



Mobilya Üretiminde Malzeme Kombinasyonu Seçimi İçin Çok Kriterli Bir Çözüm Yaklaşımı

Hilal SINGER^{1*} , Abdullah Cemil İLÇE¹ 

¹Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 28/11/2023
Düzeltilme: 24/01/2024
Kabul: 25/01/2024

Anahtar Kelimeler

BWM
Çok Kriterli Analiz
Mobilya Endüstrisi
Katmanlı Malzeme
WASPAS

Article Info

Research article
Received: 28/11/2023
Revision: 24/01/2024
Accepted: 25/01/2024

Keywords

BWM
Multicriteria Analysis
Furniture Industry
Layered Material
WASPAS

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Mobilya endüstrisinde, tüketici beklentileri ve teknolojik ilerlemeler mobilya tasarımının temelini oluşturan malzeme ve malzeme kombinasyonu seçimini daha önemli hale getirmiştir. Bu çalışmada, malzeme kombinasyonu seçimi için bütünlük bir çok kriterli karar verme yaklaşımı sunulmaktadır. / In the furniture industry, consumer expectations and technological advancements have made material and material combination selection, which form the basis of furniture design, more important. This study presents an integrated multicriteria decision-making approach for material combination selection.

Karar elemanı	K11	K12	K13	K14	K21	K22	K23	K24	K25
A1	0,47	6,56	0,39	1,08	39,88	5874,33	9,90	43,08	32,04
A2	0,39	5,64	0,29	0,53	26,65	3916,33	4,66	37,10	30,21
A3	0,38	5,52	0,32	0,54	26,23	1434,58	5,13	42,39	21,79
A4	0,60	8,57	0,45	1,19	44,98	6319,33	9,96	53,27	47,94
A5	0,38	5,17	0,30	0,60	21,95	1034,00	7,02	38,34	31,46

Şekil A: Karar matrisi / Figure A: Decision matrix

Önemli noktalar (Highlights)

- Mobilya üretimine yönelik malzeme kombinasyonu seçimi / Material combination selection for furniture production
- Doğu kayını ve polikarbonat levhaların farklı kombinasyonlarının değerlendirilmesi / Evaluation of different combinations of beech wood and polycarbonate sheets
- Bütünlük bir çok kriterli karar verme yaklaşımı ile karar elemanlarının analizi / Analysis of decision elements with an integrated multicriteria decision-making approach

Amaç (Aim): Bu çalışmada, malzeme kombinasyonu seçimi için BWM (best-worst method) ve WASPAS (weighted aggregated sum product assessment) yöntemleri kullanılarak bir karar verme çerçevesinin tasarlanması amaçlanmaktadır. / In this study, it is aimed to devise a decision-making framework for material combination selection using the BWM (best-worst method) and WASPAS (weighted aggregated sum product assessment) methods.



Özgünlük (Originality): Bu çalışma, mobilya endüstrisinde malzeme katman organizasyonu değerlendirme problemini karmaşık bir çok kriterli karar verme problemi olarak formüle etmekte ve malzeme kombinasyonu seçimi için bütünlük bir BWM-WASPAS yaklaşımı sunmaktadır. / This study formulates the material layer organization evaluation problem in the furniture industry as a complex multicriteria decision-making problem and presents an integrated BWM-WASPAS approach for material combination selection.

Bulgular (Results): Bulgulara göre, ilk üç önemli kriter eğilme direnci, özgül ağırlık ve elastikiyet modülüdür. Malzeme kombinasyonları arasında en iyi seçenek ise AABAA (A: kayın papel, B: polikarbonat levha) olmuştur. / According to the findings, the top three important criteria are bending resistance, specific gravity, and modulus of elasticity. The best option among the material combinations is AABAA (A: beech wood, B: polycarbonate sheet).

Sonuç (Conclusion): Bu çalışma, spesifik uygulamalar için farklı malzeme çeşitlerinden üretilen kompozitlerin katman organizasyonunun değerlendirilmesi için bir yol haritası sunmaktadır. / This study presents a roadmap for evaluating the layer organization of composites made from various material types for specific applications.



Mobilya Üretiminde Malzeme Kombinasyonu Seçimi İçin Çok Kriterli Bir Çözüm Yaklaşımı

Hilal SİNGER^{1*} , Abdullah Cemil İLÇE¹ 

¹Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 28/11/2023
Düzeltilme: 24/01/2024
Kabul: 25/01/2024

Anahtar Kelimeler

BWM
Çok Kriterli Analiz
Mobilya Endüstrisi
Katmanlı Malzeme
WASPAS

Öz

Günümüzde, çevresel sürdürülebilirlik ve teknolojiye ilerlemeler endüstrilerin ilgisini çevreye daha duyarlı ve yenilikçi malzemelere yönlendirmiştir. Odun-plastik kompozit (OPK) malzemeler, doğal kaynakların korunmasına ve çevre kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunurken aynı zamanda dayanıklı bir malzeme seçeneği sunmaktadır. Bu kompozit malzemelerin performansı içerdikleri malzemelerin kombinasyonları ile yakından ilişkilidir. En uygun malzeme kombinasyonunun belirlenmesi spesifik uygulama gereksinimlerini karşılayan ürünler geliştirmede üreticilere, tasarımcılara ve malzeme mühendislerine yardımcı olabilmektedir. Bu çalışma, mobilya üretimi için uygun malzeme kombinasyonlarını seçme sürecinde kullanılmak üzere bütünlük bir BWM (best-worst method) - WASPAS (weighted aggregated sum product assessment) yaklaşımı sunmaktadır. Doğru kayını ve polikarbonat levhaların farklı kombinasyonları fiziksel ve mekanik özellikler göz önüne alınarak değerlendirilmektedir. BWM yöntemi karar kriterlerini önceliklendirirken, alternatiflerin öncelik sıralamasını belirlemek için WASPAS yöntemi kullanılmaktadır. Çalışmanın son aşamasında, sıralama sonuçlarını desteklemek için bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma, mobilya endüstrisinde malzeme katman organizasyonu değerlendirme problemini karmaşık bir çok kriterli karar verme problemi olarak formüle ederek ve malzeme kombinasyonu seçimi için BWM ve WASPAS yöntemlerini bütünlük olarak yeniliğini sunmaktadır.

A Multicriteria Solution Approach for Material Combination Selection in Furniture Production

Article Info

Research article
Received: 28/11/2023
Revision: 24/01/2024
Accepted: 25/01/2024

Keywords

BWM
Multicriteria Analysis
Furniture Industry
Layered Material
WASPAS

Abstract

Today, environmental sustainability and advances in technology have directed industries' attention towards more environmentally friendly and innovative materials. Wood-plastic composites (WPC) contribute to the conservation of natural resources and the reduction of environmental pollution and present a durable material option. The performance of these composite materials is closely related to the combinations of materials they contain. Determining the most suitable material combination assists manufacturers, designers, and materials engineers in developing products that meet specific application requirements. This study presents an integrated BWM (best-worst method) - WASPAS (weighted aggregated sum product assessment) approach to be used in the selection of suitable material combinations for furniture production. Different combinations of beech wood and polycarbonate sheets are evaluated by taking into consideration their physical and mechanical properties. The BWM method is used to prioritize the decision criteria, while the WASPAS method is employed to determine the ranking of the alternatives. In the final stage of the study, a sensitivity analysis is conducted to support the ranking results. This study presents its novelty by formulating the material layer organization evaluation problem in the furniture industry as a complex multicriteria decision-making problem and integrating the BWM and WASPAS methods for material combination selection.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde, çevresel sürdürülebilirlik ve teknolojiye ilerlemeler endüstrilerin dikkatini

doğaya daha duyarlı ve yenilikçi malzemelere yönlendirmiştir. Kereste, tarihsel olarak kağıt üretimi, mobilya imalatı ve ambalajlama dâhil olmak üzere çok sayıda endüstriyel uygulamalar

için birincil kaynak olarak kullanılmıştır. Ancak keresteye yönelik artan talep ormanların tükenmesinin arkasında önemli bir etkidir. Öte yandan, plastik şişeler ve poşetler gibi plastik atıkların doğada birikmesi insan sağlığına yönelik risk oluşturmanın yanı sıra, yaban hayatı ve su ekosistemleri üzerinde de zararlı etkilere sahiptir. Plastikler, uygun fiyatları ve dayanıklılıkları nedeniyle endüstriyel uygulamalarda sıkça tercih edilmektedir; ancak kimyasal yapısı doğal bozunma sürecine karşı oldukça dayanıklıdır [1]. Plastik atıkların bu kalıcı doğası, ekosistemler için önemli bir tehdit oluşturmakta ve atık yönetimi açısından zorluklar çıkarmaktadır. Odun-plastik kompozit (OPK) malzemeler, sürdürülebilir orman yönetimini desteklerken aynı zamanda geri dönüştürülmüş plastik kullanarak çevre kirliliğini azaltma potansiyeli sunan bir çözüm olarak öne çıkmaktadır [2].

OPK içindeki ana bileşenler odun ve plastiktir. Bunlara ilave olarak, kaliteyi olumlu yönde etkilemesi için küçük miktarlarda katkı maddeleri içermektedir. Bunlar, birleştirme katkıları, dağıtıcılar, ışık kararlaştırıcılar, pigmentler, yağlayıcılar, mantar önleyiciler ve köpük katkıları gibi değişik miktarlarda kullanılan maddelerdir [3]. OPK'nın popüleritesi, hem ahşap malzemelerin hem de plastik malzemelerin en iyi özelliklerini bir araya getirmesinde yatmaktadır. Bu birleşim, ahşabın sıcak ve doğal estetiğini plastiklerin dayanıklılığı, esnekliği ve uzun ömürlülüğü ile birleştirir. OPK, yapı malzemelerinden mobilyaya dış cephe kaplamalarından otomotiv parçalarına kadar birçok farklı uygulamada kullanılabilir [4].

OPK malzemeler, farklı malzeme türlerinden sağlanan ince levhaların üst üste yapıştırılmasıyla oluşturulur. Dolayısıyla, OPK üretiminde katmanlar önemli bir rol oynamaktadır. Ara katmanlar olarak daha düşük maliyetli veya daha kolay temin edilebilen ağaç türleri ve diğer malzemeler kullanıldığında üretim maliyetleri düşürülebilir ve ürünün daha rekabetçi olması sağlanabilir [5]. Ayrıca, malzemelerin dayanıklılığını artırmak, termal ve nem değişimlerine karşı direncini iyileştirmek veya özel uygulamalara uygun hale getirmek için ara katmanlar farklı malzeme türleri veya kalınlıklarıyla doldurulabilir. Katman organizasyonu, OPK malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini şekillendiren temel bir unsurdur [6]. Uygun malzeme kombinasyonunun belirlenmesi spesifik uygulama gereksinimlerini karşılayan ürünler geliştirmede üreticilere, tasarımcılara ve malzeme mühendislerine yardımcı

olur. Farklı malzeme kombinasyonları her bir OPK malzeme özelliği üzerinde kendilerine özgü bir performansa sahiptir. Dolayısıyla, birden çok alternatif ve kriter içeren malzeme kombinasyonu seçim problemi çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınabilir.

ÇKKV, birden fazla ve genellikle birbiriyle çelişen kriterlerin olduğu durumlarda en iyi çözüme ulaşmak için sıkça uygulanır. Farklı önceliklere ve hedeflere sahip karar vericilerin görüşleri değerlendirme sürecine entegre edilebilmektedir [7]. Problem tanımlama, alternatif seçimi, kriter seçimi, karar matrisi oluşturma, kriter ağırlıklandırma ve alternatif sıralama genellikle ÇKKV süreçlerinin temel adımlarıdır. ÇKKV, en uygun seçeneğin belirlenmesinde kriterlerin fayda ve maliyet bilgisini dikkate alır. Alternatifin performansının artmasıyla avantaj sağlayan kriterler fayda kriterleri iken, dezavantaj sağlayanlar maliyet kriterleridir [8, 9]. Karar problemi yapılandırıldıktan sonra karar elemanlarının değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi için ÇKKV yöntem(ler)i seçilir [10, 11]. Karar vermeye yardımcı olabilecek organize bir prosedür sağlama maksadıyla literatürde çok çeşitli ÇKKV yöntemleri önerilmiştir. AHP (analytic hierarchy process), BWB (best-worst method), TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution), VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), EDAS (evaluation based on distance from average solution) ve WASPAS (weighted aggregated sum product assessment) popüler ÇKKV yöntemlerinden bazılarıdır.

Gerçek dünya problemlerinin çoğu aynı önem derecesine sahip olmayan kriterler içerir. Bu nedenle, kriterlerin karar verme süreci üzerindeki etkisini anlamak için önem katsayıları ortaya çıkarılmalıdır. BWB, bu amaç için kullanılabilir ÇKKV ağırlıklandırma yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, karar verme sürecini gerçekleştirmek için belirlenen kriterler arasından en iyi kriter ve en kötü kriter seçilir ve karar verici tüm kriterleri seçilen kriterlerle ikili karşılaştırır. İkili karşılaştırmalara dayalı olarak doğrusal bir programlama modeli oluşturulup çözümlenerek her bir kriterin ağırlığı belirlenir [12]. BWB yönteminin önemli avantajlarından biri az sayıda ikili karşılaştırmalar ile oldukça tutarlı sonuçlar sağlamasıdır. BWB yöntemi kriter ağırlıklandırma maksadıyla en yaygın olarak kullanılan AHP yöntemiyle karşılaştırıldığında daha az sayıda hesaplama gerektirir. AHP yönteminde karşılaştırma sayısı $n(n-1)/2$ iken, BWB için karşılaştırma sayısı $2n-3$ şeklindedir.

Bu durum, BMW ağırlıklarının daha fazla tutarlılığını sağlar. Ayrıca, kriterlerin ikili karşılaştırılması için BMW yalnızca tamsayı değerleri gerektirir [13]. BMW yöntemi tutarlı sonuçlar ve zaman, çaba ve kaynak tasarrufu sağladığı için birçok araştırmacı tarafından çeşitli karar problemlerinin çözümü için tercih edilmiştir. Literatürde yürütülen dikkate değer bazı çalışmalar şu şekilde listelenebilir: bulut hizmet seçimi [14], tehlikeli atık envanteri güvenlik risk değerlendirmesi [15], sağlık sektörü değerlendirme [16], iş motivasyonu değerlendirme [17], bakım stratejisi seçimi [18], kaplama malzemesi seçimi [19], güneş paneli teknolojisi seçimi [20], rüzgar çiftliği yer seçimi [21], tedarikçi seçimi [22] ve arazi çökme tehlikesi değerlendirme [23].

Karar verme problemlerinde mevcut alternatifler arasından farklı kriterlere göre en uygun alternatifin seçimi için ÇKKV sıralama yöntemleri kullanılabilir. WASPAS, alternatiflerin sıralanması için sıklıkla kullanılan bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntem, ağırlıklı toplam yöntemi ile ağırlıklı çarpım yönteminin bir kombinasyonudur. İlk yöntem, bir alternatifin skorunu kriter değerlerinin ağırlıklı toplamı şeklinde belirlerken; ikinci yöntem, kriterlerin kendi ağırlığı kadar üssü alınan değerlerinin çarpımı şeklinde hesaplama yapar. WASPAS, ağırlıklı bütünleştirilmiş fonksiyonun incelenmesi ile en iyi sonuca erişmeye uğraşır [24]. WASPAS yönteminin hesaplama adımlarının kısa ve kolay olması yöntemin avantajlarından biridir. Ayrıca, iki farklı yöntemin bir karışımı olduğu için daha fazla doğruluk miktarıyla işlem gerçekleştirir. Öte yandan, bütünleştirme katsayısının değiştirilmesi suretiyle gerçekleştirilen duyarlılık analizi ile sonuçların güvenilirliği araştırılabilir [25]. WASPAS yöntemi tanıtıldığı günden bugüne kadar çok çeşitli karar problemlerinin çözümünde başarıyla uygulanmıştır. Bu çalışmalara endüstriyel robot seçimi [26], yazılım seçimi [24], havayolu hizmet kalitesi ölçümü [27], toplu taşıma için akıllı kart sistemlerini değerlendirme [28], işleme parametrelerinin optimizasyonu [29], tedarikçi seçimi [30], üçüncü parti lojistik sağlayıcısı seçimi [31], hidrojen üretim tesisi yer seçimi [32], endüstriyel parkların sıralanması [33] ve tesis yerleşimi seçimi [34] örnek olarak verilebilir.

Bu çalışma, bütünlük bir BMW-WASPAS yaklaşımına dayalı olarak mobilya üretiminde malzeme kombinasyonu seçimi için bir karar çerçevesi sunma üzerine odaklanmaktadır. Çalışmada, mobilya üretiminde kullanılma maksadıyla doğu kayını ve polikarbonat levhaların farklı kombinasyonları ile elde edilen kompozit malzemeler fiziksel ve mekanik özellikleri dikkate

alınarak sıralanmaktadır. BMW yöntemi ile karar kriterleri ağırlıklandırılırken, WASPAS yöntemi ile alternatifler için bir öncelik sıralaması belirlenmektedir. Bu çalışma, mobilya endüstrisinde malzeme katman organizasyonu değerlendirme problemini karmaşık bir ÇKKV problemi olarak formüle ederek ve malzeme kombinasyonu seçimi için BMW ve WASPAS yöntemlerini bütünleştirerek yeniliğini sunmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Veri Toplama (Data Collection)

Bu çalışmada, mobilya üretiminde kullanım amacıyla doğu kayını (*Fagus Orientalis* L.) ve polikarbonat levhalardan elde edilen beş adet kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin veriler çok kriterli karar analizine tabi tutulmaktadır. Öncelikle, endüstri ve ağaç işleri endüstri mühendislerini içeren bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Ekip üyeleri, kişisel bilgi ve uzmanlık temelinde fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırmış ve böylece kriterlerin önem değerlerinin ortaya çıkmasını sağlamışlardır. Alternatif malzemeler için veri edinme süreci kısaca şu şekilde açıklanabilir. Kesme kaplama olarak gelen ağaç malzemeler işlenmeden önce iki ay üstleri örtülü ve hava alacak şekilde bekletilmiş ve istenilen denge rutubetine ulaşıldıktan sonra işlenmeye başlanmıştır. İlk olarak, kalibre zımpara makinesinde eş kalınlığa getirilmiş ve ardından iklimlendirme dolabında %65±5 bağıl nem ve 20±2°C sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmişlerdir. İklimlendirme dolabından çıkarılan parçaların tek yüzeylerine tutkal sürülerek aynı ölçüde kesilen polikarbonat levhalar yapıştırılmıştır. A kayın papel, B polikarbonat levha ve T lif yönüne dik konulan polikarbonat levha olmak üzere ABBBA, ABABA, AABAA, ABTBA ve ATBTA sırasına uygun olarak beş katlı presleme işlemi yapılmış ve tutkal olarak polikloropren kullanılmıştır. Üretilen levhalar, bir ay boyunca 20±2°C sıcaklık ve %65±5 bağıl nem şartlarında %12±2 denge rutubetine gelmesi için bekletilmiştir. Her bir deney için ayrı bir veri toplama formu hazırlanmıştır.

2.2. BMW Yöntemi (BMW Method)

BMW, karar kriterlerinin ağırlıklarını belirlemek için bir optimizasyon modeli kullanan ÇKKV yöntemidir. Bu yöntem, en iyi kriter ve en kötü kriter tercihinin dayanmaktadır. BMW yönteminde, en iyi kriter diğer kriterlerle, ardından diğer

kriterler en kötü kriterle mukayese edilir [35]. BWM prosedürü aşağıdaki adımlardan oluşur [16-35].

Adım 1: Karar verici(ler) tarafından n sayıda kriter (C_1, C_2, \dots, C_n) belirlenir.

Adım 2: En önemli (iyi) kriter ve en önemsiz (kötü) kriter seçilir.

Adım 3: En iyi kriterin diğer kriterlere göre tercihini belirtmek için 1-9 ölçeği ile ikili değerlendirme yapılır. Karşılaştırma sonuçları en iyi-diğer vektörü olarak şu şekilde temsil edilir:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (1)$$

Burada; a_{Bj} , en iyi kriter B 'nin kriter j 'ye göre tercihini temsil eder ve $a_{BB} = 1$ olmalıdır.

Adım 4: En kötü kriter ile diğer kriterler arasında ikili karşılaştırma yapılır. Karşılaştırma sonuçları en kötü-diğer vektörü olarak şu şekilde temsil edilir:

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T \quad (2)$$

Burada; a_{jW} , kriter j 'nin en kötü kriter W 'ye göre tercihini temsil eder ve $a_{WW} = 1$ olmalıdır.

Adım 5: Kriter ağırlıkları ($w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$) ortaya çıkarılır. Bu süreçte, $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|$ ve $\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right|$ ifadeleri j 'ler için minimuma indirilir. Ağırlıkların negatif olmama özelliği ve toplam durumu dikkate alınarak problem aşağıdaki gibi sonuçlanır.

amaç fonksiyonu:

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \right\} \quad (3)$$

kısıtlar:

$$\sum_j w_j = 1 \quad (4)$$

$$w_j \geq 0, \text{ her } j \quad (5)$$

Bahsedilen model şu şekilde dönüştürülebilir:

amaç fonksiyonu:

$$\min \xi \quad (6)$$

kısıtlar:

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \text{ her } j \quad (7)$$

$$\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \leq \xi, \text{ her } j \quad (8)$$

Denklem 4 ve 5.

Karşılaştırmaların tutarlılık oranı Denklem 9 kullanılarak belirlenebilir. Bu oran ne kadar küçük olursa, sonuçların tutarlılığı o kadar yüksek olur. Tablo 1, farklı sayıda karar kriterine sahip BWM modelleri için tutarlılık indeksini listelemektedir.

$$\text{tutarlılık oranı} = \frac{\xi}{\text{tutarlılık indeksi}} \quad (9)$$

2.3. WASPAS Yöntemi (WASPAS Method)

WASPAS, ağırlıklı toplam ve çarpım yöntemlerini dikkate alarak alternatiflerin genel puanını hesaplayan bir ÇKKV yöntemidir. WASPAS, bu yöntemleri kullanmanın yanı sıra, sonuç bütünlüştürme fonksiyonunun incelenmesi yoluyla tahmin doğruluğunu artırmaya çalışır [36]. WASPAS prosedürü aşağıdaki adımlardan oluşur [37].

Adım 1: Karar elemanları, bir karar matrisinde organize edilir. Karar matrisindeki her x_{ij} elemanı, C_j kriterine göre alternatif A_i 'nin performans değerini temsil eder.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad (10)$$

$$i = 0, 1, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Adım 2: Karar matrisine normalizasyon işlemi uygulanarak bir normalize karar matrisi oluşturulur. Normalize değerlerin hesaplanmasında, fayda yönlü kriterler için Denklem 11 dikkate alınırken, maliyet yönlü kriterler için Denklem 12 kullanılır.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (11)$$

Tablo 1. BWM tutarlılık indeksi (BWM consistency index)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
indeks	0,00	0,44	1,00	1,63	2,30	3,00	3,73	4,47	5,23

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (12)$$

Adım 3: Ağırlıklı toplam değerleri hesaplanır.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j \quad (13)$$

Adım 4: Ağırlıklı çarpım değerleri hesaplanır.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n \bar{x}_{ij}^{w_j} \quad (14)$$

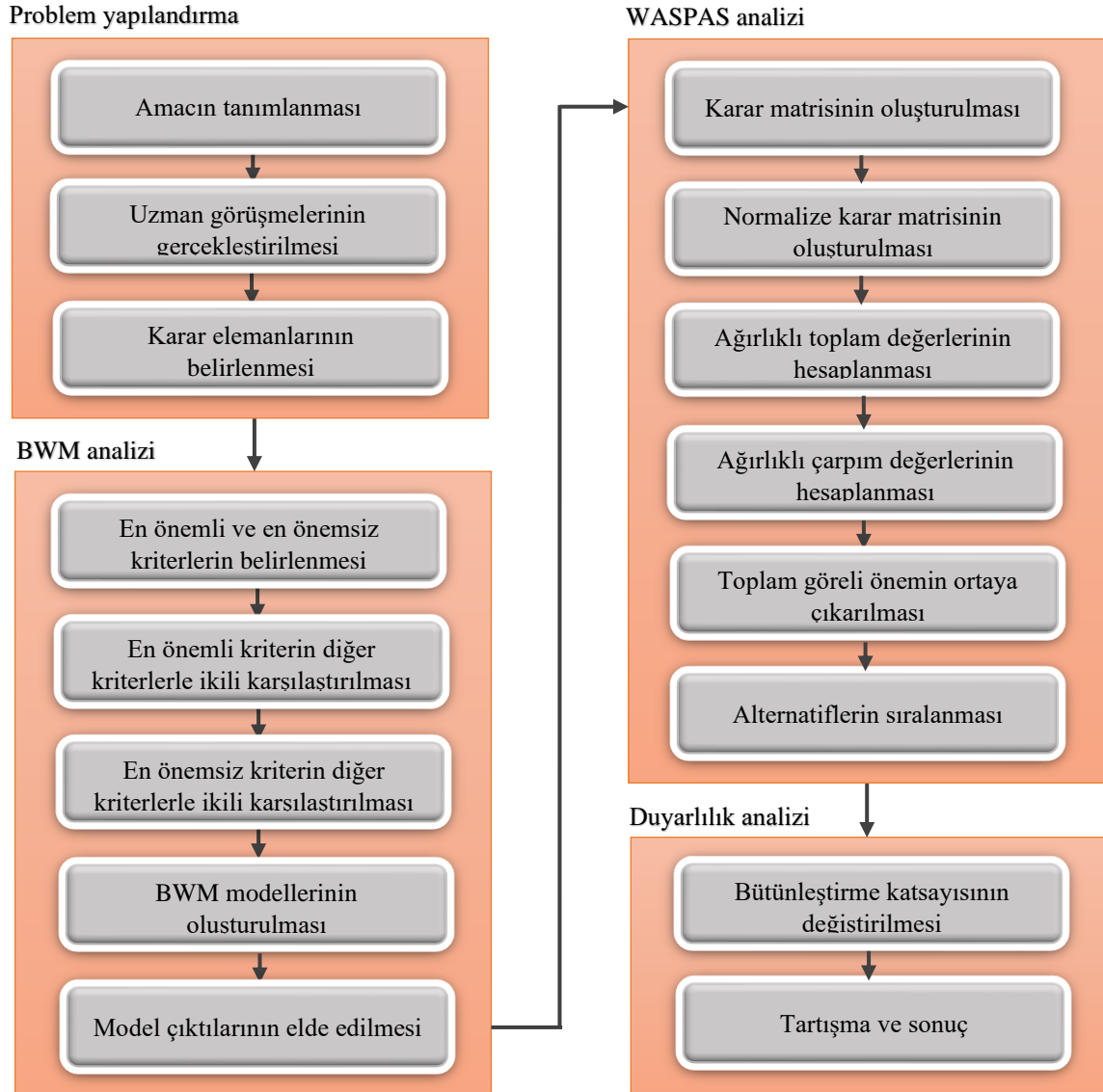
Adım 5: Toplam göreceli önem belirlenir. Alternatifler arasından en yüksek skora sahip olan en iyi karar olarak kabul edilir.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} \quad (15)$$

3.UYGULAMA (APPLICATION)

3.1. Karar Verme Çerçevesi (Decision-making Framework)

Mobilya endüstrisi, gün geçtikçe değişen ve çeşitlenen tüketici taleplerini karşılamak için sürekli olarak gelişen ve yenilikçi malzemelerin ve tasarım yaklaşımlarının kullanılmasını içeren bir alandır. Tüketici beklentileri ve teknolojik ilerlemeler mobilya tasarımının temelini oluşturan malzeme ve malzeme kombinasyonu seçimini daha önemli hale getirmiştir. Üreticiler, farklı malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri arasında denge kurarak dayanıklılığı artırmaya ve çevreye duyarlı ürünler tasarlamaya odaklanmışlardır. Uygun malzeme kombinasyonları ürünlerin dayanıklılığını artırmaya, atık miktarını azaltmaya ve çevresel etkileri minimize etmeye yardımcı olabilmektedir.



Şekil 1. Çalışmanın akış şeması (Flow chart of the study)

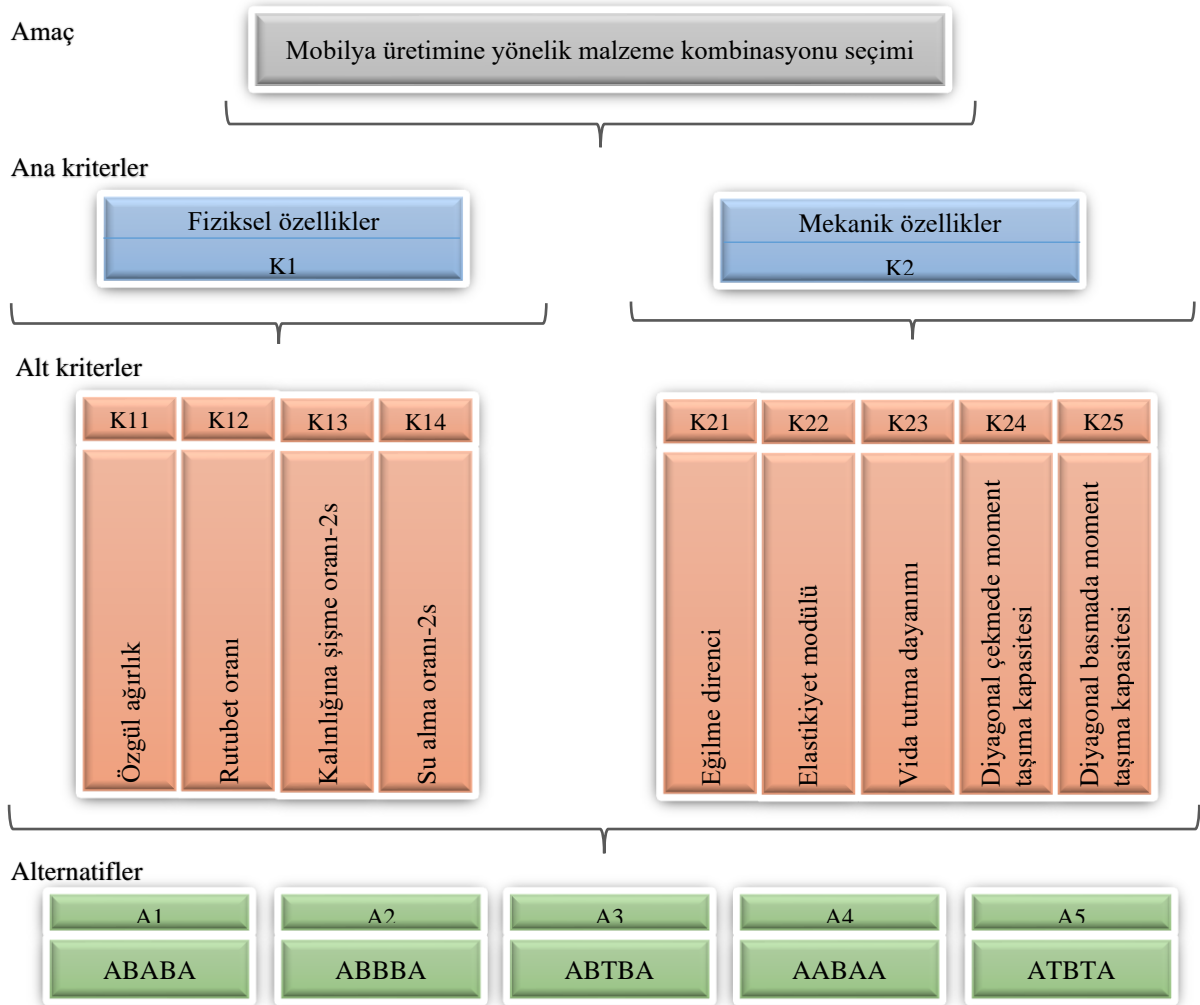
Bu çalışma, mobilya üretimine yönelik malzeme kombinasyonu seçimi için bütünlük bir BWM-WASPAS yaklaşımı sunmaktadır. Çalışmada, doğu kayını ve polikarbonat levhaların farklı kombinasyonlarının oluşturduğu kompozit malzemeler fiziksel ve mekanik özellikleri dikkate alınarak BWM-WASPAS yaklaşımı ile sıralanmaktadır. Bu süreçte, BWM yöntemi kullanılarak karar kriterleri önceliklendirilirken, alternatifler için öncelik sıralaması belirlemek amacıyla WASPAS yöntemi kullanılmaktadır. Çalışmanın son aşamasında ise sıralama sonuçlarını desteklemek için duyarlılık analizi gerçekleştirilmektedir. Şekil 1, çalışmanın işleyişini sunmaktadır.

Mevcut çalışma, literatür araştırması ve uzman görüşmeleri doğrultusunda yapılandırılmıştır. Çalışmanın ana kriterleri fiziksel özellikler ve mekanik özellikler olarak belirlenmiştir. Bu ana kriterler çeşitli alt kriterlere ayrılmıştır. Fiziksel özellikler ana kriterinin alt kriterleri şunlardır: özgül ağırlık, rutubet oranı, kalınlığına şişme oranı-2s ve su alma oranı-2s. Mekanik özellikler

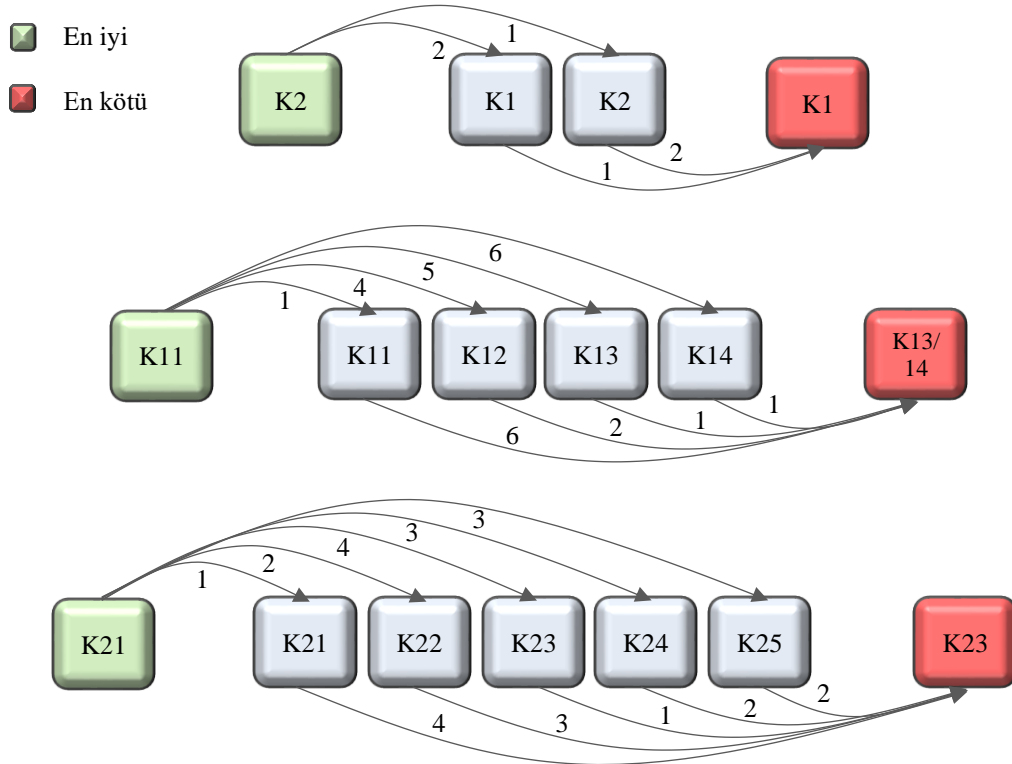
ana kriterinin alt kriterleri ise şöyledir: eğilme direnci, elastikiyet modülü, vida tutma dayanımı, diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi ve diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi. Çalışmanın alternatifleri olan ABABA, ABBBA, ABTBA, AABAA ve ATBTA kombinasyonları yukarıda bahsi geçen kriterlere göre değerlendirilmekte ve aralarından en iyi kombinasyon tespit edilmeye çalışılmaktadır. Çalışmadaki karar elemanları Şekil 2’de hiyerarşik düzende görsel olarak sunulmuştur.

3.2. Malzeme Kombinasyonu Seçimi (Material Combination Selection)

Çalışmada, ana kriterler ve alt kriterler BWM yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmış ve bu ağırlıklar daha sonra WASPAS analizi ile malzeme kombinasyonlarını sıralamak için kullanılmıştır. Kriterlerin ikili karşılaştırmaları uzmanlar tarafından yapılmaktadır. Uzmanlar, araştırma konusuyla ilgili deneyimleri, bilgileri ve yayınları dikkate alınarak seçilmiştir. Nitelikli ve tarafsız veri elde etmek için yüz yüze görüşme yöntemi



Şekil 2. Çalışmanın karar elemanları (Decision elements of the study)



Şekil 3. Karar kriterlerinin karşılaştırılması (Comparison of the decision criteria)

seçilmiştir. Malzeme kombinasyonları ise kriterlerin ağırlıkları ile deneysel çıktıların bütünleştirilmesi ile sıralanmaktadır.

Öncelikle, uzmanlardan ana kriterler grubu ile alt kriterler grupları için en iyi ve en kötü kriterleri belirlemeleri istenmiştir. Ardından, uzmanlardan en iyi kriter için diğer kriterlere göre tercih yapmaları ve ayrıca diğer tüm kriterler için en kötü kritere göre öncelik vermeleri talep edilmiştir. Bu süreçte, 1-9 ölçeği kullanılarak sayısal karşılaştırma değerleri elde edilmiştir. Karşılaştırmalar, en iyi-diğer vektörü ve en kötü-diğer vektörü olarak formüle edilmiştir. BWM modelleri, bu vektörler dikkate alınarak

oluşturulmuştur. Şekil 3, seçilen en iyi ve en kötü kriterler ile karşılaştırma sonuçlarını görsel olarak sunmaktadır.

BWM modelleri çözdürülerek kriterlerin ağırlıkları ortaya çıkarılmıştır. Tablo 2, hesaplanan yerel ve global kriter ağırlıklarını sunmaktadır. Burada belirtmekte fayda vardır ki, global ağırlık alt kriterin yerel ağırlığının üyesi olduğu ana kriterin ağırlığı ile çarpımı sonucu elde edilmektedir. Tablo 2’de görülebileceği üzere, uzman görüşleri mekanik özellikleri en önemli ana kriter olarak kılmıştır. Fiziksel özellikler grubunda özgül ağırlık, mekanik özellikler grubunda ise eğilme direnci en yüksek yerel öneme sahiptir. Genel

Tablo 2. BWM çıktıları (BWM outputs)

Ana kriter	Önem	Alt kriter	Yerel önem	Yerel sıra	Global önem	Yerel sıra
Fiziksel özellikler (K1)	0,333	Özgül ağırlık (K11)	0,611	1	0,204	2
		Rutubet oranı (K12)	0,167	2	0,056	6
		Kalınlığına şişme oranı-2s (K13)	0,111	3	0,037	7
		Su alma oranı-2s (K14)	0,111	3	0,037	7
Mekanik özellikler (K2)	0,667	Eğilme direnci (K21)	0,397	1	0,265	1
		Elastikiyet modülü (K22)	0,221	2	0,147	3
		Vida tutma dayanımı (K23)	0,088	4	0,059	5
		Diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi (K24)	0,147	3	0,098	4
		Diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi (K25)	0,147	3	0,098	4

Tablo 3. Alternatifler için karar matrisi (Decision matrix for the alternatives)

Karar elemanı	K11	K12	K13	K14	K21	K22	K23	K24	K25
A1	0,47	6,56	0,39	1,08	39,88	5874,33	9,90	43,08	32,04
A2	0,39	5,64	0,29	0,53	26,65	3916,33	4,66	37,10	30,21
A3	0,38	5,52	0,32	0,54	26,23	1434,58	5,13	42,39	21,79
A4	0,60	8,57	0,45	1,19	44,98	6319,33	9,96	53,27	47,94
A5	0,38	5,17	0,30	0,60	21,95	1034,00	7,02	38,34	31,46

K₁₁ g/cm³ biriminden; K₁₂, K₁₃ ve K₁₄ % biriminden; K₂₁, K₂₂ ve K₂₃ N/mm² biriminden; K₂₄ ve K₂₅ N.m biriminden.

sonuçlar, ilk üç önemli alt kriterin eğilme direnci, özgül ağırlık ve elastikiyet modülü olduğunu göstermiştir.

Kriterlerin ağırlıkları WASPAS analizine girdi olarak aktarılmıştır. Öncelikle, alternatif kombinasyonların her bir kriter altındaki performansını içeren bir karar matrisi inşa edilmiştir. WASPAS analizinde kullanılan bu karar matrisi Tablo 3'te sunulmuştur.

Karar matrisinin oluşturulmasının ardından kriterlerin fayda ve maliyet bilgisi dikkate alınarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada, fiziksel özellikler maliyet yönlü iken, mekanik özellikler fayda yönlüdür. Bu işlem sonucunda elde edilen normalize karar matrisi üzerinden ağırlıklı toplam ve çarpım değerleri hesaplanmıştır. Bütünleştirme katsayısı literatürde en sık kullanılan 0,5 değerine ayarlanmış ve elde edilen toplam ve çarpım değerleri bütünleştirilerek alternatiflerin genel performans değeri tespit edilmiştir. WASPAS çıktıları Tablo 4'te sunulmuştur. Bu tabloya göre, malzeme kombinasyonlarının azalan düzende sıralaması şöyledir: AABAA - ABABA - ABBBA - ABTBA

- ATBTA. Bu sıralama sonucu, en iyi malzeme kombinasyonunun AABAA olduğuna işaret etmiştir.

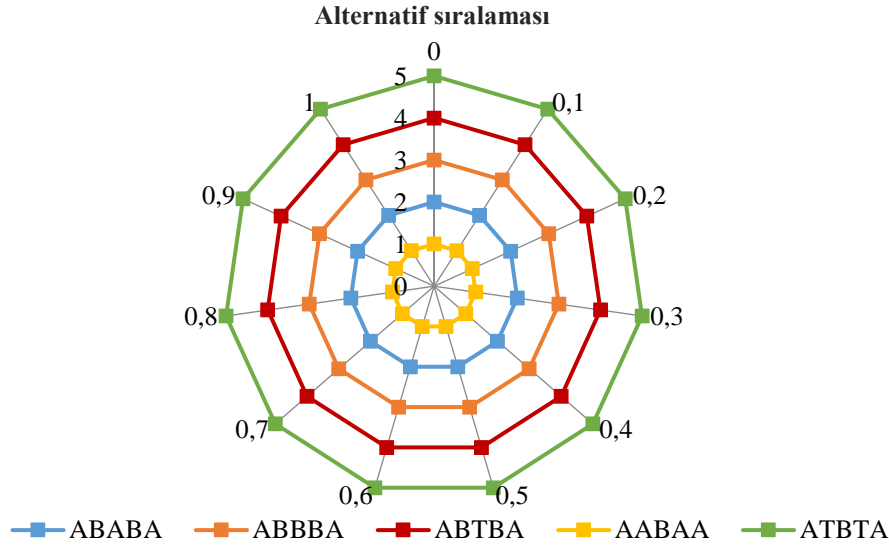
Karar verme uygulamalarında, sonuçların desteklenmesi ve çıktılardaki değişimlerin gözlemlenmesi için duyarlılık analizi sıkça gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda, bütünleştirme katsayısının 0'dan 1'e kadar 0,10'luk artışla değiştirilmesi ile bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizine göre alternatiflerin performans skorları Tablo 5'te, sıralama düzenleri ise Şekil 4'te verilmiştir. Bütünleştirme katsayısındaki değişimin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, alternatiflerin sıralama düzeninin değişmediği gözlemlenmiştir. Bu bulgu, uygulanan yaklaşımın sağlam sonuçlar verdiğinin bir göstergesidir. Sonuç olarak, AABAA mobilya üretimi açısından en uygun kombinasyon olmuştur. Bu çalışma, spesifik uygulamalar için farklı malzeme çeşitlerinden üretilen kompozitlerin katman organizasyonunun değerlendirilmesi için farklı bir bakış açısı sunmuştur.

Tablo 4. WASPAS çıktıları (WASPAS outputs)

Alternatif	$Q_i^{(1)}$	$Q_i^{(2)}$	Q_i	Sıra
A1	0,828	0,820	0,824	2
A2	0,728	0,708	0,718	3
A3	0,665	0,601	0,633	4
A4	0,869	0,846	0,858	1
A5	0,655	0,572	0,613	5

Tablo 5. Bütünleştirme katsayısındaki değişimin performans skorları üzerine etkisi (Effect of the change in the threshold value on performance scores)

Alternatif	Bütünleştirme katsayısı										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
A1	0,820	0,821	0,822	0,822	0,823	0,824	0,825	0,826	0,826	0,827	0,828
A2	0,708	0,710	0,712	0,714	0,716	0,718	0,720	0,722	0,724	0,726	0,728
A3	0,601	0,608	0,614	0,620	0,627	0,633	0,639	0,646	0,652	0,659	0,665
A4	0,846	0,848	0,850	0,853	0,855	0,858	0,860	0,862	0,865	0,867	0,869
A5	0,572	0,580	0,588	0,597	0,605	0,613	0,622	0,630	0,638	0,646	0,655



Şekil 4. Duyarlılık analizinde alternatiflerin sıralama düzeni (Ranking order of the alternatives in the sensitivity analysis)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

OPK malzeme, mobilya, inşaat ve dış mekân uygulama alanlarında giderek daha fazla tercih edilen yenilikçi bir malzeme türüdür. Bu malzeme, genellikle geri dönüşümlü plastiklerin doğal ahşap ham maddeleriyle birleştirilmesiyle üretilir. Bu karışım, çevresel sürdürülebilirlik sağlanmasını ve çeşitli tasarım seçeneklerinin sunulmasını mümkün kılar. OPK'lerde katman organizasyonu, malzemenin özelliklerini optimize etmek ve farklı uygulamalara uygun hale getirmek için kritik bir rol oynar. Bu çalışmada, bir BWM-WASPAS yaklaşımı ile mobilya üretimine yönelik doğu kayını ve polikarbonat levha kombinasyonlu OPK malzemeler fiziksel ve mekanik özelliklere göre sıralanmıştır. BWM yöntemi, çalışmanın karar kriterleri olan fiziksel ve mekanik özellikleri önceliklendirmek için kullanılmıştır. WASPAS yöntemi ise alternatif kombinasyonları sıralamak için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, eğilme direnci, özgül ağırlık ve elastikiyet modülü en önemli ilk üç kriterdir. Alternatiflerin sıralama sonuçlarına göre ise en iyi kombinasyon AABAA olmuştur. Çalışmanın sonuçları, bütünleştirme katsayısının değiştirilmesi suretiyle gerçekleştirilen duyarlılık analizi ile desteklenmiştir.

Mevcut çalışmanın değeri şu şekilde listelenebilir: (i) mobilya üretimine yönelik OPK malzemeler için katman organizasyonunun değerlendirilmesi problemi karmaşık bir ÇKKV problemi olarak ele alınmıştır; (ii) malzeme kombinasyonu seçimi için hibrit BWM-WASPAS yaklaşımı önerilmiştir; (iii) alternatif kombinasyonlar fiziksel ve mekanik özellikler altında incelenmiştir; (iv) mevcut

problemin çözümü için hem uzman perspektifi hem de deneysel çıktılar dikkate alınmıştır; (v) mobilya ürünleri geliştirmede üreticilere, tasarımcılara ve malzeme mühendislerine bir yol haritası sunulmuştur; (vi) malzeme kombinasyonlarının tarafsızca değerlendirilebilmesine ve önceliklendirilebilmesine katkıda bulunulmuştur. İleriki araştırma çalışmalarında; alternatif kombinasyon sayısı artırılabilir, karar çerçevesi farklı malzeme türleri için adapte edilip alternatif kombinasyonlar değerlendirilebilir, farklı karar destek araçları probleme dâhil edilebilir ve karar elemanları arasındaki nedensel ilişkiler incelenebilir. Çalışma, karar vericiler için faydalı bir rehber ve karar destek yaklaşımı sunmaktadır.

BİLGİLENDİRME (INFORMING)

Bu çalışma, ikinci yazarın yürütücülüğünde gerçekleştirilen, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü destekli projenin (Proje No: BAP - 2009.03.01.036) deneysel verilerine dayanmaktadır.

This study is based on the experimental data of the project supported by the Düzce University Scientific Research Projects Coordination (Project No: BAP - 2009.03.01.036), conducted under the supervision of the second author.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The authors of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Hilal SINGER: Çalışmayı planladı, verileri analiz etti ve yazma işlemini gerçekleştirdi.

She planned the study, analyzed the data, and performed the writing process.

Abdullah Cemil İLÇE: Verileri topladı ve yazma işlemini gerçekleştirdi.

He collected the data and performed the writing process.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Hasanin M.S., Abd El-Aziz M.E., El-Nagar I., Hassan Y.R., Youssef A.M., Green enhancement of wood plastic composite based on agriculture wastes compatibility via fungal enzymes, *Scientific Reports*, 12 (2022) 19197.
- [2] Yu Q., Wang Y., Ye H., Sheng Y., Shi Y., Zhang M., Fan W., Yang R., Xia C., Ge S., Preparation and properties of wood plastic composites with desirable features using poplar and five recyclable plastic wastes, *Applied Sciences*, 11 (2021) 6838.
- [3] Mali J., Sarsama P., Suomi-Lindberg L., Metsä-Kortelainen S., Peltonen J., Vilkki M., Koto T., Tiisala S., Woodfiber-plastic composites, VTT Technical Research Centre of Finland Report, (2003).
- [4] Xiao R., Yu Q., Ye H., Shi Y., Sheng Y., Zhang M., Nourani P., Ge S., Visual design of high-density polyethylene into wood plastic composite with multiple desirable features: A promising strategy for plastic waste valorization, *Journal of Building Engineering*, 63 (2023) 105445.
- [5] Keskisaari A., Kärki T., The use of waste materials in wood-plastic composites and their impact on the profitability of the product, *Resources, Conservation and Recycling*, 134 (2018) 257-261.
- [6] İlçe A.C., Budakçı M., Özdemir S., Akkuş M., Analysis of usability in furniture production of wood plastic laminated board, *BioResources*, 10 (2015) 4300-4314.
- [7] Singer H., Özşahin Ş., Multicriteria evaluation of structural composite lumber products, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5 (2020) 807-813.
- [8] Al Mohamed A.A., Al Mohamed S., Zino M., Application of fuzzy multicriteria decision-making model in selecting pandemic hospital site, *Future Business Journal*, 9 (2023) 14.
- [9] Çalış Boyacı A., Tüzemen M.Ç., Bütünleşik SWARA-MULTIMOORA yaklaşımı ile uçak gövdesi için malzeme seçimi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8 (2020) 768-782.
- [10] Daş G.S., Tetik T., Bir iletişim uydu operatörünün fırlatma aracı seçim problemi için kesin ve bulanık VZA yaklaşımlarının karşılaştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5 (2017) 21-30.
- [11] Alvalı G.T., Balbay A., Şişman T., Güneş S., Çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak elektrikli araç şasi malzemesi seçimi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 9 (2021) 573-588.
- [12] Mi X., Tang M., Liao H., Shen W., Lev B., The state-of-the-art survey on integrations and applications of the best worst method in decision making: Why, what, what for and what's next? *Omega*, 87 (2019) 205-225.
- [13] Stević Ž., Pamučar D., Kazimieras Zavadskas E., Čirović G., Prentkovskis O., The selection of wagons for the internal transport of a logistics company: A novel approach based on rough BWM and rough SAW methods, *Symmetry*, 9(2017) 264.
- [14] Youssef A.E., An integrated MCDM approach for cloud service selection based on TOPSIS and BWM, *IEEE Access*, 8 (2020) 71851-71865.
- [15] Deng F., Li Y., Lin H., Miao J., Liang X., A BWM-TOPSIS hazardous waste inventory safety risk evaluation, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (2020) 5765.
- [16] Torkayesh A.E., Pamucar D., Ecer F., Chatterjee P., An integrated BWM-LBWA-CoCoSo framework for evaluation of healthcare sectors in Eastern Europe, *Socio-Economic Planning Sciences*, 78 (2021) 101052.
- [17] Banihashemi S.A., Khalilzadeh M., Assessing employees' job motivation using BWM method and fuzzy goal programming: a case study of a petrochemical company, *International Journal of Energy Sector Management*, 16 (2022) 1259-1280.

- [18] Avakh Darestani S., Palizban T., Imanezhad R., Maintenance strategy selection: a combined goal programming approach and BWM-TOPSIS for paper production industry, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 28 (2022) 14-36.
- [19] Kumar S., Bhaumik S., Patnaik L., Maity S.R., Paleu V., Application of integrated BWM Fuzzy-MARCOS approach for coating material selection in tooling industries, *Materials*, 15 (2022) 9002.
- [20] Shayani Mehr P., Hafezalkotob A., Fardi K., Seiti H., Movahedi Sobhani F., Hafezalkotob A., A comprehensive framework for solar panel technology selection: A BWM-MULTIMOOSRAL approach, *Energy Science & Engineering*, 10 (2022) 4595-4625.
- [21] Badi I., Pamučar D., Stević Ž., Muhammad L.J., Wind farm site selection using BWM-AHP-MARCOS method: A case study of Libya, *Scientific African*, 19 (2023) e01511.
- [22] Ishizaka A., Khan S.A., Kheybari S., Zaman S.I., Supplier selection in closed loop pharma supply chain: a novel BWM-GAIA framework, *Annals of Operations Research*, 324 (2023) 13-36.
- [23] Mehrnoor S., Robati M., Kheirkhah Zarkesh M.M., Farsad F., Baikpour S., Land subsidence hazard assessment based on novel hybrid approach: BWM, weighted overlay index (WOI), and support vector machine (SVM), *Natural Hazards*, 115 (2023) 1997-2030.
- [24] Tuş A., Aytaç Adalı E., The new combination with CRITIC and WASPAS methods for the time and attendance software selection problem, *OPSEARCH*, 56 (2019) 528-538.
- [25] Rao C.N., Sujatha M., A consensus-based Fermatean fuzzy WASPAS methodology for selection of healthcare waste treatment technology selection, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 6 (2023) 600-619.
- [26] Karande P., Zavadskas E.K., Chakraborty S., A study on the ranking performance of some MCDM methods for industrial robot selection problems, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7 (2016) 399-422.
- [27] Bakır M., Akan Ş., Durmaz E., Exploring service quality of low-cost airlines in Europe: An integrated MCDM approach, *Economics and Business Review*, 5 (2019) 109-130.
- [28] Baç U., An integrated SWARA-WASPAS group decision making framework to evaluate smart card systems for public transportation, *Mathematics*, 8 (2020) 1723.
- [29] Pathapalli V.R., Basam V.R., Gudimetta S.K., Koppula M.R., Optimization of machining parameters using WASPAS and MOORA, *World Journal of Engineering*, 17 (2020) 237-246.
- [30] Singh R.K., Modgil S., Supplier selection using SWARA and WASPAS – a case study of Indian cement industry, *Measuring Business Excellence*, 24 (2020) 243-265.
- [31] Akpinar M.E., Third-party logistics (3PL) provider selection using hybrid model of SWARA and WASPAS, *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7 (2021) 371-382.
- [32] Ao Xuan H., Vu Trinh V., Techato K., Phoungthong K., Use of hybrid MCDM methods for site location of solar-powered hydrogen production plants in Uzbekistan, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52 (2022) 101979.
- [33] Moghimi F., Baradaran V., Hosseinian A.H., Identifying the influential factors on the effectiveness of industrial parks and using an MCDM method to rank them: case study of Iran, *Journal of Facilities Management*, (2022). doi:10.1108/JFM-12-2021-0151
- [34] Shivade A.S., Sapkal S.U., Selection of optimum plant layout using AHP-TOPSIS and WASPAS approaches coupled with Entropy method, *Decision Science Letters*, 11 (2022) 545-562.
- [35] Rezaei J., Best-worst multi-criteria decision-making method, *Omega*, 53 (2015) 49-57.
- [36] Amari A., Moussaid L., Tallal S., New parking lot selection approach based on the multi-criteria decision making (MCDM) methods: health criteria, *Sustainability*, 15 (2023) 938.
- [37] Satıcı S., MEREC temelli WASPAS yöntemiyle üniversitelerin girişimci ve yenilikçi performanslarının değerlendirilmesi, *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 17 (2022) 106-128.