

Silah gövdeleri için geliştirilen polimer kompozit malzemeler için çok kriterli karar verme yöntemleri ile doğal takviye malzemesinin seçimi

Selection of natural reinforcement material with multi-criteria decision-making methods for polymer composite materials developed for gun bodies

Yaşam KANDEMİR^{1,2} , Temel VAROL^{*,1} , Mustafa ASLAN¹ 

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

² Yök 100/2000 Doktora Bursiyeri, Trabzon Silah Sanayi A.Ş., Ar-Ge Merkezi, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 07.12.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 02.09.2023

Öz

Kompozit malzemeler son yıllarda kullanım alanındaki mekanik, termal, tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesi sebebiyle havacılık, savunma, otomotiv sektörlerinde kullanımı yaygınlaşan mühendislik malzemeleridir. Kompozit malzemeler içerisinde savunma sektöründe tercih edilen en önemli çeşitlerinden birisi polimer kompozit malzemelerdir. Polimer kompozit malzemeler yüksek mukavemet, ısı ve neme dayanıklılık ve termal özellikleri yönüyle hafif silah imalatında kullanılmaktadır. Bu özelliklerini daha da etkin hale getirmek maksadıyla takviye elemanları olarak doğal elyaf kullanılmaktadır. Bu noktada, hafif silah gövdelerinde polimer kompozit malzeme için takviye elemanının seçiminde karar aşamasına geçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada malzemelerin seçimi ile ilgili olarak kriter ağırlıklarını belirlemek için Critic yöntemi, malzemelerin en uygun doğal takviye malzemesi seçilebilmesi için önem sıralamalarını belirlemek amacıyla Topsis, Saw ve Marcos yöntemleri ele alınmıştır. Uygulanan bu yöntemler ile üç ayrı sıralama sonucu hesaplanmış ve Borda Sayım yöntemi ile net bir sıralamaya dönüştürülmüştür. Spearman korelasyon katsayısı kullanılarak yöntemler arası ilişki ortaya konulmuştur. Hafif silah gövdelerinde kullanılan PA 66 plastik malzemesi için en uygun takviye muz elyaf malzemesinin olduğu belirlenmiştir. En etkin kriter olarak 0,180 kriter ağırlığına sahip olan Young modülü belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Borda sayım, Doğal elyaf, Hafif silah, Kompozit malzeme, PA 66

Abstract

Composite materials are engineering materials that have become widespread in the aerospace, defense and automotive sectors due to the improvement of their mechanical, thermal and tribological properties in recent years. One of the most important types of composite materials preferred in the defense industry is polymer composite material. Polymer composite materials are used in the manufacture of light guns due to their high strength, heat and humidity resistance and thermal properties. In order to make these properties more effective, natural fibers are used as reinforcement elements. At this point, it is necessary to proceed to the decision stage in the selection of reinforcement element for polymer composite material in light gun bodies. In this study, the Critic method was used to determine the criterion weights for the selection of materials, and the Topsis, Saw and Marcos methods were used to determine the order of importance for the selection of the most suitable natural reinforcement material. With these applied methods, three different ranking results were calculated and converted into a net ranking with the Board Count method. The correlation between the methods was revealed by using the Spearman correlation coefficient. It has been determined that the most suitable reinforcement for the PA 66 plastic material used in light gun bodies is the banana fiber material. The Young's modulus, which has a criterion weight of 0.180, was determined as the most effective criterion.

Keywords: Borda count, Natural fiber, Small gun, Composite material, PA 66

* ^bTemel VAROL; tvarol@ktu.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Polimer malzemeler, hafiflik, korozyon direnci, yüksek dayanım gibi özellikleri sayesinde endüstride yaygın olarak kullanılan malzeme türleridir. Son yıllarda polimer matrisli malzemeler sahip oldukları bu üstünlüklerden ötürü mühendislik uygulamaları için önemli bir ileri mühendislik malzemesi haline getirilmiştir. Teknoloji alanındaki gelişen üretim teknikleri sayesinde polimer esaslı kompozit malzemelerin üretiminde gözle görülebilir artış gözlenmektedir (Aslan, 2012). Polimer malzemeler içinde çok sayıda alt grup bulunmaktadır ve bu alt gruplardan birisi de poliamid grubudur. Uzun zincir polimerleri olan poliamidler içerisinde en çok bilinenler poliamid 6.6 (PA 66), poliamid 6 (PA 6), poliamid 12 (PA 12) türleridir. Havacılık, otomotiv, kimya, elektrik-elektronik alanında kullanılan poliamid türleri savunma sektöründe de tercih edilmektedir. Savunma sanayisinin ürünlerinden birisi olan hafif silah polimer gövdesi üretiminde PA 66 malzemesi kullanılmaktadır (Karslı vd., 2020). Bununla birlikte polimer malzemelerin artan ihtiyaçlara cevap verebilmesi için özelliklerinin daha üst safhalara çıkarılması gerekmektedir. Bu noktada polimer malzemelerde takviye malzemelerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Takviye malzemeleri; matris malzemenin rijitlik, sertlik, çekme dayanımı gibi mekanik ve tribolojik özelliklerini kuvvetlendirerek ve matris malzemeye geliştirilmiş yenilikler katarak kullanım sınırlarını genişletmektedir (Bhadra & Dhar, 2022). Bu anlamda takviye olarak kullanılan malzeme türleri elyaflardır. Elyaf lar içerisinde güçlendirme amacı taşıyan ve sıklıkla tercih edilenler sentetik elyaf türleri karbon elyaf ve cam elyaftır. Karbon elyaf ve cam elyaf malzemeleri %5 ile %50 arasında değişen oranlarda takviye edilerek kompozit malzemelere uygulandığı çalışmalar literatürde mevcuttur (Karslı vd., 2020).

Bununla birlikte sentetik elyafların yüksek maliyetli oluşu kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Günümüz şartlarında artan çevresel bilinç, teknolojik ilerlemeler, yenilenebilir kaynak arayışı, sentetik elyafların yerine bitki, hayvan ve minerallerden elde edilen çevre dostu doğal elyafların tercih edilmesini gerekli kılmaktadır. Doğal elyafların iyi aşınma direnci, hafiflik, yüksek spesifik dayanımı gibi özellikleri onların sentetik elyafların yerine kullanılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda doğal elyaf kaynaklarının bol olması, arkasında neredeyse hiç karbon ayak izi bırakmaması onları nitelikli kılan özelliklerindedir. Bu özellikler sayesinde doğal elyaflar, polimer kompozit malzemelere tek veya hibrit olarak takviye edilerek birçok araştırma çalışmasına konu olmuştur. Silah gövde ve kabzalarında, otomotiv fren sistemlerinde, uçak kanatlarında, araçların kapı imalatında, iç kabin üretimindeki kullanımı, uygulama alanlarından sadece birkaçını oluşturmaktadır (Singh vd., 2022). Sanjay ve arkadaşları doğal elyaf takviyeli kompozitlerin çevreye zararlı sentetik elyafların yerine kullanılmasının önemine dikkat çekmiş ve kirlilik problemlerine olumlu katkılar yapacağını altını çizmiştir. Doğal elyaf takviyeli kompozitlerin kullanıldığı alanlara dikkat çekerek farklı üretim ve karakterizasyon teknikleri ile analizlerine çalışmalarında yer vermişlerdir (Sanjay vd., 2018). Saba ve arkadaşları doğal elyaf türlerinden biri olan kenaf elyafların mekanik özelliklerine yer vererek; termoset kompozit, termoplastik kompozit, biyobozunur polimer kompozitler ve hibrit kompozitlere takviye edilerek oluşan kenaf elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemiştir (Saba vd., 2015). Kiruthika, hasır lifinin otomotiv ve inşaat sanayisinde kullanımına dikkat çekerek, hasır elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin teknolojik, ekonomik ve ekolojik farklılıklarına değinmişlerdir. Hasır elyafların mekanik ve kimyasal kompozisyonlarına yer veren çalışma, hasır lifi türlerinden olan muz, keten, kenevir, jüt, rami elyaf takviyeli polimer kompozit malzemeleri incelemiştir (Kiruthika, 2017). Sood ve arkadaşları naylon matris malzemeye %20 oranında ananas elyaf takviyeli kompozit malzemenin kimyasal ve mekanik analizi, kenaf elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin eğilme mukavemet değerleri, rami elyaf takviyeli ve takviyesiz polilaktik asit kompozit malzemelerin kimyasal ve termal analizleri, muz partiküllü polyester kompozit malzeme araştırmaları, keten takviyeli polipropilen kompozit malzemelerin tribolojik özellik ve değerlerine değinmiştir (Sood & Dwivedi, 2018). Bu çalışmada malzeme yapısı ve çevre dostu olması ile ön plana çıkan doğal elyaf malzemelerinin, silah gövde üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılması araştırılmıştır. Bu amaçla doğal elyaf malzemelerinin seçimini belirlemek ve bir karar mekanizması oluşturmak maksadıyla çok kriterli karar verme yöntemleri tercih edilmiştir.

Çok kriterli karar verme yöntemleri, çoklu kriter ve alternatiflerin bulunduğu bir karar ortamında farklı stratejiler uygulayarak karar vericilere avantaj ve kolaylıklar sunmaktadır. Her yöntemin kendine has işlem adımlarının olduğu bu karar mekanizmasında; problemin tanımlanması, kriter ve alternatiflerin belirlenmesi, kriter ağırlıklarının hesaplanması aşamaları ortaktır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin doğal elyaf takviyeli kompozitlerde incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Shaharuzaman ve arkadaşları otomotiv yan kapı darbe kirişi kompozitleri için doğal elyaf malzeme seçiminde karar destek stratejisi olarak Ahp-Vikor

yöntemlerini kullanarak sertlik, mukavemet, yüzde uzama, yoğunluk, maliyet, kullanılabilirlik kriterlerini ve doğal elyaflarını incelemiştir. Kenaf elyaf, en iyi alternatif seçilmiştir (Shaharuzaman vd., 2019). Kalagi ve arkadaşları rüzgâr türbin kanatları için keten elyaf, sisal elyaf, jüt elyaf, hindistan cevizi elyaf türlerini farklı oranlarda takviyeli polimer kompozit malzemelerde kullanarak yoğunluk, darbe enerjisi, çekme dayanımı, Young modülü, eğilme modülü, eğilme mukavemeti kriterlerini incelemiştir (Kalagi vd., 2018). Mansor ve arkadaşları otomotiv fren sistemi için hibrit elyaflar kullanarak performans, ağırlık ve maliyet ana kriterleri ile mukavemet, sertlik, yoğunluk ve ham madde alt kriterlerini belirlemiştir. 13 farklı elyaf türü belirleyerek Ahp yöntemi ile ikili karşılaştırma matrislerini oluşturarak kenaf ve ananas elyaf alternatifleri en iyi alternatif olarak seçilmiştir (Mansor vd., 2013). Amarnath ve arkadaşları optimal keten elyaf takviyeli komponentler için Psi, Topsis, Moora yöntemleri kullanmıştır. Yöntemler arasında Spearman sıralama korelasyon katsayısı uygulayarak yöntemler arası ilişki kuvvetini incelemiştir (Amarnath vd., 2022). Shaharuzaman ve arkadaşları, otomotiv parçaları için polipropilen, düşük yoğunluklu polietilen, yüksek yoğunluklu polietilen, polistren, poliamid 6 (PA6), poliamid 6,6 (PA66) ve termoplastik poliüretan alternatifleri Vikor yöntemleri ile araştırılarak polipropilen en iyi alternatif olarak seçilmiştir (Shaharuzaman vd., 2018). Ancak silah gövdelerinde kullanılmak üzere polimer matrisli kompozit malzemelerde takviye malzeme seçimini karar verme yöntemleri ile entegre olarak kullanan bir çalışmanın literatürde mevcut olmadığı görülmüştür. Mevcut çalışmada polimer esaslı silah gövdeleri imalatında doğal elyaf takviye malzeme seçimi yapılmıştır. 12 adet doğal elyaf türü ve 6 kriter belirlenerek karar matrisi oluşturulmuştur. Doğal elyaf türleri muz elyaf, hindistan cevizi elyaf, bambu elyaf, kenaf elyaf, ananas elyaf, kenevir elyaf, rami elyaf, abaka elyaf, keten elyaf, sisal elyaf, jüt elyaf ve pamuk elyaftır. Kriterler ise çekme dayanımı, Young modülü, yüzde uzama, nem içeriği, fiyat ve yoğunluk kriterleridir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden kriter ağırlıklarını belirlemek üzere Critic metot, alternatif sıralamalarını oluşturmak için Topsis, Saw ve Marcos yöntemleri uygulanarak her alternatif için spesifik sıralama belirlenmiştir. Belirlenen sıralamalar neticesinde farklılıklar gözlenmiş olup, üç farklı sıralamayı tek sıralamaya indirgemek amacıyla Borda Sayım metodu tercih edilmiştir.

2. Materyal ve metot

2. Material and method

Çok kriterli karar verme yöntemleri ile birçok karar süreci olumlu yönde şekillenmektedir. Yöntemler literatürde geniş kapsamda yer bulurken, artan popülerliği ve kullanışlı olması ile tercih sebebi olmaktadır. Bu çalışmamızda doğal elyaf seçimi için gerekli olan kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için Critic yöntem, doğal elyaflar arasında sıralama yapmak amacıyla Topsis, Saw ve Marcos yöntemleri kullanılarak bütünsel bir çalışma ortaya koymak hedeflenmiştir. Üç yöntem ile elde edilen sıralama değerleri Borda Sayım Yöntemi ile tek bir sıralama tipine dönüştürülmüştür.

2.1. Critic yöntemi

2.1. Critic method

Kriter, bir malzeme veya ürünün sahip olduğu özellik anlamına gelmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinde, belirlenen kriterlere önem derecelerini göstermek üzere ağırlık ataması yapılmaktadır. Bu atama, birçok yöntem ile yapılmaktadır. Critic yöntemi, kriter ağırlıklarını belirlemede karar vericiler olmadığı durumlarda korelasyon hesaplamalarını kullanarak ilişkileri ortaya koyan bir kriter ağırlık metodudur. Ağırlıkların hesaplanmasında çıktılarının oluşturulması önem kazanmaktadır. Bununla birlikte rastgele bir seçim ile yapılan değerlendirmeler yanlış sonuçlara dönüşmektedir.

Kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden biri olan Critic yöntem ile az bir çaba ile doğru çıktılar elde edilmekte ve tutarlı değerlendirmeler yapılmaktadır. Çıktıların yüzdelik ağırlık değerleri; normalize edilerek, standart sapmalar bulunarak, korelasyon matrisleri oluşturularak hesaplanmaktadır (Raffic vd., 2021). Critic yöntem şu adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1: Karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Karar matrisi Denklem 1 ve Denklem 2 ile normalize edilir.

x_{ij} : Karar matrisindeki i.satır ile j.sütündeki değeri göstermektedir.

r_{ij} : x_{ij} değerinin normalize edilmiş durumudur.

$x_{j,min}$: j.kriterin alternatifler içerisindeki minimum değeridir.

$x_{j,max}$: j.kriterin alternatifler içerisindeki maksimum değeridir.

a) Fayda kriteri için:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j,\min}}{x_{j,\max} - x_{j,\min}}; \forall i, j \quad (1)$$

b) Maliyet kriteri için:

$$r_{ij} = \frac{x_{j,\max} - x_{ij}}{x_{j,\max} - x_{j,\min}}; \forall i, j \quad (2)$$

Adım 3: Kriterler arasında korelasyon dereceleri Denklem 3 ile hesaplanır.

ρ_{jk} : Korelasyon katsayısı

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)(r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad (j, k = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

Adım 4: Her bir kriterde bulunan toplam bilgi miktarı (C_k) Denklem 4 ile hesaplanır.

C_k : Kriterlerin toplam bilgi miktarı

σ_k : Kriterlerin standart sapma değeri

$$C_k = \sigma_k \sum_{j=1}^n (1 - r_{jk}), k = 1, 2 \dots n \quad (4)$$

Adım 5: Her bir kriterin ağırlığı Denklem 5 ile hesaplanır.

$$W_k = \frac{W_k}{\sum_{k=1}^n C_k} \quad (5)$$

2.2. Topsis yöntemi

2.2. Topsis method

Topsis yöntem, çok kriterli karar verme yöntemleri içerisinde en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Oluşturulan karar matrisi ile pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözümler belirlenerek, farklı uzaklık yöntemleri kullanılarak alternatifler içerisinde etkin bir sıralama ortaya koyan karar yöntemidir. Topsis yöntemi şu aşamaları içermektedir:

Adım 1: Problem ve problemin amacı belirlenir.

Adım 2: Alternatif ve kriterleri içeren karar matrisi oluşturulur.

Adım 3: Karar matrisi Denklem 6 kullanılarak normalize edilir.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (6)$$

Adım 4: Ağırlıklı normalize karar matrisi (v) kurulur.

Adım 5: Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözümler Denklem 7 ve denklem 8 ile belirlenir.

$$A^+ = \{(maxV_{ij} | j \in J), (minV_{ij} | j \in J')\} \quad (7)$$

$$A^- = \{(minV_{ij} | j \in J)(maxV_{ij} | j \in J')\} \quad (8)$$

Adım 6: Euclidian uzaklık yöntemi kullanılarak Denklem 9 ve Denklem 10 ile pozitif ve negatif ideal

uzaklıklar hesaplanır.

$$S_i^+ = \left[\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2 \right]^{0.5} \quad (9)$$

$$S_i^- = \left[\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2 \right]^{0.5} \quad (10)$$

Adım 7: Alternatifler arasında ideal çözümlere olan yakınlıklar Denklem 11 ile hesaplanır ve sıralama oluşturularak en iyi alternatif belirlenir.

$$P_i = \frac{e_i^-}{e_i^+ + e_i^-} \quad (11)$$

2.3. Saw yöntemi

2.3. Saw method

Saw yöntemi, Ağırlıklı Toplam Model olarak bilinen, kolay uygulanışı ve sade adımlar içermesi sebebiyle karar aşamalarında kolaylık sağlayan bir kritik karar verme aracıdır. Yöntem, hesaplanan kriter ağırlıkları ile her bir alternatif için “alternatif tercih değerleri” oluşturmayı öngörmekte ve bu sayede daha anlaşılır bir çözüm yöntemi sunmaktadır. Saw yönteminin adımları şu şekilde sıralanabilir:

Adım 1: Karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Denklem 12 ile normalize matris normalize işlemine tabi tutulur.

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} & i = 1,2, \dots, m \quad j = 1,2, \dots, n \quad \text{fayda kriteri} \\ \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} & i = 1,2, \dots, m \quad j = 1,2, \dots, n \quad \text{maliyet kriteri} \end{cases} \quad (12)$$

Adım 3: Kriter ağırlıkları matris değerleri çarpılarak alternatif tercih değerleri Denklem 13 ve Denklem 14 ile hesaplanır.

$$S_j = \sum_{i=1}^m w_j r_{ij} \quad i = 1,2, \dots, m \quad 0 < S_j \leq 1 \quad (13)$$

$$S_j^{\%} = \frac{S_j}{\sum_{j=1}^n S_j} \quad (14)$$

2.4. Marcos yöntemi

2.4. Marcos method

Marcos yöntemi, Stevic ve arkadaşları tarafından literatüre kazandırılmıştır (Stevic vd., 2020). Bu yöntemde, çok kriterli yöntemlere farklı bir bakış açısı kazandırılmıştır. Oluşturulan karar matrisi genişletilmiş karar matris haline dönüştürülerek ideal ve anti ideal çözümler oluşturulmaktadır.

Üyelik fonksiyonlarından yararlanılarak en iyi alternatifin ideal çözüme en yakın olduğu ancak anti-ideal çözüme en yakın olan alternatifin ise en az tercih edilen alternatif olduğunu göstermektedir (Gençtürk vd., 2021). Marcos yönteminin adımları şöyle sıralanmaktadır:

Adım 1: Başlangıç karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Genişletilmiş karar matrisi Denklem 15 ve Denklem ile 16 oluşturulur. Genişletilmiş karar matrisi, AAI (anti-ideal çözüm) ve AI (ideal çözüm) eklenerek oluşturulur. F, fayda kümesi ve M ise maliyet kümesini ifade etmektedir.

$$AAI = \underbrace{\min}_i x_{ij} \text{ eğer } j \in F \text{ ve } \underbrace{\max}_i x_{ij} \text{ eğer } j \in M \quad (15)$$

$$AI = \underbrace{\min}_i x_{ij} \text{ eğer } j \in F \text{ ve } \underbrace{\max}_i x_{ij} \text{ eğer } j \in M \quad (16)$$

Adım 3: Genişletilmiş karar matrisine Denklem 17 ve Denklem 18 ile normalizasyon işlemi uygulanır. n_{ij} değeri, x_{ij} değerinin normalize edilmiş durumudur.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ai}} \quad (17)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ai}}{x_{ij}} \quad (18)$$

Adım 4: Ağırlıklı karar matrisi Denklem 19 ile oluşturulur. Normalize değerler kriter ağırlıkları ile çarpılarak v_{ij} değerleri hesaplanır.

$$v_{ij} = n_{ij} * w_j \quad (19)$$

Adım 5: Alternatiflerin fayda dereceleri Denklem 20, 21, 22 ile hesaplanır. K_i^- , K_i^+ değerleri, her bir alternatif için ideal ve anti ideal çözümlerine göre hesaplanmaktadır. S_i değeri, “v” değerlerinin toplamıdır.

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{aai}} \quad (20)$$

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad (21)$$

$$S_i = \sum_{i=1}^n v_{ij} \quad (22)$$

Adım 6: Alternatiflerin fayda fonksiyonları Denklem (23, 24, 25) ile hesaplanır. $f(K_i)$ değeri, alternatiflerin fayda fonksiyonudur. Her alternatif için ideal ve anti ideal çözüme göre saptanan fayda fonksiyonu, anlaşma ortamı oluşturmaktadır.

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1-f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1-f(K_i^-)}{f(K_i^-)}} \quad (23)$$

$$f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-} \quad (24)$$

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-} \quad (25)$$

Adım 7: Alternatifler fayda dereceleri ve fayda fonksiyonlarına göre sıralanır.

2.5. Borda sayım yöntemi

2.5. Borda count method

Borda Sayım Yöntemi, bir sıralama yöntemi olmakla birlikte, birçok yöntemin sıralama sonuçlarının bütünsel bir hale dönüştürülmesinde önemli bir metot olmuştur (Akyüz & Aka, 2017). Farklı karar yöntemleri uygulanan çalışmalarda yöntemler arasında farklı yanıtlar ortaya çıkmaktadır. Bu noktada Borda Sayım Yöntemi, yöntemleri entegre eden bir yaklaşım ortaya koyarak tek tip bir hesaplama ile araştırmacılara kolaylık sağlamaktadır. Borda sayım yönteminde her bir alternatif için borda skor değeri belirlenmektedir. Borda skor, her bir alternatif için her bir yöntem ile hesaplanan sıralama değerlerinin toplamıdır (Ecer vd., 2022).

Adım 1: Her bir alternatif için Denklem 26 ile borda skor hesaplanarak en yüksek borda skora sahip olan alternatiften başlamak üzere alternatifler sıralanır. M değeri alternatiflerin toplam değerini göstermektedir.

$$b_i = \sum_{k=1}^n (M - r_{ik}) \quad (26)$$

2.6. Spearman sıralama korelasyon katsayısı

2.6. Spearman rank correlation coefficient

Spearman sıralama korelasyon katsayısı uygulanan yöntemler sonucunda sıralamalar arasındaki ilişki ve tutarlılığın ölçüsünü belirleyen, analiz eden bir katsayı denklemdir (Li vd., 2022). Sıralamalar arasındaki değişikliği sayısal olarak aktaran bir çözüm mantığıdır. Sonuçların memnuniyet verici olmasını irdeleyen Spearman, Denklem 27’de gösterildiği gibi yöntemler arasındaki korelasyon katsayısının $0.71 < \rho < 0.99$ aralığında olmasını öngörmektedir (Spearman, 1987).

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (27)$$

3. Bulgular ve tartışma

3. Results and discussion

Hafif silah gövdelerinde kullanılan polimer matrisli kompozit malzemeler için yapılan bu araştırma çalışmasında uygulama sonuçlarını elde etmek için Microsoft Excel 2021 programından yararlanılarak şu hedeflere ulaşılmaya çalışılmıştır:

- 1) Polimer matrisli kompozit malzemeler için en iyi doğal elyaf takviye malzemesinin çok kriterli karar verme yöntemleri ile belirlenmesi
- 2) Bu yöntemler arasındaki ilişkiler ortaya konularak en stratejik yöntemin ortaya çıkarılması
- 3) Doğal elyaf takviye malzemeleri arasında etkin bir sıralama oluşturulması

Problem tanımı için, hafif silah polimer gövdeleri dayanımı yüksek, düşük yoğunluklu malzemelerden tasarlanması gerekmektedir. Bu amaçla polimer gövde tasarımında poliamid malzemesi kullanılmaktadır. Ayrıca poliamid malzemesi ile elyaf türlerinin imal edildiği birçok çalışma bizlere yol göstermektedir (Bhardwaj & Sharma, 2021). Elyaf türleri özellikle cam elyaf ve karbon elyaf kullanılarak malzemenin rijitliği, dayanımı artırılmakta ve daha güçlü bir yapı ortaya çıkmaktadır (Peças vd., 2018). Bu çalışmalardan farklı olarak çevre dostu, düşük yoğunluk, yüksek mukavemet özellikleri ile ön planda olan doğal elyaf malzemeleri alternatif olarak tercih edilmiştir. Alternatif doğal elyaf malzemelerin kriterleri ise çekme dayanımı, Young modülü, yüzde uzama, nem içeriği, fiyat ve yoğunluk kriterleri şeklinde belirlenmiştir. Alternatif ve kriterleri içeren matris Tablo 1’de gösterilmiştir. Kriterler içerisinde çekme dayanımı, Young modülü, yüzde uzama değerlerinin maksimize; nem içeriği, fiyat, yoğunluk değerlerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple çekme dayanımı, Young modülü, yüzde uzama kriterleri fayda temelli; nem içeriği, fiyat, yoğunluk kriterleri ise maliyet temelli olarak kategorize edilmiştir.

Tablo 1. Karar matrisi (Gurunathan vd., 2015)

Table 1. Decision matrix (Gurunathan et al., 2015)

Opsiyonlar	Çekme dayanımı (Mpa)	Young modülü (Gpa)	Yüzde uzama (%)	Nem içeriği (%)	Fiyat (\$/kg)	Yoğunluk (g/cm ³)
Abaka elyaf	621,50	32,35	2,90	14,00	0,35	1,50
Bambu elyaf	566,00	53,00	4,65	14,00	0,50	0,85
Muz elyaf	721,50	29,50	5,50	10,50	0,23	1,35
Hindistan cevizi elyaf	175,00	6,00	20,00	10,00	0,30	1,20
Pamuk elyaf	442,00	8,00	6,00	33,50	1,80	1,21
Keten elyaf	689,00	60,00	2,10	7,00	3,11	1,38
Kenevir elyaf	845,00	45,00	3,05	8,00	1,55	1,35

Tablo 1. Karar matrisi (Gurunathan vd., 2015) (Devamı)
Table 1. Decision matrix (Gurunathan et al., 2015) (Continue)

Opsiyonlar	Çekme dayanımı (Mpa)	Young modülü (Gpa)	Yüzde uzama (%)	Nem içeriği (%)	Fiyat (\$/kg)	Yoğunluk (g/cm ³)
Jüt elyaf	480,00	37,50	2,30	12,00	0,93	1,23
Kenaf elyaf	612,50	41,00	4,80	9,10	0,38	1,20
Ananas elyaf	898,50	71,00	2,00	14,00	0,50	1,50
Rami elyaf	669,00	94,70	3,00	14,50	2,00	1,44
Sisal elyaf	681,00	15,50	2,45	11,00	0,65	1,20
Kriter yönü	Fayda	Fayda	Fayda	Maliyet	Maliyet	Maliyet



Şekil 1. Polimer gövdeye sahip Zigana PX-9 tabanca modeli
Figure 1. Zigana PX-9 gun model with polymer body

Tablo 1’de gösterilen kriterler, doğal elyaf malzemelerin özelliklerini ifade etmektedir. Bu özellikler Şekil 1’de gösterildiği üzere polimer silah gövde imalatında takviye malzemesi olarak incelenen doğal elyaflar açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu sebeple kriterler arasında korelasyon katsayısını kullanarak kriterler arası ilişki matrisini ortaya koyan Critic metodu kullanılmıştır. Critic metodunda matris normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Ardından Tablo 2’de gösterildiği gibi ilişki katsayı matrisi oluşturularak 1- ρ_{jk} matrisi, σ_j , c_j , w_j değerleri hesaplanarak kriter ağırlıkları bulunmuştur. σ_j değeri kriterler arası standart sapmayı, w_j değeri ise kriterlerin ağırlıklarını ifade etmektedir.

Kriterler arası sonuçlar irdelendiğinde en yüksek ilişki 1,782 değeri ile çekme dayanımı ile yüzde uzama arasında; en düşük ilişki ise 0,421 ile çekme dayanımı ve Young modülü arasında olduğu gözlemlenmiştir. Kriter ağırlıkları Young modülü (0,180) > yüzde uzama (0,179) > fiyat (0,173) > yoğunluk (0,169) > çekme dayanımı (0,167) > nem içeriği (0,132) şeklinde bulunmuştur. Kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra alternatifleri bu ağırlıklara göre sıralayan ve kendi aralarında önceliklendirme işlemlerini takip eden çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Saw, Topsis, Marcos yöntemlerinin uygulama adımlarına geçilmiştir. Uygulama adımlarında şu yöntem ve adımlar takip edilmiştir:

Tablo 2. Critic metodu çıktıları
Table 2. Critic method outputs

Opsiyonlar	Çekme dayanımı	Young modülü	Yüzde uzama	Nem içeriği	Fiyat	Yoğunluk
Çekme dayanımı	0,000	0,421	1,782	0,741	1,154	1,460
Young modülü	0,421	0,000	1,518	0,743	1,375	1,327
Yüzde uzama	1,782	1,518	0,000	1,005	0,695	0,734
Nem içeriği	0,741	0,743	1,005	0,000	0,882	1,114
Fiyat	1,154	1,375	0,695	0,882	0,000	0,776
Yoğunluk	1,460	1,327	0,734	1,114	0,776	0,000
σ_j	0,264	0,294	0,275	0,260	0,313	0,276
c_j	1,468	1,583	1,577	1,166	1,526	1,493
w_j	0,167	0,180	0,179	0,132	0,173	0,169

1) Ağırlıklı toplam model olarak isimlendirilen Saw yönteminde başlangıç aşamasında normalizasyon adımı gerçekleştirilmiştir. Normalizasyon adımı, farklı birimlerden oluşan kriterlerin tek bir birime dönüştürülme işlemidir. Normalizasyon adımı uygulandıktan sonra doğal elyaflar ile ilgili fayda matrisi oluşturularak doğal elyaf malzemeleri arasında Tablo 3'te şematize edildiği gibi önem derecelerini belirten sıralandırma işlemi yapılmıştır.

Tablo 3. Saw yöntemi fayda matrisi
Table 3. Saw method utility matrix

Opsiyonlar	Çekme dayanımı	Young modülü	Yüzde uzama	Nem içeriği	Fiyat	Yoğunluk
Kriter ağırlıkları	0,16700	0,18000	0,17900	0,13200	0,17300	0,16900
Abaka elyaf	0,11520	0,06138	0,02595	0,06613	0,11544	0,09599
Bambu elyaf	0,10491	0,10055	0,04161	0,06613	0,07965	0,16940
Muz elyaf	0,13373	0,05597	0,04922	0,08818	0,17316	0,10666
Hindistan cevizi elyaf	0,03244	0,01138	0,17897	0,09259	0,13275	0,11999
Pamuk elyaf	0,08193	0,01518	0,05369	0,02764	0,02213	0,11900
Keten elyaf	0,12771	0,11384	0,01879	0,13226	0,01281	0,10434
Kenevir elyaf	0,15662	0,08538	0,02729	0,11573	0,02569	0,10666
Jüt elyaf	0,08897	0,07115	0,02058	0,07715	0,04301	0,11706
Kenaf elyaf	0,11353	0,07779	0,04295	0,10174	0,10536	0,11999
Ananas elyaf	0,16654	0,13471	0,01790	0,06613	0,07965	0,09599
Rami elyaf	0,12400	0,17967	0,02685	0,06385	0,01991	0,09999
Sisal elyaf	0,12622	0,02941	0,02192	0,08417	0,06127	0,11999

Saw yöntemi ile ilgili normalize işlemleri ve fayda matrisi yapıldıktan sonra doğal elyafların bu yöntemle göre performans skorları oluşturularak performans sıralamaları yapılmıştır. Bu sıralama Tablo 4'te gösterilmiştir. Bu sonuçlar ışığında Saw yöntemi ile belirlenen sıralama değerleri muz elyaf, hindistan cevizi elyafı, bambu elyaf, keten elyaf, ananas elyaf, kenevir elyaf, rami elyaf, keten elyaf, abaka elyaf, sisal elyaf, jüt elyaf, pamuk elyaf şeklinde oluşmuştur.

2) Topsis yöntemi her bir alternatif için pozitif ve negatif ideal çözümler üreterek ve bu çözümler ile öklid bağlantısı kurarak ideal uzaklıklar hesaplayıp performans skalası oluşturan karar verme metodudur. Uyguladığımız bu yöntemde normalize matris, ağırlıklı normalize matris, pozitif-negatif ideal çözümler, uzaklıkların hesaplanması ve performans skorlarını belirleme işlemleri takip edilmiştir.

Topsis metodolojisinde birçok normalizasyon adımı kullanılmakla birlikte bu normalizasyon adımlarının farklı birimlerden oluşan kriterleri tek bir tip birime dönüştürme amacı bulunmaktadır. Bu noktada Eşitlik 6 kullanılarak vektör normalizasyonu işlemi tercih edilmiş olup Tablo 5'te tüm kriterlerin tek birime dönüşüm çalışması şematize edilmiştir.

Tablo 4. Saw yöntemi performans sıralaması
Table 4. Saw method performance ranking

Doğal elyaflar	Performans skoru	Performans sıralaması
Muz elyaf	0,60691	1
Hindistan cevizi elyaf	0,56812	2
Bambu elyaf	0,56226	3
Kenaf elyaf	0,56136	4
Ananas elyaf	0,56092	5
Kenevir elyaf	0,51738	6
Rami elyaf	0,51427	7
Keten elyaf	0,50974	8
Abaka elyaf	0,48009	9
Sisal elyaf	0,44299	10
Jüt elyaf	0,41792	11
Pamuk elyaf	0,31956	12

Tablo 5. Topsis normalizasyon işlemi
Table 5. Topsis normalization stage

Doğal elyaflar	Çekme dayanımı	Young modülü	Yüzde uzama	Nem içeriği	Fiyat	Yoğunluk
Abaka elyaf	0,27889	0,19407	0,12284	0,27501	0,07441	0,33422
Bambu elyaf	0,25399	0,31795	0,19697	0,27501	0,10783	0,18939
Muz elyaf	0,32376	0,17697	0,23297	0,20626	0,04960	0,30080
Hindistan cevizi elyaf	0,07853	0,03599	0,84718	0,19644	0,06470	0,26738
Pamuk elyaf	0,19834	0,04799	0,25415	0,65806	0,38820	0,26961
Keten elyaf	0,30918	0,35994	0,08895	0,13750	0,67073	0,30748
Kenevir elyaf	0,37918	0,26995	0,12919	0,15715	0,33429	0,30080
Jüt elyaf	0,21539	0,22496	0,09743	0,23572	0,19971	0,27406
Kenaf elyaf	0,27485	0,24596	0,20332	0,17876	0,08152	0,26738
Ananas elyaf	0,40319	0,42593	0,08472	0,27501	0,10783	0,33422
Rami elyaf	0,30021	0,56810	0,12708	0,28483	0,43134	0,32085
Sisal elyaf	0,30559	0,09298	0,10378	0,21608	0,14018	0,26738

Tablo 6. Topsis ağırlıklı normalizasyon işlemi ve ideal çözümler**Table 6.** Topsis weighted normalization and ideal solutions

Doğal elyaflar	Çekme dayanımı	Young modülü	Yüzde uzama	Nem içeriği	Fiyat	Yoğunluk
Abaka elyaf	0,04645	0,03487	0,02199	0,03637	0,01288	0,05662
Bambu elyaf	0,04230	0,05713	0,03525	0,03637	0,01867	0,03208
Muz elyaf	0,05392	0,03180	0,04170	0,02728	0,00859	0,05095
Hindistan cevizi elyaf	0,01308	0,00647	0,15162	0,02598	0,01120	0,04529
Pamuk elyaf	0,03303	0,00862	0,04549	0,08704	0,06722	0,04567
Keten elyaf	0,05149	0,06467	0,01592	0,01819	0,11614	0,05209
Kenevir elyaf	0,06315	0,04850	0,02312	0,02079	0,05788	0,05095
Jüt elyaf	0,03587	0,04042	0,01744	0,03118	0,03458	0,04643
Kenaf elyaf	0,04577	0,04419	0,03639	0,02364	0,01412	0,04529
Ananas elyaf	0,06715	0,07653	0,01516	0,03637	0,01867	0,05662
Rami elyaf	0,05000	0,10207	0,02274	0,03767	0,07469	0,05435
Sisal elyaf	0,05089	0,01671	0,01857	0,02858	0,02427	0,04529
V* (pozitif ideal çözüm)	0,06715	0,10207	0,15162	0,01819	0,00859	0,03208
V- (negatif ideal çözüm)	0,01308	0,00647	0,01516	0,08704	0,11614	0,05662

Normalize işlemleri gerçekleştirildikten sonra Critic yöntemi ile hesaplanan ağırlıklar ile normalize ağırlıklar çarpılarak Tablo 6'da gösterilen ağırlıklı normalize tablosu elde edilmiştir. Pozitif ve negatif ideal çözümler maliyet ve fayda temelli kriterler baz alınarak oluşturulmuştur. İdeal çözümler ışığında öklid uzantısı kullanılarak her bir alternatifin ideal çözümlere olan pozitif ve negatif uzaklıkları Tablo 7'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Tablo 7. İdeal uzaklıklar ve performans skorları**Table 7.** Ideal distances and performance scores

Doğal elyaflar	S*	S ⁻	PS	Doğal elyaflar	PS	Sıra
Abaka elyaf	0,15067	0,12327	0,44999	Hindistan cevizi elyaf	0,62260	1
Bambu elyaf	0,12889	0,12842	0,49910	Muz elyaf	0,50382	2
Muz elyaf	0,13280	0,13485	0,50382	Kenaf elyaf	0,50128	3
Hindistan cevizi elyaf	0,11093	0,18300	0,62260	Bambu elyaf	0,49910	4
Pamuk elyaf	0,17182	0,06193	0,26494	Ananas elyaf	0,49746	5
Keten elyaf	0,17896	0,09811	0,35409	Abaka elyaf	0,44999	6
Kenevir elyaf	0,14896	0,11024	0,42530	Rami elyaf	0,44911	7
Jüt elyaf	0,15439	0,10749	0,41046	Kenevir elyaf	0,42530	8
Kenaf elyaf	0,13161	0,13228	0,50128	Sisal elyaf	0,42011	9
Ananas elyaf	0,14251	0,14106	0,49746	Jüt elyaf	0,41046	10
Rami elyaf	0,14882	0,12133	0,44911	Keten elyaf	0,35409	11
Sisal elyaf	0,16057	0,11633	0,42011	Pamuk elyaf	0,26494	12

Maliyet temelli kriterler için en iyiye en uzak, en kötüye en yakın yaklaşımı; fayda temelli kriterler için en iyiye en yakın, en kötüye en uzak yaklaşımı esas alınmıştır. Topsis metodu ile oluşturulan alternatiflerin performans sıralaması hindistan cevizi elyaf, muz elyaf, kenaf elyaf, bambu elyaf, ananas elyaf, abaka elyaf, rami elyaf, kenevir elyaf, sisal elyaf, jüt elyaf, keten elyaf, pamuk elyaf şeklinde hesaplanmıştır.

3) Marcos metodolojisinde diğer metotların karar matrislerinden farklı olarak karar matrisine ideal ve anti ideal alternatifler eklenerek Tablo 8'de gösterildiği gibi genişletilmiş karar matrisi oluşturulur. İdeal alternatif, fayda temelli her bir kriterin sütunundaki maksimum değer, maliyet temelli kriterin sütunundaki minimum değerdir. Anti ideal alternatif ise, fayda temelli kriterin bulunduğu sütundaki minimum değer, maliyet temelli kriter

bulunan sütündeki maksimum değerdir.

Tablo 8. Marcos metodu genişletilmiş karar matrisi
Table 8. Marcos method extended decision matrix

Doğal elyaflar	Çekme dayanımı	Young modülü	Yüzde uzama	Nem içeriği	Fiyat	Yoğunluk
Abaka elyaf	621,500	32,350	2,900	14,000	0,345	1,500
Bambu elyaf	566,000	53,000	4,650	14,000	0,500	0,850
Muz elyaf	721,500	29,500	5,500	10,500	0,230	1,350
Hindistan cevizi elyaf	175,000	6,000	20,000	10,000	0,300	1,200
Pamuk elyaf	442,000	8,000	6,000	33,500	1,800	1,210
Keten elyaf	689,000	60,000	2,100	7,000	3,110	1,380
Kenevir elyaf	845,000	45,000	3,050	8,000	1,550	1,350
Jüt elyaf	480,000	37,500	2,300	12,000	0,926	1,230
Kenaf elyaf	612,500	41,000	4,800	9,100	0,378	1,200
Ananas elyaf	898,500	71,000	2,000	14,000	0,500	1,500
Rami elyaf	669,000	94,700	3,000	14,500	2,000	1,440
Sisal elyaf	681,000	15,500	2,450	11,000	0,650	1,200
AI	898,500	94,700	20,000	7,000	0,230	0,850
AAI	175,000	6,000	2,000	33,500	3,110	1,500

Tablo 9. Marcos metodu fayda fonksiyonları ve performans sıralamaları
Table 9. Marcos method utility functions and performance rankings

Doğal elyaflar	S_i	K_i^-	K_i^+	$f(K^-)$	$f(K^+)$	$f(K)$	Doğal elyaflar	Sıra
Abaka elyaf	0,48009	2,42281	0,48009	0,16538	0,83462	0,46485	Muz elyaf	1
Bambu elyaf	0,56226	2,83750	0,56226	0,16538	0,83462	0,54442	HC elyaf	2
Muz elyaf	0,60691	3,06284	0,60691	0,16538	0,83462	0,58765	Bambu elyaf	3
HC elyaf	0,56812	2,86709	0,56812	0,16538	0,83462	0,55009	Kenaf elyaf	4
Pamuk elyaf	0,31956	1,61268	0,31956	0,16538	0,83462	0,30942	Ananas elyaf	5
Keten elyaf	0,50974	2,57249	0,50974	0,16538	0,83462	0,49357	Kenevir elyaf	6
Kenevir elyaf	0,51738	2,61100	0,51738	0,16538	0,83462	0,50096	Rami elyaf	7
Jüt elyaf	0,41792	2,10910	0,41792	0,16538	0,83462	0,40466	Keten elyaf	8
Kenaf elyaf	0,56136	2,83297	0,56136	0,16538	0,83462	0,54355	Abaka elyaf	9
Ananas elyaf	0,56092	2,83074	0,56092	0,16538	0,83462	0,54312	Sisal elyaf	10
Rami elyaf	0,51427	2,59534	0,51427	0,16538	0,83462	0,49795	Jüt elyaf	11
Sisal elyaf	0,44299	2,23558	0,44299	0,16538	0,83462	0,42893	Pamuk elyaf	12
AI	1,00000							
AAI	0,19815							

Tablo 9’da doğal elyaf türlerinin fayda değerleri ve fayda fonksiyon sonuçları tablosal olarak belirtilmiştir. Diğer yöntemlerden farklı olarak fayda fonksiyonu kavramının ortaya konduğu Marcos yöntemi ile, kriter ve alternatifler arasında fayda fonksiyonu ve fayda değerleri kavramları kullanması ve alternatifleri çok kriterli yöntem aşamaları ile değerlendirmesinden dolayı Tablo 9’da gösterilen sıralama elde edilmiştir.

3.1. Yaklaşımların değerlendirilmesi ve borda sayım yöntemi uygulaması

3.1. Evaluation of approaches and application of borda count method

Hafif silah gövdelerinde kullanılan PA 66 esaslı plastik malzemeler için en iyi takviye malzemesi seçiminde Saw, Topsis, Marcos yöntemleri uygulanmıştır. Uygulanan yöntemler neticesinde her yöntem için uygulama adımları oluşturulmuş ve alternatifler için sıralamalar belirlenmiştir. Tablo 10'da gösterildiği gibi Marcos ve Saw yöntemleri ile elde edilen alternatif sıralamalarında tam olarak aynı sıralama elde edilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü üzere her iki yöntem için ilk 3 alternatif sıralaması sırasıyla muz elyaf, hindistan cevizi elyaf, bambu elyaf şeklinde olmuştur. Topsis yönteminde hindistan cevizi elyaf, muz elyaf, kenaf elyaf olarak belirlenmiştir. Her 3 yöntemde pamuk elyaf, ananas elyaf, rami elyaf malzemeleri aynı sıralamaya sahip olduğu görülmüştür. Bu sebeple yöntemler arasında farklı sıralamalar olduğu tespit edilmiştir. Takviye malzemelerinde net bir kanıya varmak önemli olduğu için Tablo 10'da görselleştirildiği gibi sıralamaların bütünleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu noktada tüm yöntemler için Borda Sayım yöntemi uygulanarak tek tip bir sıralama oluşturulmuştur. Borda Sayım yöntemi sonucunda elde edilen alternatif sıralaması muz elyaf, hindistan cevizi elyaf, bambu elyaf, kenaf elyaf, ananas elyaf, kenevir elyaf, rami elyaf, abaka elyaf, keten elyaf, sisal elyaf, jüt elyaf ve pamuk elyaf şeklinde gerçekleşmiştir. Yöntemler arasındaki korelasyonu belirlemek amacıyla Tablo 11'de şematize edilen durum $\rho_{\text{Saw-Topsis}}=0.902$, $\rho_{\text{Saw-Marcos}}=1$, $\rho_{\text{Marcos-Topsis}}=0.902$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 10. Yöntemlerin spearman sıralama korelasyon katsayıları
Table 10. Spearman rank correlation coefficients of the methods

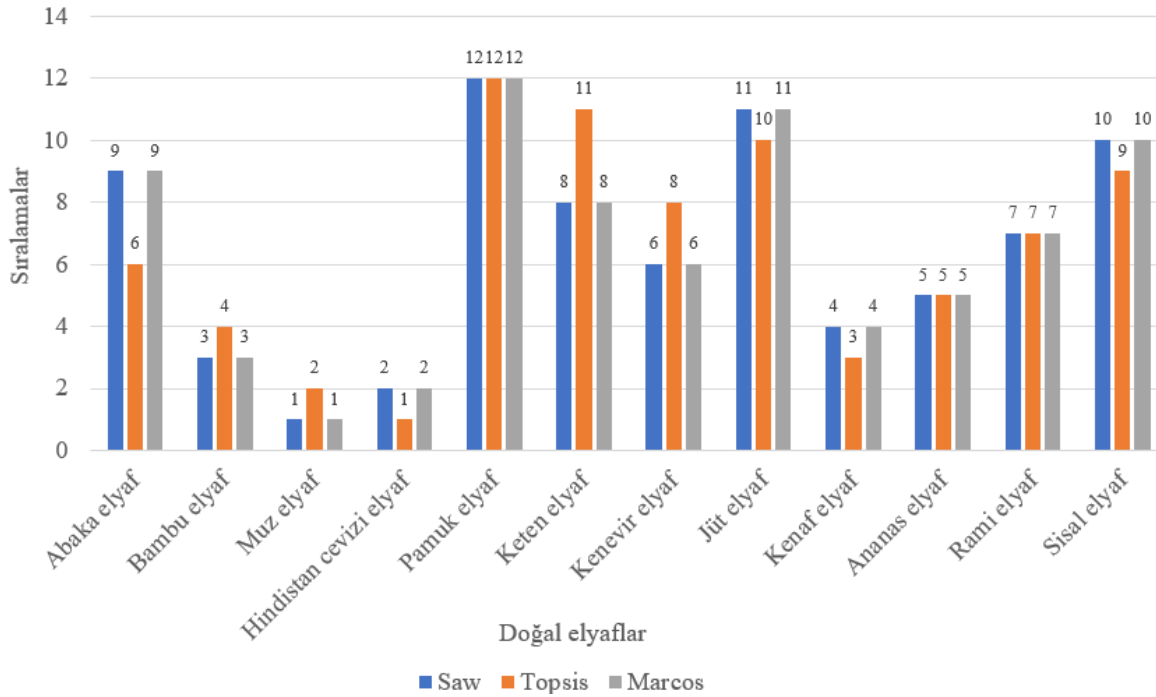
$\rho_{\text{Saw-Topsis}}$	$\rho_{\text{Saw-Marcos}}$	$\rho_{\text{Marcos-Topsis}}$
0,902	1	0,902

Tablo 11. Yöntemler arası sıralamaların oluşturulması

Table 11. Establishing of ranking between methods

Yöntemler	Saw		Topsis		Marcos		Borda sayım	
	Sıra	Borda değeri	Sıra	Borda değeri	Sıra	Borda değeri	Toplam borda skoru	Sıra
Abaka elyaf	9	3	6	6	9	3	12	8
Bambu elyaf	3	9	4	8	3	9	26	3
Muz elyaf	1	11	2	10	1	11	32	1
Hindistan cevizi elyaf	2	10	1	11	2	10	31	2
Pamuk elyaf	12	0	12	0	12	0	0	12
Keten elyaf	8	4	11	1	8	4	9	9
Kenevir elyaf	6	6	8	4	6	6	16	6
Jüt elyaf	11	1	10	2	11	1	4	11
Kenaf elyaf	4	8	3	9	4	8	25	4
Ananas elyaf	5	7	5	7	5	7	21	5
Rami elyaf	7	5	7	5	7	5	15	7
Sisal elyaf	10	2	9	3	10	2	7	10

Uygulanan yaklaşımlarına bakıldığında tercih edilen çok kriterli karar verme yöntemlerinin çalışmamız ile benzer sonuçlar oluşturduğu görülmektedir. Bulanık ortamda en güvenli kısa yol probleminde çözümler üreten çalışmada çok kriterli karar verme yöntemleri ve optimizasyon modeli öngörülmüştür. F-Saw, F-Topsis, F-Edas yöntemlerinin tercih edildiği çalışmada bulanık üçgensel sayılar kullanılarak F-Saw ile F-Topsis arasında kuvvetli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. F-Saw ile F-Topsis yöntemlerinin oluşturulan 11 senaryoda %99 oranında önemli bir korelasyona sahip olduğu görülmüştür (Özçelik, 2022). Başka bir çalışmada ise 7.4 km ve 38 bölümden oluşan bir anayol ağının risk dereceleri belirlenmiştir. Üçgensel sayılar ile F-Marcos ile F-Piprecia metotları uygulanmıştır. Hesaplanan sonuçlar neticesinde F-Marcos, F-Saw ve F-Topsis yöntemleri ile kıyaslanarak doğrulama testleri yapılmıştır. Yöntemlerde ise 38 vaka içinde 15 vaka sıralamasında değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. F-Marcos, F-Saw ve F-Topsis ile karşılaştırıldığında küçük farklılıklar görülmüş ve çalışmanın doğruluğunu saptamışlardır (Stankovic vd., 2020).



Şekil 2. Tüm yöntemlerin sıralama sonuçlarının karşılaştırılması
Figure 2. Comparison of ranking results of all methods

4. Sonuçlar ve öneriler

4. Conclusions and recommendations

Polimer matrisli kompozit malzemeler, son yıllarda üretim proseslerinde sıklıkla kullanılan komplike malzeme haline gelmiştir. Bu malzemeler sahip olduğu kimyası, doğası, yapısı gereği birçok üretim yöntemlerinin ortak alanını oluşturmaktadır. Bu üretim yöntemlerinde son zamanlarda mevcut polimer matrisli kompozitler takviye elemanları ile güçlendirilmektedir. Bununla birlikte takviye elemanları içerisinde en çok kullanılan cam elyaf ve karbon elyaftır. Ancak son yıllarda karbon ve cam elyaf üzerine çalışmalar artmakla birlikte doğal elyaf takviye çalışmalarına da ağırlık verildiği görülmektedir. Ayrıca polimer malzemeler arasında en yaygın kullanılan türlerinden biri olan PA 66 malzemesi için bu çalışmada 12 farklı doğal elyaf takviye malzemesi seçilmiştir. Bu çalışmada ise hafif silah gövdelerinde kullanılan PA 66 malzemesine doğal elyaf takviye malzemeleri üzerine bir seçim çalışması yapılmıştır. Yapılan seçim ve sıralama çalışmasında çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Kriter ve alternatifler belirlenerek karar matrisi oluşturulmuştur. Alternatifler 12 tane doğal elyaf ile 6 tane kriterdir. Alternatifler; muz elyaf, hindistan cevizi elyaf, bambu elyaf, kenaf elyaf, ananas elyaf, kenevir elyaf, rami elyaf, abaka elyaf, keten elyaf, sisal elyaf, jüt elyaf ve pamuk elyaftır. Kriterler; çekme dayanımı, yoğunluk, yüzde uzama, nem içeriği, Young modülü ve fiyat kriterleridir. Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra Saw, Topsis ve Marcos yöntemleri uygulanarak 12 doğal elyaf arasında sıralama işlemi yapılmıştır. Saw yöntemi sonuçlarına göre sırasıyla muz elyaf, hindistan cevizi elyafı, bambu elyaf, keten elyaf, ananas elyaf, kenevir elyaf, rami elyaf, keten elyaf, abaka elyaf, sisal elyaf, jüt elyaf, pamuk elyaf şeklinde oluşmuştur. Topsis yöntemi sonuçlarına göre doğal elyaflar hindistan cevizi elyaf, muz elyaf, kenaf elyaf, bambu elyaf, ananas elyaf, abaka elyaf, rami elyaf, kenevir elyaf, sisal elyaf, jüt elyaf, keten elyaf, pamuk elyaf şeklindedir. Marcos yöntemi sonuçlarına göre muz elyaf, hindistan cevizi elyaf, bambu elyaf, kenaf elyaf, ananas elyaf, kenevir elyaf, rami elyaf, keten elyaf, abaka elyaf, sisal elyaf, jüt elyaf, pamuk elyaf olarak belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara bütünsel olarak bakıldığında Saw ve Marcos yöntemleri arasında $\rho_{\text{Saw-Marcos}}=1$ ile tam ve pozitif bir ilişki hesaplanmıştır. $\rho_{\text{Saw-Topsis}}=0,902$ ve $\rho_{\text{Marcos-Topsis}}=0,902$ olarak pozitif ve kuvvetli bir ilişki belirlenmiştir. Ayrıca, yöntemlerin sıralama sonuçlarına bakıldığında ortak bir sıralama elde edilmediği görülmüştür. Bu sebeple Borda Sayım yöntemi kullanılarak ortak bir sıralama oluşturulmuş ve en uygun takviye malzemesi kararı bu şekilde verilmiştir. Borda Sayım yöntemi ile elde edilen sıralama muz elyaf, hindistan cevizi elyaf, bambu elyaf, kenaf elyaf, ananas elyaf, kenevir elyaf, rami elyaf, abaka elyaf, keten elyaf, sisal elyaf, jüt elyaf ve pamuk elyaf olarak ortaya konmuştur. Bunlarla birlikte kullandığımız yöntemleri uygulayarak sonuçlar üreten çalışmalara yer verilerek ortak ve benzer sonuçlar bulunduğu görülmüştür. Sonuç

olarak hafif silah polimer gövde tasarımında kullanılacak en uygun doğal takviye malzemesi belirlenmiştir. Mevcut çalışma polimer malzeme kullanılan çalışma alanlarında uygulanabilir. Aynı zamanda mevcut çalışmada kullanılan klasik sayılar yerine üçgensel sayılar, yamuk sayılar, bipolar sayılar, küresel sayılar kullanılarak bulanık karar verme yöntemleri ve duyarlılık analizleri ile çalışma genişletilerek daha kapsamlı bir çalışma yürütülebilir.

Yazarların katkısı

Author contribution

Yazarlar arasında Yaşam Kandemir, çalışmanın veri toplama, uygulama ve yazım çalışmaları aşamasında; Temel Varol, yazım çalışmaları, konu ile problemin belirlenmesi ve danışmanlık konusunda, Mustafa Aslan danışmanlık desteği konusunda katkı sundular.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Teşekkür

Acknowledgement

Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için vermiş oldukları destekler için Yükseköğretim Kurumu (YÖK), Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Trabzon Silah Sanayi A.Ş. (TİSAŞ) ve Karadeniz Teknik Üniversitesi'ne teşekkür ederiz. C119073 kodlu ve "Yenilikçi Hafif Silah Teknolojilerinin Geliştirilmesi ve Bu Alana Yönelik Nitelikli Araştırmacıların Yetiştirilmesi" isimli proje, Tübitak 2244 Sanayi Doktora Programı kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu ve TİSAŞ tarafından desteklenmektedir.

Kaynaklar

References

- Akyüz, G., & Aka, S. (2017). Çok kriterli karar verme teknikleriyle tedarikçi performansı değerlendirmede toplamsal bir yaklaşım. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 15(2), 28-46. <https://doi.org/10.11611/yead.277893>
- Amarnath, K., Babu, K.J., & Kumar, M.S. (2022). Comparative analysis of multi criteria decision making techniques for selection of optimal flax fiber reinforced components. *Positif Journal*, 22(8), 38-50.
- Aslan, M. (2012). *Characterisation of flax fibers and flax fiber composites being cellulose based sources of materials* [Doktora Tezi, Danimarka Teknik Üniversitesi].
- Bhadra, D., & Dhar, N.R. (2022). Selection of the natural fiber for sustainable applications in aerospace cabin interior using fuzzy mcdm model. *Materialia*, 21, 101270. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2021.101270>
- Bhardwaj, S., & Sharma, R. (2021). Natural fiber composites: an opportunity for farmers. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 5(5), 509-514. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.5876>
- Ecer, F., Büyükaslan, A., & Zolfani, S.H. (2022). Evaluation of cryptocurrencies for investment decisions in the era of industry 4.0: a borda count-based intuitionistic fuzzy set extensions edas-mairca-marcos multi-criteria methodology. *Axioms*, 11(8), 404. <https://doi.org/10.3390/axioms11080404>
- Gençtürk, M., Senal, S., & Aksoy, E. (2021). Covid-19 pandemisinin katılım bankaları üzerine etkilerinin bütünleşik critic-marcos yöntemi ile incelenmesi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 92, 139-160. <https://doi.org/10.25095/mufad.937185>

- Gurunathan, T., Mohanty, S., & Nayak, S.K. (2015). A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 77, 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.06.007>
- Kalagi, G.R., Patil, R., & Nayak, N. (2018). Experimental study on mechanical properties of natural fiber reinforced polymer composite materials for wind turbine blades. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 2588-2596. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.043>
- Karslı, M., Sert, Y., & Küçükömeroğlu T. (2020). Tabanca gövdeleri için polimer kompozit malzeme geliştirilmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 38, 131-157.
- Kiruthika, A.V. (2017). A review on physico-mechanical properties of bast fibre reinforced polymer composites. *Journal of Building Engineering*, 9, 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.12.003>
- Li, H., Cao, Y., & Su, L. (2022). Pythagorean fuzzy multi-criteria decision-making approach based on spearman rank correlation coefficient. *Soft Computing*, 26(6), 3001-3012. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-06615-2>
- Mansor, M.R., Sapuan, S.M., Zainudin, E.S., Nuraini, A.A., & Hambali, A. (2013). Hybrid natural and glass fibers reinforced polymer composites material selection using analytical hierarchy process for automotive brake lever design. *Materials & Design*, 51, 484-492. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.04.072>
- Özçelik, G. (2022). The attitude of mcdm approaches versus the optimization model in finding the safest shortest path on a fuzzy network. *Expert Systems with Applications*, 203, 117472. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117472>
- Peças, P., Carvalho, H., Salman, H., & Leite, M. (2018). Natural fibre composites and their applications: a review. *Journal of Composites Science*, 2(4), 66. <https://doi.org/10.3390/jcs2040066>
- Raffic, N.M., Babu, K.G., Srinivasan, S., Thirumurugaveerakumar, S., & Kanna, R.B. (2021). Experimental investigation on surface roughness and cutting tool workpiece interface temperature for aa6061 using critic and topsis techniques. *Materials Today: Proceedings*, 47(19), 6858-6863. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.145>
- Saba, N., Paridah, M.T., & Jawaid, M. (2015). Mechanical properties of kenaf fibre reinforced polymer composite: a review. *Construction and Building Materials*, 76, 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.043>
- Sanjay, M.R., Madhu, P., Jawaid, M., SenthamaraiKannan, P., Senthil, S., & Pradeep, S. (2018). Characterization and properties of natural fiber polymer composites: a comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 172, 566-581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.101>
- Shaharuzaman, M.A., Sapuan, S.M., Mansor, M.R., & Zuhri, M.Y.M. (2018). Thermoplastic materials selection using vikor method for automotive part. *Colloquium of Advanced Materials and Mechanical Engineering Research*, 45(2), 75-77.
- Shaharuzaman, M.A., Sapuan, S.M., Mansor, M.R., & Zuhri, M.Y.M. (2019). Decision support strategy in selecting natural fiber materials for automotive side-door impact beam composites. *Journal of Renewable Materials*, 7(10), 997-1010. <https://doi.org/10.32604/jrm.2019.07529>
- Singh, K., Rinawa, M.L., Ahamad, N., Chaudhary, V., Das, P.P., Gupta, S., & Gupta, P. (2022). Optimization of tribological performance of natural fibers/epoxy composites using anova & topsis approach. *Materials Today: Proceedings*, 56(5), 2549-2555. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.112>
- Sood, M., & Dwivedi, G. (2018). Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: a review. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 775-783. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.11.005>
- Spearman, C. (1987). The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology*, 100, 441-471. <https://doi.org/10.2307/1422689>
- Stankovic, M., Stevic, Z., Das, D.K., Subotic, M., & Pamucar, D.A. (2020). New fuzzy marcos method for road traffic risk analysis. *Mathematics*, 8(3), 457. <https://doi.org/10.3390/math80304>
- Stevic, Z., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new mcdm method: measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (marcos). *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231>