} = [\tilde{a}_{nk}, \tilde{b}_{nk}, \tilde{c}_{nk}]$).

Adım 5: Maksimum ve minimum ideal noktaya olan uzaklık Denklem (12) ve (13)'te görülen formülle hesaplanır. Artık burada üçgen sayılar tek sayılara dönüşür.

$$\tilde{S}_n^+ = \sum_{k=1}^K \sqrt{\frac{1}{3} \left((\tilde{a}_{nk} - \tilde{v}_k^+)^2 + (\tilde{b}_{nk} - \tilde{v}_k^+)^2 + (\tilde{c}_{nk} - \tilde{v}_k^+)^2 \right)} \quad (12)$$

$$\tilde{S}_n^- = \sum_{k=1}^K \sqrt{\frac{1}{3} \left((\tilde{a}_{nk} - \tilde{v}_k^-)^2 + (\tilde{b}_{nk} - \tilde{v}_k^-)^2 + (\tilde{c}_{nk} - \tilde{v}_k^-)^2 \right)} \quad (13)$$

Adım 7: Son adımda (Denklem (14)) alternatiflerin sırası ve en uygun kararlar $\tilde{C}_n^*$ belirlenir. Burada maksimum değere sahip C_n^* en iyi alternatiftir.

$$\tilde{C}_n^* = \frac{\tilde{S}_n^-}{\tilde{S}_n^- + \tilde{S}_n^+}, \quad 0 \leq \tilde{C}_n^* \leq 1 \quad (14)$$

2.5. Bulanık VIKOR

VIKOR yönteminin belirsizlik altındaki bir uzantısı olan bulanık VIKOR (F-VIKOR), alternatiflerin performans derecelendirmelerini kriterlere göre değerlendirmek ve kriter ağırlıklarındaki belirsizlik seviyelerini azaltmak için dilsel ifadeler kullanır. Yöntemin adımları şu şekildedir [9,48];

Adım 1: $\tilde{A}_{nk}$ karar matrisinden (Denklem 9) her bir kriter maksimum değerler ($\tilde{f}_k^* = \max_k \tilde{f}_{nk}$) ve minimum değerler ($\tilde{f}_k^- = \min_k \tilde{f}_{nk}$) belirlenir. Daha sonra V_{nk} karar matrisi Denklem (15) ile oluşturulur.

$$\tilde{V}_{nk} = w_k (\tilde{f}_k^* - \tilde{f}_{nk}) / (\tilde{f}_k^* - \tilde{f}_k^-) \quad (15)$$

Adım 2: Bir önceki adımda elde edilen bulanık ağırlıklandırılmış karar matrisi kullanılarak $\tilde{T}_n$ ve $\tilde{U}_n$ değerleri Denklem (16) ile hesaplanır.

$$\tilde{T}_n = \sum_{k=1}^K \tilde{V}_{nk}, \quad \tilde{U}_n = \max_n \{\tilde{V}_{nk}\} \quad (16)$$

Adım 3: Bu adımda $\tilde{Q}_k$ karar vektörü Denklem (17) ile belirlenir ($v=0,5$).

$$\tilde{Q}_n = \frac{v(\tilde{T}_n - \tilde{T}^*)}{(\tilde{T}^- - \tilde{T}^*)} + \frac{(1-v)(\tilde{U}_n - \tilde{U}^*)}{(\tilde{U}^- - \tilde{U}^*)}, \quad 0 \leq \tilde{Q}_n \leq 1 \quad (17)$$

Burada $\tilde{T}^* = \max_n \{\tilde{T}_n\}$, $\tilde{T}^- = \min_n \{\tilde{T}_n\}$, $\tilde{U}^* = \max_n \{\tilde{U}_n\}$, $\tilde{U}^- = \min_n \{\tilde{U}_n\}$ ile belirlenir.

Bu adıma kadar elde edilen değerler üçgen bulanık sayılar olarak üçlüdür. Bu değerleri “En iyi bulanık olmayan performans değeri” yöntemi kullanarak durulaştırılır [49]. Eğer $\tilde{Q}_n = [\tilde{a}_n, \tilde{b}_n, \tilde{c}_n]$ matrisi ise Denklem (18) kullanılarak $\tilde{Q}_n$ değerleri durulaştırılır, yani üçlü sayıdan tekli sayıya dönüştürülür.

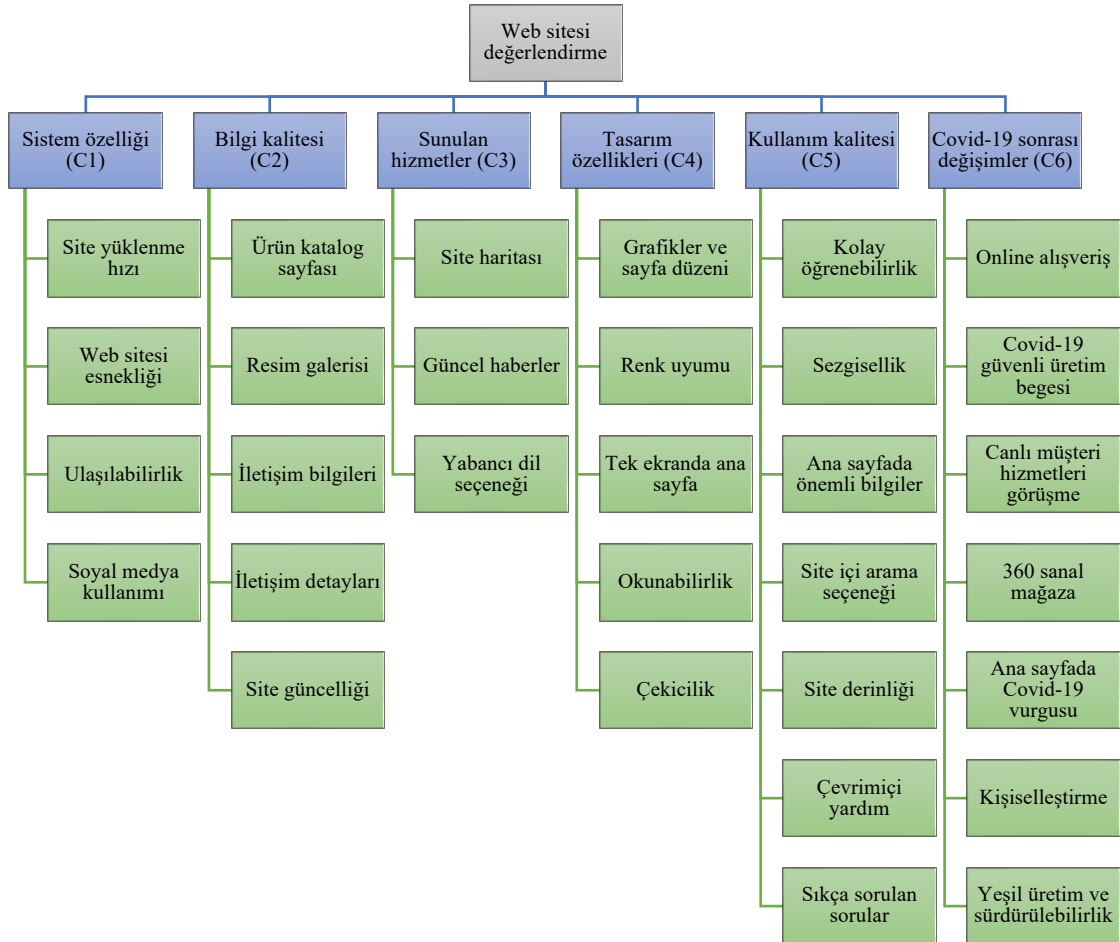
$$BestQ_n = \frac{(\tilde{c}_n - \tilde{a}_n) + (\tilde{b}_n - \tilde{a}_n)}{3} + \tilde{a}_n \quad (18)$$

Adım 4: son adımda durulaştırılarak hesaplanan $BestQ_n$ belirlenir. Burada en küçük değere sahip $BestQ_n$ en iyi alternatiftir. Bu adımda ayrıca testin geçerliliği test edilir [42].

3. Uygulama: Mobilya İşletmelerinin Web Siteleri

Bu bölümde Türkiye’de üretim yapan mobilya işletmelerinin web siteleri ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Alternatifler oluştururken literatür taraması ve uzman görüşlerini başvurulmuştur. Bildiğimiz kadarıyla Türk Mobilya web sitelerini değerlendiren bir çalışma literatürde yoktur. Bu çalışmadaki kriterler [19,29,52-54] çalışmalarından derlenmiştir. Son yıllarda, COVID-19 salgınının bir sonucu olarak, şirketler faaliyetlerini giderek daha fazla internet ortamına kaydırıyor ve böylece çevrimiçi alışverişin büyümesini hızlandırıyor [29]. Bizde bu çalışmada COVID-19 sonrası web sitelerindeki değişimleri de yeni kriterler olarak analizimize dahil ettik.

Önerilen web sitesi değerlendirme için hiyerarşik yapı oluşturulmuş ve Şekil 2’de verilmiştir. Literatür bilgisine dayalı olarak altı ana kriterin olduğu alt kriterler toplam 31 alt kriterden karar yapısı oluşturulmuştur. Kriterler ve alt kriterler AHP kullanılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Tablo 3 tüm kriter ve alt kriterlere ilişkin alternatiflerin değerlendirilmesi amacıyla Likert tipi veya bulanık üçgen sayılardan bir ölçek oluşturulmuştur. Kriterler ve alt kriterlerin kendilerine en uygun olan farklı ölçek aralığı vardır. Ayrıca kriterlerin detaylı özellikleri de Tablo 3’te sunulmaktadır. Örneğin, site yüklenme hızı alt kriteri için hızın 10 saniye üstü olduğunda 1 puan, 7-10 saniye arası için 3 puan, 4-7 saniye arası için 7 puan, 2-4 saniye arası için 7 puan ve 2 saniye altı için 9 puan olarak değerlendirilmiştir. Uygulama bölümünün sonuçları iki bölümden oluşur. İlk olarak kullanılan kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılan AHP yönteminin sonuçları verilmiştir. Daha sonra ise TOPSIS ve VIKOR yöntemi hesaplanan alternatiflerin sıralama sonuçları verilmiştir. Problemden kullanılan hiyerarşik bir yapı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Karar probleminin hiyerarşik yapısı.

Tablo 3. Kriterler ve alt kriterlerin değerlendirmeleri [19,29,52-54].

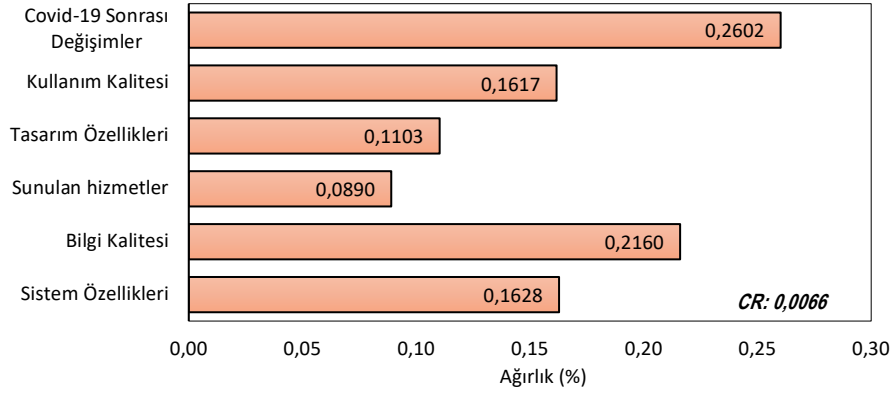
Kriterler ve Özellikleri	1 (1,1,1)	3 (2,3,4)	5 (4,5,6)	7 (6,7,8)	9 (9,9,9)
Sistem Özelliği					
Site yüklenme hızı	10 saniye üstü (Çok yavaş)	7-10 saniye arası (Yavaş)	4-7 saniye arası (Orta)	2-4 saniye arası (Hızlı)	2 saniye altı (Çok Hızlı)
Web sitesi esnekliği	Sadece web sayfa	Web ve Mobil site basit	Web ve Mobil site gelişmiş		
Ulaşılabilirlik	Ulaşılabilirlik 100%'den az	Her zaman ulaşılabilir			
Sosyal medya kullanımı	1 sosyal medya ancak aktif değil	2 aktif olmayan veya 1 aktif sosyal medya	3 aktif olmayan veya 2 aktif sosyal medya	3 veya daha fazla aktif sosyal medya	
Bilgi Kalitesi					
Ürün katalog sayfası	Yok	Basit resimler ve açıklamalar	Daha detaylı teknik özellikler ve açıklamalar	Ayrıntılı ürün katalogu, pdf olarak okunabilir ve indirilebilir	Etkileşimli ürün katalogu, daha gelişmiş özellikler
Resim galerisi	Yok	Basit resim galerisi	Her resim ayrı ayrı tıklama	Kaydırılarak resim galerisi	
İşletme bilgileri hakkında	Yok	İşletme adı, adres, vergi no	Hedefler, vizyonlar, +2	Geçmiş bilgiler+3	Daha detaylı bilgiler +4
İletişim detayları	Yok	Sadece adres	Adres ve harita	Adres, harita, çalışma zamanı ve Bayiler	
Site güncelliği	Güncel değil	1 yıldan önce güncellenmiş	Güncel son 1 ay		
Sunulan hizmetler					
Site haritası	Yok	Var			
Güncel haberler	Yok	Var			
Yabancı dil seçeneği	Tüm site tek bir dilde (Türkçe)	Farklı dil seçeneği, Google çeviri ile	İki dil seçeneği web sayfası (Türkçe+ İngilizce vb.)	Üç veya daha fazla dil seçeneği web sayfası	
Tasarım Özellikleri					
Grafikler ve sayfa düzeni	Klasik veya gereksiz süslemeler	Basit grafik kullanımı,	Yeni güncel tasarım ve işlevsel		
Renk uyumu	Uyumsuz renkler	Renklerde pasiflik ve vurgu yok	Renk kombinasyonu uyumlu fakat bütünlük yok	Renk kombinasyonu uyumlu fakat bütünlük var ama yine de eksik hissi var	Renk uyumu çok iyi, sayfada bütünlük, planlama ve vurgu çok iyi
Tek ekranda ana sayfa	Tek ekran değil	Tek ekran			
Okunabilirlik	Zor okunabilirlik, metin boyutu	Kötü okunabilirlik, metin boyutu ve rengi uygun değil	Orta okunabilirlik, metin boyutu iyi ama yazı tipi kötü	İyi okunabilirlik, metin boyutu iyi ama yazı tipi iyi	Çok okunabilirlik, metin boyutu iyi ama yazı tipi iyi ve renk körleri için uygun
Çekicilik	Yok	Az	İyi	Çok iyi	
Kullanım Kalitesi					
Kolay öğrenilebilirlik	Yavaş öğrenme	Hızlı öğrenme			
Sezgisellik	Yok	Orta	İyi		
Ana sayfada önemli bilgiler	Adres, sektörel bilgiler, en son haberlerden biri	Adres, sektörel bilgiler, en son haberlerden ikisi	Adres, sektörel bilgiler, en son haberlerden hepsi		
Site içi arama seçeneği	Yok veya düzgün çalışmıyor	Basit arama seçeneği	Gelişmiş arama seçeneği		
Site derinliği	En az 10 alt sayfa	10 alt sayfadan fazla			
Çevrimiçi yardım	Yok	Var			
Sıkça Sorulan Sorular	Yok	Var ama çok karmaşık	Var ve çok basit		
Covid-19 Sonrası Değişimler					
Online alışveriş	Online alışveriş yapılmıyor.	Sadece sipariş talebi yapılabiliyor.	Çevrimiçi alışveriş, sipariş ödeme ve teslimat	İyi tasarlanmış çevrimiçi alışveriş, sipariş ödeme ve teslimat	
Covid-19 Güvenli Üretim Belgesi	Web sitede yer almıyor	Web sitede yer alıyor.			
Canlı Müşteri Hizmetleri Görüşme	Yok	Çok basit ara yüz ve çoğu zaman aktif değil	Gelişmiş ara yüz-teknik detaylar, kişiselleştirme ve çoğu zaman aktif		
360 Sanal Mağaza	Yok	Çok basit ara yüz-basit animasyon	Gelişmiş ara yüz, gerçek mağaza ve kişiselleştirme, kullanımı kolay		
Ana sayfada Covid-19 vurgusu	Yok	Çok basit	Var ama birkaç cümle veya küçük resim	Var detaylı açıklama/haberler ve uygulanan tedbir ve önlemler	
Kişiselleştirme	Yok	Tasarım veya mimari açıdan kişiselleştirme			
Yeşil Üretim ve sürdürülebilirlik vurgusu	Yok	Var			

3.1. AHP Yöntemi Sonuçları

Ana ve alt kriterlerin ağırlıkları bu bölümde hesaplanmıştır. AHP yönteminden elde edilen ana kriterlerin karşılaştırma matrisi Tablo 4'te ve ağırlıkları Şekil 3'te verilmiştir. Hesaplanan tutarlılık oranı (CR) 0,0066 olarak bulunmuştur. Ana kriterlerden en önemlileri Covid-19 sonrası değişimler (0,26), Bilgi kalitesi (0,22) ve sistem özellikleri (0,16)'dir. Ağırlığı en düşük ana kriter ise sunulan hizmetler (0,089) ve Tasarım özellikleri (0,11)'dir.

Tablo 4. Ana kriterlerin karşılaştırma matrisi.

Ana Kriterler	Sistem Özellikleri	Bilgi Kalitesi	Sunulan hizmetler	Tasarım Özellikleri	Kullanım Kalitesi	Covid-19 Sonrası Değişimler
Sistem Özellikleri	1,000	0,590	2,100	1,600	0,930	0,690
Bilgi Kalitesi	1,695	1,000	2,100	1,950	1,250	0,810
Sunulan hizmetler	0,476	0,476	1,000	0,800	0,500	0,380
Tasarım Özellikleri	0,625	0,513	1,250	1,000	0,870	0,350
Kullanım Kalitesi	1,075	0,800	2,000	1,149	1,000	0,620
Covid-19 Sonrası Değişimler	1,449	1,235	2,632	2,857	1,613	1,000

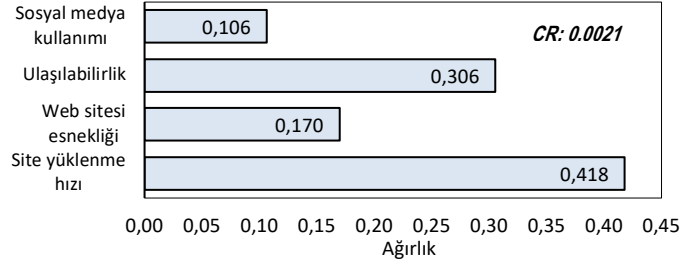


Şekil 3. Ana kriterlerin ağırlıkları.

Sistem kriterinin alt kriter karşılaştırma matrisi Tablo 5'te verilmiştir. AHP yöntemiyle ana faktörün ağırlıklarını hesapladıktan sonra, benzer adımlarla alt kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve Şekil 4'te verilmiştir. Sistem kriterinde, site yüklenme hızı (0,42) ile en yüksek ağırlıkları alırken, bunu sırasıyla ulaşılabilirlik (0,31), web sitesi esnekliği (0,17) ve sosyal medya kullanımı (0,11) takip etmiştir.

Tablo 5. Sistem kriterinin alt kriter karşılaştırma matrisi.

Alt kriterler	Site yüklenme hızı	Web sitesi esnekliği	Ulaşılabilirlik	Sosyal medya kullanımı
Site yüklenme hızı	1,000	2,500	1,400	3,800
Web sitesi esnekliği	0,400	1,000	0,510	1,760
Ulaşılabilirlik	0,714	1,961	1,000	2,700
Sosyal medya kullanımı	0,263	0,568	0,370	1,000

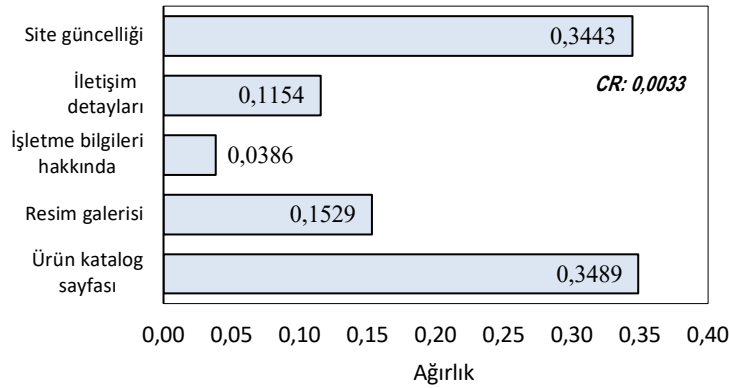


Şekil 4. Sistem kriterinin alt kriter ağırlıkları.

Bilgi kalitesi kriterinin alt kriter karşılaştırma matrisi Tablo 6’da verilmiştir. Şekil 5, Bilgi kalitesi kriterine göre alt kriterlerin ağırlıklarını göstermektedir. Bu ana kriterin yaklaşık %70’ini alt kriterlerden Site güncelliği (0,34) ve Ürün katalog sayfası (0,35) oluşturmaktadır.

Tablo 6. Bilgi kalitesi kriterinin alt kriter karşılaştırma matrisi.

Alt kriterler	Ürün katalog sayfası	Resim galerisi	İşletme bilgileri hakkında	İletişim detayları	Site güncelliği
Ürün katalog sayfası	1,000	2,300	8,500	3,400	0,960
Resim galerisi	0,435	1,000	3,710	1,520	0,420
İşletme bilgileri hakkında	0,118	0,270	1,000	0,300	0,110
İletişim detayları	0,294	0,658	3,333	1,000	0,380
Site güncelliği	1,042	2,381	9,091	2,632	1,000

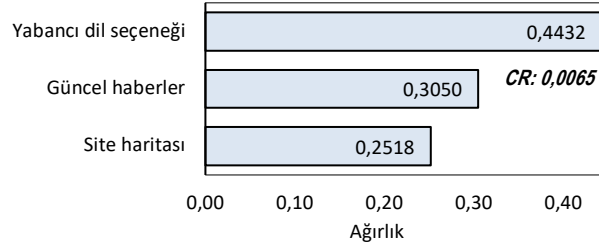


Şekil 5. Bilgi kalitesi kriterinin alt kriter ağırlıkları.

Sunulan hizmetler kriterinin alt kriter karşılaştırma matrisi Tablo 7’de verilmiştir. Şekil 6, sunulan hizmetler kriterine göre alt kriterlerin ağırlıklarını göstermektedir. Bu ana kriter yabancı dil seçeneği (0,44), güncel haberler (0,31) ve site haritası (0,25) olmak üzere üç alt kriterden oluşturmaktadır.

Tablo 7. Sunulan hizmetler kriterinin alt kriter karşılaştırma matrisi.

Alt kriterler	Site haritası	Güncel haberler	Çok dilli site
Site haritası	1,000	0,900	0,520
Güncel haberler	1,111	1,000	0,750
Çok dilli site	1,923	1,333	1,000

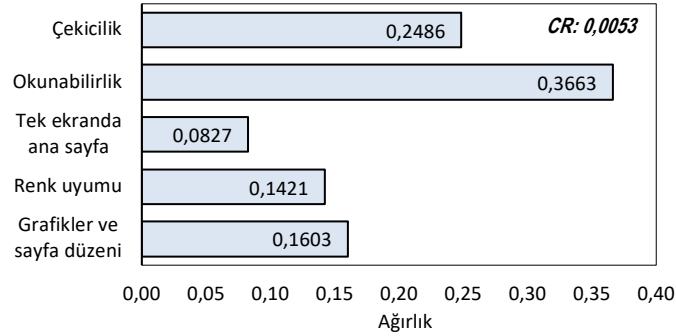


Şekil 6. Sunulan hizmetler kriterinin alt kriter ağırlıkları.

Tasarım özellikleri kriterinin alt kriter karşılaştırma matrisi Tablo 8’de verilmiştir. Şekil 7, tasarım özellikleri kriterine göre alt kriterlerin ağırlıklarını göstermektedir. Bu ana kriterde en önemli alt kriterler Okunabilirlik (0,37) ve çekicilik (0,24)’dir.

Tablo 8. Tasarım özellikleri kriterinin alt kriter karşılaştırma matrisi.

Alt kriterler	Grafikler ve sayfa düzeni	Renk uyumu	Tek ekranda ana sayfa	Okunabilirlik	Çekicilik
Grafikler ve sayfa düzeni	1,000	1,200	2,100	0,400	0,620
Renk uyumu	0,833	1,000	1,900	0,360	0,600
Tek ekranda ana sayfa	0,476	0,526	1,000	0,290	0,300
Okunabilirlik	2,500	2,778	3,448	1,000	1,600
Çekicilik	1,613	1,667	3,333	0,625	1,000

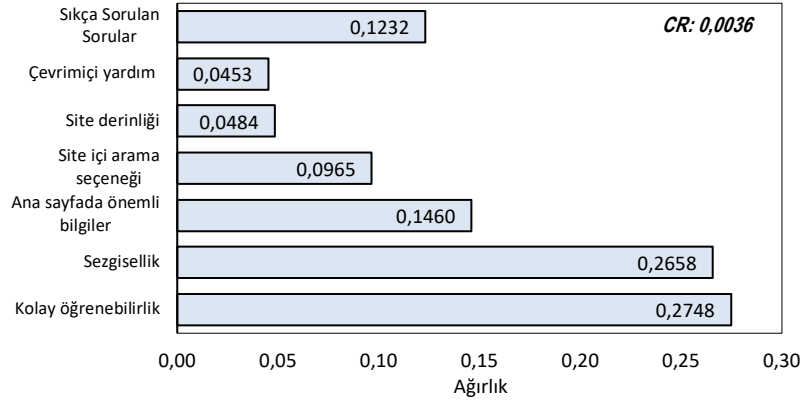


Şekil 7. Tasarım özellikleri kriterinin alt kriter ağırlıkları.

Kullanım kalitesi kriterinin alt kriter karşılaştırma matrisi Tablo 9’da verilmiştir. Şekil 8, kullanım kalitesi kriterine göre alt kriterlerin ağırlıklarını göstermektedir. Bu ana kriterde en önemli alt kriterler Kolay öğrenilebilirlik (0,275) ve sezgisellik (0,266)’dir.

Tablo 9. Kullanım kalitesi kriterinin alt kriter karşılaştırma matrisi.

Alt kriterler	Kolay öğrenilebilirlik	Sezgisellik	Ana sayfada önemli bilgiler	Site içi arama seçeneği	Site derinliği	Çevrimiçi yardım	Sıkça Sorulan Sorular
Kolay öğrenilebilirlik	1,000	1,050	1,930	3,080	5,800	6,000	2,000
Sezgisellik	0,952	1,000	1,900	3,020	5,700	5,000	2,200
Ana sayfada önemli bilgiler	0,518	0,526	1,000	1,500	3,000	3,000	1,400
Site içi arama seçeneği	0,325	0,331	0,667	1,000	2,400	2,000	0,820
Site derinliği	0,172	0,175	0,333	0,417	1,000	1,200	0,440
Çevrimiçi yardım	0,167	0,200	0,333	0,500	0,833	1,000	0,300
Sıkça Sorulan Sorular	0,500	0,455	0,714	1,220	2,273	3,333	1,000

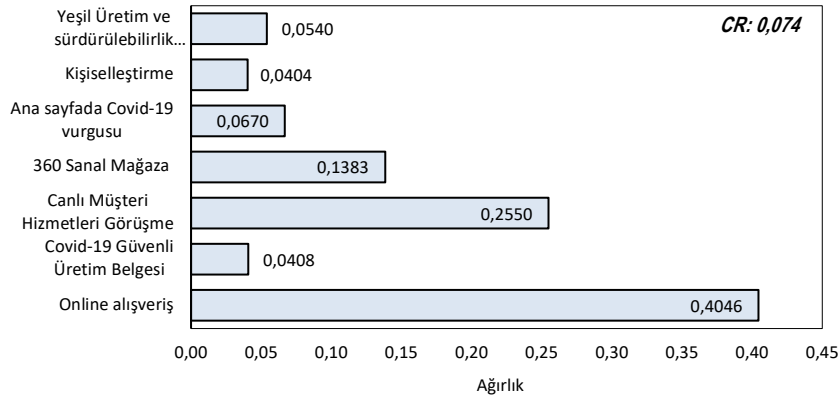


Şekil 8. Kullanım kalitesi kriterinin alt kriter ağırlıkları.

Son ana kriterimiz olan Covid-19 sonrası değişimler kriterine göre alt kriterlerin karşılaştırma matrisi Tablo 10'da ve ağırlıkları Şekil 9'da verilmiştir. Bu kriter ana kriterler içerisinde ağırlıklı en yüksek olan kriterdir. Alt kriterlerin ağırlıkları içinde oranı ise en yüksek online alışveriş seçeneği (0,40)'dir. Bu kriteri 0,25 ile canlı müşteri hizmetleri seçeneği takip etmektedir.

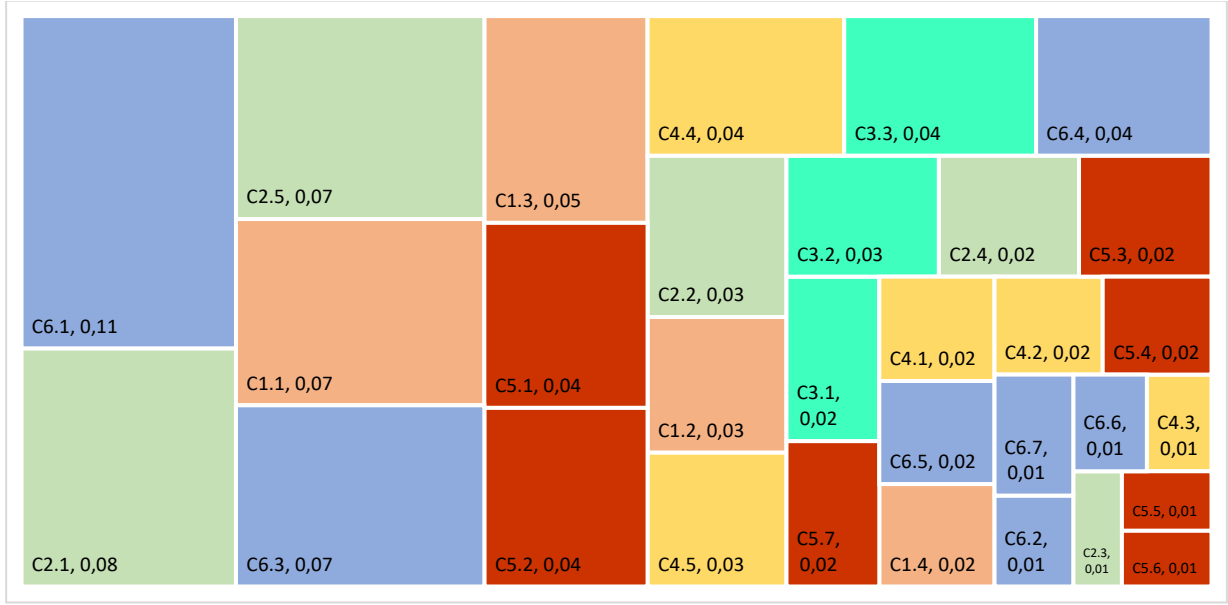
Tablo 10. Covid-19 sonrası değişimler kriterinin alt kriter karşılaştırma matrisi.

Alt kriterler	Online alışveriş	Covid-19 Güvenli Üretim Belgesi	Canlı Müşteri Hizmetleri Görüşme	360 Sanal Mağaza	Ana sayfada Covid-19 vurgusu	Kişiselleştirme	Yeşil Üretim sürdürülebilirlik vurgusu
Online alışveriş	1,000	7,000	4,500	4,000	6,500	5,000	7,000
Covid-19 Güvenli Üretim Belgesi	0,143	1,000	0,200	0,200	0,500	1,000	1,000
Canlı Müşteri Hizmetleri Görüşme	0,222	5,000	1,000	3,000	7,000	8,000	5,000
360 Sanal Mağaza	0,250	5,000	0,333	1,000	2,500	3,000	4,000
Ana sayfada Covid-19 vurgusu	0,154	2,000	0,143	0,400	1,000	2,000	2,000
Kişiselleştirme	0,200	1,000	0,125	0,333	0,500	1,000	0,333
Yeşil Üretim ve sürdürülebilirlik vurgusu	0,143	1,000	0,200	0,250	0,500	3,000	1,000



Şekil 9. Covid-19 sonrası değişimler kriterinin alt kriter ağırlıkları.

AHP yönteminden elde edilen alt kriterlerin nihai ağırlık değeri ve sıralaması Şekil 10'da verilmiştir. En önemli iki kriter online alışveriş seçeneği (C6.1) ve Ürün katalog sayfası kriteri (C2.1)'dir. Daha sonra hemen hemen aynı önem sahip, Site yüklenme hızı, Site güncelliği ve Canlı müşteri hizmetleri kriterleri takip etmektedir.



Şekil 10. Tüm alt kriterlerin önem seviyesi.

3.2. Bulanık TOPSIS ve TOPSIS Sonuçları

Bu bölümde, F-TOPSIS ve TOPSIS yaklaşımı kullanılarak 21 mobilya üretici işletmelerin web sitelerinin sıralaması analiz edilmiştir. Bulanık karar matrisi ve AHP'den elde edilen kriter değerleri kullanılarak ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi, alternatiflerin her bir alt kriterine göre karşılaştırılmasından sonra elde edilmiştir. Bu çalışmanın tüm kriterleri 1-9 arasında sayısal değer olarak kullanılmıştır. Adım 3'te anlatıldığı gibi standart karar matrisi hesaplanmış ve Tablo 11'de ilk iki ve son kriterin değerleri verilmiştir. Burada, matris çok büyük olduğu ve alan kısıtlamaları nedeniyle matris kısaltılmıştır.

Tablo 11. Bulanık TOPSIS standart karar matrisi.

	C1.1	C1.2	C6.7
A1	(0,007;0,0089;0,01070)	(0,0023;0,0034;0,0046)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A2	(0,0125;0,0143;0,0161)	(0,0046;0,0057;0,0069)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A3	(0,0143;0,0161;0,0178)	(0,0046;0,0057;0,0069)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A4	(0,0107;0,0125;0,0143)	(0,0046;0,0057;0,0069)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A5	(0,0071;0,0089;0,0107)	(0,0023;0,0034;0,0046)	(0,0029;0,0043;0,0057)
A6	(0,0107;0,0125;0,0143)	(0,0011;0,0023;0,0034)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A7	(0,0071;0,0089;0,0107)	(0,0046;0,0057;0,0069)	(0,0029;0,0043;0,0057)
A8	(0,0143;0,0161;0,0178)	(0,0046;0,0057;0,0069)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A9	(0,0125;0,0143;0,0161)	(0,0034;0,0046;0,0057)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A10	(0,0143;0,0161;0,0178)	(0,0046;0,0057;0,0069)	(0,0029;0,0043;0,0057)
A11	(0,0107;0,0125;0,0143)	(0,0034;0,0046;0,0057)	(0,0029;0,0043;0,0057)
A12	(0,0107;0,0125;0,0143)	(0,0034;0,0046;0,0057)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A13	(0,0143;0,0161;0,0178)	(0,0046;0,0057;0,0069)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A14	(0,0107;0,0125;0,0143)	(0,0046;0,0057;0,0069)	(0,0029;0,0043;0,0057)
A15	(0,0054;0,0071;0,0089)	(0,0011;0,0023;0,0034)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A16	(0,0107;0,0125;0,0143)	(0,0046;0,0057;0,0069)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A17	(0,0107;0,0125;0,0143)	(0,0011;0,0011;0,0011)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A18	(0,0125;0,0143;0,0161)	(0,0046;0,0057;0,0069)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A19	(0,0089;0,0107;0,0125)	(0,0046;0,0057;0,0069)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A20	(0,0125;0,0143;0,0161)	(0,0034;0,0046;0,0057)	(0,0014;0,0014;0,0014)
A21	(0,0143;0,0161;0,0178)	(0,0046;0,0057;0,0069)	(0,0014;0,0014;0,0014)

Ayrıca TOPSIS yöntemine göre hesaplanan standart karar metrisi Tablo 12'de ilk iki ve son kriterin değerleri sunulmuştur.

Tablo 12. TOPSIS standart karar matrisi.

	C1.1	C1.2	C6.7
A1	0,1487	0,1517	0,1280
A2	0,2379	0,2529	0,1280
A3	0,2676	0,2529	0,1280
A4	0,2081	0,2529	0,1280
A5	0,1487	0,1517	0,3841
A6	0,2081	0,1011	0,1280
A7	0,1487	0,2529	0,3841
A8	0,2676	0,2529	0,1280
A9	0,2379	0,2023	0,1280
A10	0,2676	0,2529	0,3841
A11	0,2081	0,2023	0,3841
A12	0,2081	0,2023	0,1280
A13	0,2676	0,2529	0,1280
A14	0,2081	0,2529	0,3841
A15	0,1189	0,1011	0,1280
A16	0,2081	0,2529	0,1280
A17	0,2081	0,0506	0,1280
A18	0,2379	0,2529	0,1280
A19	0,1784	0,2529	0,1280
A20	0,2379	0,2023	0,1280
A21	0,2676	0,2529	0,1280

Bu çalışmada kriter değerleri 1-9 arasında değerler olarak kabul ettiğinden, bulanık pozitif ideal çözüm $A^+(0, 0, 0)$ olarak ve bulanık negatif ideal çözüm $A^-(0, 0, 0)$ olarak tanımlanır ve ardından Denklem (18) pozitif ideal çözüm ile negatif ideal çözüm arasındaki mesafeyi hesaplamak için kullanılır ve ardından Tablo 13'te gösterildiği gibi C^* yakınlık katsayısını elde etmek için Denklem (4) ve (14) kullanılır. Yukarıdaki metodoloji kullanılarak elde edilen nihai sıralama Tablo 13'te verilmiştir. Ayrıca benzer adımlarla elde edilen F-TOPSIS yöntemi sonuçları da Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Bulanık TOPSIS ve TOPSIS yöntemine göre nihai sırala.

	Bulanık TOPSIS				TOPSIS			
	S+	S-	C*	Sıra	S+	S-	C*	Sıra
A1	0,1180	0,0870	0,4244	15	4,0610	3,2384	0,4437	13
A2	0,1489	0,0560	0,2732	20	4,9261	2,1365	0,3025	20
A3	0,0875	0,1173	0,5728	3	3,6193	4,1378	0,5334	3
A4	0,0947	0,1103	0,5380	7	4,6234	3,5453	0,4340	14
A5	0,0342	0,1707	0,8331	1	2,1015	5,4605	0,7221	1
A6	0,1139	0,0914	0,4454	14	4,0777	3,6192	0,4702	11
A7	0,0884	0,1169	0,5696	4	3,6695	4,0561	0,5250	5
A8	0,1321	0,0729	0,3555	17	4,9028	2,5236	0,3398	17
A9	0,1027	0,1023	0,4990	9	4,0214	3,7694	0,4838	9
A10	0,0786	0,1262	0,6163	2	3,5683	4,3060	0,5468	2
A11	0,1334	0,0712	0,3479	18	4,8708	2,3854	0,3287	18
A12	0,0974	0,1080	0,5258	8	3,7844	3,3618	0,4704	10
A13	0,1071	0,0988	0,4798	11	3,6711	3,6462	0,4983	7
A14	0,1116	0,0937	0,4564	12	4,0893	3,5753	0,4665	12
A15	0,1128	0,0929	0,4514	13	4,8214	3,1694	0,3966	15
A16	0,1386	0,0661	0,3228	19	4,7895	2,2586	0,3205	19
A17	0,1844	0,0200	0,0981	21	5,3805	1,2051	0,1830	21
A18	0,1057	0,0999	0,4859	10	3,8611	3,8308	0,4980	8
A19	0,0945	0,1108	0,5398	6	3,6705	4,0052	0,5218	6
A20	0,1250	0,0797	0,3896	16	4,6769	2,6953	0,3656	16
A21	0,0902	0,1148	0,5599	5	3,5703	4,0070	0,5288	4

3.2. Bulanık VIKOR ve VIKOR Sonuçları

Bulanık VIKOR yönteminin ilk adımında açıklandığı gibi standart karar matrisi hesaplanmış ve Tablo 14'te ilk iki ve son kriterin değerleri sunulmuştur.

Tablo 14. Bulanık VIKOR standart karar matrisi.

	C1.1	C1.2	C6.7
A1	(0,0272;0,0545;0,0817)	(0,0000;0,0138;0,0221)	(0,014;0,014;0,014)
A2	(-0,0136;0,0136;0,0408)	(-0,0184;0,0000;0,0111)	(0,014;0,014;0,014)
A3	(-0,0272;0,0000;0,0272)	(-0,0184;0,0000;0,0111)	(0,014;0,014;0,014)
A4	(0,0000;0,0272;0,0545)	(-0,0184;0,0000;0,0111)	(0,014;0,014;0,014)
A5	(0,0272;0,0545;0,0817)	(0,0000;0,0138;0,0221)	(-0,0281;0,0;0,0094)
A6	(0,0000;0,0272;0,0545)	(0,0092;0,0207;0,0277)	(0,014;0,014;0,014)
A7	(0,0272;0,0545;0,0817)	(-0,0184;0,0000;0,0111)	(-0,0281;0,0;0,0094)
A8	(-0,0272;0,0000;0,0272)	(-0,0184;0,0000;0,0111)	(0,014;0,014;0,014)
A9	(-0,0136;0,0136;0,0408)	(-0,0092;0,0069;0,0166)	(0,014;0,014;0,014)
A10	(-0,0272;0,0000;0,0272)	(-0,0184;0,0000;0,0111)	(-0,0281;0,0;0,0094)
A11	(0,0000;0,0272;0,0545)	(-0,0092;0,0069;0,0166)	(-0,0281;0,0;0,0094)
A12	(0,0000;0,0272;0,0545)	(-0,0092;0,0069;0,0166)	(0,014;0,014;0,014)
A13	(-0,0272;0,0000;0,0272)	(-0,0184;0,0000;0,0111)	(0,014;0,014;0,014)
A14	(0,0000;0,0272;0,0545)	(-0,0184;0,0000;0,0111)	(-0,0281;0,0;0,0094)
A15	(0,0408;0,0681;0,0953)	(0,0092;0,0207;0,0277)	(0,014;0,014;0,014)
A16	(0,0000;0,0272;0,0545)	(-0,0184;0,0000;0,0111)	(0,014;0,014;0,014)
A17	(0,0000;0,0272;0,0545)	(0,0277;0,0277;0,0277)	(0,014;0,014;0,014)
A18	(-0,0136;0,0136;0,0408)	(-0,0184;0,0000;0,0111)	(0,014;0,014;0,014)
A19	(0,0136;0,0408;0,0681)	(-0,0184;0,0000;0,0111)	(0,014;0,014;0,014)
A20	(-0,0136;0,0136;0,0408)	(-0,0092;0,0069;0,0166)	(0,014;0,014;0,014)
A21	(-0,0272;0,0000;0,0272)	(-0,0184;0,0000;0,0111)	(0,014;0,014;0,014)

Benzer adımlarla VIKOR yöntemine göre hesaplanan standart karar metrisi Tablo 15’te ilk iki ve son kriterin değerleri sunulmuştur.

Tablo 15. VIKOR Standart karar matrisi.

	C1.1	C1.2	C6.7
A1	0,0545	0,0138	0,0140
A2	0,0136	0,0000	0,0140
A3	0,0000	0,0000	0,0140
A4	0,0272	0,0000	0,0140
A5	0,0545	0,0138	0,0000
A6	0,0272	0,0207	0,0140
A7	0,0545	0,0000	0,0000
A8	0,0000	0,0000	0,0140
A9	0,0136	0,0069	0,0140
A10	0,0000	0,0000	0,0000
A11	0,0272	0,0069	0,0000
A12	0,0272	0,0069	0,0140
A13	0,0000	0,0000	0,0140
A14	0,0272	0,0000	0,0000
A15	0,0681	0,0207	0,0140
A16	0,0272	0,0000	0,0140
A17	0,0272	0,0277	0,0140
A18	0,0136	0,0000	0,0140
A19	0,0408	0,0000	0,0140
A20	0,0136	0,0069	0,0140
A21	0,0000	0,0000	0,0140

F-VIKOR yönteminin uygulanmasında, Q değerinin en düşük olan, alternatif web sitesi içinde en iyi olarak kurulumu için oldukça uygun alan olarak önceliklendirilmiştir. Elde edilen T, U ve Q değerleri Tablo 16’da verilmiştir. Sonuç olarak, ilk üç sıralamada A5, A10 ve A3 alternatifleridir. Bulanık VIKOR ile VIKOR yöntemi sonuçları oldukça benzerdir. Nihai sıralamada sadece A7, A9, A13 ve A19 alternatiflerin sıralaması farklıdır.

Tablo 16. Bulanık VIKOR ve VIKOR yöntemine göre nihai sırala.

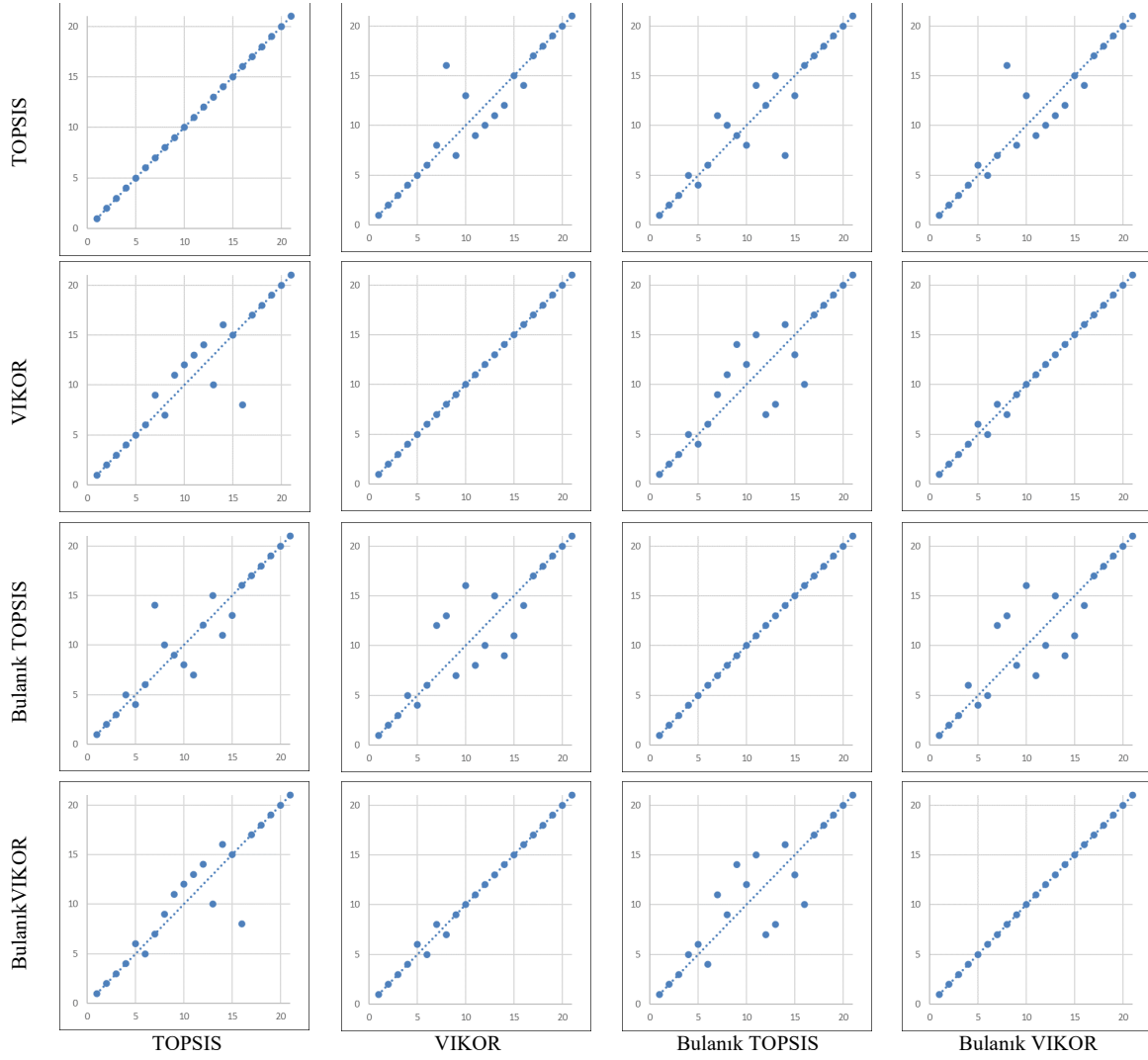
	Bulanık VIKOR					VIKOR			
	T	U	Q	Sıra		T	U	Q	Sıra
A1	0,4351	0,0702	0,2313	11		0,4840	0,0664	0,3418	11
A2	0,6150	0,1053	0,5088	20		0,6468	0,1053	0,8339	20
A3	0,2357	0,0664	0,1484	3		0,2885	0,0664	0,2105	3
A4	0,3029	0,1053	0,4174	12		0,3525	0,1053	0,6364	12
A5	0,0732	0,0545	0,0245	1		0,1493	0,0545	0,0000	1
A6	0,3881	0,0713	0,2247	9		0,4353	0,0664	0,3090	9
A7	0,2867	0,0702	0,1878	6		0,3409	0,0664	0,2457	5
A8	0,4516	0,1053	0,4610	17		0,4980	0,1053	0,7341	17
A9	0,3157	0,0713	0,2035	8		0,3665	0,0664	0,2629	7
A10	0,1842	0,0664	0,1333	2		0,2417	0,0664	0,1791	2
A11	0,4785	0,1053	0,4688	18		0,5322	0,1053	0,7570	18
A12	0,3549	0,1053	0,4326	13		0,4052	0,1053	0,6718	13
A13	0,3916	0,0664	0,1940	7		0,4347	0,0664	0,3087	8
A14	0,3996	0,0713	0,2280	10		0,4379	0,0664	0,3108	10
A15	0,4193	0,1053	0,4515	15		0,4637	0,1053	0,7110	15
A16	0,5713	0,1053	0,4960	19		0,6106	0,1053	0,8096	19
A17	0,8902	0,1053	0,5894	21		0,8941	0,1053	1,0000	21
A18	0,4419	0,1053	0,4581	16		0,4800	0,1053	0,7220	16
A19	0,3136	0,0668	0,1739	5		0,3659	0,0664	0,2625	6
A20	0,4141	0,1053	0,4500	14		0,4627	0,1053	0,7104	14
A21	0,2629	0,0664	0,1563	4		0,3174	0,0664	0,2299	4

4. Çok Kriterli Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi

Bu bölümde, önerilen vaka çalışması için web sitelerinin değerlendirilmesi ve sıralanmasında bulanık TOPSIS, TOPSIS, bulanık VIKOR ve VIKOR yöntemi performanslarını karşılaştırarak kapsamlı bir analiz sunuyoruz. Tablo 13 ve Tablo 16'daki sıralama sonuçları incelendiğinde her bir ÇÖKV yöntemi göre alternatif web sitelerin sıralaması da farklıdır. Aslında her yöntemin uyguladığı farklı teknik esaslara ve seçim yaklaşımları sonuçlarda farklılık yaratıyor. Dikkate alınan tüm yaklaşımların karşılaştırılması şu faktörlere dayalı olarak yapılmıştır: sıralama farklılığı, ilişki testi, hesaplama karmaşıklığı ve alternatif web sitesi sayısındaki değişikliklerdir.

4.1. Sıralamaların Karşılaştırılması

Farklı ÇKKV yöntemlerle çözüm sonuçlarından elde edilen alternatiflerin sıralamalarındaki benzerlik ve farklılık Şekil 11'de detaylı olarak verilmiştir. Kullanılan dört farklı yöntemin birbiri ile karşılaştırılması verilmiştir. Buna göre görselleştirilen sıralama analizi, Bulanık VIKOR ile VIKOR yöntemleri sonuçlarındaki sıralamalar çok benzer olduğunu göstermektedir. Bu karşılaştırmalarda sadece 4 alternatif farklı puan almıştır. TOPSIS ve VIKOR ile Bulanık TOPSIS ve TOPSIS yöntemlerinin aldığı sıralamalar arasında iyi derecede bir benzerlik görülmektedir. Bu karşılaştırmalarda 12 alternatif aynı sıralamaya sahiptir. En büyük farklılık Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri arasında olup 13 alternatifin sıralaması farklıdır. Tüm karşılaştırmalarda ilk 3 sıra ve son 5 sıra aynıdır, farklılaşma genelde 4-16 sıralar arasında olmaktadır. Ayrıca tüm karşılaştırmalar içinde Bulanık TOPSIS ile karşılaştırılan tüm yöntemlerde farklılık daha çok, en az farklılık VIKOR yöntemi ile olmuştur. Sonuç olarak bulanık yöntem sonuçları birbirinden oldukça farklıdır.



Şekil 11. Nihai sıralamaların karşılaştırılması.

4.2. İlişki Testi ile Karşılaştırma (Korelasyon Katsayıları)

İlişki testi ya da korelasyon katsayıları, değişkenleri karşılaştırmayı ve ne kadar benzer olduklarını matematiksel olarak belirlemeyi mümkün kılar. Sıralama benzerlik katsayıları, elde edilen sonuçları karşılaştırmaya ve ne kadar benzer olduklarını belirlemeye izin verir [1,8]. Bu bölümde Kendall Tau testi, Spearman sıra korelasyon, ağırlıklı Spearman korelasyon ve sıra benzerlik kullanılarak ÇKKV yöntemleriyle elde edilen sıralama sonuçlarını karşılaştırdık. İlk olarak bu yöntemleri tanıtıyoruz.

Eğer N büyüklüğünde bir örneklem için u_i ve v_i herhangi iki yöntemden elde edilen sıra değerleri ve ise, değişkenler arasındaki sıralamalardaki farklılık Spearman'ın sıralama korelasyon katsayısı (r_s) (Spearman's Rank Correlation Coefficient) Denklem (19) ile hesaplanabilir [55].

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N (u_i - v_i)^2}{N(N^2 - 1)} \quad (19)$$

Ağırlıklı Spearman'ın sıralama korelasyon katsayısı (r_w) (Weighted Spearman's Rank Correlation Coefficient) Denklem (20) hesaplanabilir. Bu yaklaşımda her iki sıralamada da üst sıralardaki konumlar daha

önemlidir. Anlamlılık ağırlığı her karşılaştırma için hesaplanır. Farklılıkların nerede ortaya çıktığını değil de ortaya çıkıp çıkmadığını inceleyen Spearman's rank korelasyon katsayısına temel farkı belirleyen unsurdur [8,56].

$$r_w = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N (u_i - v_i)^2 ((N - u_i + 1) + (N - v_i + 1))}{N^4 + N^3 - N^2 - N} \quad (20)$$

Sıra benzerlik katsayısı (r_r) (Rank Similarity Coefficient) ise belirli bir karşılaştırmanın ağırlığı, hesaplama sırasında referans sıralaması olarak kullanılan birinci sıralamadaki konumun önemine göre belirlenir [1].

$$r_r = 1 - \sum_{i=1}^N 2^{-u_i} \frac{|u_i - v_i|}{\max(|u_i - 1|, |u_i - N|)} \quad (21)$$

Kendall Tau korelasyon katsayı (t) iki farklı değişkenler arasındaki ilişkiyi karşılaştırmak için kullanılan en popüler yöntemlerden biridir. Parametrik olmayan Kendall Tau korelasyon katsayı testi, iki bağımsız değişkenin ÇÖKV yöntemlerinde gözlenen değerlerinin sıralarını karşılaştırmak için kullanıldı [57, 58]. Eğer modelimizde n , alternatiflerin sayısını gösterirse farklı sıralara sahip iki değişkeni karşılaştırmak için Denklem (22), benzer sıralamalara sahip iki değişkeni karşılaştırmak için Denklem (23) kullanılır. Bu çalışmada Denklem (22) kullandık.

$$t = \frac{p - q}{n(n-1)/2} \quad (22)$$

$$t' = \frac{p - q}{\sqrt{\left(\frac{n(n-1)}{2} - \alpha\right)\left(\frac{n(n-1)}{2} - \beta\right)}} \quad (23)$$

burada p ve q sırasıyla uyumlu çiftlerin sayısı ve uyumsuz çiftlerin sayısıdır. α ve β iki veri seti içinde aynı sıralara sahip çiftlerin sayısıdır.

Elde edilen ilişki testleri ısı haritaları yardımıyla Şekil 12'de verilmiştir. Bilindiği gibi test sonuçları 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. Test sonucu 1'e yaklaştıkça ilişki artmakta yani yöntemler arasında sıralama sonuçları daha çok benzemektedir, 0'a yaklaştıkça ise tam tersi durum söz konusudur. Yöntemler arasında en büyük fark Kendall Tau testindedir. Spearman sıra korelasyon testi ve ağırlıklı Spearman korelasyon testi sonuçları birbirine çok benzerdir. Sıra benzerlik testi sonuçları ise sıralamaların birbirine çok benzer olduğunu gösteriyor. Kendall Tau testi kullanıldığında VIKOR ile F-VIKOR yöntemleri (0,98) için elde edilen sıralamalar arasında en yüksek ilişki gözlemlendi. Daha sonra TOPSIS ile VIKOR ile yöntemleri (0,87) ve TOPSIS ile F-VIKOR yöntemleri (0,87) için elde edilen sıralamalar arasında daha az korelasyon elde edildi. VIKOR ile F-TOPSIS yöntemleri (0,80) ve F-TOPSIS ile F-VIKOR yöntemleri (0,78) için elde edilen sıralamalar en az benzerliğin olduğu sonuçlardır. Spearman sıra korelasyon testi ve ağırlıklı Spearman korelasyon testi sonuçları da benzerdir. Sıra benzerlik testinde ise tüm karşılaştırmalar 1'e çok yakın değerler almıştır. F-TOPSIS ile F-VIKOR yöntemleri (0,90) için elde edilen sıralamalar arasında küçük bir benzerlik oluşmuştur.

Elde edilen sonuçların analizinde F-VIKOR ile F-TOPSIS yöntemlerinin sıralama sonuçlarının oldukça farklı olduğudur. Ayrıca TOPSIS yöntemi ile bulanık versiyonu karşılaştırıldığında daha az benzerlik gözlenirken VIKOR yöntemi ile bulanık versiyonu karşılaştırıldığında daha çok benzerlik gözlenmiştir. Sıralamalar arası benzerlik testinde VIKOR daha iyi performans gösterdiği ifade edilebilir.

Kendall's Tau	TOPSIS	VIKOR	F-TOPSIS	F-VIKOR	Spearman	TOPSIS	VIKOR	F-TOPSIS	F-VIKOR
TOPSIS	1,00	0,87	0,84	0,87	TOPSIS	1,00	0,94	0,94	0,94
VIKOR	0,87	1,00	0,80	0,98	VIKOR	0,94	1,00	0,90	0,99
F-TOPSIS	0,84	0,80	1,00	0,78	F-TOPSIS	0,94	0,90	1,00	0,89
F-VIKOR	0,87	0,98	0,78	1,00	F-VIKOR	0,94	0,99	0,89	1,00

Weighted Spearman	TOPSIS	VIKOR	F-TOPSIS	F-VIKOR	Rank Similarity	TOPSIS	VIKOR	F-TOPSIS	F-VIKOR
TOPSIS	1,00	0,94	0,94	0,94	TOPSIS	1,00	0,99	0,99	0,99
VIKOR	0,94	1,00	0,90	0,99	VIKOR	0,99	1,00	0,99	0,98
F-TOPSIS	0,94	0,90	1,00	0,90	F-TOPSIS	0,99	0,99	1,00	0,90
F-VIKOR	0,94	0,98	0,90	1,00	F-VIKOR	0,99	0,98	0,90	1,00

Şekil 12. Yöntemlerin ilişki testi ile karşılaştırılması.

4.3. Yöntemlerin Hesaplama Karmaşıklığı Açısından Karşılaştırılması

Kullanılan tüm ÇKKV yaklaşımlar için hesaplama karmaşıklığı dikkate alınarak değerlendirilmiştir. ÇKKV yöntemleri kriterlerin ve alternatiflerin sayısında herhangi bir kısıtlama olmaksızın, seçim kararını tamamlamak için aynı miktarda veriye ihtiyaç duyar. Eğer n alternatif ve k kriter dikkate alındığında, her karar vericinin vermesi gereken kararların sayısı $nk + k$ 'ye eşittir. Ancak aynı miktarda karar kullanılsa bile her yöntemin hesaplama karmaşıklığı farklı olabilir. Buna genellikle zaman karmaşıklığı da denir [23].

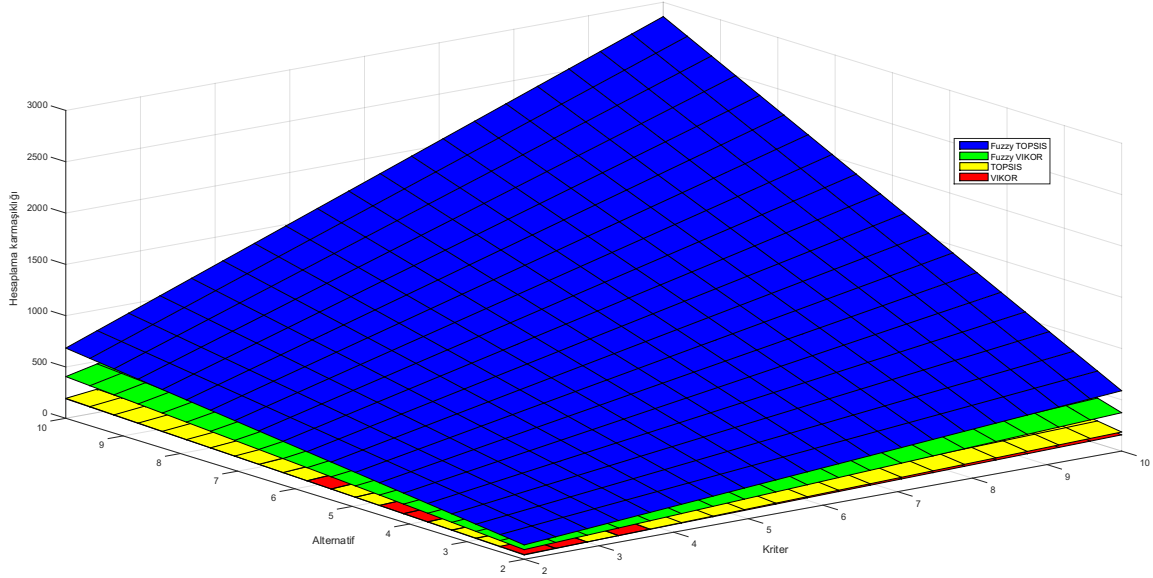
ÇKKV yöntemlerinin hesaplama karmaşıklığını belirleyen ilk çalışma Chen [51] tarafından AHP yöntemini çarpma işleminin uygulanma sayısına bağlı olarak belirlemiştir. Burada ilgili yöntemin adımlarında yapılan işlemler kriterler ve alternatif sayıları kullanılarak hesaplama yapılır. Junior, vd. [20] üstel sayıları ve mantıksal işlemleri zaman karmaşıklığının bileşenleri olarak değerlendirmiştir. Banaeian, vd., [23] ise bulanık ÇKKV yöntemlerinin zaman karmaşıklığını hesaplamak için toplama, çıkarma, çarpma, bölme, karekök ve üs alma olmak üzere tüm mantıksal matematiksel işlemlerini ele almıştır. Bizde bu çalışmada Banaeian, vd., [23] yöntemine benzer şekilde hesaplama karmaşıklığını kullandık. Ayrıca benzer şekilde yöntemlerin hesaplama karmaşıklıklarını karşılaştıran birkaç çalışma [24-27,59] vardır.

Tablo 17'de kullanılan 4 yönteminde hesaplama karmaşıklığı detaylı gösterilmektedir. Bilindiği gibi n alternatifleri, k ise kriterleri göstermektedir. Bizim çalışmamızda 21 alternatif ve 6 ana kriter vardır. Örneğin TOPSIS yönteminde işlem karmaşıklığını hesaplamak için normalizasyon matrisini elde etmek için $k(n+1)$ işlemlerine, ağırlıklı karar matrisini hesaplamak için nk işlemlerine, ağırlıklı karar matrisindeki en büyük ve en küçük değerleri hesaplamak için $k+k$ işlemlerine, pozitif ideal ve negatif ideal noktaya olan uzaklıkları hesaplamak için $3nk+3nk$ işlemlerine, en uygun karar noktasını belirlemek için $2n$ işlemlerine ihtiyacımız vardır. Sonuç olarak TOPSIS yöntemi işlem karmaşıklığı $8nk+3k+2n$ ile hesaplanır.

Çalışmada kullanılan 6 ana kriter ve 21 alternatif verilerini göz önüne aldığımızda TOPSIS yönteminde 1068 işlem, F-TOPSIS yönteminde 3516 işlem, VIKOR yönteminde 916 işlem ve F-VIKOR yönteminde ise 2131 işlem gerçekleşmektedir. Hesaplama karmaşıklığı açısından VIKOR yönteminin diğer yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Beklendiği üzere bulanık yöntemler, klasik yöntemlere göre işlem karmaşıklığı artmıştır. Şekil 13, bu dört yöntemin hesaplama karmaşıklığını görselleştirilmiştir.

Tablo 17. Kullanılan yöntemlerin hesaplama karmaşıklığı.

TOPSIS		F-TOPSIS		VIKOR		F-VIKOR	
Normalizasyon	$k(n+1)$	Normalizasyon	$6k(n+1)$	$\tilde{f}_k^*, \tilde{f}_k^-$	$k+k$	$\tilde{f}_k^*, \tilde{f}_k^-$	$3k+3k$
V_{nk}	nk	$\tilde{V}_{nk}$	$3nk$	V_{nk}	$2k(n+1)$	$\tilde{V}_{nk}$	$k(6n+1)$
v_k^+, v_k^-	$k+k$	$\tilde{v}_k^+, \tilde{v}_k^-$	$3k+3k$	P_n, R_n	$2nk+4$	$\tilde{P}_n, \tilde{R}_n$	$5nk+4$
S_n^+, S_n^-	$3nk+3nk$	$\tilde{S}_n^+, \tilde{S}_n^-$	$9nk+9nk$	Q_n	$3nk+4$	$\tilde{Q}_n$	$5nk+4$
C_n^*	$2n$	$\tilde{C}_n^*$	$2n$	Test	2	Best Q_n	3n
Toplam	$8nk+3k+2n$	Toplam	$27nk+12k+2n$	Toplam	$7nk+4k+10$	Tutarlılık	2
				Toplam	$16nk+3n+7k+10$		



Şekil 13. Hesaplama karmaşıklığı.

4.4. Yöntemlerin Alternatif Değişikliklerine Adaptasyonu

ÇKKV yöntemlerinin esnekliği, değişen şartlara uyum sağlama yeteneği doğru kararlar vermek açısından oldukça önemlidir. Karar verme sürecinde gerçek hayatta farklı etkenler yeni alternatiflerin eklenmesi veya hariç tutulması gerektirebilir. Bu durumda karar verme yöntemlerinin alternatifleri tutarlı bir tercih sırası üretmesi beklenir [20]. Bu nedenle, bir veya daha fazla alternatifin değerlendirme sürecine dahil edildiğinde veya hariç tutma senaryoları altında alternatiflerin sıralamalarının tutarlılığını kontrol etmek çok önemlidir. Herhangi bir durumda sıralamanın tersine dönmesi meydana gelirse, bu, yöntemin değerlendirme sürecindeki alternatif sayısına duyarlı olduğunu ortaya koyacaktır [25,32].

Bizde 21 alternatif ve 6 kritere sahip problemimizde alternatiflerde meydana gelen değişikliği test ettik. Bu maksatla dört farklı test yapıyoruz. İlk olarak hayali bir yeni alternatif ekliyoruz, daha sonra rasgele seçilen A18 alternatif web sitesinin aynı kriterlerine sahip yeni bir alternatif A22 ekliyoruz. Bir sonraki testte tüm sonuçlarda en iyi alternatif olan A5 alternatif web sitesinin aynı kriterlerine sahip yeni bir alternatif A22 ekliyoruz. Son testte ise her iki yöntemde de en kötü alternatif olan A17 web sitesi devre dışı bırakıyoruz. Elde edilen bu dört veri seti ile problem her iki bulanık yöntemle tekrar çözülmüş ve sonuçlar Tablo 18’de verilmiştir.

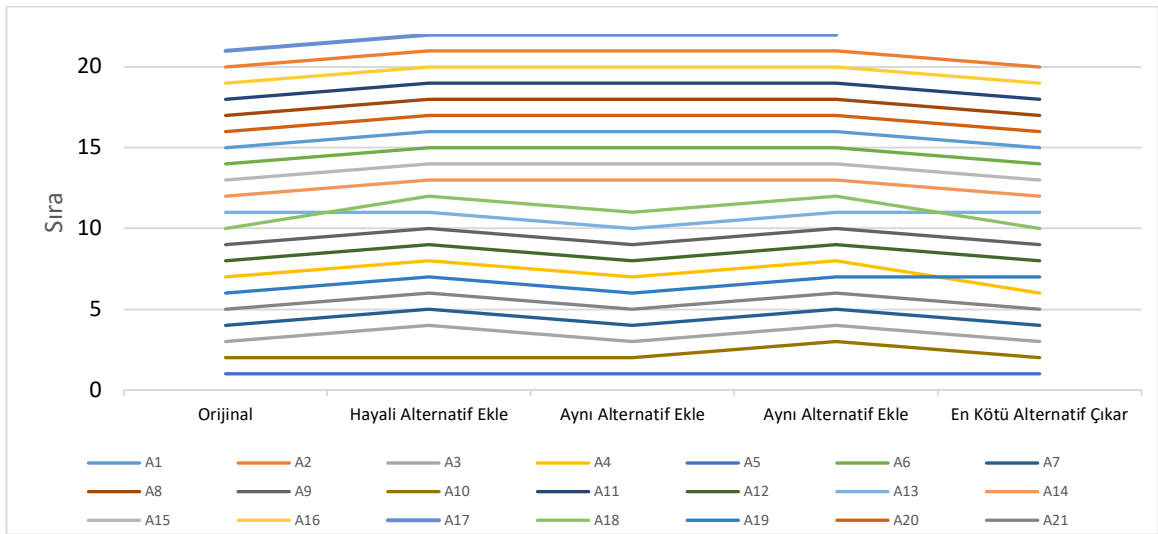
Şekil 14’te F-TOPSIS yöntemindeki test sonuçları görülmektedir. Testlerin çoğunda, sonuçlar alternatif sıralamada önemli bir değişiklik göstermedi. Bu yöntemle tüm testlerde 1. sıradaki A5 alternatif web sitesi sabit kalmıştır. Hayali alternatif eklendiğinde eklenen alternatif sayısı arttığı için genelde sıralamalar 1 artmıştır. Problemimizde olan alternatif yeni bir alternatif olarak eklendiğinde sıralamalar çok fazla değişiklik göstermedi. En büyük değişiklik A18 alternatifinde olmuştur. Şekil 15’te F-VIKOR yöntemindeki test sonuçları görülmektedir. Test sonuçları F-TOPSIS yöntemi sonuçlarına göre daha fazla değişiklik göstermiştir. Özellikle en kötü performansa sahip alternatifin hariç tutulduğu testte birçok alternatifin sırası değişmiştir. Ayrıca yeni kısıt eklendiği testte de sıralamalarda çok önemli değişiklikler olmamıştır. Bu yöntemle A5 ile aynı kriterlere sahip alternatif eklendiği test hariç 1. sırada A5 alternatif web sitesi yer almıştır.

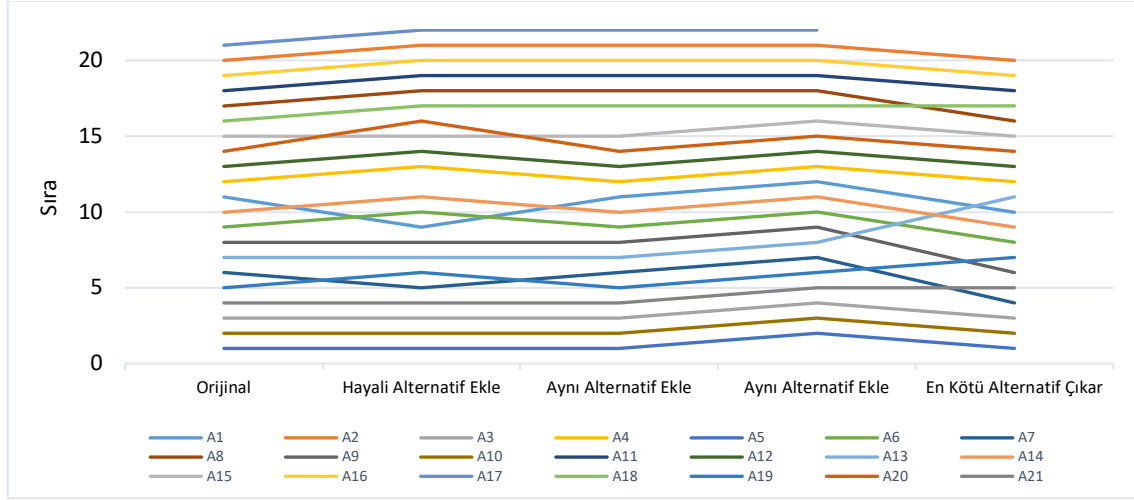
Tablo 18. Alternatif değişikliğinin sonuçlara etkisi.

Alternatifler	F-TOPSIS					F-VIKOR				
	Orijinal	Hayali Alternatif Ekle	Aynı Alternatif (A18) Ekle	Aynı Alternatif (A5) Ekle	En Kötü Alternatif (A17) Çıkar	Orijinal	Hayali Alternatif Ekle	Aynı Alternatif (A18) Ekle	Aynı Alternatif (A5) Ekle	En Kötü Alternatif (A17) Çıkar
A1	15	16	16	16	15	11	9	11	12	10
A2	20	21	21	21	20	20	21	21	21	20
A3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3
A4	7	8	7	8	6	12	13	12	13	12
A5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
A6	14	15	15	15	14	9	10	9	10	8
A7	4	5	4	5	4	6	5	6	7	4
A8	17	18	18	18	17	17	18	18	18	16
A9	9	10	9	10	9	8	8	8	9	6
A10	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
A11	18	19	19	19	18	18	19	19	19	18
A12	8	9	8	9	8	13	14	13	14	13
A13	11	11	10	11	11	7	7	7	8	11
A14	12	13	13	13	12	10	11	10	11	9
A15	13	14	14	14	13	15	15	15	16	15
A16	19	20	20	20	19	19	20	20	20	19
A17	21	22	22	22	-	21	22	22	22	-
A18	10	12	11	12	10	16	17	17	17	17
A19	6	7	6	7	7	5	6	5	6	7
A20	16	17	17	17	16	14	16	14	15	14
A21	5	6	5	6	5	4	4	4	5	5
		3	11	1			12	16	1	

Sonuçlar, F-TOPSIS'in alternatif sayısı artsa da azalsa da tutarlı bir sıralaması ürettiğini göstermektedir. F-VIKOR'da yönteminde ise hayali kısıt eklendiğinde bazı, en kötü alternatif hariç tutulduğunda ise sıralama önemli değişiklikler göstermiştir. F-VIKOR yönteminde değerlendirme sürecine hayali alternatif eklendiğinde, A11 alternatifi ile A9 alternatifi arasında ve A14 alternatifi ile A16 alternatifi arasında sıra değişikliği olmuştur; değerlendirme sürecinde en kötü alternatifi hariç tutulduğunda, A5 alternatifi ile A7 alternatifi arasında, A6 alternatifi ile A4 alternatifi arasında, A7 alternatifi ile A11 alternatifi arasında ve A8 alternatifi ile A6 alternatifi arasında sıra değişikliği olmuştur.

Başka bir deyişle, her iki yöntemde alternatif sayısının artması durumunda alternatif tercih sıralamasında tutarlılık olduğu belirlendi. Bir alternatifi hariç tutulduğu teste ise F-VIKOR yöntemin tutarlı olmadığı, F-TOPSIS yönteminin daha esnek bir yöntem olduğu düşünülebilir. Genel olarak değerlendirildiğinde, F-TOPSIS yönteminin F-VIKOR dan daha iyi performans göstermiştir.

**Şekil 14.** F-TOPSIS sonuçlarındaki değişiklik.



Şekil 15. F-VIKOR sonuçlarındaki değişiklik.

5. Sonuçlar

Bu çalışma, mobilya işletmelerinin web sitesi değerlendirme problemi için COVID-19 sonrası değişimlerin de yer aldığı altı ana kriter ile TOPSIS, Bulanık TOPSIS, VIKOR ve Bulanık VIKOR yöntemlerini karşılaştırmaktadır. Çalışma Türkiye’de faaliyet gösteren mobilya üretici ve satırların web sitelerini değerlendirmek için uygulanmış ve sonuçlar detaylı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar ise ilişki testi, hesaplama karmaşıklığı ve alternatif sayısındaki değişiklikler dikkate alınarak yapılmıştır. İlişki teste Kendall Tau, Spearman, Ağırlıklı Spearman ve Sıra Benzerlik yöntemleri ile sıralama sonuçları arasındaki benzerlik test edilmiştir. Test sonuçlarında tüm yöntemler sonuçları büyük oranda benzer çıkmıştır. En büyük farklılık F-VIKOR ile F-TOPSIS yöntemlerinin sıralama sonuçlarında, en benzer sonuç ise VIKOR ile F-VIKOR yöntemleri sıralama sonuçlarında elde edilmiştir. Hesaplama karmaşıklığı ise her yöntemin sıralama sonuçlarını elde etmek için hesaplanması gereken adımlarının toplamını ifade etmektedir. Hesaplama karmaşıklığı açısından en iyi performans 916 işlem ile VIKOR yönteminde elde edilmiştir. Daha sonra sırasıyla TOPSIS, F-VIKOR, F-TOPSIS yöntemleri ile elde edilmiştir. Hesaplama karmaşıklığı açısından VIKOR yöntemleri TOPSIS yöntemlerinden daha iyi performans göstermiştir. Alternatiflerin değiştirilmesine ilişkin yöntemlerin performansı için alternatiflerin dahil edilmesi ve hariç tutulmasına dayalı dört test yapılmıştır. Sonuçlar, F-TOPSIS’in alternatif sayısındaki değişiklikten çok fazla etkilenmedi görülmektedir. F-VIKOR’da yönteminde ise hayali kısıt eklendiğinde bazı, en kötü alternatif hariç tutulduğunda ise sıralama önemli değişiklikler göstermiştir. Alternatif değişikliğine F-TOPSIS yöntemi F-VIKOR yönteminden daha iyi performans göstermiştir. Sonuç olarak ilişki testinde yöntemler benzer sonuçlar, hesaplama karmaşıklığı açısından VIKOR yöntemleri, alternatif değişikliği açısından ise TOPSIS yöntemleri daha iyi performans göstermiştir. Web sitesi değerlendirme açısından kullanılan tüm yöntemlerin karar vericiler açısından kullanılabileceği görülmüştür. Fakat yöntemlerin karşılaştırılmasında bazı avantaj ve dezavantajlarını olduğunu gözlenmiştir.

Bu çalışmanın uygulaması mobilya sektöründe web sitesi değerlendirmesi için yapılmış olsa da elde edilen sonuçlar yalnızca bu sektöre özgü değildir; diğer sektörlerde de benzer uygulamalar gerçekleştirilebilir ve genişletilebilir. Bu sayede, farklı sektörlerdeki benzer durumların analiziyle daha kapsamlı sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca çalışmanın ana motivasyonlarından biri, ÇKKV yöntemlerinin kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmasıdır. Bu karşılaştırma, diğer yöntemlerle birlikte özellikle yeni geliştirilen yöntemler için yapılarak, yöntemlerin performansı analiz edilebilir ve daha fazla araştırma yapılabilir. Gelecek çalışmalarda da benzer şekilde özellikle yeni geliştirilen ÇKKV yöntemlerinin klasik yöntemlerle karşılaştıran ve farklı alanlarda uygulayan çalışmalar geliştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Sałabun W, Wątróbski J, Shekhovtsov A. Are MCDA methods benchmarkable? a comparative study of TOPSIS, VIKOR, COPRAS, AND PROMETHEE II methods. *Symmetry* 2020; 12(9): 1549.
- [2] Abdullah L. Fuzzy multi criteria decision making and its applications: a brief review of category. *Procedia-Social and Behavioral Sci* 2013; 97:131-136.
- [3] Kul Y, Şeker A, Yurdakul M. Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin alışılmamış imalat yöntemlerinin seçiminde kullanılması. *J of The Faculty of Eng Architecture of Gazi Uni* 2014; 29(3): 589-603.
- [4] Ceballos B, Lamata MT, Pelta DA. A comparative analysis of multi-criteria decision-making methods. *Progress in Artificial Intelligence* 2016; 5: 315-322.
- [5] Zamani-Sabzi H, King JP, Gard CC, Abudu S. Statistical and analytical comparison of multi-criteria decision-making techniques under fuzzy environment. *Operations Research Perspectives* 2016; 3: 92-117.
- [6] Zanakis SH, Solomon A, Wishart N, Dublsh S. Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods. *Eur J of Operational Research* 1998; 107(3): 507-529.
- [7] Wątróbski J, Jankowski J, Ziemba P, Karczmarczyk A, Ziolo M. (2019). Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega* 2019; 86: 107-124.
- [8] Sałabun W, Urbaniak K. A new coefficient of rankings similarity in decision-making problems. In *Int Conference on Computational Science 2020 June*; (pp. 632-645). Springer, Cham.
- [9] Wang CN, Nguyen NAT, Dang TT, Lu CM. A compromised decision-making approach to third-party logistics selection in sustainable supply chain using fuzzy AHP and fuzzy VIKOR methods. *Mathematics* 2021; 9(8): 886.
- [10] Erdebili B, Sıcakyüz Ç. An Integrated Q-Rung Orthopair Fuzzy (Q-ROF) for the Selection of Supply-Chain Management. *Sustainability* 2024; 16(12): 4901.
- [11] Biswas S, Bandyopadhyay G, Pamucar D, Sanyal A. A decision making framework for comparing sales and operational performance of firms in emerging market. *Int J of Know-based Inte Eng Sys* 2022; 26(3): 229-248.
- [12] Piya S, Shamsuzzoha A, Azizuddin M, Al-Hinai N, Erdebili B. Integrated fuzzy AHP-TOPSIS method to analyze green management practice in hospitality industry in the sultanate of Oman. *Sustainability* 2022; 14(3): 1118.
- [13] Erdebili B, Gecer E, Yılmaz İ, Aksoy T, Hacıoglu U, Dinçer H, Yüksel S. Q-ROF fuzzy TOPSIS and VIKOR methods for the selection of sustainable private health insurance policies. *Sustainability* 2023; 15(12): 9229.
- [14] Solangi YA, Shah SAA, Zameer H, Ikram M, Saracoglu BO. Assessing the solar PV power project site selection in Pakistan: based on AHP-fuzzy VIKOR approach. *Env Sci Poll Research* 2019; 26(29): 30286-30302.
- [15] Yeşilkaya M, Çabuk Y. A hybrid mathematical model for international target market decision: the case of fibreboard industry. *Wood Material Sci & Eng* 2023; 18(6):2013-2028.
- [16] Nebati EE, Vatansever EN, Makas G. SWARA, ARAS ve WASPAS yöntemleri ile yeni şube yeri seçimi: bir kargo firması örneği. *Fırat Üni Müh Bil Dergisi* 2023; 35(1): 217-237.
- [17] Dincer H, Yüksel S, Hacıoglu U, Erdebili B. Multidimensional Analysis of Investment Priorities for Circular Economy with Quantum Spherical Fuzzy Hybrid Modeling. *Int J of Inf Tech Decision Making* 2024.
- [18] Chang DY. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *Eur J of Operational Res* 1996; 95(3): 649-655.
- [19] Yu X, Guo S, Guo J, Huang X. Rank B2C e-commerce websites in e-alliance based on AHP and fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with App* 2011; 38(4): 3550-3557.
- [20] Junior FRL, Osiro L, Carpinetti LCR. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing* 2014; 21: 194-209.
- [21] Büyüközkan G, Gülleryüz S. An integrated DEMATEL-ANP approach for renewable energy resources selection in Turkey. *Int J Prod Econ* 2016; 182: 435-448.
- [22] Dey B, Bairagi B, Sarkar B, Sanyal SK. Group heterogeneity in multi member decision making model with an application to warehouse location selection in a supply chain. *Computers Ind Eng* 2017; 105: 101-122.
- [23] Banaeian N, Mobli H, Fahimnia B, Nielsen IE, Omid M. Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. *Computers Operations Res* 2018; 89: 337-347.
- [24] Alkahtani M, Al-Ahmari A, Kaid H, Sonboa M. Comparison and evaluation of multi-criteria supplier selection approaches: A case study. *Advances in Mechanical Eng* 2019; 11(2): 1687814018822926.
- [25] Rashidi K, Cullinane K. A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection: Implications for sourcing strategy. *Expert Systems with App* 2019; 121: 266-281.
- [26] Ghaleb AM, Kaid H, Alsamhan A, Mian SH, Hidri L. Assessment and comparison of various MCDM approaches in the selection of manufacturing process. *Advances in Materials Sci Eng* 2020; 2020: 1-16.
- [27] Youssef AE. An integrated MCDM approach for cloud service selection based on TOPSIS and BWM. *IEEE Access* 2020; 8: 71851-71865.
- [28] Baczkiewicz A, Kizielewicz B, Shekhovtsov A, Wątróbski J, Sałabun W. Methodical aspects of MCDM based E-commerce recommender system. *J Theoretical App Elec Commerce Res* 2021; 16(6): 2192-2229.
- [29] Kropivšek J, Grošelj P, Oblak L, Jošt M. A comprehensive evaluation model for wood companies websites based on the AHP/R-TOPSIS method. *Forests* 2021; 12(6): 706.
- [30] Pramanik PKD, Biswas S, Pal S, Marinković D, Choudhury P. A comparative analysis of multi-criteria decision-making methods for resource selection in mobile crowd computing. *Symmetry* 2021; 13(9): 1713.

- [31] Kizielewicz B, Bączkiewicz A. Comparison of Fuzzy TOPSIS, Fuzzy VIKOR, Fuzzy WASPAS and Fuzzy MMOORA methods in the housing selection problem. *Procedia Computer Sci* 2021; 192: 4578-4591.
- [32] Varghese B, Karande P. AHP-MARCOS, a hybrid model for selecting gears and cutting fluids. *Materials Today: Proceedings* 2022; 52:1397-1405.
- [33] Ho W, Ma X. The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. *Eur J of Operational Res* 2018; 267(2):399-414.
- [34] Yeşilkaya M, Çabuk Y, Karayılmazlar S. TOPSIS-VIKOR yöntemleriyle Türkiye'deki illerin endüstriyel odun üretimi analizi. *Bartın Orman Fak Dergisi* 2022; 24(3): 476-487.
- [35] Saaty TL. The analytic hierarchy process (AHP). *J of the Operational Res Society* 1980; 41(11):1073-1076.
- [36] Saaty TL. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int J Services Sci* 2008; 1(1): 83-98.
- [37] Aminbakhsh S, Gunduz M, Sonmez R. Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. *J of Safety Res* 2013; 46: 99-105.
- [38] Nefeslioglu HA, Sezer EA, Gokceoglu C, Ayas Z. A modified analytical hierarchy process (M-AHP) approach for decision support systems in natural hazard assessments. *Computers & Geosciences* 2013; 59: 1-8.
- [39] Naseem MH, Yang J, Xiang Z. Prioritizing the solutions to reverse logistics barriers for the e-commerce industry in Pakistan based on a fuzzy AHP-TOPSIS approach. *Sustainability* 2021; 13(22): 12743.
- [40] Wu J, Sun J, Zha Y, Liang L. Ranking approach of cross-efficiency based on improved TOPSIS technicus. *J of Systems Eng Elec* 2011; 22(4): 604-608.
- [41] Hezer S, Gelmez E, Özceylan E. Comparative analysis of TOPSIS, VIKOR and COPRAS methods for the COVID-19 Regional Safety Assessment, *J of Infection and Public Health* 2021; 14(6): 775-786.
- [42] Opricovic S, Tzeng GH. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European J Operational Res* 2004; 156(2): 445-455.
- [43] Alpaz S, Iphar M. Equipment selection based on two different fuzzy multi criteria decision making methods: Fuzzy TOPSIS and fuzzy VIKOR. *Open Geosciences* 2018; 10(1): 661-677.
- [44] Ploskas N, Papathanasiou J. A decision support system for multiple criteria alternative ranking using TOPSIS and VIKOR in fuzzy and nonfuzzy environments. *Fuzzy Sets and Systems* 219; 377:1-30.
- [45] Yoon KP, Hwang, CL. Multiple attribute decision making: an introduction. 1995, Sage publications.
- [46] Shohda AM, Ali MA, Ren G, Kim JG, Abdo AM, Abdellah WR, Hassan AM. Sustainable assignment of Egyptian ornamental stones for interior and exterior building finishes using the AHP-TOPSIS technique. *Sustainability* 2022; 14(4):2453.
- [47] Mardani A, Zavadskas EK, Govindan K, Amat Senin A, Jusoh A. VIKOR technique: A systematic review of the state of the art literature on methodologies and applications. *Sustainability* 2016; 8(1): 37.
- [48] Opricovic S. Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. *Expert Sys. App* 2011; 38(10): 12983-12990.
- [49] Yavuz S, Deveci M. Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleriyle alışveriş merkezi kuruluş yeri seçimi ve bir uygulama. *Ege Academic Review* 2014; 14(3): 463-479.
- [50] Amiri MP. Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with App* 2010; 37(9). 6218-6224.
- [51] Chen CT. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets Systems* 2000; 114(1): 1-9.
- [52] Lee Y, Kozar KA. Investigating the effect of website quality on e-business success: An analytic hierarchy process (AHP) approach. *Decision Support Systems* 2006; 42(3): 1383-1401.
- [53] Lin HF. An application of fuzzy AHP for evaluating course website quality. *Computers Edu* 2010; 54(4): 877-888.
- [54] Li R, Sun T. Assessing factors for designing a successful B2C E-commerce website using fuzzy AHP and TOPSIS-Grey methodology. *Symmetry* 2020; 12(3): 363.
- [55] Raju KS, Duckstein L, Arondel C. Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: a case study in Spain. *Water Resources Man* 2000; 14(6): 435-456.
- [56] Arabameri A, Pradhan B, Pourghasemi HR, Rezaei K. Identification of erosion-prone areas using different multi-criteria decision-making techniques and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 2018; 9(1): 1129-1155.
- [57] Arabameri A, Tiefenbacher JP, Blaschke T, Pradhan B, Tien Bui D. Morphometric analysis for soil erosion susceptibility mapping using novel gis-based ensemble model. *Remote Sensing* 2020; 12(5): 874.
- [58] Chitsaz N, Banihabib ME. Comparison of different multi criteria decision-making models in prioritizing flood management alternatives. *Water Resources Man* 2015; 29: 2503-2525.
- [59] Chakraborty S, Saha AK. A framework of LR fuzzy AHP and fuzzy WASPAS for health care waste recycling technology. *App Soft Computing* 2022; 127: 109388.