

FUCOM Tabanlı WEDBA Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Optimal Hazır Beton Tedarikçi Firma Seçimi

Şule Bayazıt Bedirhanoglu¹

Özet

Değişen dünya düzeni işletmelerin rekabet yarışını gittikçe zorlaştırmaktadır. İşletmeler; küreselleşme, dijital dönüşüm ve belirsizlik gibi faktörlerin etkisinde esnek, verimli ve yenilikçi politikalar sergilemek zorundadır. Bu zorlu rekabet ortamında, işletmelerin sürdürülebilir bir avantaj elde edebilmeleri için tedarik zinciri yönetimi, operasyonel verimin sağlanmasından müşteri memnuniyetine kadar uzanan kritik bir süreç haline gelmiştir. Tedarik zincir yönetiminin stratejik aşamalarından biri olan tedarikçi seçimi, işletmelerin maliyet, kalite, teslimat süresi gibi faaliyetlerini optimize etmesinin yanı sıra uzun vadede amaçları da doğrudan etkilemektedir. Tedarikçi seçimi, birden fazla kriter ve alternatif arasından kapsamlı olarak çözülmesi gereken problemlerdir. Çok kriterli karar verme yöntemleri aynı anda değerlendirilmesi gereken kriter ve alternatiflerin olduğu böylesi karmaşık yapıları problemlerin çözümünde kullanılan yöntemlerdir. Bu çalışmada, bir inşaat firması için hazır beton tedarikçi seçim problemi FUCOM tabanlı WEDBA çok kriterli karar verme yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Tedarikçi seçimi; maliyet, kalite, teslimat süresi, teknik yeterlilik, firma itibarı, konum, kalite belgesi ve referans kriterleri çerçevesinde 5 firma arasından bir firmanın belirlenmesi ile tamamlanmıştır. Firmada karar vericiler 1 proje müdürü, 1 proje müdür yardımcısı, 1 inşaat mühendisi ve 1 mali işler uzmanı olmak üzere 4 kişiden oluşmaktadır. FUCOM yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre kalite kriteri en yüksek öneme sahip kriter olarak belirlenmiştir. Alternatif beş firma arasından A5 alternatifi en iyi alternatif olarak ilk sırada yer almıştır.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Bitlis Eren Üniversitesi, e-Mail: sbbedirhanoglu@beu.edu.tr
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7545-7222>

1. Giriş

Günümüzde küreselleşme, dijital dönüşüm ve artan rekabet durumları işletmelerin tedarik zincir yönetimine olan bakışını kökten değiştirmiştir. Tedarik zinciri yönetimi, maliyetlerin optimize edilmesinin yanı sıra, verimliliğin artırılması, süreç yönetiminde kalitenin sağlanması ve müşteri memnuniyetinin gerçekleştirilmesi açısından stratejik öneme sahiptir. Tedarik zincir yönetimi bir süreçtir ve bu sürecin en kritik aşamasını tedarikçi seçimi oluşturmaktadır. Tedarikçi seçimi, işletmelerin uzun vadede başarısını doğrudan etkilemektedir. Rekabet avantajını sağlamak ve sürdürmek isteyen işletmeler kaliteli mal ve hizmet sunumunu gerçekleştirmek için tedarikçi seçimini sistematik bir şekilde değerlendirmeli ve bu süreci işletmenin hayati bir işlevi olarak benimsemelidir (Karamaşa vd., 2021).

Tedarikçi seçimi sadece maliyet, kalite gibi unsurları değil aynı zamanda teslimat süresi, güvenilirlik, sürdürülebilirlik gibi unsurları da içeren çok boyutlu bir karar problemidir (Taşkent ve Delice, 2021). Teknolojik değişimlerin sınırları zorladığı, sürekli dönüşüm ve yenilik rüzgarlarının estiği bir dünyada, tek bir alternatif ve kriter etkisinde karar vermek mümkün olmamaktadır. Birden fazla kriterin ve alternatifin söz konusu olduğu çok boyutlu karar problemlerinin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemleri etkin bir araç olarak kullanılmaktadır. Kriter ve alternatifler arasından iyi/kötü değerlendirmesi yapmak durumunda olan karar verici(ler) çok kriterli karar verme yöntemleri sayesinde bilişsel yükü en aza indirip karar alma sürecini hızlandırmış olur (George ve Balaguru, 2024).

İnşaat sektöründe gerçekleştirilen projeler, sektörün dinamik ve kapsamlı yapısı nedeni ile ülke ekonomileri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu sektör sadece ekonomik etkileriyle değil aynı zamanda insan hayatını da yakından ilgilendiren yönüyle de büyük önem taşımaktadır. Zira ülkemizde 6 Şubat 2023 tarihinde yaşanan ve “asrın felaketi” olarak nitelendirilen depremler, inşaat sektörünün insan hayatı üzerindeki kritik rolünü bir kez daha gözler önüne sermiştir. İnşaatın yapılacağı alanın belirlenmesinden projenin gerçekleştirilmesine kadar olan süreç ve devamında uzun süreli sağlıklı kullanım için sağlam yapıların inşası kurumların ve bireylerin sosyal ve vicdanı sorumluluğunu gerektirmektedir. İnşaat yapım sürecinde kullanılan hazır beton en kritik malzemelerden biridir. Doğru firma seçimi, inşaat projesinin kalite, dayanıklılık gibi özelliklerini temsilde belirleyici faktörlerdir. Aynı zamanda maliyet ve zaman unsurları proje yüklenicisi firmanın başarısı üzerinde önemli unsurlar arasında yer almaktadır.

Birçok sektörde olduğu gibi inşaat sektöründe de malzeme maliyetleri toplam maliyetlerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. İnşaat

firmaları rekabetçi piyasada en iyi kalitede ve en uygun maliyetle ürün elde edebilmek ve sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla tedarikçi seçimini önemli bir problem olarak görüp çözümler aramaktadır. Tedarikçi seçim süreci, birden çok çelişkili kriteri içeren karmaşık yapıda bir problemidir. Çok kriterli karar verme yöntemleri tedarikçi seçim sürecinde, nitel ve nicel kriterleri değerlendirmesi, en uygun alternatifi seçmesi yönü ile güvenilir ve mantıklı sonuçlar elde etmeyi sağlayan yöntemlerdir (Aytekin vd. 2023). Bu çalışmada amaç; bir inşaat firması için hazır beton tedarikçi seçimini gerçekleştirmektir. Bu seçim; 5 firma arasından, 4 uzman karar vericinin değerlendirdiği 8 ayrı kriter çerçevesinde FUCOM tabanlı WEDBA çok kriterli karar verme yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: İkinci bölümde tedarik zinciri yönetimi, tedarikçi seçimi, çok kriterli karar verme ve FUCOM ve WEDBA yöntemlerinin kullanıldığı çalışmaların yer aldığı literatür incelemesi yer almaktadır. Üçüncü bölümde FUCOM ve WEDBA çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulama adımları ve dördüncü bölümde bir inşaat firması için beton tedarikçi seçimi yer almaktadır. Çalışma sonuçlar ve önerilerin sunulduğu sonuç bölümü ile tamamlanmaktadır.

2. Literatür İncelemesi

Tedarikçi seçimi, işletmenin rekabet gücünü artırmak ve müşteri memnuniyetini sürdürmek üzere gerçekleştirilen tedarik zinciri yönetiminin en önemli bileşendir. Tedarikçi seçimi, her sektörde iş akışlarının verimlilik, maliyet kontrolü, kalite ve sürdürülebilirliğinde kritik öneme sahiptir. Doğru tedarikçi seçimi, müşteri memnuniyetinin artırılması, rekabet ortamında ayakta kalabilmek ve uzun vadede başarı elde edebilmek adına temel bir unsurdur. Tedarikçi seçim sürecinin iyi yönetilememesi sadece iş akışında aksamalara neden olmamakta aynı zamanda kalitede sorunlara, maliyet artışına ve hatta itibar kaybına da neden olabilmektedir. Bu nedenle, işletmeler tedarikçi seçim sürecinde dikkatle kapsamlı bir değerlendirme yapmalıdır. Bu sayede hem riskler azaltılabilir hem de hedeflere daha kolay ulaşılabilir. Tedarikçi seçimi konusunda yapılan araştırmalar bu sürecin önemini ortaya koymaktadır.

Çok kriterli karar verme yöntemleri; karar vericilerin birden çok alternatif ve kriter çerçevesinde objektif ve bilimsel karar vermelerine yardımcı yöntemlerin genel adıdır. Tedarikçi seçim problemleri, yapısı itibari ile çok kriterli karar verme yöntemleri ile çözülen problemlerdir. Birden fazla kriteri aynı anda değerlendirme imkanı sunan bu yöntemler tedarikçi seçim problemlerine sistematik ve objektif çözümler üreterek literatürde pek çok

çalışmaya konu olmuştur. Çok kriterli karar verme yöntemleri ile yapılan çalışmalar incelendiğinde, AHP ve ANP (He ve Zhang, 2018; Nguyen, 2019), TOPSIS (Zhang, 2018; Chen, 2020) yöntemleri ile kriterlerin belirlenmesi ve tedarikçi sıralamaları üzerine çalışmalar yapıldığı gözlemlenmiştir. Supçiller ve Çapraz 2011, karton üretim firması için tedarikçi seçimini AHP ve TOPSIS yöntemleri ile gerçekleştirmiştir. Elektrikli araç tedarikçi seçimi VIKOR yöntemi ile on dört kriter etkisinde incelenmiştir (Wei ve Zou, 2022).

İnşaat sektörü, proje alanının belirlenmesinden personel seçimi, malzeme tedarikçi seçimi gibi konularda literatürde birçok çalışmaya konu olmuştur. Ömürbek vd. (2016), inşaat yapı denetim firma seçimini AHP ve ELECTRE yöntemlerinin bütünleşik kullanımı ile belirlemiştir. Cengiz vd. (2017), inşaat malzemesi tedarikçi seçimini ANP çok kriterli karar verme yöntemi ile incelemiştir. Matić vd. (2019), bir inşaat şirketi için sürdürülebilir tedarikçi seçimini FUCOM, COPRAS, ARAS, WASPAS, SAW ve MABAC çok kriterli karar verme yöntemlerinin bütünleşik kullanımı ile gerçekleştirmiştir. Tedarikçi seçimi maliyet, kalite, teslimat, esneklik, teknolojik yeterlilik, mali yeterlilik, ortaklık ilişkileri, itibar, güvenlik, eğitim vb. bir çok kriter kapsamında gerçekleştirilmiştir. Koç (2020), bulanık TOPSIS yöntemi ile hazır beton sektöründe dört tedarikçi firma arasından seçim gerçekleştirmiştir. Hoseini vd. 2021 yılında yaptıkları çalışmada sürdürülebilir tedarikçi seçimi için bulanık en iyi-en kötü yöntemi ile bulanık çıkarım sistemi yöntemini hibrit olarak kullanmıştır. Ghafoori ve Abdallah (2024), inşaat malzemesi ve tedarikçi seçim sürecini geliştirdikleri MSSM-malzeme ve tedarikçi seçim modeli ile incelemiştir. TOPSIS çok kriterli karar verme yöntemi ile malzeme seçimini gerçekleştirmiştir.

Pamucar vd. (2018) tarafından geliştirilen FUCOM yöntemi kriter ağırlıklarının subjektif olarak belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Yöntem az sayıda ikili karşılaştırma gereksinimi ve kriterler arasında tutarlı bir ikili karşılaştırması yönü ile diğer çok kriterli karar verme yöntemlerine göre daha avantajlıdır. Nouredine ve Ristic, (2019), tehlikeli madde taşımacılığında rota kriterlerini FUCOM ile önceliklendirmiş ve TOPSIS-MABAC ile tedarikçileri değerlendirmiştir. Bir işletme için bulut hizmet sağlayıcı seçimi (Arman ve Kundakcı, 2023), kireç üretiminde sürdürülebilir tedarikçi seçimi (Durmić, 2019), sürdürülebilir tedarikçi seçimi (Stević vd., 2019) FUCOM yöntemi ile incelenmiştir. Yazdani (2020), lojistik merkezi lokasyon tercih sıralamasını veri zarflama, FUCOM ve CoCoSo yöntemlerinin kaba küme teorisine entegrasi ile belirlemiştir.

WEDBA yönteminin kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, çeşitli alanlarda, farklı yöntemlerle entegre kullanıldığı görülmüştür. Türk üniversitelerinin akademik performanslarını MEREC tabanlı WEDBA yöntemleri ile sıralamıştır (Kara vd., 2024). Işık, finansal performans analizinde kriterleri AHP ve CRITIC yöntemleri ile ağırlıklandırmış ve sıralamada WEDBA yöntemini kullanmıştır. Garg vd, (2017), AHP, COPRAS ve WEDBA yöntemlerinin bulanık kümeler ile kullanımını e-öğrenme web sitesi seçiminin belirlenmesinde kullanmıştır. Ulutaş (2020), istifleme seçimi, Basar ve Tolga (2020), dikey akıllı tarama seçimi problemlerini WEDBA yöntemi ile çözümlemiştir. Al-Hawari vd. (2019), otomotiv üretim şirketi için beş tedarikçi değerlendirilmesini bulanık WEDBA yöntemi ile gerçekleştirmiştir.

Literatür incelendiğinde FUCOM ve WEDBA yöntemlerinin çeşitli çalışmalarda kullanıldığı gözlemlenmiştir. Her iki yöntemin birlikte kullanıldığı sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada bir inşaat firması için hazır beton tedarikçi seçiminde kriterlerin ağırlıkları FUCOM yöntemi ile belirlenmiştir. FUCOM yöntemi subjektif değerlendirmelerde karar vericilerin görüşlerini dikkate alarak değerlendirme imkânı sunmaktadır. Elde edilen kriter ağırlıkları WEDBA yöntemine entegre edilerek hazır beton tedarikçi beş firma sıralanmıştır.

3. Metodoloji

Birden fazla kriter etkisinde ve birden fazla alternatif arasından seçim yapmaya dayalı karar verme problemlerinin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılır. Alternatifler arasından seçim yaparken kararı etkileyen en önemli faktör, söz konusu kriterlerin alternatifler üzerindeki önem derecesini-ağırlıklarını belirlemektir. Kriterler farklı önem ağırlıklarına sahip olması nedeniyle, alternatif seçimi de bu ağırlıklara bağlı olarak değişecektir. Bu bölümde kriterlerin ağırlıklandırılmasında kullanılan FUCOM yöntemi ve alternatiflerin sıralamasında kullanılan WEDBA yöntemlerinden bahsedilecektir.

3.1. FUCOM Yöntemi

Pamucar vd. (2018) tarafından literatüre sunulan FUCOM –Tam Tutarlılık Yöntemi (Full Consistency Method) doğrusal programlama temelli bir yaklaşımdır. Subjektif ağırlıklandırma amacı ile kullanılan yöntem diğer ağırlıklandırma yöntemlerinden (AHP, ANP, SAW vs.) şu özellikleri ile farklılaşmaktadır:

- n adet kriter, n-1 adet ikili karşılaştırmaya tabidir.

- Grup karar verme süreçlerinde kullanılabilir.
- Kriter ağırlıklarının güvenilir şekilde hesaplanmasını sağlar (Ecer, 2020, Özdağoğlu vd., 2021).

Yöntem; kriter ağırlıklarının elde edilmesi için; kriterlerin ağırlık katsayıları arasındaki ilişkilerin kriterlerin karşılaştırmalı önceliklerine eşit olması ve matematiksel geçişliliğin sağlanması koşullarının yerine getirilmesini gerektirir (Pamucar ve Ecer, 2020). Kısıtlamaların belirlenmesi ve modelinin çözülmesi ile elde edilen optimal ağırlıklara ek olarak tam tutarlılık sapma (TTS) derecesi elde edilir. TTS derecesi kriter ağırlıklarının kriterlerin tahmini karşılaştırmalı önceliklerden sapma değerini göstermektedir. TTS değeri kriter ağırlıklarının güvenilir olduğunu gösterir ve değerin 0'a yaklaşması bu güveni daha da artırır. FUCOM yönteminin üç adımdan oluşan işleyişi aşağıda sunulduğu gibidir (Pamucar, 2018, Ecer, 2021, Aşşin ve Aşşan, 2021,):

1. Adım: Kriterler sıralanır: Kriterler ($C = C_1, C_2, \dots, C_n$) en yüksek ağırlık katsayısına sahip olması beklenenden, en az önem derecesine sahip olması beklenene doğru, diğer bir ifade ile en önemliden en az önemliye doğru denklem (1)'de verildiği gibi sıralanır.

$$C_{j(1)} > C_{j(2)} > \dots C_{j(k)} \quad (1)$$

k gözlenen kriter sayısını göstermek üzere eğer kriterler arasında aynı öneme sahip iki veya daha fazla kriter varsa, kriterler arasına ">" simgesi yerine "=" simgesi yerleştirilir.

2. Adım: Kriterlerin karşılaştırmalı önemi belirlenir: Sıralan kriterler karşılaştırılarak karşılaştırmalı önemi ($\phi_{k/(k+1)}$) belirlenir. Değerlendirme kriterlerinin karşılaştırmalı önem vektörleri denklem (2)'de verildiği gibi elde edilir.

$$\Phi = \Phi_{1/2}, \Phi_{2/3}, \dots, \Phi_{k/k+1} \quad (2)$$

FUCOM yöntemi, kriterlerin ikili karşılaştırılmasını tamsayı, ondalık değer veya önceden tanımlı bir ölçek değeri kullanarak gerçekleştirme imkânı sunar.

3. Adım: Kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanır: Kriter ağırlıklarının nihai değerleri ($w_1, w_2, \dots, w_n$)^T hesaplanır. Ağırlık katsayılarının nihai değerlerinin hesaplanması için şu iki koşulu sağlanmalıdır:

Ağırlık katsayılarının oranı, 2. adımda tanımlanan gözlemlenen kriterler arasındaki karşılaştırmalı önceliğine ($\phi_{k/k+1}$) eşittir (denklem 3).

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (3)$$

Ağırlık katsayılarının son değerleri matematiksel geçişlilik koşulunu ($\varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} = \varphi_{k/(k+2)}$) sağlamalıdır. Aynı zamanda, $\varphi_{k/(k+1)} = \frac{w_k}{w_{k+1}}$ ve $\varphi_{(k+1)/(k+2)} = \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}}$ olduğundan dolayı $\frac{w_k}{w_{k+1}} \otimes \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}} = \frac{w_k}{w_{k+2}}$ elde edilir. Böylece değerlendirme de yer alan kriterlerin ağırlık katsayılarının nihai değerlerinin gerçekleştirilmesi gereken bir başka koşul denklem (4)'te verildiği gibi elde edilmiş olur.

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (4)$$

Minimum TTS ($\mathcal{X}$) diğer bir ifade ile tam tutarlılık yalnızca geçişliliğe tam olarak uyulduğu zaman gerçekleşir. Yani denklem (3) ve denklem (4) koşulları sağlandığında minimum TTS elde edilmiş olur. Böylece maksimum tutarlılık (0.000) sağlanır ve TTS değeri $\mathcal{X} = 0$ olur. Bu koşulların sağlanabilmesi için $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ değerlerinin, $\mathcal{X}$ değerinin minimizasyonu için;

$$\begin{aligned} \text{i. } & \left| \frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \mathcal{X}, \\ \text{ii. } & \left| \frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \mathcal{X} \quad \text{koşullarının gerçekleşmesi} \\ & \text{gerekir.} \end{aligned}$$

Son olarak değerlendirme kriterlerinin ağırlık katsayılarının nihai değerleri denklem (5)'te verilen doğrusal programlama modelinin çözümü ile belirlenir.

$$\begin{aligned}
& \min \mathcal{X} \\
& \text{öyle ki,} \\
& \left\{ \begin{aligned} & \left| \frac{w_j(k)}{w_j(k+1)} - \varphi_{\frac{k}{k+1}} \right| \leq \mathcal{X}, \forall_j \\ & \left| \frac{w_j(k)}{w_j(k+2)} - \varphi_{\frac{k}{k+1}} \otimes \varphi_{\frac{(k+1)}{(k+2)}} \right| \leq \mathcal{X}, \forall_j \\ & \sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0, \forall_j \end{aligned} \right. \quad (5)
\end{aligned}$$

Denklem (5)'te yer alan modelin çözümü ile değerlendirme kriterlerinin nihai değerleri $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ ve TTS ($\mathcal{X}$) derecesi elde edilir.

3.2. WEDBA Yöntemi

WEDBA yöntemi, 2011 yılında literatüre girmiştir. Ağırlıklı Öklid uzaklık mesafesine dayanmaktadır. Yöntem, seçeneklerin en iyi ve en kötü olma durumlarına olan uzaklığı dikkate alarak değerlendirme yapmaktadır. Yapılan bu değerlendirmeler; nesnel ağırlıklar, öznel ağırlıklar ve nesnel ve öznel ağırlıkların kombinasyonu olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Yöntemin uygulama adımları aşağıda verildiği gibi altı adımdan oluşmaktadır (Rao ve Singh, 2012, Bozkurt ve Şimşek, 2024).

1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması: m seçenek ve n kriterden oluşan karar matrisi denklem (6)'da gösterildiği gibi oluşturulur.

$$D = \begin{bmatrix} x_{ij} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (6)$$

2. Adım: Karar matrisinin normalize edilmesi: Karar matrisi fayda yönlü kriterler için denklem (7) ve maliyet yönlü kriterler için denklem (8) aracılığı ile normalize edilir.

$$x_{ij} = \frac{y_{ij}}{\max(y_{ij})} \quad (7)$$

$$x_{ij} = \frac{\min(y_{ij})}{y_{ij}} \quad (8)$$

3. Adım: Normalize değerlerin standartlaştırılması: Denklem (9)'da x_{ij} 'nin standartlaştırılmış değeri Z_{ij} verilmiştir.

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_j}{\sigma_j} \quad (9)$$

μ_j , j. kriterin ortalama değeri denklem (10) ve σ_j , j. kriterinin standart sapması denklem (11) aracılığı ile hesaplanır.

$$\mu_j = \frac{\sum_{i=1}^m x_{ij}}{m} \quad (10)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \mu_j)^2}{m}} \quad (11)$$

4. Adım: İdeal ve anti-ideal noktaların belirlenmesi: En çok arzu edilen kriter değerlerinin kümesi ideal nokta (Z_{ij}^+), hiç arzu edilmeyen veya en az arzu edilen kriter değerlerinin kümesi anti-ideal nokta (Z_{ij}^-) standartlaştırılmış karar matrisinden denklem (12) ve denklem (13) aracılığı ile elde edilir.

$$Z_{ij}^+ = \max(Z_{ij}) \quad (12)$$

$$Z_{ij}^- = \min(Z_{ij}) \quad (13)$$

5. Adım: Karar alternatiflerinin ağırlıklı Öklid uzaklıkları ve indeks skorlarının hesaplanması: İndeks skorunun hesaplanması için ağırlıklı Öklid uzaklıkları denklem (14) ve (15) aracılığı ile hesaplanır.

$$WED_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left\{ W_j \times (y_{ij} - y_{ij}^+) \right\}^2} \quad (14)$$

$$WED_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left\{ W_j \times (y_{ij} - y_{ij}^-) \right\}^2} \quad (15)$$

Denklem (16) ile her bir alternatif için indeks puanı elde edilir. En düşük indeks puanına (IS_i) sahip olan alternatif en iyi performansa sahip alternatif olarak değerlendirilir.

$$IS_i = \frac{WED_i^-}{WED_i^- + WED_i^+} \quad (16)$$

İndeks puanı, bir alternatifi ideal çözüme göre yakınlığını temsil etmektedir. Belirli bir alternatifi indeks puanı ne kadar yüksek ise alternatif ideal çözüme o kadar yakın olur. Diğer bir ifade ile en yüksek indeks puanına sahip olan alternatif en iyi alternatif olarak değerlendirilir (Rao ve Singh, 2012).

4. Bir İnşaat Firması için Hazır Beton Tedarikçi Seçimi

Bu çalışmada, bir inşaat firması için hazır beton tedarikçi firma seçimi FUCOM tabanlı WEDBA çok kriterli karar verme yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada temel amaç karar vericilere en uygun hazır beton tedarikçi firmayı belirlemede yardımcı olmaktır. İnşaat firmasının temel yapı malzemelerinden biri hazır betondur. Firmanın zamanında, sağlam ve düşük maliyette inşaat yapımı, tedarikçi firma seçimi ile yakından ilişkilidir. Birden fazla kriter ve alternatifi olduğu seçim problemlerinde en önemli belirleyici kriterlerin alternatifler üzerinde ne derecede önemli olduğunun belirlenmesidir. Kriterlerin farklı ağırlıklara sahip olması alternatif seçimlerini de değiştirecektir. Bu nedenle hazır beton tedarikçi firma belirlenirken öncelikle seçimde etkili olan kriterlerin FUCOM yöntemi ile ağırlık değerleri belirlenmiştir. Tedarikçi firma seçiminde etkili olan kriterler literatür incelemesi ve uzman görüşlerine başvurarak belirlenmiştir. Çalışmada yer alan kriterler ve kodları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Hazır Beton Tedarikçi Seçimi için Değerlendirme Kriterleri ve Kodları

KRİTERLER
K1- Maliyet
K2- Kalite
K3- Teslimat süresi
K4- Teknik yeterlilik
K5- Firma itibarı
K6- Konum
K7- Kalite belgesi
K8- Referans

İnşaat firmasında hazır beton tedarikçi firma seçimi için karar vericilerin görüşlerine başvurulmuştur. Bu karar vericiler 1 proje müdürü, 1 proje müdür yardımcısı, 1 inşaat mühendisi ve 1 mali işler uzmanı olmak üzere dört kişiden oluşmaktadır. Tablo 1’de verilen kriterler çerçevesinde faaliyette

bulunan 5 hazır beton firması karşılaştırılmıştır. Öncelikle FUCOM yöntemi ile kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmeler doğrultusunda kriterlerin önem sıralamaları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kriterlerin Önem Sıralamaları

Karar Verici 1	K4>K2>K7>K8>K1>K3>K6>K5
Karar Verici 2	K2>K3>K4>K1>K5>K8>K7>K6
Karar Verici 3	K1>K2>K4>K6>K3>K5>K8>K7
Karar Verici 4	K2>K7>K3>K6>K1>K4>K5>K8

Karar vericiler, kriterlerin karşılaştırmalı önceliklerini Saaty tarafından önerilen 1-9 skalasına göre değerlendirmiştir. İkili karşılaştırmalar iki şekilde gerçekleştirilebilir. Birincisi; önce kriterler sıralanır sonra kendi aralarında karşılaştırılır. İkinci şekil karşılaştırma ise en önemli kriterin diğer kriterler ile karşılaştırılması şeklinde gerçekleştirilir (Pamucar vd, 2018). Bu çalışmada kriter karşılaştırmaları en önemli kriterin diğer kriterler ile karşılaştırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Tablo 3’de karar verici değerlendirmeleri ile elde edilen kriter önceliklerine göre değerlendirmeler yer almaktadır.

Tablo 3. Kriterlerin Önceliklerine Göre Değerlendirilmeleri

Önem Sırasına Göre Kriterler		1	2	3	4	5	6	7	8
Karar Verici 1	Kriter	K4	K2	K7	K8	K1	K3	K6	K5
	Değerlendirme	1	2	4	5	6	7	8	9
Karar Verici 2	Kriter	K2	K3	K4	K1	K5	K8	K7	K6
	Değerlendirme	1	3	4	5	6	7	8	9
Karar Verici 3	Kriter	K1	K2	K4	K6	K3	K5	K8	K7
	Değerlendirme	1	2	3	4	5	6	7	8
Karar Verici 4	Kriter	K2	K7	K3	K6	K1	K4	K5	K8
	Değerlendirme	1	3	4	5	6	7	8	9

Karar vericilerin değerlendirmeleri sonrasında denklem (5)’te verilen modelin LINGO paket programında çözümü ile kriterlerin ağırlıkları elde edilmiştir. Karar vericilerin ayrı ayrı görüşleri ile elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 4’te verilmiştir. Karar vericiler için hesaplanan kriter ağırlıklarının aritmetik ortalaması alınarak nihai ağırlıklar elde edilmiş olur.

Tablo 4. Hazır Beton Tedarikçi Seçimi için Kriterlerin Ağırlıkları

Kriterler	Karar Verici 1	Karar Verici 2	Karar Verici 3	Karar Verici 4	Kriterlerin Nihai Ağırlıkları
K1	0,067	0,086	0,368	0,072	0,148
K2	0,200	0,429	0,184	0,429	0,310
K3	0,058	0,143	0,074	0,107	0,096
K4	0,400	0,107	0,122	0,061	0,172
K5	0,045	0,072	0,061	0,053	0,058
K6	0,050	0,048	0,092	0,086	0,069
K7	0,100	0,054	0,046	0,143	0,086
K8	0,080	0,061	0,053	0,048	0,061

Tablo 4’de görüldüğü üzere K2 (kalite) 0,310 ağırlık skoru ile en önemli kriter olarak belirlenmiştir. K2 kriterini sırası ile K4 (teknik yeterlilik), K1 (maliyet), K3 (teslimat süresi), K7 (kalite belgesi), K6 (konum), K8 (referans) ve K5 (firma itibarı) kriterleri izlemektedir. Bunlara ek olarak tüm karar vericiler için TTS (tutarlılık sapma derecesi), karar verici 1 için 0,00022, karar verici 2 için 0,00022 karar verici 3 için 0,00021 ve son olarak karar verici 4 için 0,00022 olarak elde edilmiştir. Tüm karar vericiler için TTS değeri sıfıra çok yakın olup bu durum kriter ağırlıklarının güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

FUCOM yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra WEDBA yöntemi uygulanarak alternatifler sıralanmıştır. Hazır beton tedarikçi seçimi için karar matrisi Tablo 5’de verildiği gibi oluşturulur.

Tablo 5. Hazır Beton Tedarikçi Seçimi için Karar Matrisi

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Kriter Yönü	min	max	min	max	max	min	max	max
A1	3,83365863	3,872983	5,803009	2,54573	4,28139	3,935979	4,582576	7,968565
A2	6,16014058	4,355877	4,325308	2,710806	7,325683	5,825901	4,527019	3,722419
A3	3,20108587	3,984283	6,735368	5,00997	7,706943	2,632148	6,928203	6,653712
A4	4,11953429	4,242641	2,114743	5,825901	4,409334	4,820571	5,421612	2,44949
A5	4,35587717	4,738137	4,680695	3,0274	6,0548	4,924298	3,08007	1,934336

Denklem (7) ve denklem (8) aracılığı ile başlangıç karar matrisi normalize edilerek Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6. *Normalize Karar Matrisi*

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A1	0,83499502	0,817406	0,364422	0,436968	0,555524	0,66874	0,661438	1
A2	0,51964494	0,919323	0,488923	0,465302	0,95053	0,451801	0,653419	0,467138
A3	1	0,840896	0,313976	0,859948	1	1	1	0,834995
A4	0,77705043	0,895424	1	1	0,572125	0,546024	0,782542	0,307394
A5	0,73488892	1	0,451801	0,519645	0,785629	0,534522	0,44457	0,242746

Tablo 6’da, x_{11} minimizasyon yönlü maliyet kriteri için denklem (8) aracılığı ile $x_{11} = \frac{3,20108587}{3,83365863} = 0,83499502$ değeri elde edilir. Denklem (9) ile elde edilen standardize karar matrisi Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. *Standardize Karar Matrisi*

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A1	0,17816511	-1,20384	-0,64796	-0,9569	-1,1752	0,147962	-0,2582	1,445111
A2	-0,7327484	0,385349	-0,14187	-0,83332	0,961679	-0,97742	-0,30229	-0,34759
A3	0,65479496	-0,83756	-0,85302	0,88786	1,229296	1,866381	1,60348	0,889988
A4	0,01078758	0,012692	1,935628	1,498676	-1,08539	-0,48863	0,407727	-0,88501
A5	-0,11099924	1,643355	-0,29277	-0,59632	0,06961	-0,5483	-1,45071	-1,1025

Normalize karar matrisi standardize edildikten sonra ideal (Z_{ij}^+) ve anti-ideal (Z_{ij}^-) noktalar denklem (12) ve (13) aracılığı ile Tablo 8’de sunulduğu gibi hesaplanmıştır.

Tablo 8. *İdeal ve Anti-İdeal Değerler*

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
(Z_{ij}^+)	0,65479496	1,643355	1,935628	1,498676	1,229296	1,866381	1,60348	1,445111
(Z_{ij}^-)	-0,7327484	-1,20384	-0,85302	-0,9569	-1,1752	-0,97742	-1,45071	-1,1025

Son aşamada alternatiflerin ideal noktalara olan uzaklıkları (WED_i^+) denklem (14) ve alternatiflerin ideal olmayan uzaklıkları (WED_i^-) denklem (15) kullanılarak hesaplanır. Denklem (16) kullanılarak hesaplanan indeks skorları (IS_i) ve alternatiflerin sıralamaları Tablo 9’da sunulduğu gibi hesaplanmıştır.

Tablo 9. İndeks Skorları ve Alternatiflerin Sıralaması

Alternatifler	WED_i^+	WED_i^-	IS_i	Sıralama
A1	1,044418	0,243435	0,189024	5
A2	0,693112	0,524453	0,430739	3
A3	0,822102	0,545397	0,398828	4
A4	0,587357	0,656714	0,527875	2
A5	0,571198	0,894613	0,610319	1

Tablo 9’da sunulan indeks skorları ve sıralamalar incelendiğinde A5 alternatifinin 0,610319 değeri ile ilk sırada yer aldığı görülmektedir. A5 alternatifini sırası ile A4, A2, A3 ve A1 alternatifleri izlemekte olup sıralamaları; $A5 > A4 > A2 > A3 > A1$ olarak elde edilmiştir.

Sonuç

Tedarikçi seçimi, diğer sektörlerde olduğu gibi inşaat projelerinde de kalite, maliyet ve zamanında tamamlama üzerinde stratejik etki oluşturacaktır. Özellikle deprem, sel gibi doğal afet riskinin yüksek olduğu ülkemizde standartlara uygun, dayanıklı, uzun ömürlü yapılar hayati rol oynamaktadır. İnşaat projelerinde kapsamlı tedarikçi seçimi uzun vadeli performansları doğrudan etkilemektedir. Tedarikçi seçim kararı, kalite, maliyet, zaman gibi unsurlar açısından birden fazla kriter etkisinde ve alternatif arasından gerçekleştirilmektedir. Bu nokta da çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanır.

Bu çalışmada bir inşaat firması için hazır beton tedarikçi seçimi FUCOM tabanlı WEDBA çok kriterli karar verme yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. İnşaat firması 6 Şubat 2023 depremlerinden önemli düzeyde etkilenen illerden birinde 456 adet konut yapımını üstlenmiştir. Bu büyük çaplı proje, zaman ve süreç yönetimi ve tedarikçi seçiminde üzerinde kapsamlı araştırılma yapılmasını gerektirmektedir. İnşaat firmasının faaliyetlerinde önemli bir alan tutan hazır beton tedarikçi seçimi bütünlüklü çok kriterli karar verme yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. FUCOM yöntemi ile tedarikçi seçiminde etkili olan maliyet, kalite, teslimat süresi, teknik yeterlilik, firma itibarı, konum, kalite belgesi ve referans kriterlerinin önem düzeyleri (ağırlık skorları) belirlenmiştir. Değerlendirme; inşaat firmasında üst düzey kararlara imza atan 1 proje müdürü, 1 proje müdür yardımcısı, 1 inşaat mühendisi ve 1 mali işler uzmanı olmak üzere 4 uzman görüşü çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Proje müdürü, yüksek inşaat mühendisi unvanına sahip olup inşaat sektöründe 16 yıllık tecrübeye sahiptir. Proje müdür yardımcısı

elektik mühendisi olup sektörde 9 yıllık tecrübeye sahiptir. İnşaat mühendisi karar verici, sahada çalışmakta olup benzer projelerde 7 yıllı aşkın bir süredir çalışmaktadır. Uzman olarak görüşüne başvurulmuş bir diğer karar verici mali işler uzmanı işletme mezunu olup finansal konularda yetkindir. FUCOM yöntemi ile yapılan analiz sonucunda K2 (kalite) kriteri 0,31 skor ile en yüksek öneme sahip kriter olarak belirlenmiştir. K4 (teknik yeterlilik) kriteri 0,172 skor ile ikinci önemli kriter olarak belirlenmiştir. Bu kriterleri önem derecelerine göre sırası ile K1 (maliyet), K3 (teslimat süresi), K7 (kalite belgesi), K6 (konum), K8 (referans) kriterleri izlemiştir. K5 (firma itibarı) kriteri ise 0,058 skor ile en düşük öneme sahip kriter olarak belirlenmiştir. FUCOM yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklarının WEDBA yöntemine entegrasyonu ile 5 hazır beton tedarikçi firması sıralanmıştır. WEDBA yöntemi ile yapılan analizler sonrasında A5 alternatifi en iyi alternatif-en iyi tedarikçi firma olarak belirlenmiştir.

Çalışma FUCOM/WEDBA yaklaşımlarının tedarikçi seçiminde verimli bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Yöntemler kolay ve kısa sürede hesaplama imkânı nedeni ile etkin sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın sınırı 5 büyük firmanın değerlendirilmiş olması geride onlarca firma değerlendirmeye dâhil edilmemiş olmasıdır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda daha fazla firma ile değerlendirme yapılabilir. Aynı zamanda yöntemler tek başına, başka yöntemler ile entegre edilerek veya başka çok kriterli karar problemlerinin çözümünde kullanılabilir.

Kaynakça

- Al-Hawari, T., Naji, A., Alshraideh, H., & Bataineh, O. (2019). Extending the WEDBA to the fuzzy multi-criteria decision-making environment. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 59(4), 330-346.
- Arman, K. ve Kundakcı, N. (2023). “Yeni Bütünleşik FUCOM-WEDBA Yaklaşımı ile Bir İşletme için Bulut Hizmet Sağlayıcısı Seçimi”, Pamukkale Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı 56, Denizli, ss.281-295.
- Atanassov, K. (2016). Intuitionistic fuzzy sets. *International journal bioautomation*, 20, 1.
- Ayçin, E., & Aşan, H. (2021). İş zekası uygulamaları seçimindeki kriterlerin önem ağırlıklarının FUCOM yöntemi ile belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 195-208.
- Aytekin, A., Okoth, B.O., Korucuk, S., Karamaşa, Ç. and Tirkolace, E.B. (2023), “A neutrosophic approach to evaluate the factors affecting performance and theory of sustainable supply chain management: application to textile industry”, *Management Decision*, Vol. 61 No. 2, pp. 506-529. <https://doi.org/10.1108/MD-05-2022-0588>
- Basar, M., & Tolga, A. C. (2020, July). Smart System Evaluation in Vertical Farming via Fuzzy WEDBA Method. In International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems (pp. 534-542). Springer, Cham
- Bozkurt, A. A., & Şimşek, A. (2024). BİST Çimento Sektörü İşletmelerinin Finansal Performansının MEREC Tabanlı WEDBA ve CoCoSo Yöntemleriyle Analizi. *Turkish Studies-Economics, Finance, Politics*, 19(3).
- Cengiz, A. E., Aytekin, O., Ozdemir, I., Kusan, H., & Cabuk, A. (2017). A multi-criteria decision model for construction material supplier selection. *Procedia engineering*, 196, 294-301.
- Chen CH. 2020. A novel multi-criteria decision-making model for building material supplier selection based on entropy-AHP weighted TOPSIS. Entropy. 22(2):259. <https://doi.org/10.3390/e22020259>
- Durmić, E. (2019). Evaluation of criteria for sustainable supplier selection using FUCOM method. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(1), 91-107.
- Ecer, F. (2021). Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi: Fucom Sübjektif Ağırlıklan-dırma Yöntemi Temelli Mairca Yaklaşımı. *Journal of Mehmet Akif Ersoy University Economics and Administrative Sciences Faculty*, 8(1), 26-48.
- Garg, R. (2017). Optimal selection of E-learning websites using multiattribute decision-making approaches. *Journal of Multi Criteria Decision Analysis*, 24(3-4), 187-196.

- George, J., & Balaguru, S. (2024). Sustainable Supplier Selection in the Manufacturing Sector Using Integrated MCDM Techniques. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 393, p. 01013). EDP Sciences.
- Ghafoori, M., & Abdallah, M. (2024). Multi-criteria decision support model for material and supplier selection in the construction industry. *International Journal of Construction Management*, 25(4), 409–418. <https://doi.org/10.1080/15623599.2024.2327251>
- He X, Zhang J. 2018. Supplier selection study under the respective of Low-Carbon supply chain: a hybrid evaluation model based on FA-DEA-AHP. *Sustainability* (Switzerland). 10(3):564. <https://doi.org/10.3390/su10020564>
- Hoscini, S. A., Fallahpour, A., Wong, K. Y., Mahdiyar, A., Saberi, M., & Durdiev, S. (2021). Sustainable supplier selection in construction industry through hybrid fuzzy-based approaches. *Sustainability*, 13(3), 1413.
- Işık, Ö. (2021). AHP, CRITIC ve WEDBA yöntemlerini içeren entegre bir ÇKKV modeli ile AXA Sigorta şirketinin finansal performansının analizi. *Uluslararası İşletme, Ekonomi ve Yönetim Perspektifleri Dergisi*, 5(2), 892-908.
- Kara, K., Yalçın, G. C., Kaygısız, E. G., & Edinsel, S. (2024). Assessing the academic performance of Turkish Universities in 2023: a MEREC-WEDBA hybrid methodology approach. *Journal of Operations Intelligence*, 2(1), 252-272.
- Karamaşa, Ç., Korucuk, S., & Ergün, M. (2021). Determining the green supplier selection criteria in textile enterprises and selecting the most ideal distribution model: A case study of Giresun. *Alphanumeric Journal*, 9(2), 311-324.
- Koç, E. (2020). Alternatif Tedarikçilerin Bulanık Topsis Yöntemi İle Karşılaştırılması: Hazır Beton Sektöründe Bir Uygulama. *Malatya Turgut Özal Üniversitesi İşletme Ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 1(2), 128-146.
- Mahmood, T., Ullah, K., Khan, Q., & Jan, N. (2019). An approach toward decision-making and medical diagnosis problems using the concept of spherical fuzzy sets. *Neural Computing and Applications*, 31, 7041-7053.
- Matić, B., Jovanović, S., Das, D. K., Zavadskas, E. K., Stević, Ž., Sremac, S., & Marinković, M. (2019). A new hybrid MCDM model: Sustainable supplier selection in a construction company. *Symmetry*, 11(3), 353.
- Negoita, C. V. (2003). Book review of "Fuzzy sets" by H.-J. Zimmermann. *Fuzzy Sets and Systems*, 133(2), 275-275.
- Noureddine, M. & Ristic, M. (2019). Route Planning for Hazardous Materials Transportation: Multi criteria Decision Making Approach. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 66- 85

- Nguyen PT. 2019. 'The application of fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) in engineering project management', in 2018 IEEE 5th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences, ICE-TAS 2018. <https://doi.org/10.1109/ICETAS.2018.8629217>
- Ömürbek, N. , Karaatlı, M. , Cömert, H. G. (2016). AHP-SAW ve AHP-ELECTRE Yöntemleri ile Yapı Denetim Firmalarının Değerlendirilmesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 14(27), s.171-199.
- Özdağoğlu, A., Keleş, M. K. ve Genç, V. (2021). FUCOM ve PROMETHEE yöntemleri ile ticari araç seçimi: peyzaj firmasında bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25(Özel Sayı), 231- 253.
- Pamuçar, D., Stević, Ž., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in mcdm models: Full consistency method (fucom). *symmetry*, 10(9), 393.
- Pamucar, D., & Ecer, F. (2020). Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full consistency method–FUCOM-F. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18(3), 419-437.
- Pamucar, D., Ecer, F., & Deveci, M. (2021). Assessment of alternative fuel vehicles for sustainable road transportation of United States using integrated fuzzy FUCOM and neutrosophic fuzzy MARCOS methodology. *Science of the Total Environment*, 788, 147763.
- Rao, R. V. ve Singh, D. (2012). "Weighted Euclidean Distance Based Approach as a Multiple Attribute Decision Making Method for Plant or Facility Layout Design Selection". *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 3(3), 365–382.
- Stević, Ž., Durmić, E., Gajić, M., Pamučar, D., & Puška, A. (2019). A novel multi-criteria decision-making model: interval rough SAW method for sustainable supplier selection. *Information*, 10(10), 292.
- Supçiller, A. A. ve Çapraz, O. (2011). AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması ekonometri ve istatistik, İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi, 13(12. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı) 1–22.
- Taşkent, M. C., & Delice, E. K. (2021). Bulanık FUCOM metodu ile tedarikçi değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 863-868.
- Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. *International journal of intelligent systems*, 25(6), 529-539.
- Ulutaş, A. (2020). Stacker Selection with PSI and WEDBA Methods. *International Journal of Contemporary Economics and Administrative Sciences*, 10(2), 493-504.

- Wei, Q., & Zhou, C. (2022). A multi-criteria decision-making framework for electric vehicle supplier selection of government agencies and public bodies in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 1- 20.
- Yager, R. R. (2013). Pythagorean membership grades in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 22(4), 958-965.
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Pamucar, D., & Chakraborty, S. (2020). Development of an integrated decision making model for location selection of logistics centers in the Spanish autonomous communities. *Expert Systems with Applications*, 148, 113208.
- Zhang C. 2018. ‘Research of the selection of green material suppliers based on entropy- TOPSIS Model’, in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/394/5/052063>

