

Namlu Malzemesi Seçiminde Sezgisel Bulanık Karar Verme Metodolojisi

Yaşam KANDEMİR^{1,2}, Temel VAROL^{2*}, Uğur Temel YILDIZ^{2,3}

Öz

Günümüzde silah kullanımı bireysel veya kitlesel olarak artış göstermektedir. Bu artışa paralel olarak silah endüstrisinde namlu üretim aşamasında önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Yaşanan gelişmelerin sonucunda namlu üretiminde kullanılan malzemeler ön plana çıkmaktadır. Namlu üretiminde gerek fiziksel ve mekanik özellikleri gerekse de ulaşılabilirlikleri sebebiyle çelik malzemeler tercih edilmektedir. Bununla birlikte namlu malzemesi seçiminde karar verme süreci ortaya çıkmaktadır. Karar verme sürecinin yürütülmesinde çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada namlu malzemesi seçiminde Sezgisel bulanık Topsis yöntemi kullanılmıştır. Alternatif malzemeler X40CrMoV5-1, X12CrS13, 42CrMo4 ve 32CrMoV12-10 ve C45 olarak belirlenmiştir. Kriterler ise akma dayanımı, sertlik, darbe dayanımı ve maliyettir. Alternatifler ve kriterlerin değerlendirilmesinde uzman fikirlerine başvurulmuştur. Uzmanların değerlendirme sonuçları IFWA operatörü ile bütünleşik hale getirilmiştir. Uygulanan sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi sonucunda en iyi kriter darbe dayanımı, en uygun namlu malzemelerinin 32CrMoV12-10 ve 42CrMo4 çelikleri olduğu hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Namlu malzemesi, Sezgisel bulanık topsis, Silah sistemi.

Intuitionistic Fuzzy Decision-Making Methodology for Barrel Material Selection

Abstract

Today, both individual and societal gun use is rising. Significant changes are occurring in the barrel production phase of the armaments industry concurrently with this increase. The materials employed to make the barrel come into focus as a result of the developments that were encountered. Due to its favorable mechanical and physical characteristics as well as their accessibility, steel materials are preferred in the manufacturing of barrels. In addition to this circumstance, choosing the material for the barrels also requires decision-making. The decision-making process is carried out using multi-criteria decision-making techniques. The heuristic fuzzy TOPSIS method was applied in this work to choose the barrel material. As alternatives, X40CrMoV5-1, X12CrS13, 42CrMo4, 32CrMoV12-10, and C45 were chosen. Yield strength, hardness, impact resistance, and cost were chosen as the criterion. In order to evaluate the alternatives and criteria, professional judgment was sought. The IFWA operator is integrated with the expert evaluation results. The intuitive fuzzy TOPSIS approach was used to calculate the results, and it was determined that the best criterion is impact resistance, and the best barrel material is 32CrMoV12-10 steel.

Keywords: Barrel material, Intuitionistic fuzzy topsis, Gun system.

¹Tübitak 2244 Sanayi Doktora Programı Bursiyeri, YÖK 100/2000 Doktora Bursiyeri, Trabzon Silah Sanayi A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Trabzon, Türkiye, ykandemir41@gmail.com

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Trabzon, Türkiye, tvarol@ktu.edu.tr

³Tübitak 2244 Sanayi Doktora Programı Bursiyeri, Trabzon Silah Sanayi A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Trabzon, Türkiye, ugurtemelyildiz@trabzonsilah.com

¹<https://orcid.org/0000-0002-5718-6972>

²<https://orcid.org/0000-0002-1159-5383>

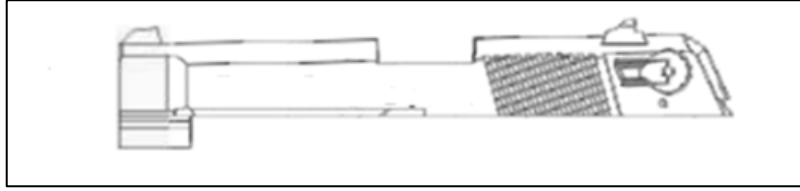
³<https://orcid.org/0000-0002-2172-1873>

1. Giriş

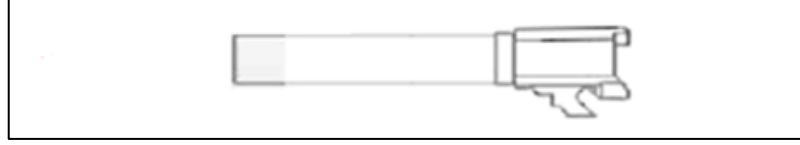
Tek elle kavranabilen ve çalıştırılabilen kısa namlulu silahlara tabanca denir. Günümüzde en sık kullanılan iki tabanca alt tipi revolverler ve yarı otomatik tabancalardır. Tabancalar, ulusal ve bireysel güvenlikte öneme sahip oldukları gibi ticari olarak da yüksek öneme sahip ürünlerdir. 2020 yılında küresel tabanca ticareti hacmi 1,2 milyar ABD dolarını aşarak küresel ticaretin %0.0076'sını oluşturmuştur. En büyük ihracatçının 345 milyon ABD doları değerinde ürün ihraç ederek toplam ihracatın %27,8'ini gerçekleştiren Avusturya'nın olduğu tabanca endüstrisinde, 883 milyon dolar ithalat ile toplam ithalatın %69,4'ünü gerçekleştiren Amerika Birleşik Devletleri en büyük ithalatçı konumundadır. Türkiye 2020 yılında 85 milyon ABD doları değerinde tabanca ihraç ederek toplam küresel tabanca ihracatının %6,73'sini gerçekleştirmiş ve küresel çapta en büyük yedinci ihracatçı ülke olmuştur (URL-1). Endüstriyel rekabetin üst seviye olduğu tabanca sektöründe fiyat ve performans bakımından uygun malzemelerin kullanımı kritik öneme sahiptir. Sektörde rekabet halinde bulunan firmalar bu alanda araştırma ve geliştirme çalışmalarına önemli kaynaklar ayırmaktadırlar.

Tabancalar yaklaşık olarak 50 parçadan oluşan mühendislik ürünleridir (URL-2). Namlu Şekil 1'de gösterildiği üzere, kapak ve gövde ile tabancaların ana bileşenlerinden birisidir. Hazne, boru ve ağız kısmından oluşan namlu, Şekil 2'de ifade edildiği gibi boru kısmında içerdiği yiv ve setlerle merminin isabetli bir şekilde hedefe ulaşmasını sağlamaktadır. Namlular, kullanım esnasında tekrarlı olarak ısı, kimyasal ve mekanik etkilere maruz kalarak hasara uğrarlar. Namluların progresif olarak hasara uğraması atış menzili, atış dağılımı gibi özellikleri olumsuz etkilemekte ve namlu ömrünü azaltmaktadır (Lawton, 2001). Namluların ömrünün uzatılması, atış menzili ve atış dağılımı gibi özelliklerinin korunması, uygun kaplamalar, termokimyasal ve ısı işlemler ile gerçekleştirilebileceği gibi; uygun malzeme seçimi ile de sağlanabilmektedir (Mao ve ark., 2022).

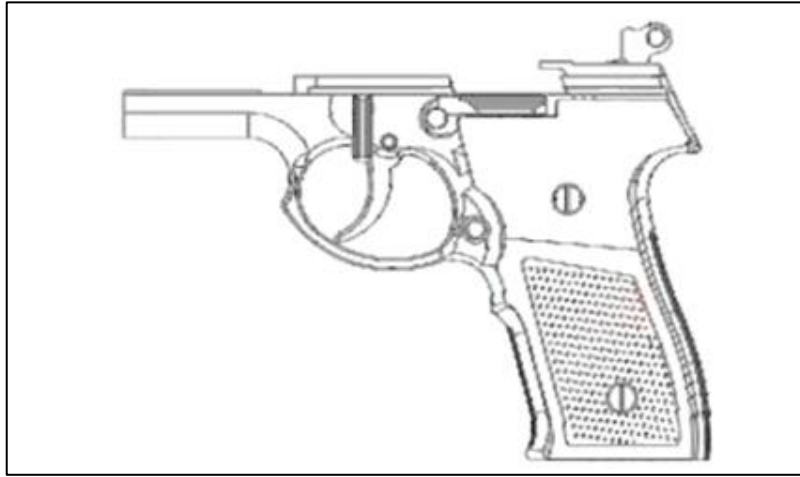
Namlular tabanca sistemlerinde birtakım fonksiyonları yerine getirmek amacıyla tasarlanmaktadır. Namlu tasarımında merminin ağızdan çıkış hızı, minimum geri tepme, ateşleme sonrası namlunun efektif bir şekilde soğuması gibi amaçlar bulunmaktadır (Das ve ark., 2021). Aynı zamanda namluların arzu edilen şekilde görevlerini icra edebilmeleri için kimyasal dirence sahip, yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilen, kullanımda meydana gelen ısı ve mekanik şok yüklere dayanacak biçimde tok veya sünek, yüksek hızda hareket eden mermilere karşı yüksek aşınma dayanımına sahip olmalıdır. Üretildikleri malzemelerin birtakım özelliklere sahip olması gerekmektedir (Marshall ve Wagner, 1968).



Şekil 1.a. Kapak



Şekil 1.b. Namlu



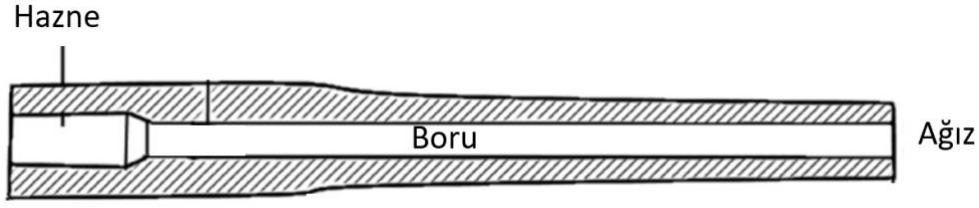
Şekil 1.c. Gövde

Şekil 1. Tabancaların ana bileşenleri; (a) kapak, (b) namlu, (c) gövde (URL-2).

Tabanca namluları genellikle %1.5-3 civarında Cr, Ni, Mo ve V içeren düşük alaşımlı çeliklerden üretilir. Bu malzemeler uygun su verme ve meneviş işlemleri ile temperlenmiş martenzit mikroyapısında kullanılırlar. Bu sayede 1000 MPa seviyesinde akma dayanımı ve -40° C'de 50 Joule'e varan darbe dayanımına sahip olurlar. Namlu malzemesinde Ni içeriği martenzit oluşumunu kolaylaştırırken Cr, Mo ve V karbür yapıcı rolünü üstlenir (Doig, 1998). 1.7225 ve 1.7765 çelikleri namluların üretiminde yaygın olarak kullanılan düşük alaşımlı çeliklerdir. 1.4005 uygun ısıl işlem reçetesi ile martenzitik mikroyapıya sahip olabildiğinden paslanmaz çelik grubunda tercih edilen namlu malzemesidir (Kolbe, 2010). 1.2344 sıcak iş takım çeliği de namlu malzemesi olarak kullanılmış ve beklentileri karşılamıştır (Ablay Rutci, 2019).

Namluların üretiminde demir dışı alaşımlar, seramik malzemeler ve kompozit malzemeler de önerilmiştir (Swab ve ark., 2005; de Rosset ve Montgomery, 2014; Pyka ve ark., 2019). Ancak bahsi geçen malzemeler istenilen özelliklere sahip olsa dahi malzemeye erişim ve maliyet gibi kriterler dolayısıyla endüstriyel anlamda yaygın olarak kullanıma ulaşamamışlardır. Çelik malzemeler üstün mekanik özellikleri, ulaşılabilirlikleri, üretilebilirlikleri ve düşük maliyetleri sebebiyle namlu

üretiminde en çok kullanılan malzemelerdir. Dolayısıyla çalışmada namlu üretimi için en uygun çeliğin belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 2. Namlu ve bölgeleri (Das ve ark., 2021).

Bu noktada bir karar verme mekanizması oluşturulması gerekmektedir. Çünkü karar verilecek olan malzeme veya parça, üretime esas teşkil eden malzeme grubu için önemli bir aşama içermektedir. Bunlarla birlikte bu karar sürecini oluşturan çok kriterli kararlarını yöntemleri kullanıcılara ve üreticilere karar noktasında önemli katkılar sağlamaktadır. Bu sebeple savunma sanayi alanında kullanılan malzemeler ile çok kriterli karar verme yöntemlerini birleştiren çalışmalar literatürde yer almaktadır. Savaş gemisi tasarımında kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP yönteminin kullanıldığı bu çalışmada LCS sınıfı savaş gemisi tipi seçilmiştir. Çalışmada tasarım kriterlerinin tartışıldığı ve grup karar verme metodolojisi kullanılarak kriter ağırlıklarını hesaplamada 3 ayrı ortalama yöntemi kullanılarak kriter önem derecelerinin belirlenmesine yönelmiştir (Ata ve Sennaroğlu, 2008).

Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı bu çalışmada bulanık değerlendirmeler ile karakterize edilen silah sistemlerini sıralama ve değerlendirme amaçlanmıştır. Yamuk bulanık AHP ile bulanık integral yöntemlerinin kullanıldığı bu araştırma çalışmasında yamuk bulanık sayılar ile kriter performansları sıralanmıştır. Bununla birlikte en iyi savaş tankını değerlendiren bir örnek çalışma eklenmiştir. Çalışma sonuçlarının bu metodun etkinliğini ve mühendislik uygulamalarında kullanılabilirliğini gösterdiği görülmektedir (Zhang ve ark., 2005). Üçgensel bulanık sayılar ile oluşturulan dilsel değerlerin belirsizliği kaldırdığı bulanık ortamda oluşturulan optimal silah seçimi için oluşturulan bu çalışmada AHP yöntemi ile silah seçim probleminin yapısı analiz edilerek kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Bulanık TOPSIS metodu ile alternatiflerin son sıralaması oluşturularak bir yaklaşım elde edilmiştir. Gerçek bir hayat uygulamasının yürütüldüğü bu çalışmada uygulamanın, amaçlanan model kapsamında etkinliği ve fizibilitesi gösterilmiştir (Dağdeviren ve ark., 2009). VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinin uygulandığı bu çalışmada en uygun silah sistemleri seçimi için karar verme süreci yürütülmüştür. Uzman fikirlerinden yararlanılan çalışmada tutarlılık analizleri ile çalışma pekiştirilmiş ve bir vaka çalışması ile amaçlanan yaklaşımın verimlilik ve kullanılabilirliği ispatlanmıştır (Zhang ve ark., 2016). Pisagor bulanık AHP ile bulanık VIKOR yöntemlerinin uygulandığı çalışmada AHP yöntemi ile risk

parametrelerinin ağırlıkları belirlenmiş, VIKOR metodu ile tehlikelerin önceliklendirilmesi sağlanmıştır. Silah ve tüfek namlusu dış yüzeyi oksidasyon ve renklendirme ünitesi örneği ile oluşan çalışmada amaçlanan yaklaşım ile geçerlilik ve uygulanabilirlik sağlanmıştır. Amaçlanan yaklaşım ve sezgisel bulanık setler yaklaşımları ile karşılaştırmalar yapılmıştır (Gül, 2020). Literatürde anlaşıldığı üzere çalışmamızın literatüre sahada önemli bir katkı sunduğu görülmektedir. Namlu malzeme seçimini esas alan bu çalışma, çok kriterli karar yöntemi olan Topsis yöntemini, sezgisel bulanık sayılar ile temellendirerek oluşan belirsizlik ortamında karar vericilere etkinlik kazandırması amaçlanmaktadır. Namlu malzemeleri günümüz şartlarında spesifik bir malzeme grubu olmakla birlikte savunma sanayinde önemli bir alan oluşturmaktadır. Bu amaçla namlu malzeme seçimini Sezgisel bulanık Topsis yöntemi ile ele alan bu araştırma makalesi alanında özgün ve yaygın bir etki oluşturması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada ana tabanca parçalarından birisi olan namluların üretiminde kullanılacak en uygun çelik malzeme seçimi esas alınmıştır. Bu çalışmada kullanılmak üzere 5 çelik grubu ve 4 kriter seçilmiştir. Çeliklerin seçiminde tabanca üreticilerinin genel namlu üretiminde kullandığı malzemeler kullanılmıştır. Kriter seçiminde malzemelerin ayırt edici özelliklerinin kullanılması baz alınmıştır. Alternatif namlu malzemeleri olarak C45, X40CrMoV5-1, X12CrS13, 42CrMo4, 32CrMoV12-10 tercih edilmiştir. Kriterler ise, akma dayanımı, sertlik, darbe dayanımı ve maliyet seçilmiştir. 3 farklı uzman görüşü baz alınarak kriter ve alternatif değerlendirmeleri yapılmış ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Sezgisel Bulanık Topsis yöntemi uygulanarak alternatifler arasında sıralama oluşturulmuştur. Bu anlamda sektörde bulunan silah ve namlu üreticilerinin tercihlerinde kolaylık sağlaması ve efektif bir yol izlemeleri amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu kısımda sezgisel bulanık küme hakkında açıklamalar yapıldıktan sonra karar verme metodolojisini grup halinde entegre etmeye imkân sağlayan Sezgisel Bulanık Topsis yöntemi hakkında açıklamalarda bulunulacaktır.

2.1. Sezgisel Bulanık Küme

Karar vericiler veya uzmanlar çok kriterli karar verme yöntemlerinde kriter ve alternatifleri değerlendirmek için nicel ve nitel yöntemler kullanılmaktadırlar. Karar vericiler veya uzmanlar kendi profesyonel tecrübelerine dayanarak değerlendirmeleri yaparlar. Ancak karar problemlerinin karmaşıkları ve insan yargılarının belirsizliği sebebiyle bazen bilgileri değerlendirirken problemler ortaya çıkmaktadır. Sezgisel bulanık küme bu belirsizliği ve karmaşıklığı daha belirgin bir forma

dönüştürmek için kullanılan önemli bir araçtır. Mevcut problemleri değerlendirirken karar vericiler kararı proseslerinde sık sık belirsizliğe düşerler. Bu noktada geleneksel bulanık kümeler yetersiz kalmaktadır. Atanassov tarafından geliştirilen sezgisel bulanık set bu zorlukları aşmak için uygun bir yöntem adımlarını oluşturmaktadır (Atanassov, 1986). Sezgisel bulanık küme belirsizliklerle ilgili karar problemlerinin çoğunda uygulanmakta ve önemli nicel sonuçlar ortaya koymaktadır.

Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık küme teorisine göre küme elemanları 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerine göre değerlendirilir (Zadeh, 1965). Üye olmama derecesi ile üye olma derecesi toplamı 1'e eşittir. Ancak bazı uygulamalarda üye olma derecesi ile üye olmama derecesi toplamı birden az olabilir. Bu sebeple, Atanassov sezgisel bulanık küme teorisini geliştirmiştir. Sezgisel bulanık küme teorisinde üye derecesi, üye olmama derecesi ve belirsizlik derecesi bulunmaktadır ve bu üçünün toplamı 1'e eşittir.

Sonlu elemanlara sahip olan bir X kümesinde A sezgisel bulanık kümesi Eşitlik 1'de ifade edildiği gibidir.

$$A = \{x, \mu_A(x), \nu_A(x) \mid x \in X\} \quad (1)$$

$\mu_A(x)$, x elemanının A kümesine üye olma derecesini ifade ederken, $\nu_A(x)$, x elemanının A kümesine üye olmama derecesini ifade etmektedir. Bu tanımlamalara göre Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'e bakıldığında üye olma ve üye olmama dereceleri toplamı 1'den az olmakta ve sezgisel setin imkân verdiği $\pi_A(x)$ ile gösterilen belirsizlik derecesi ile bu toplam 1'e eşitlenmektedir.

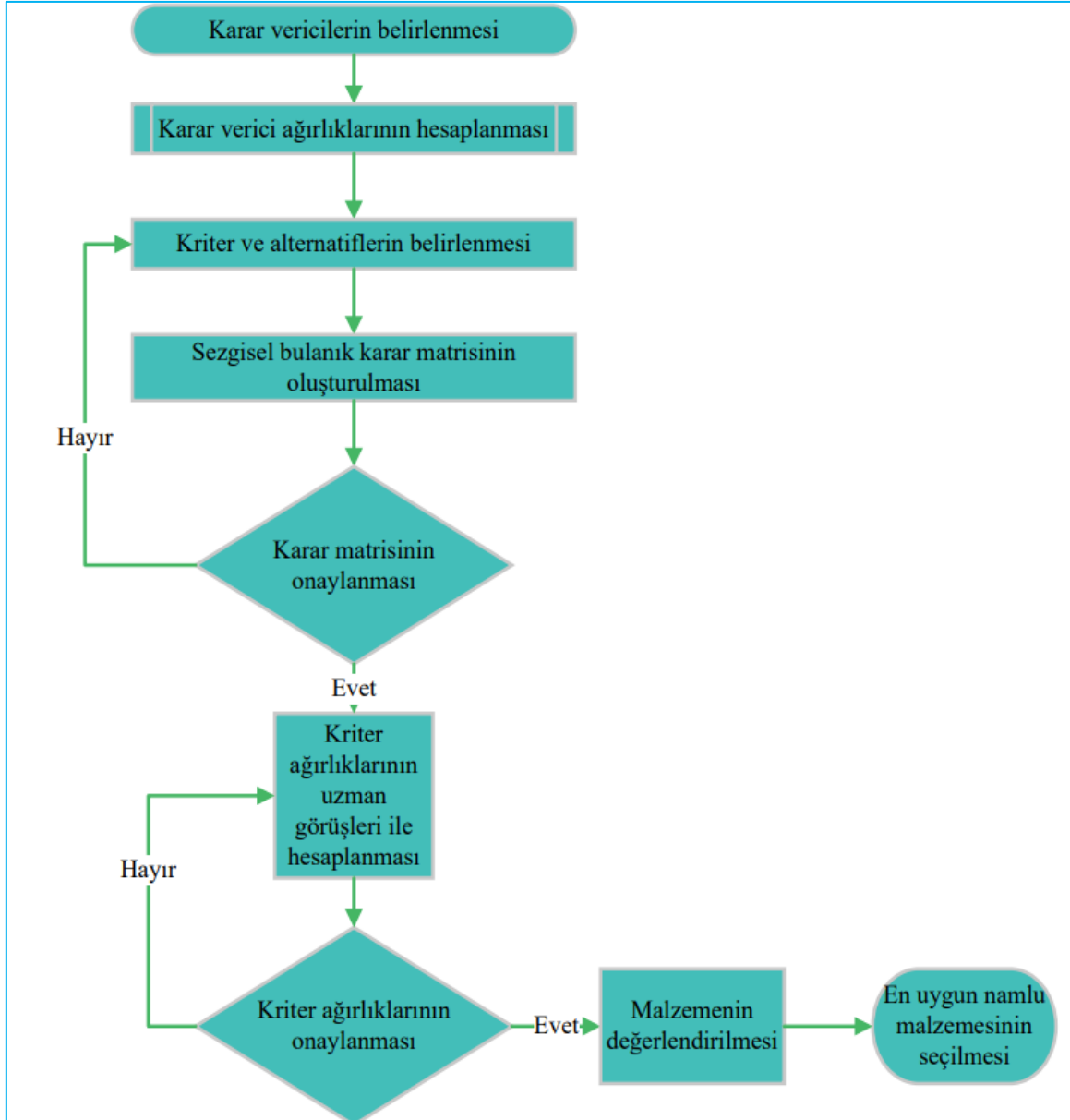
$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (2)$$

$$\pi_A(x) + \mu_A(x) + \nu_A(x) = 1 \quad (3)$$

2.2. Sezgisel Bulanık Topsis

Sezgisel Bulanık Topsis yöntemi, uygulanan klasik Topsis metodundan farklı olarak sezgisel bulanık setlerin kullanılarak işlem adımlarına daha esnek ve hassas çözümler üreten bir sıralama tekniğidir. Sezgisel Bulanık Topsis yönteminde alternatif setleri $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ şeklinde ifade edilirken, kriter setleri $K = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ ifade edilmektedir. Kriter ve alternatifler değerlendirmeye tabi tutulurken uzman görüşlerine başvurulmaktadır. Uzmanların her biri kendi tecrübe ve çalışma koşullarına göre farklı ağırlıklandırılırken, ayrı bir önem derecesine sahiptirler. Uzman ağırlıkları ise $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ formunda gösterilmekte olup $\lambda_k \geq 0$ şartını sağlayarak $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$ olarak literatürde kullanılmaktadır.

$R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ k. uzman için karar algoritmasını ifade ederken $r_{ij}^k = (\mu_{ij}^k, \nu_{ij}^k, \pi_{ij}^k)$, k. uzmanlardan elde edilen bilgiye göre i. alternatifin j. kriterden alınan sezgisel bulanık değeri şematize etmektedir. μ_{ij}^k k. uzman açısından i. alternatifin j. kriterine aidiyet derecesini, ν_{ij}^k k. uzmana göre i. alternatifin j. kriterine üye olmama derecesini, π_{ij}^k ise k. uzmana göre i. alternatifin j. kriterine ait belirsizlik derecesini ifade etmektedir. Bahsi geçen sezgisel bulanık setleri kategorize edildikten sonra Sezgisel Bulanık TOPSIS yaklaşımının temel adımları tanıtılarak Bulgular bölümüne geçilecektir.



Şekil 3. Karar diyagramı

2.2.1. Sezgisel Bulanık Topsis Adımları

Aşama 1

Karar verici ağırlıklarının belirlenmesi: Karar grubu belirli sayıda karar vericilerden oluşmaktadır. Karar vericilerin birbirleriyle olan ilişkisi sezgisel bulanık sayıları içeren linguistik değerlerle gösterilmektedir. Bu kısımda k. karar vericiyi oranlamak için $D_k = (\mu_k, \nu_k, \pi_k)$ sezgisel bulanık gösterimi kullanılmaktadır. Karar vericilerin ağırlıkları eşitlik 4 ile hesaplanmaktadır.

$$\lambda_k = \frac{\left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}\right)\right)}{\sum_{k=1}^l \mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}\right)} \text{ ve } \sum_{k=1}^l \lambda_k \quad (4)$$

Aşama 2

Karar verici görüşlerine göre kümelenmiş sezgisel bulanık karar matrisi oluşturulması: Sezgisel bulanık karar matrisi oluşturmak için grup kararı süreci gerekmektedir. Bütün bu seçimler bir grup fikrini kombine etmelidir. Bu amaçla farklı karar vericilerin belirttikleri dilsel değişkenler Eşitlik 5'te tarif edilen IFWA (Intuitionistic fuzzy weighted average) operatörü ile tek tablosal bir hale dönüştürülür.

$$\begin{aligned} r_{ij} &= IFWA_{\lambda} = \left(r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(l)}\right) = r_{ij}^{(1)} \lambda_1 \oplus r_{ij}^{(2)} \lambda_2 \oplus \dots \oplus r_{ij}^{(l)} \lambda_l \\ &= \left[1 - \prod_{k=1}^l \left(1 - \mu_{ij}^{(k)}\right)^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l \left(\nu_{ij}^{(k)}\right)^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l \left(1 - \mu_{ij}^{(k)}\right)^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l \left(\nu_{ij}^{(k)}\right)^{\lambda_k}\right] \end{aligned} \quad (5)$$

Bu işlem adımları sonucunda Eşitlik 6'da gösterildiği üzere R ile ifade edilen kombine edilmiş karar matrisi elde edilmektedir.

$$R = \begin{bmatrix} (\mu_{11}, \nu_{11}, \pi_{11}) & \cdots & (\mu_{1n}, \nu_{1n}, \pi_{1n}) \\ (\mu_{21}, \nu_{21}, \pi_{21}) & \ddots & \vdots \\ \vdots & \cdots & (\mu_{mn}, \nu_{mn}, \pi_{mn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Aşama 3

Kriter ağırlıklarının belirlenmesi: Çok kriterli karar verme yöntemlerinde kullanılan problem kriterleri her zaman eşit öneme sahip olamamaktadır. Kriter ağırlıklarını elde etmek için her bir

kriterin önemine göre karar vericilerin fikirleri birleştirilmektedir. Karar vericiler tarafından kriter ağırlıkları değerlendirilirken $W_j^{(k)} = [\mu_j^{(k)}, v_j^{(k)}, \pi_j^{(k)}]$ gösterimi kullanılmaktadır. Yapılan değerlendirmeler IFWA operatörü birleştirilerek bütünsel hale getirilmektedir.

$$w_j = IFWA_{\lambda} = (w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, \dots, w_j^{(l)}) = w_j^{(1)}\lambda_1 \oplus w_j^{(2)}\lambda_2 \oplus \dots \oplus w_j^{(l)}\lambda_l$$

$$= \left[1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (7)$$

Sezgisel bulanık sayılar incelendiğinde $w_j^{(k)} = (\mu_j^{(k)}, v_j^{(k)}, \pi_j^{(k)})$ göstergesinin verilen dilsel değişkenler çerçevesinde belirlenen alanında uzmanlardan k. uzmanın j. kriter için yaptığı değerlendirmeyi tanımlamaktadır.

Aşama 4

Ağırlıklı kombine karar matrisinin oluşturulması: R matrisi ile kriter ağırlıklarının çarpımı sonucunda elde edilmektedir.

$$R' = R \otimes W = (\mu'_{ij}, v'_{ij}) = \{(x, \mu_{ij} \cdot \mu_j, v_{ij} + v_j - v_{ij} - v_j) | x \in X\} \quad (8)$$

$$\pi'_{ij} = 1 - -v_{ij} - v_j - \mu_{ij} \cdot \mu_j + v_{ij} \cdot v_j \quad (9)$$

$r'_{ij} = (\mu'_{ij}, v'_{ij}, \pi'_{ij})$ ise ağırlıklı kombine matris değerlerinin gösterimini belirtmektedir.

$$R' = \begin{bmatrix} (\mu'_{11}, v'_{11}, \pi'_{11}) & \dots & (\mu'_{1n}, v'_{1n}, \pi'_{1n}) \\ (\mu'_{21}, v'_{21}, \pi'_{21}) & \ddots & \vdots \\ \vdots & \dots & (\mu'_{mn}, v'_{mn}, \pi'_{mn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r'_{11} & \dots & r'_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r'_{m1} & \dots & r'_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Aşama 5:

Sezgisel bulanık pozitif ideal çözüm ve sezgisel bulanık negatif ideal çözümün tanımlanması: J_1 maliyet kriterini belirtirken J_2 ise fayda kriterini göstermektedir. A^* pozitif ideal sezgisel bulanık çözüm, A^- ise negatif ideal sezgisel bulanık çözüm kümeleri altta gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$A^* = (\mu'_{A^*j}, v'_{A^*j}) \text{ ve } A^- = (\mu'_{A^-j}, v'_{A^-j}) \quad (11)$$

$$\mu'_{A^*j} = \left(\left(\underbrace{\max}_i \mu'_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\underbrace{\min}_i \mu'_{ij} \mid j \in J_2 \right) \right) \quad (12)$$

$$v'_{A^*j} = \left(\left(\underbrace{\min}_i v'_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\underbrace{\max}_i v'_{ij} \mid j \in J_2 \right) \right) \quad (13)$$

$$\mu'_{A^-j} = \left(\left(\underbrace{\min}_i \mu'_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\underbrace{\max}_i \mu'_{ij} \mid j \in J_2 \right) \right) \quad (14)$$

$$v'_{A^-j} = \left(\left(\underbrace{\max}_i v'_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\underbrace{\min}_i v'_{ij} \mid j \in J_2 \right) \right) \quad (15)$$

Aşama 6:

İdeal uzaklıkların hesaplanması: Sezgisel bulanık pozitif ve ideal çözümler elde edildikten sonra her bir alternatifin ideal çözümleri arasında Öklid uzaklığı kullanılarak uzaklıklar hesaplanmaktadır. S_i^+ , sezgisel bulanık pozitif ideal çözüm, S_i^- ise sezgisel bulanık negatif ideal çözümü göstermektedir.

$$S_i^+ = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \left[(\mu'_{ij} - \mu'_{A^*j})^2 + (v'_{ij} - v'_{A^*j})^2 + (\pi'_{ij} - \pi'_{A^*j})^2 \right]} \quad i = (1, 2, \dots, n) \quad (16)$$

$$S_i^- = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \left[(\mu'_{ij} - \mu'_{A^-j})^2 + (v'_{ij} - v'_{A^-j})^2 + (\pi'_{ij} - \pi'_{A^-j})^2 \right]} \quad i = (1, 2, \dots, n) \quad (17)$$

Aşama 7:

Yakınlık katsayısının hesaplanması: Her bir alternatife göre belirlenen sezgisel bulanık pozitif ve negatif ideal uzaklıklar değerlendirilerek yakınlık katsayıları hesaplanmaktadır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n) \quad (18)$$

Aşama 8:

Alternatiflerin sıralanması: Yakınlık katsayıları hesaplandıktan sonra alternatifler sıralamaya tabi tutulmaktadır. Yakınlık katsayısı en yüksek olan alternatif en iyi alternatif olarak belirlenmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Silah üreticilerine namlu malzeme seçimi konusunda kolaylık sağlaması amaçlanan bu çalışmada 5 farklı çelik grubu (A1;C45, A2;X40CrMoV5-1, A3;X12CrS13, A4;42CrMo4, A5;32CrMoV12-10) ve 4 adet kriter (akma dayanımı, sertlik, darbe dayanımı, maliyet) belirlenmiştir. Bu seçenekler ışığında bir karar verme algoritması oluşturulmuştur.

Akma dayanımı, sertlik ve darbe dayanımı kriterleri fayda maliyeti olmakla birlikte; maliyet kriteri maliyet kriteridir. Birden çok kriter ve alternatif barındıran bu problemin çözümünde ortada belirsiz bir durum bulunduğundan bulanık yöntem tercih edilmiştir. Topsis bu noktada problemlerin çözümünde kolaylık ve önemli çözümler üretmesi ile işlem adımlarının etkin ve verimli izlenebilirliği bakımından kullanılmıştır. Sezgisel Bulanık Topsis yöntemi belirsiz ortamlarda dilsel ifadeler yardımıyla problemlere nicel ve nitel anlamda önemli katkılar sunarken, aralarında uyumsuzluk oluşan uzman fikirleri noktasında bütünleşik bir yol takip ederek bizlere kolaylıklar sağlamaktadır. Bu sebeple oluşturulan bu değerler çerçevesinde 3 ayrı uzman görüşü alınarak Sezgisel Bulanık Topsis yöntemi uygulanmıştır.

Seçilen kriterleri uzmanlar değerlendirirken kullandıkları dilsel değişkenler Tablo 1’de gösterilmiştir. Her bir dilsel değişken karşısında bulunan bulanık sayı ile ifade edilmektedir. Dilsel değişkenler 5 ayrı kategoride olup “çok önemsiz ile çok önemli” değişkenleri arasında farklılık göstermektedir. Değişken değerleri her biri için üye olma ve üye olmama derecesini içermektedir.

Tablo 1. Kriterler için belirlenen dilsel ifadeler

Dilsel ifadeler	Sezgisel bulanık sayılar (SBS)
Çok önemli	(0.900 ; 0.100)
Önemli	(0.750 ; 0.200)
Orta	(0.500 ; 0.450)
Önemsiz	(0.350 ; 0.600)
Çok önemsiz	(0.100 ; 0.900)

Sezgisel bulanık yönteminde uygulanan bir diğer farklı aşama ise, karar verici ağırlıklarının hesaplanmasıdır. Karar verici ağırlıklarının hesaplanması; uzmanların tecrübe, bilgi birikimi ve çalışma süresi baz alınarak Eşitlik 4’te gösterildiği gibi oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. KV 1 öğretim üyesi, KV 2 ile KV 3 özel bir firmada malzeme alanında yetkili mühendislerdir. Karar verici ağırlıkları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Karar verici ağırlıkları

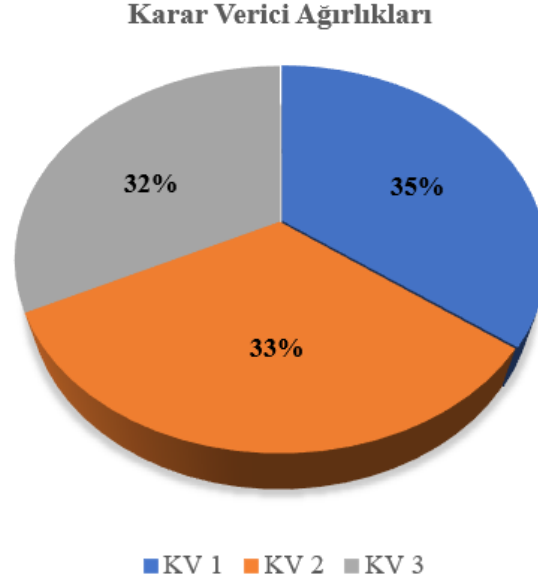
Karar verici 1 (KV 1)	Karar verici 2 (KV 2)	Karar verici 3 (KV 3)
Çok önemli 0.353	Önemli 0.324	Önemli 0.324

Karar verici ağırlıkları hesaplandıktan sonra karar vericilerin her bir alternatif çelik grubu bazında tüm kriterlerin önem derecesine göre dilsel ifadeler ile gösterimi bulunmaktadır. Tablo 3’te gösterilen dilsel değişkenler, karar vericilerin her bir namlu malzemesi için kriterlerin ne denli öneme sahip olduğunu içeren linguistik değerlendirmeleri belirtmektedir. Tablo 3, “kesinlikle iyi (Kİ), çok iyi (Çİ)” gibi değişkenler içermekte ve esnek bir değerlendirme süreci oluşturmaktadır.

Tablo 3. Karar vericilerin alternatif değerlendirmeleri için kullandıkları dilsel ifade karşılıkları

Dilsel ifadeler	Sezgisel bulanık sayılar (SBS)
Kesinlikle iyi (Kİ)	(1.000 ; 0.000 ; 0.000)
Çok çok iyi (ÇÇİ)	(0.900 ; 0.100 ; 0.000)
Çok iyi (Çİ)	(0.800 ; 0.100 ; 0.100)
İyi (İ)	(0.700 ; 0.200 ; 0.100)
Orta iyi (Oİ)	(0.600 ; 0.300 ; 0.100)
Orta (O)	(0.500 ; 0.400 ; 0.100)
Orta kötü (OÖ)	(0.400 ; 0.500 ; 0.100)
Kötü (K)	(0.250 ; 0.600 ; 0.150)
Çok kötü (ÇK)	(0.100 ; 0.750 ; 0.150)
Çok çok kötü (ÇÇK)	(0.100 ; 0.900 ; 0.000)

Her bir uzman değerlendirmesini bitirdikten sonra 3 ayrı uzman fikirleri tek bir çerçevede Tablo 4’te gösterilmiştir. Sonrasında Eşitlik 5 kullanılarak IFWA operatörü ile tüm değerlendirmeler bulanık gösterimler ile birlikte birleştirilmiş karar matrisi olarak Tablo 5’te ifade edilmiştir.



Şekil 4. Karar verici ağırlıkları

Tablo 4. Uzmanların her bir alternatife göre kriterler için oluşturduğu dilsel değerlendirmeler

Karar vericiler	Alternatifler	Kriterler			
		K1	K2	K3	K4
KV 1	A1	Oİ	O	O	Çİ
	A2	İ	Kİ	OK	O
	A3	Çİ	İ	O	O
	A4	İ	Çİ	Çİ	İ
	A5	ÇÇİ	Çİ	Kİ	Oİ
KV 2	A1	O	O	O	Çİ
	A2	OK	Oİ	O	O
	A3	Çİ	Çİ	O	İ
	A4	İ	İ	Çİ	Çİ
	A5	Çİ	ÇÇİ	Kİ	Oİ
KV 3	A1	Oİ	O	O	Çİ
	A2	OK	İ	İ	İ
	A3	ÇÇİ	Çİ	İ	İ
	A4	İ	O	İ	ÇÇİ
	A5	Çİ	ÇÇİ	Kİ	İ

Tablo 5. Birleştirilmiş karar matrisi

	K1			K2			K3			K4		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
A1	0,570	0,329	0,100	0,500	0,400	0,100	0,500	0,400	0,100	0,800	0,100	0,100
A2	0,530	0,361	0,107	1,000	0,000	0,000	0,548	0,345	0,106	0,576	0,319	0,104
A3	0,840	0,100	0,059	0,769	0,127	0,103	0,576	0,319	0,104	0,640	0,255	0,103
A4	0,700	0,200	0,100	0,693	0,195	0,110	0,771	0,125	0,102	0,815	0,127	0,056
A5	0,843	0,100	0,056	0,872	0,100	0,027	1,000	0,000	0,000	0,635	0,263	0,101

Birleştirilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra uzmanlar, Tablo 6’da gösterildiği üzere kriterler bazında linguistik değerlendirmelerini tamamlamışlardır. Her bir uzman birbirinden bağımsız bir şekilde değerlendirmelerini kategorize etmişlerdir.

Tablo 6. Uzmanların kriter değerlendirmeleri

Karar vericiler	Kriterler	Dilsel ifadeler
KV 1	K1	Önemli
	K2	Çok önemli
	K3	Önemli
	K4	Orta
KV 2	K1	Önemli
	K2	Çok önemli
	K3	Çok önemli
	K4	Orta
KV 3	K1	Önemli
	K2	Önemli
	K3	Çok önemli
	K4	Orta

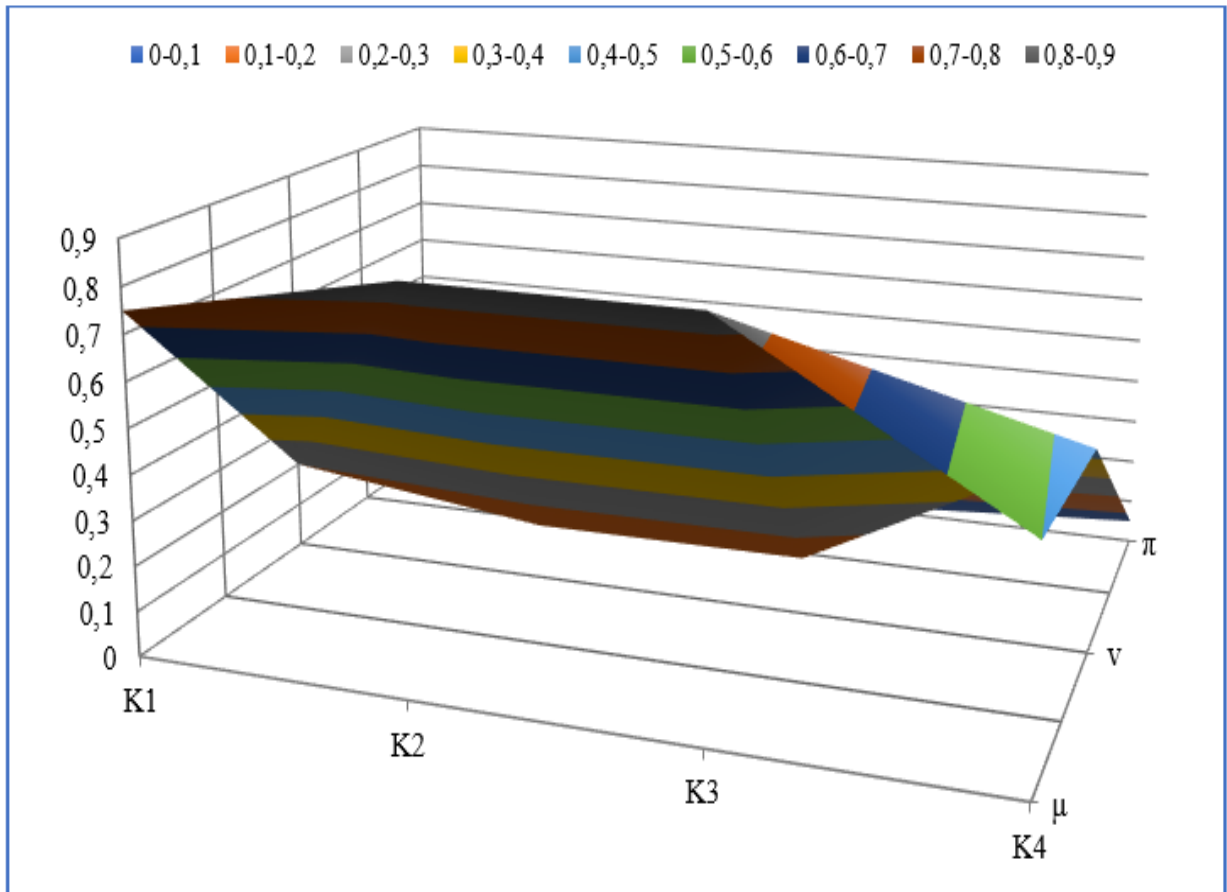
Tablo 7. Kriterler değerlerin bulanık karşılıkları

	KV 1			KV 2			KV 3		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
K1	0.750	0.200	0.050	0.750	0.200	0.050	0.750	0.200	0.050
K2	0.900	0.100	0.000	0.900	0.100	0.000	0.750	0.200	0.050
K3	0.750	0.200	0.050	0.900	0.100	0.000	0.900	0.100	0.000
K4	0.500	0.450	0.050	0.500	0.450	0.050	0.500	0.450	0.050

Kriter ağırlıkları IFWA operatörü kullanılarak Tablo 7 oluşturulmuştur. Bu sayede kriterler ağırlıklarına bütünleşik bir yapı kazandırılmıştır.

Tablo 8. Kriter ağırlıkları

Kriterler	μ	ν	π
K1	0.750	0.200	0.050
K2	0.865	0.125	0.009
K3	0.862	0.128	0.010
K4	0.500	0.450	0.050



Şekil 5. Kriter ağırlıkları

Kriter ağırlıklarının belirlenmesi aşamasından sonra birleştirilmiş karar matrisi Eşitlik 7 ve Eşitlik 8 ile çarpım operatörü kullanılarak Tablo 9 ile, ifade edilen ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisine dönüştürülmüştür.

Tablo 9. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi

	K1			K2			K3			K4		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
A1	0,427	0,463	0,109	0,432	0,475	0,092	0,430	0,476	0,092	0,400	0,505	0,095
A2	0,397	0,489	0,112	0,865	0,125	0,009	0,472	0,429	0,098	0,288	0,625	0,086
A3	0,630	0,280	0,089	0,665	0,236	0,097	0,496	0,406	0,096	0,320	0,590	0,089
A4	0,525	0,360	0,115	0,600	0,296	0,103	0,665	0,236	0,097	0,407	0,520	0,071
A5	0,632	0,280	0,087	0,754	0,212	0,032	0,861	0,127	0,010	0,317	0,594	0,087

Bütünleşik ağırlıklı karar verici matrisi oluşturulduktan sonra, uzman görüşü ile Tablo 10'da oluşturulan her bir alternatif için fayda ve maliyet kriterleri baz alınarak pozitif ve negatif ideal çözüm tablosu kategorize edilmiştir.

Tablo 10. Pozitif ve negatif ideal çözümler

	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
A*	0,632	0,280	0,087	0,865	0,125	0,009	0,861	0,127	0,010	0,288	0,625	0,086
A-	0,397	0,489	0,112	0,432	0,475	0,092	0,430	0,476	0,092	0,407	0,505	0,087

Oluşturulan pozitif ve negatif ideal çözümler ile her bir alternatif malzeme için pozitif ve negatif ideal uzaklıklar Eşitlik 16 ve Eşitlik 17 ile Öklid uzaklığı kullanılmıştır. Eşitlik 18 kullanılarak yakınlık katsayıları oluşturulmuştur.

Bu sayede namlu malzemeleri kıyaslandığında en önemli ve en uygun namlu malzemesinin A5 ve A4, en az uygun namlu malzemesinin A1 olduğu hesaplanmıştır. Silah üreticileri veya namlu malzeme satıcıları için 32CrMoV12-10 (1.7765) ve 42CrMo4 (1.7225) malzemeleri en uygun malzeme seçilmiştir.

Tablo 11. Alternatiflerin ideal uzaklıkları ve sıralama değerleri

Alternatifler	S*	S ⁻	CC	Sıralama
A1	0,495	0,197	0,285	5
A2	0,258	0,252	0,494	4
A3	0,242	0,274	0,531	3
A4	0,177	0,248	0,583	2
A5	0,059	0,450	0,885	1

4. Sonuçlar ve Öneriler

Hafif silahların ana parçalarını oluşturan kapak, gövde, namlu kısımları gerek üretim gerekse atış esnasında yapısında önemli değişimlere maruz kalan kısımlardır. Bu kısımlarda oluşan yapısal, fiziksel değişimler malzeme özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Malzeme özelliklerini olumsuz yönde etkileyen parametreleri en aza indirmek ve pozitif anlamda etkileyen parametreleri desteklemek anlamında malzeme seçimi konusu daha önemli bir hale gelmektedir. Bu noktada kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri çoklu kriter ve çoklu alternatif bulunduran bir karar verme mekanizmasında efektif bir çözüm safhası barındırarak karar vericilere kolaylık sağlamaktadır (Varol ve Kandemir, 2022). Çok kriterli karar verme yöntemleri uygulanırken son zamanlarda çoklukla kullanılan sayılar ise, bulanık sayılardır. Bulanık sayılar, karar vericilerde oluşan belirsizlik durumlarını daha açık ve anlaşılır bir duruma getirmekle birlikte kavramlar arasında oluşan “az, çok, biraz” gibi terimleri sayısal ve dilsel hale dönüştürerek tereddütleri ortadan kaldırmaya çalışmaktadır. Karar verme yöntemlerinden biri olan Topsis, kolay uygulanabilirliği ile birlikte daha etkin sonuçlar ortaya koymasıyla kullanıcılara etkili çözüm imkânı sunmaktadır.

Bu çalışmada namlu malzemesi seçimini belirginleştirmek ve belirsiz durumları netleştirmek adına Sezgisel Bulanık Topsis yöntemi kullanılmıştır. 5 adet namlu malzemesi, 4 kriter, 3 karar verici tercih edilmiştir. Namlu malzemeleri; A1 (C45), A2 (X40CrMoV5-1), A3 (X12CrS13), A4 (42CrMo4), A5 (32CrMoV12-10) olarak belirlenmiştir. Kriterler K1 (akma dayanımı), K2 (sertlik), K3 (darbe dayanımı) ve K4 (maliyet) kriterleridir. Karar vericiler ise öğretim üyesi ve namlu malzemesi üzerine çalışan iki uzman mühendistir. Önem ağırlıkları hesaplanan uzmanlar; kriterler ve alternatifler için ayrı ayrı değerlendirmelerde bulunmuş, tüm değerlendirmeler sezgisel bulanık sayılara dönüştürülmüş ve IFWA operatörü ile bütünleşik hale getirilmiştir. Uzman ağırlıkları 0.353, 0.324, 0.324 olarak hesaplanmıştır. Kriter ağırlıkları K1 (0.750, 0.200, 0.050), K2 (0.865, 0.125, 0.009), K3 (0.862, 0.128, 0.010), K4 (0.500, 0.450, 0.050) şeklindedir. Uygulanan Sezgisel Bulanık Topsis yöntemi ile en uygun namlu malzemesi sırayla 32CrMoV12-10 > 42CrMo4 > X40CrMoV5-

1 > X12CrS13 > C45 malzemeleridir. Yakınlık katsayıları 0.885 > 0.583 > 0.531 > 0.494 > 0.285 şeklindedir.

Bu anlamda uygulanan çalışma, kriterler ve alternatifler genişletilerek küresel ve kübik sayılar ile Dematel, Copras, Aras yöntemleri ile daha etkin çözümler ortaya konarak duyarlılık analizleri ile incelemeler yapılabilir. Uzman sayısı artırılarak kriter değerlendirmeleri detaylandırılabilir. Bu çalışmanın silah üretici firmalara, namlu malzemesi tedarikçilerine karar noktasında ışık tutması amaçlanmaktadır. Bu hedefle çok kriterli karar verme yöntemlerinin sahada kullanılmasının önemi tekrar ortaya çıkmaktadır.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Teşekkür

Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için vermiş oldukları katkılar adına Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Yükseköğretim Kurumu (YÖK), 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 bu proje, Tübitak 2244 Sanayi Doktora Programı kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu ve TİSAŞ tarafından desteklenmektedir. Ayrıca bu çalışma YÖK 100/2000 Doktora Burs Programı kapsamında YÖK tarafından desteklenmektedir.

Kaynaklar

- Ablay Rutci, T., (2019). *Hafif silahlarda kullanılan namlu malzemesinin geliştirilmesi ve işleme parametrelerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ata, A., ve Sennaroğlu, B., (2008). Savaş gemisi tasarımındaki kriter katsayı ağırlıklarının saptanmasında çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanımı. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 4(1), 1-16.
- Atanassov, K.T., (1986). "Intuitionistic Fuzzy Sets." *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87-96.
- Bilgili, F., Zaralı, F., İlgün, M., F., Dumrul, C., ve Dumrul, Y., (2022). The evaluation of renewable energy alternatives for sustainable development in Turkey using intuitionistic fuzzy-TOPSIS method. *Renewable Energy*, 189, 1443-1458.
- Burnaz, E., ve Es, H. A. (2021). Trabzon ilçelerinin cittaslow kriterleri açısından sezgisel bulanık topsis yöntemi ile değerlendirilmesi. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (39), 330-363.

- Dağdeviren, M., Yavuz, S., and Kılınc, N., (2009). Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, Volume 36, Issue 4, Pages 8143-8151.
- De Rosset, W.S., and Montgomery, J.S., (2014). Cobalt-base alloy gun barrel study. *Wear*, Volume 316, Issues 1–2, 2, Pages 119-123, ISSN 0043-1648, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2014.05.001>.
- Doig A. (1998). *Military metallurgy*. IOM Communications & Institute of Materials (London England).
- Kolbe, G., (2010) The Making of a Rifled Barrel, <http://www.geoffreykolbe.com/articles/bmart.htm> adresinden 27 Kasım 2022 tarihinde alınmıştır.
- Kumar Das, P., Pratim Das, L., and Pratim Das, D. (2021). *Science and Engineering of Small Arms* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003199397>.
- Lawton, B. (2001). Thermo-chemical erosion in gun barrels. *Wear*, 251, 827-838.
- Mao, B., Zhao, Q., Bai, X., Wang, Z., Zhu, R., and Chen., C., (2022). Review and Prospect on Life Extension Technology for Gun Barrels. *Acta Armamentarii*, doi: 10.12382/bgxb.2021.0787.
- Marschall, C.W., and Wagner, H.J., (1968). *Materials for Small-Arms Gun Barrels*, Defense Metals Information Center, Battelle Memorial Institute, Ohio, USA.
- Muhammet Gül (2020) Application of Pythagorean fuzzy AHP and VIKOR methods in occupational health and safety risk assessment: the case of a gun and rifle barrel external surface oxidation and colouring unit. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 26:4, 705-718.
- Pyka, D., Bocian, M., Jamroziak, K., Kosobudzki, M., and Kulisiewicz, M., (2019). "Concept of a gun barrel based on the layer composite reinforced with continuous filament", *AIP Conference Proceedings* 2078, 020043.
- Swab. J.J., Wereszczak, A.A., Tice, J., Caspe, R., Kraft, R.H., and Adams, J.W., (2005). *Mechanical and Thermal Properties of Advanced Ceramics for Gun Barrel Applications*, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, USA.
- URL-1: <https://oec.world/en/profile/hs/handguns> (Erişim Tarihi: 27 Kasım 2022)
- URL-2: http://www.trabzonsilah.com/wp-content/uploads/kanuni16_S-M16.pdf (Erişim Tarihi: 27 Kasım 2022)
- URL-3:<http://www.interlloy.com.au/our-products/carbon-steels/1045-medium-tensile-carbon-steel-bar/> (Erişim Tarihi: 27 Kasım 2022)
- URL-4: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=84e679b95ef74471865e8543dadbf5> (Erişim Tarihi: 27 Kasım 2022)
- URL-5: <http://www.interlloy.com.au/our-products/stainless-steel/416-martensitic-stainless-steel-bar/> (Erişim Tarihi: 27 Kasım 2022)
- URL-6: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=b95a2480a43c41b887d9ae84b5f9c2fe> (Erişim Tarihi: 27 Kasım 2022)
- Varol, T., Kandemir, Y., (2022). Alüminyum Matrisli Kompozitler İçin En Uygun Takviye Malzemesinin AHP Yöntemi ile Seçimi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12 (2), 946-963.
- Zadeh, L.A. (1965). "Fuzzy sets". *Information and Control*, 8 (3), 338-353.
- Zhang, Chao & Ma, Cun-bao & Xu, Jia-dong. (2005). A New Fuzzy MCDM Method Based on Trapezoidal Fuzzy AHP and Hierarchical Fuzzy Integral. *Lecture Notes in Artificial Intelligence* (Subseries of Lecture Notes in Computer Science). 3614. 483-483.
- Zhang, X., Jiang, J., Ge B., ve Yang, K., (2016). "Group decision making for weapon systems selection with VIKOR based on consistency analysis," *Annual IEEE Systems Conference (SysCon)*, Orlando, FL, USA, 2016, 1-6.