

Seçilmiş Performans Kriterlerine Göre Hibrid Kompozitlerde Katman Seçiminde Bulanık TOPSIS Uygulanması

Çiğdem SARP KAYA^{1*}

¹Karabük Üniversitesi, Safranbolu Şefik Yılmaz Dizdar Meslek Yüksekokulu, Moda Tasarımı Bölümü, 78600, Karabük

¹<https://orcid.org/0000-0001-7710-1035>

*Sorumlu yazar: csarpkaya@karabuk.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 27.11.2024

Kabul tarihi: 05.03.2025

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Kompozit yapılar

Isı ve ses yalıtımı

Bulanık TOPSIS yöntemi

Optimizasyon

ÖZ

Kompozit malzemeler, üstün özellikleri ve sağladıkları çeşitli avantajlar sayesinde inşaat, ulaşım, havacılık gibi birçok sektörde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu çalışma, bu tür malzemeler için sektörlerdeki kullanım amacına yönelik önemli performans kriterlerini optimize etme sürecine odaklanmıştır. Çalışmada, günümüzde tek tek ya da kombinasyonları şeklinde kullanımı yaygın olarak tercih edilen üstün teknoloji ürünü üç farklı kumaş malzemesi (Bazalt, Aramid, Karbon) kullanılarak vakum infüzyon yöntemi ile 2 ve 3 katmanlı olarak kompozit plakalar üretilmiştir. Elde edilen 6 kompozit plakaya ait ısı yalıtımı, ses yalıtımı gibi özellikler üzerine ideal çözüme benzerlik sıra tercihi için Bulanık TOPSIS metodu kullanılarak en uygun alternatif belirlenmiştir. Bu yöntem, karar verici uzmanların kriterleri dilsel değişkenler kullanarak sınıflandırmasına olanak tanımaktadır. Analiz sonucunda, optimum kompozit malzemenin Karbon/Aramid/Bazalt kombinasyonuna sahip 3 katmanlı yapı olduğu belirlenmiştir.

Application of Fuzzy TOPSIS in Layer Selection in Hybrid Composites Based on Selected Performance Criteria

Research Article

Article History:

Received: 27.11.2024

Accepted: 05.03.2025

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Composite structures

Heat and sound insulation

Fuzzy TOPSIS method

Optimization

ABSTRACT

Composite materials, due to their superior properties and various advantages, find widespread applications in numerous sectors such as construction, transportation, and aviation. This study focuses on the process of optimizing important performance criteria for the purpose of use in sectors for such materials. In the study, 2- and 3-layered composite plates were produced by vacuum infusion method using three different high-tech fabric materials (Basalt, Aramid, Carbon), which are widely preferred to be used individually or in combinations today. The most suitable alternative was determined by using the Fuzzy TOPSIS method for the order preference of similarity to the ideal solution on the properties such as heat insulation and sound insulation of the 6 composite plates obtained. This method enables decision-making experts to classify criteria using linguistic variables. As a result of the analysis, it was determined that the optimum composite material was a 3-layered structure with a Carbon/Aramid/Basalt combination.

To Cite: Sarpkaya Ç. Seçilmiş Performans Kriterlerine Göre Hibrid Kompozitlerde Katman Seçiminde Bulanık TOPSIS Uygulanması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(2): 957-969.

1. Giriş

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen, çok kriterli karar verme süreçlerinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, kriter ağırlıklarını dikkate alarak pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak alternatifi belirlemeyi amaçlar. İnsan yargılarının ölçülmesinde sayısal ifadelerin yetersiz kalması nedeniyle, TOPSIS yöntemi bulanık sayılarla genişletilmiştir. Bulanık TOPSIS yöntemi çok kriterli karar verme tekniklerinden birisidir. İlk olarak Chen ve Hwang (1992) tarafından geliştirilen bu yaklaşım, yamuk bulanık sayılardan faydalanmıştır. Daha sonraki çalışmalarda, üçgensel bulanık sayılar gibi farklı bulanık sayı türlerini kullanan yöntemler de geliştirilmiştir. Bu gelişmeler, yöntemin belirsizlik ve subjektif değerlendirmelerin modellenmesini kolaylaştırmıştır (Tayyar, 2012). Bulanık TOPSIS yönteminin kullanım alanlarına bakıldığında çok farklı sektörlerde ve uygulama alanlarında geniş bir yelpazede kullanıldığı görülmektedir. Özellikle tedarikçi seçimi (Özçakar ve Demir, 2011), performans değerlendirme süreçleri (Karaatlı ve ark., 2016), risk analizi ve yönetimi (İşçi ve ark., 2024) ve personel seçimi (Değirmenci ve Ayvaz, 2016) gibi başlıca konularda yaygın olarak kullanım alanı olduğu belirtilmiştir. Bulanık TOPSIS yöntemi, alternatiflerin pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak olacak şekilde sıralanmasını sağlar. Pozitif ideal çözüm, fayda kriterlerinin maksimum düzeyde optimize edildiği ve zarar kriterlerinin minimum seviyeye indirildiği durum olarak tanımlanabilir. Buna karşılık, negatif ideal çözüm, zarar kriterlerinin maksimum düzeye çıkarıldığı ve fayda kriterlerinin minimum seviyeye düşürüldüğü durumu ifade etmektedir (Özçakar ve Demir, 2011). Temel olarak TOPSIS yöntemi problemi çözer. Bu yöntemden farklı olarak kriterler hakkındaki subjektif değerlendirmeler dilsel değişkenler kullanılarak yapılır ve en uygun alternatif belirlenir. Bulanık TOPSIS yöntemi, sayısal değerler yerine sözel ifadelerin kullanılmasyla insan yargılarının modele daha doğru bir şekilde yansıtılmasını sağlayarak problemlere daha gerçekçi çözümler sunar. Yöntemde, karar kriterleri ve bunların ağırlıkları, "düşük," "çok düşük," "yüksek" gibi sözel ifadelerle değerlendirilir. Bulanık TOPSIS metodu, öncelikle değerlendirilecek alternatiflerin, bu alternatiflerin ölçüleceği karar kriterlerinin ve karar verici grubun tanımlanmasıyla başlar. Karar vericiler, alternatifleri ve kriterleri belirlenen sözel ifadelerle değerlendirir. Özellikle belirsizliğin bulunduğu ve karar vericilerin değerlendirmelerinde farklılıkların veya değişkenliklerin ortaya çıktığı durumlarda, bulanık TOPSIS yöntemi grup kararlarının daha tutarlı ve doğru bir şekilde verilmesine olanak tanır. Ayrıca, alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan karar kriterlerinin farklı ağırlıklara sahip olması, yöntemin temel özelliklerinden biridir (Gülsün ve Erdoğan, 2021). Kompozit malzemelerde de günümüzde çeşitli özelliklerin önceliklendirilmesi istendiğinde bu teknikten yararlanmak mümkündür. Literatürde tekstil ve birçok alanda bulanık TOPSIS yönteminin uygulanmış olduğu yayınlar incelenmiştir.

Öztürk (2011), yaptığı çalışmada, bulanık TOPSIS ve bulanık AHS tekniklerini incelemiştir. Mağaza zinciri bulunan bir işletmenin satış elemanı seçim süreci bulanık TOPSIS ile üçgen ve yamuk bulanık sayılar kullanılarak değerlendirilirken, Bulanık AHS analiz yöntemi kullanılarak bir ekmek fabrikasının un ve ambalaj tedarikçisi değerlendirme süreci gerçekleştirilmiştir.

Soba ve ark. (2014), çalışmalarında alışveriş merkezi kuruluş yeri seçimi için bulanık TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Alışveriş merkezi kuruluş yeri için en uygun kuruluş yeri olarak, Uşak ilinde İzmir yolu üzeri belirlemişlerdir.

Nadaban ve ark. (2016) çalışmalarında, bulanık TOPSIS yöntemlerinin gelişimini anlatan bir derleme çalışması yapmışlardır.

Tekez (2018) çalışmasında, örme sürecinde hata türü ve etkileri analizi, bulanık TOPSIS yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, çeşitli mamul kumaş hataları (yağ lekesi, desen hatası, delik sayısı) “en kritik hata türleri” olarak tespit edilmiştir.

Karakış (2019) çalışmasında, özel okullarda öğretmen seçimi için bulanık TOPSIS yöntemi kullanmıştır. Bulanık TOPSIS yöntemi ile önerilen yöntemin karar destek modeli olarak başarılı bir şekilde kullanılabilceği görülmüştür.

Ozbek ve ark. (2020) çalışmalarında, Türkiye hazır giyim sektörüne yönelik stratejiler geliştirmek için SWOT analizi ve bulanık TOPSIS yöntemini birlikte kullanmıştır. SWOT analizi ile sektörün güçlü ve zayıf yönleri ile fırsat ve tehditleri belirlenirken, bu verilerden hareketle stratejiler geliştirilmiş ve bulanık TOPSIS yöntemi ile bu stratejiler sıralanmıştır.

Nakiboğlu ve Bulgurcu (2021) çalışmalarında, bir tekstil işletmesinde tedarikçi seçimi problemi için bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. En iyi hammadde tedarikçisinin seçimi alternatiflerin sıralanması ile belirlenmiştir.

Ali ve ark. (2020) çalışmalarında, tedarik zinciri yönetiminde bir tekstil firmasında tedarikçi seçimi problemi için yeni bir bulanık AHP-TOPSIS tabanlı karar destek sistemi uygulamışlardır. Önerilen bu yeni yöntem sayesinde, incelenen şirketin tedarik zinciri performansı artmış olup, diğer tekstil işletmelerinin de tedarikçi seçim süreçlerinde kullanılabilirliği görülmüştür.

Kizielewicz ve Baczkiewicz (2021) çalışmalarında dört farklı bulanık çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemini (Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR, Bulanık WASPAS ve Bulanık MMOORA) karşılaştırmalı bir konut seçimi problemi için analiz etmiştir.

Ömürgönülşen ve Menten (2021) yılındaki çalışmalarında, bulanık TOPSIS metodunu uygulayarak belirli bir afet türü yerine, olası tüm afet senaryolarına odaklanmışlar ve Ankara ili özelinde, afet sonrası geçici barınma alanlarının seçimi için alternatiflerin sıralamasını yapmışlardır.

Sumo ve ark. (2022), yaptıkları çalışmalarında Liberya ve Afrika'da ikinci el giysi (SHC) ticaretinin önemini değerlendirmiş ve SHC perakendeciliği için kriterleri belirlemek amacıyla AHP, bulanık mantık, Ensemble ve TOPSIS yöntemlerini entegre eden bir SWOT çerçevesi geliştirmişlerdir.

Tursun ve Özkoç (2022) çalışmasında, 2000-2020 yılları arasında tedarikçi seçimi kararına yönelik olarak çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı araştırmaları incelemiştir. Bu doğrultuda, çeşitli çalışmaların belirli kategorilere ayrılarak analiz edilmesini mümkün kılan içerik analizi ve bibliyometrik analiz yöntemlerinden faydalanılmıştır. Çalışmada, yayınlanan makalelerde çok kriterli karar verme yöntemlerinden bulanık TOPSIS metodunun %6,55 oranında kullanıldığını bildirmişlerdir.

Dawood ve ark. (2024) çalışmalarında, Endüstri 4.0 ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi (SSCM) entegrasyonunu sağlamak için kritik kolaylaştırıcıları belirlemek amacıyla ve bunları değerlendirmek amacıyla Fuzzy-DEMATEL ve Fuzzy-TOPSIS yöntemlerini kullanarak analiz etmiş ve öncelik sıralaması yapmıştır.

Kompozit malzemeler, yüksek performansın tek bir materyalde istendiği yapılardır. Kompozit malzemelerde takviye malzemeler parçacık, kısa lif, doğrusal sürekli lifli yapılar ve kumaş gibi çeşitli formlarda bulunabilmektedirler. Kompozit yapılarda tek veya çok katmanlı kumaş yapıları kullanılabilir. Ulaşım, yapı-inşaat gibi alanlarda tekstil formundaki bu kompozit malzemelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Tekstilde kullanım alanı bulmaya başlayan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin, termal özelliklerinin, yalıtım özelliklerini tespit eden birçok araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmada, bazalt, aramid, karbon kumaş takviye kullanılarak 2 ve 3 katmanlı olarak vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiş 6 farklı kompozit plaka için seçilmiş ısı ve ses yalıtımı parametrelerine bulanık TOPSIS metodu uygulanmıştır. Uygulanan yöntem ile alternatifler sıralanarak, özellikler için en uygun alternatif belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak bazalt, aramid, karbon kumaştan katmanlı olarak elde edilen kompozitlerin seçilmiş özelliklerinin önceliklendirilmesi ile önem ağırlıklarının verilmesi ile birinci sırada yer alacak alternatifin bulanık TOPSIS yöntemi ile belirlenmesi, tekstil sektöründe kullanımı açısından yenilikçi bir yaklaşımdır.

2. Materyal ve Metot

Kompozit malzemelerde takviye tekstil yapısı, filament lif demetlerinin (3K, 12K vb.) bezayağı örgü yapısında dokuma yöntemi ile kumaş formuna sokulması, bunların çeşitli kompozit üretim yöntemlerinden biri ile üretilerek tekstilde ve birçok endüstride (yapı, havacılık vb) de kullanım alanı bulması kompozit ürünlerinin çeşitli özelliklerinin kullanım alanına göre önceliklendirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu nedenle bu çalışmada aramid, bazalt ve karbon materyalleri kumaş formunda kullanılmıştır. Kullanılan kumaşların m² ağırlıkları 200 g/m² olarak temin edilmiştir (www.kompozitshop.com/Türkiye). Karbon kumaş mekanik özellikleri, termal iletkenlik 17 W/m, elyaf çapı 7 µm, yoğunluk, 1,76 g/cm³'tür. Kumaşlar filament demetlerinden bezayağı formunda üretilmiş olup, bu çalışmada karbon kumaş ve bazalt kumaş sıklığı 1 adedi 3K olmak üzere 5 adet / cm şeklindedir. Aramid kumaş Atkı ve çözgü elyaf özellikleri, Twaron 930 dtex 10,5 x 10,5 ± 0,3'tür. Kumaş kalınlıkları 0,75±0,25 mm'dir. Aramid (A), Bazalt (B) ve Karbon (K) kumaşlar kompozitte takviye bileşeni olup, farklı katmanlarda bulunmaktadır ve katmanlı yapılar; 3 katmanlı KAB, AKB, ABK ve 2 katmanlı AB, BK, KA (Alternatifler) şeklindedir. Kompozitin matris bileşeni için epoksi reçine ve sertleştiricidir. Kumaş/Reçine oranı 70/30'dur. Çalışmada kullanılan hibrid kompozit plakalar vakum infüzyon metodu ile üretilmiştir. Bulanık TOPSIS metodu için, alternatifler 6 farklı kompozit plaka, seçilen kriterler ısı yalıtımı ve ses yalıtımı, uzman sayısı üç adet şeklinde belirlenmiştir. Hibrid tekstil kompozitlerinin ısı ve ses izolasyonu giyim amaçlı değildir. Çalışma ortamından beklenen ısı 25 °C ve ses düzeyi ise 80 dB'dir. Üretilen kompozitler yalıtım malzemesi olduğu için kompozit plakalardan beklenen performans dış ortamdan gelen

yüksek ısı ve sesin iç ortama iletilmemesi ya da iletimin azaltılmasıdır. Karar vericiler farklı görüşlerle buna yönelik puanlama yaptıkları kabul edilmiştir. Kriterlerin karşılaştırmaları üç uzman tarafından yapılmış ve kriter önem ağırlıkları hesaplandıktan sonra Bulanık TOPSIS yöntemiyle alternatifler için yakınlık katsayısı hesaplanmış ve alternatifler arasında seçim ve sıralama yapılmıştır. Bulanık TOPSIS yönteminde kullanılan ve Chen (2000) tarafından geliştirilen, alternatifler ve kriterler için belirlenen üçgen dilsel değerlendirmeler Tablo 1’de verilmiştir (Tekez, 2018; Karakış, 2019; Chen, 2000). Çok kötü için 0, Çok iyi için 10 verilerek 0-10 arasında bir derecelendirme alternatifler için, Çok düşük için 0, Çok yüksek için 10 verilerek 0-10 arasında bir derecelendirme de kriterler için uzmanlar tarafından puanlamada kullanılır.

Tablo 1. Alternatiflerin ve Kriterlerin Değerlendirilmesindeki Sözel ifadeler ve Üçgen Bulanık Sayı Karşılıkları (Chen, 2000)

Alternatifler için		Kriterler için	
Sözel İfade	Üçgen Bulanık Sayı	Sözel İfade	Üçgen Bulanık Sayı
Çok Kötü (ÇK)	(0; 0; 1)	Çok Düşük (ÇD)	(0; 0; 0,1)
Kötü (K)	(0; 1; 3)	Düşük (D)	(0; 0,1; 0,3)
Biraz Kötü (BK)	(1; 3; 5)	Biraz Düşük (BD)	(0,1; 0,3; 0,5)
Orta (O)	(3; 5; 7)	Orta (O)	(0,3; 0,5; 0,7)
Biraz İyi (Bİ)	(5; 7; 9)	Biraz Yüksek (BY)	(0,5; 0,7; 0,9)
İyi (İ)	(7; 9; 10)	Yüksek (Y)	(0,7; 0,9; 1,0)
Çok İyi (Çİ)	(9; 10; 10)	Çok Yüksek (ÇY)	(0,9; 1,0; 1,0)

Bulanık TOPSIS metodunun işlem adımları ve kullanılan eşitlikler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1. Adım: Kriterlere ait sözel ifadelere yargı değerlerinin verilmesi ve önem ağırlıklarının hesaplanması.

Karar vericilerin (KV1, KV2, KV3) her bir kriter için sözel ifadeye karşılık gelen üçgen bulanık sayısı bulunarak, kriterlerin önem ağırlıkları formül 1 kullanılarak hesaplanır.

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

2. Adım: Alternatiflere ait sözel ifadeler yargı değerlerinin verilmesi ve önem ağırlıklarının hesaplanması.

Karar vericilerin her bir alternatif için sözel ifadeye karşılık gelen üçgen bulanık sayısı bulunarak, alternatiflerin önem ağırlıkları formül 2 kullanılarak hesaplanır.

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

3. Adım: Bulanık Karar matrisinin oluşturulması.

Bulanık TOPSIS karar problemi için bulanık karar matris formatında formül 3’teki gibi ifade edilir.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad \tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (3)$$

4. Adım: Normalize bulanık karar matrisinin oluşturulması.

Normalize edilmiş bulanık karar matrisinin her bir elemanı fayda (B) kriteri dikkate alınarak formül 4 ile hesaplanır.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), \quad j \in B \quad c_j^* = \max_{i,j} c_{ij}, \quad \forall j \in B \quad (4)$$

5. Adım: Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi

Normalize bulanık karar matrisinin hesaplanmasından sonra kriterlerin önem ağırlığının dikkate alınarak formül 5 kullanılarak ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi hesaplanır.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j \quad (5)$$

6. Adım: Bulanık pozitif ideal çözümlerin (A^+) ve negatif ideal çözümlerin (A^-) hesaplanması

Formül 6 ile kriterler için hesaplanmış ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisinde, her bir kriter için maksimum ve minimum değerler belirlenir.

$$\begin{aligned} A^+ &= \{v_1^+, v_2^+, \dots, \dots, v_n^+\} & \tilde{v}_j^* &= \max_i \{v_{ij3}\} \quad \text{ve} \quad \tilde{v}_j^- &= \min_i \{v_{ij1}\} \\ A^- &= \{v_1^-, v_2^-, \dots, \dots, v_n^-\}, \end{aligned} \quad (6)$$

7. Adım: Yakınlık katsayısının hesaplanması (d_i^* ve d_i^-)

Bu adımda alternatiflerin ideal çözüme yakınlıkları Vertex metodu kullanılarak formül 7-9 ile hesaplanır.

$$d_v(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (7)$$

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad (8)$$

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

8. Adım: Alternatiflerin sıralanması (CC_i)

Alternatiflerin ideal çözüme yakınlık değerleri kullanılarak Formül 10 ile CC_i değerleri hesaplanır ve en büyükten en küçüğe doğru sıralama yapılarak, en uygun alternatif belirlenir (Karakış, 2019; Tekez, 2018; Öztürk, 2011).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-} \quad (10)$$

3. Bulgular

Bulanık TOPSIS metodu, adım adım uygulanmış ve aşağıda tablolar halinde gösterilmiştir (Tablo 2-8). Öncelikle kriterler ve alternatifler için sözel ifadeler sayısal değerlere dönüştürülmüş, bulanık karar matrisi oluşturulmuş, normalize bulanık karar matrisi bulunmuş, ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi hesaplanmış, pozitif ve negatif ideal çözümler bulunarak, yakınlık katsayıları elde edilmiştir. En son olarak, alternatifler CC_i değerlerine göre büyükten küçüğe doğru 1'den 6'ya kadar sıralanmıştır.

1. Adım: Kriterlere ait sözel ifadelerle yargı değerlerinin verilmesi ve önem ağırlıklarının hesaplanması

Tablo 2'de, Isı yalıtımı ve ses yalıtımı kriterleri için önem ağırlıkları, formül 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Isı yalıtımı kriteri için önem ağırlığı (0,8333; 0,9667; 1) ve ses yalıtımı kriteri için önem ağırlığı (0,3000; 0,5000; 0,7000) olarak bulunmuştur.

Tablo 2. Karar vericiler tarafından dilsel değişkenlerle kriterlerin değerlendirilmesi ve önem ağırlıkları

Kriterler	KV1		KV2		KV3		Ağırlıklar					
Isı yalıtımı	0,9	1	1	0,7	0,9	1	0,9	1	1	0,8333	0,9667	1
Ses yalıtımı	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5	0,5	0,7	0,9	0,3000	0,5000	0,7000

2. Adım: Alternatiflere ait sözel ifadelerle yargı değerlerinin verilmesi ve önem ağırlıklarının hesaplanması

Her kompozit plaka için karar vericiler ısı yalıtımı ve ses yalıtımı kriterleri için önem puanlaması yapmışlardır. Her karar verici her bir kriter için 2 karar vermektedir. Toplamda bir kriter için 18 adet görüş bildirmişlerdir. Karar vericilerin kriterler için belirledikleri görüşler (üçgen bulanık sayı) için veri güvenilirliği karar vericilerin seçimi ile ilgili bir konudur. Karar vericilerin, konu ile ilgili uzmanlar olduğu kabul edilmiştir. Tablo 3'te alternatiflere (KAB, AKB, ABK, AB, BK ve KA) ait sözel ifadelerle yargı değerlerinin verilmesi ile formül 2 kullanılarak önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Buna göre örnek olarak, KAB alternatifi için karar verici 1'in (KV1) ısı yalıtımındaki yargı değerinin önem ağırlığının (9;10;10) olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Karar vericiler tarafından dilsel değişkenlerle alternatiflerin değerlendirilmesi ve önem ağırlıkları

Alternatifler	KAB			AKB			ABK			AB			BK			KA																																						
	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3																																				
Isı yalıtımı	9	10	10	7	9	10	7	9	10	5	7	9	7	9	10	5	7	9	1	3	5	3	5	7	5	7	9	0	1	1	0	1	3	0	1	3	1	3	5	3	5	7	0	1	3	3	5	7	1	3	5	0	1	3
Ses yalıtımı	9	10	10	9	10	10	7	9	10	7	9	10	7	9	10	5	7	9	3	5	7	5	7	9	3	5	7	1	3	5	0	1	3	3	5	7	5	7	9	3	5	7	1	3	5	0	1	3	0	0	1	1	3	5

3. Adım: Bulanık Karar matrisinin oluşturulması

Tablo 4’te formül 3 uygulandığında alternatifler ve kriterlerin bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Tablo 4’te örnek olarak ısı yalıtımı kriteri için KAB alternatifinin bulanık karar matrisindeki değeri (7,67; 9,33; 10,00) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Bulanık karar matrisi

Alternatifler	Kriterler					
	Isı yalıtımı			Ses yalıtımı		
KAB	7,67	9,33	10,00	8,33	9,67	10,00
AKB	7,33	7,00	8,67	6,33	8,33	9,67
ABK	3,00	5,00	7,00	3,67	5,67	7,67
AB	0,00	1,00	2,33	1,33	3,00	5,00
BK	1,33	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00
KA	1,33	3,00	5,00	0,33	1,33	3,00

4. Adım: Normalize bulanık karar matrisinin oluşturulması

Formül 4 kullanılarak alternatifler ve kriterlerin normalize bulanık karar matrisi oluşturulmuş ve Tablo 5’te verilmiştir. Tablo 5’e bakıldığında örnek olarak, AKB alternatifinin ses yalıtımı kriteri için hesaplanan normalize bulanık karar matrisi değerinin (0,63; 0,83; 0,97) olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Normalize bulanık karar matrisi

Alternatifler	Kriterler					
	Isı yalıtımı			Ses yalıtımı		
KAB	0,77	0,93	1,00	0,83	0,97	1,00
AKB	0,73	0,70	0,87	0,63	0,83	0,97
ABK	0,30	0,50	0,70	0,37	0,57	0,77
AB	0,00	0,10	0,23	0,13	0,30	0,50
BK	0,13	0,30	0,50	0,30	0,50	0,70
KA	0,13	0,30	0,50	0,03	0,13	0,30

5. Adım: Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi

Formül 5 kullanılarak alternatifler ve kriterlerin ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi oluşturulmuş ve Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 6’da örnek olarak, AB alternatifinin ısı yalıtımı kriteri için hesaplanan ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi değerinin (0,00; 0,10; 0,23) olduğu görülmektedir.

Tablo 6. Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi

Alternatifler	Kriterler					
	Isı yalıtımı			Ses yalıtımı		
KAB	0,64	0,90	1,00	0,25	0,48	0,70
AKB	0,61	0,68	0,87	0,19	0,42	0,68
ABK	0,25	0,48	0,70	0,11	0,28	0,54
AB	0,00	0,10	0,23	0,04	0,15	0,35
BK	0,11	0,29	0,50	0,09	0,25	0,49
KA	0,11	0,29	0,50	0,01	0,07	0,21

6. Adım: Bulanık pozitif ideal çözümlerin (A^+) ve negatif ideal çözümlerin (A^-) hesaplanması
 Tablo 7’de formül 6 kullanılarak bulanık pozitif ideal çözümleri (A^+) ve negatif ideal çözümleri (A^-) hesaplanmıştır. Isı yalıtımı ve ses yalıtımı kriterleri için, hesaplanan değerler içinde en büyük ve en küçük değerleri işaretlenmiştir. Buna göre ısı yalıtımı kriteri için en büyük-en küçük değeri (1,00 ve 0,00), ses yalıtımı kriteri için en büyük-en küçük değeri (0,70 ve 0,01)’dir.

Tablo 7. Bulanık Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Hesaplanması (A^+ , A^-)

Alternatifler	Kriterler					
	Isı yalıtımı			Ses yalıtımı		
KAB	0,64	0,90	1,00	0,25	0,48	0,70
AKB	0,61	0,68	0,87	0,19	0,42	0,68
ABK	0,25	0,48	0,70	0,11	0,28	0,54
AB	0,00	0,10	0,23	0,04	0,15	0,35
BK	0,11	0,29	0,50	0,09	0,25	0,49
KA	0,11	0,29	0,50	0,01	0,07	0,21
A^+	1,00			0,70		
A^-	0,00			0,01		

7. Adım ve 8. Adım: Yakınlık katsayısının hesaplanması (d_i^* ve d_i^-), Alternatiflerin sıralanması (CC_i)

Tablo 8, formül 7-10 kullanılarak alternatif ve kriterlerin yakınlık katsayıları ve sıra değerleri hesaplanarak oluşturulmuştur. Elde edilen CC_i değerine göre alternatifler sıralandığında en büyük CC_i değerine sahip KAB alternatifinin olduğu görülmüştür.

Tablo 8. Yakınlık katsayısının hesaplanması (d_i^* ve d_i^-), Alternatiflerin sıralanması (CC_i)

Alternatifler	Isı yalıtımı		Ses yalıtımı		Σd_i		CC_i	Sıralama
	d_i^*	d_i^-	d_i^*	d_i^-	Σd_i^*	Σd_i^-		
KAB	0,2159952	0,8606556	0,288354	0,502575	0,50	1,36	0,73	1
AKB	0,3019695	0,7262795	0,337106	0,462681	0,64	1,19	0,65	2
ABK	0,5536077	0,5118955	0,427547	0,347414	0,98	0,86	0,47	3
AB	0,8951329	0,1458183	0,535599	0,212995	1,43	0,36	0,20	6
BK	0,7174546	0,3398263	0,454129	0,313262	1,17	0,65	0,36	4
KA	0,7174546	0,3398263	0,610276	0,120015	1,33	0,46	0,26	5

4. Tartışma

Metodun uygulanışında, Bulanık TOPSIS uygulama adımları izlenmiştir. Üç adet uzman görüşü alınarak oluşturulan karar matrisi ile kriterlerin önem ağırlıklarına göre sözel ifadeler değerlendirilmiştir. Hesaplanan önem ağırlıklarına göre ısı yalıtımı kriteri, ses yalıtımı kriterine göre daha yüksek ağırlığa sahiptir. Sözel ifadeler bulanık üçgen sayılara çevrilmiştir. Matematiksel hesaplamalar kullanılarak, bulanık karar matrisi, normalize bulanık karar matrisi ve ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi elde edilmiştir. Her bir alternatif için bulanık pozitif ve bulanık negatif ideal çözüme olan yakınlıklar hesaplanmıştır. Son adımda, bulanık TOPSIS yaklaşımı ile ısı ve ses yalıtımı kriterlerinin hibrid kompozitlerde katman seçiminde Tablo 8'e göre, 1. sıralamada yer alan Karbon/Aramid/Bazalt alternatifinin en yüksek CC_i değerine sahip olduğu görülmektedir. Buna göre, katman yerleşim dizilimi en uygun seçenek 1. alternatif olacaktır. Bu çalışma her ne kadar 3 ve 2 katmanlı numuneleri toplu değerlendiriyor gibi gösterse de Tablo 8'de görüleceği üzere en uygun olanı bir sıralamaya koymuştur. Gerçekte malzemeler seçileceği zaman en uygun seçimin sıralı olması büyük önem taşır. 3 katmanlı yapının tercih edilmeyeceği durumda 4. Sırada yer alan aramid kumaşın olmadığı seçenek Bazalt/Karbon (BK) seçeneğinin kullanılabilmesinin tespiti uygulamada stratejik olarak tercih edilebilir.

Alternatiflerin nitelikleri bakımından birbirine son derece yakın olduğu ve karar almanın güç olduğu konularda, Bulanık TOPSIS yöntemi uygulaması karar alma sürecini kolaylaştırmakta bir yöntem olarak uygulanabilir (Ömürgönülşen ve Menten, 2021). Bu çalışmada, Bulanık TOPSIS yöntemi tercih edilerek yöntemin her bir alternatif ve kriterin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesine olanak tanımış, karar vericilerin de görüşlerinin sürece dahil edilmesi ile optimum sonuç için alternatifler sıralanmıştır.

5. Sonuç

Kompozit malzemelerde, kullanım amacına uygun özelliklerin optimize edilmesi, malzemenin performansı ve verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu süreçte, kompozitin tasarımını şekillendiren seçim kriterleri, malzemenin istenen özelliklere ulaşmasında belirleyici bir rol oynar. Bu çalışmada katmanlı kumaş takviyeli epoksi kompozit plakalarda ısı yalıtımı, ses yalıtımı seçim kriterleri olarak belirlenmiştir. Toplamda 6 adet 3 katmanlı ve 2 katmanlı üretilen kompozit plakalar alternatifleri oluşturarak, karar vericilerin kriterler ve alternatifler üzerindeki dilsel ifadeleri, sayısal ifadelere dönüştürülerek bulanık TOPSIS metodu uygulanmıştır. Klasik TOPSIS metodunda uzman karar vericiler kriterlere kompozitin kullanım alanına/amacına göre ağırlık tanımlar. Ancak bulanık TOPSIS metodunda 1. Adımda bu ağırlıklar dilsel ifadelerin sayısal karşılıkları ile metod tarafından hesaplanarak belirlenir. Buna göre ısı ve ses yalıtımı kriterinin önem ağırlıkları belirlenmiş olup ısı iletimi tekstil bazlı kompozit malzemeler için daha önemli bir parametre olarak hesaplanmıştır. Daha sonra ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi hesaplanmış, pozitif ve negatif ideal çözümler bulunarak, yakınlık katsayıları elde edilmiştir. En son olarak, alternatifler CC_i değerlerine göre büyükten küçüğe doğru 1'den 6'ya kadar sıralanmıştır. Çalışma sonucunda en büyük CC_i değerine sahip (0,73), en uygun kompozit plakanın katman

sıralamasının Karbon/ Aramid / Bazalt kompozit plaka (1. Alternatif, KAB) olduğu görülmüştür. 2. en uygun alternatifin ise 0,45 CC_i değerine sahip Aramid /Karbon/ Bazalt kompozit plaka (2. Alternatif, AKB) olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile kompozit malzemelerde kullanılan Karbon, Aramid ve Bazalt kumaş katmanlarında ısı yalıtımı ve ses yalıtımı kriterlerinin karar vericiler tarafından verilen dilsel ifadelerle göre belirlenen ve hesaplanan önem ağırlıkları ile hangi katman sıralaması ile üretim yapılması gerektiğine yönelik bir çözüm önerisi sunulmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimince desteklenmiştir. Proje ID: KBÜBAP-23-ABP-136.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

- Ali SM., Burney SA., Khan SY. Fuzzy-AHP-TOPSIS: An integrated multi-criteria decision support system for supplier selection in Pakistan's textile industry. *Ijcsns* 2020; 20(4): 91.
- Chen CT. Extensions of the topsis for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems* 2000; 114, 1-9.
- Chen SJ., Hwang CL. Fuzzy multiple attribute decision making methods. In: *Fuzzy multiple attribute decision making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* 1992; 375. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-46768-4_5
- Dawood HM., Bai C., Zaman SI., Quayson M., Garcia C. Enabling the integration of industry 4.0 and sustainable supply chain management in the textile industry: a framework and evaluation approach. *IEEE Transactions on Engineering Management* 2024; 71; 14704-14717. doi: 10.1109/TEM.2024.3459922
- Değermenci A., Ayvaz B. Bulanık ortamda TOPSIS yöntemi ile personel seçimi: katılım bankacılığı sektöründe bir uygulama. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2016; 15(30): 77-93.
- Gülsün B., Erdoğan KN. Bankacılık sektöründe bulanık analitik hiyerarşi prosesi ve bulanık TOPSIS yöntemleri ile finansal performans değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2021; 25(1): 1-15. doi: 10.19113/sdufenbed.639972

- Hwang CL., Yoon K. Methods for multiple attribute decision making. In: Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 1981; vol 186. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-48318-9_3
- İşçi H., Baykara Z., Tülüce B. Bulanık TOPSIS ve bulanık AHP yöntemleri ile risk analizi örneği. ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi 2024; 6(1): 28-45.
- Karaatlı M., Ömürbek N., Işık E., Yılmaz E. Performans değerlemesinde DEMATEL ve bulanık TOPSIS uygulaması. Ege Academic Review 2016; 16(1): 49-64.
- Karakış E. Bulanık AHP ve bulanık TOPSIS ile bütünleşik karar destek modeli önerisi: Özel okullarda öğretmen seçimi. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2019; 53, 112-137.
- Kizielewicz B., Baçzkiewicz A. Comparison of Fuzzy TOPSIS, Fuzzy VIKOR, Fuzzy WASPAS and Fuzzy MMOORA methods in the housing selection problem. Procedia Computer Science 2021; 192, 4578-4591. doi: 10.1016/j.procs.2021.09.236
- Nädäban S., Dzitac S., Dzitac I. Fuzzy TOPSIS: a general view. Procedia Computer Science 2016; 91, 823-831. doi: 10.1016/j.procs.2016.07.088
- Nakiboglu G., Bulgurcu B. Supplier selection in a Turkish textile company by using intuitionistic fuzzy decision-making. The Journal of The Textile Institute 2021; 112(2): 322-332. doi: 10.1080/00405000.2020.1747675
- Ozbek A., Pabuccu H., Esmer Y. Strategy development for the Turkish ready-made garment sector Using SWOT Analysis–Fuzzy TOPSIS Method. Fibres & Textiles in Eastern Europe 2020; 4 (142): 15-22. doi: 10.5604/01.3001.0014.0928
- Ömürgönülşen M., Menten C. Bulanık TOPSIS yöntemi ile Ankara ili için olası afet sonrası geçici barınma alanlarının seçimi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi 2021; 7(1): 159-175. doi: 10.21324/dacd.691088
- Özçakar N., Demir H. Bulanık TOPSIS yöntemiyle tedarikçi seçimi. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi 2011; 22(69): 25-44.
- Öztürk B. Çok kriterli karar verme tekniklerinden bulanık TOPSIS ve bulanık analitik hiyerarşi süreci. Bursa Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 295, Bursa, Türkiye, 2011.
- Soba M., Şimşek A., Bayhan M. Bulanık TOPSIS yöntemi ile alışveriş merkezi kuruluş yeri seçimi: Uşak ilinde bir uygulama. Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi 2014; 3(2): 103-132.
- Sumo PD., Ji X., Cai L. SWOT framework based on Fuzzy Logic, AHP, and Fuzzy TOPSIS for sustainable retail second-hand clothing in Liberia. Fibres & Textiles in Eastern Europe 2022; 30(6): 27-44. doi: 10.2478/ftce-2022-0050
- Tayyar N. Pet şişe tedarikçisi seçiminde bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yaklaşımı. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2012; 17(3): 351-371.

Tekez EK. Failure modes and effects analysis using fuzzy topsis in knitting process. *Textile and Apparel* 2018; 28(1): 21-26.

Tursun SS., Özkoç HH. Çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak tedarikçi seçim kararı ile ilgili yapılmış çalışmaların bibliyometrik analizi: 2000-2020. *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi* 2022; 11(1): 64-82.