

Nesij Ünal 

Gelişmiş Hava Aracı Konseptleri
Teknolojileri Merkezi
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
Ankara

Yahya Öz 

İleri Kompozit Malzemeler
Teknoloji Merkezi
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
Ankara

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 29.06.2022

Kabul: 16.01.2022

*Sorumlu Yazar: Yahya Öz

Email: yahya.oz@tai.com.tr

DOI: 10.56193/matim.1137833

Helikopter Ürün Konumlandırma ve AHP/TOPSIS Yöntemi

Bu çalışmada helikopter ürün konumlandırma için yenilikçi bir metod önerilmekle birlikte son kullanıcıdan müşteri kurum / kuruluşa kadar tüm katılımcıların çalışmaya dahil edilerek ve helikopterlerin sahip olduğu niteliklerin analiz edilmesi, niteliklerin önem sırasına göre ağırlıklandırılması, rakip ürünlerin niteliklerinin araştırılması ve ilgili bir ürünün pazardaki konumunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Genel maksat helikopterleri kullanım amaçlarına göre farklı gruplarda değerlendirilmekte olup ihtiyaç makamının önceliklerine göre pazarda teknik olarak en öne çıkan marka / modelin sistematik bir şekilde tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Bu işlemler gerçekleştirilirken Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) ve TOPSIS olarak bilinen ağırlıklandırma ve karar destek metodolojileri kullanılmış olup ürün niteliklerine ve ihtiyaçlara göre bir ürün önceliklendirme süreci geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AHP, Genel Maksat Helikopteri, Helikopter Ürün Konumlandırma, TOPSIS, Ürün Analizi

Atıf şekli/How to cite: Ünal N., Öz Y., Helikopter Ürün Konumlandırma ve AHP/TOPSIS Yöntemi. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2022; 20(2): 61-70.

GİRİŞ

Helikopter teknolojileri gün geçtikte gelişmekte olup artık ülkelerin envanterinde bulunan çok güçlü operasyonel bir hava aracına dönmüştür. Havada asılı kalma (hover) ve bir çok araziye iniş kalkış yapma özelliği ile operasyon sahasındaki etkinliği de sürekli artmaktadır [1].

Günümüzde farklı amaçlar için farklı döner kanat platformları geliştirilmektedir. Kara hedeflerini imha etmek için taarruz helikopteri, askeri nakliyat için transport helikopterleri, yaralı ve hasta taşınması için ambulans helikopterleri, yangınlara müdahale etmek için yangın söndürme helikopterleri gibi bir çok sınıfta helikopter geliştirilmiştir.

Her ihtiyaç için ayrı bir platform geliştirmek oldukça maliyetli bir yöntem olmakla birlikte artık günümüzde taarruz helikopteri dışındaki tüm ihtiyaçlar için revize edilebilir ve konfigüre edilebilir tek bir platform geliştirilmektedir [2,3]. Helikopterin kullanılacağı alana göre rekonfigüre edilebilir olan bu araçlar; motor, rotor ve transmisyon olarak ortak sistem kullanmakta olup helikopterin amacına göre diğer ek sistemleri seçilmekte ve araca yüklenmektedir. Helikopterin en maliyetli ve geliştirilmesi en zor olan bu kısmına “drive train”

denir ve ortak bir platform üzerinden geliştirilmesi hava aracı maliyetlerini oldukça düşürmektedir [4].

Bir çok amaca hizmet etmek üzere geliştirilen helikopter “Genel Maksat” helikopteri olarak adlandırılır. Türkiye’de iki adet genel maksat helikopteri geliştirilmesi projesi hali hazırda yürütülmektedir [5,6]. Genel maksat helikopterin kullanım amaçları ve varyantları aşağıdaki gibidir;

- **HEMS / MEDEVAC** (Health And Emergency Medical Services): Hava ambulansı amaçlı olarak kullanılan konfigürasyondur. Hem devlet kurumları hem de özel sektör HEMS işletmeciliği yapabilir. MEDEVAC, askeri ambulans konfigürasyonuna verilen isimdir.

- **SAR / CSAR** (Search And Rescue, Combat Search And Rescue): Arama kurtarma görevleri için oluşturulan konfigürasyondur. Dağ, deniz, kayalık, orman ve benzeri yapılardan tahliye amacıyla kullanıldığı gibi muharebe alanından askeri personel ya da sivillerin sevki için de kullanılabilir.

- **Firefighting**: Yangınla mücadele amacıyla oluşturulan konfigürasyondur. Çoğunlukla orman yangınlarında kullanılmakla birlikte tesis ya da bina yangınlarında da kullanılabilir.

• **Law Enforcement:** Emniyet amacıyla Polis ya da Jandarma'nın kullandığı helikopter varyantıdır. Sınır güvenliği, şehir üstü uçuş ve devriye, hava takip ya da eskort gibi görevler için kullanılır.

• **Offshore:** Deniz ötesi ticari operasyonlar için kullanılan konfigürasyondur. Çoğunlukla petrol, gaz ve rüzgâr enerjisi santrallerine personel ve malzeme ikmali için kullanılır.

• **VIP / Corporate / Airtaxi:** VIP taşımacılık, hava taksi işletmeciliği ya da turistik amaçlı kullanılan konfigürasyondur.

• **Navy:** Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'nın deniz altı / deniz üstü av, radar / sonar tarama ve istihbarat, havadan denize muharebe görevlerinde kullandığı ve gemiye iniş kalkış özelliği olan konfigürasyondur.

• **Maritime / Seapatrol / Costguard:** Sahil Güvenlik Komutanlığı'nın sınır güvenliği, deniz devriye ve arama / kurtarma operasyonları için kullandığı konfigürasyondur.

Genel maksat helikopterleri belirtildiği üzere sekiz ayrı amaç için üretilmektedir. Hibrit amaçlar için kullanılan genel maksat helikopteri konfigürasyonları da ayrıca mevcuttur. Hem SAR hem de HEMS amacıyla kullanılan UH-60 Black Hawk helikopteri en bilinen örneğidir.

Genel maksat helikopterleri farklı kullanım amaçları için farklı performanslar gösterebilir. Dolayısıyla kullanıcı makam için doğru marka ve modeli seçmek, çok girdili bir karar verme problemidir. Bu çoklu probleme; helikopterin son kullanıcısı olan pilotların, bakım ve işletme maliyetlerini karşılayan operatörün ve hava aracını geliştiren şirketin farklı girdileri olabilmektedir. Her birinin kendine göre farklı öncelikleri ve kısıtları bulunmakla birlikte karar mercinin bunları matematiksel bir modele dökmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri bu amaç için kullanılmıştır. AHP yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenerek, TOPSIS yöntemi ile helikopter modelleri matematiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu hibrit yöntem, literatürde oldukça fazla tercih edilen bir yöntem olmakla birlikte mevcut alternatiflerin fazla oluşu ve bu kriterlerin hiyerarşiler oluşturması ile karmaşıklaşan problemlerin ağırlıklandırma kısmında AHP, negatif ideal ve pozitif ideal çözüme olan uzaklıkları matematiksel olarak hesaplamada ise TOPSIS aktif olarak kullanılmaktadır [7]. Her iki yöntemin kombinasyonu iyi bir çözümdür zira bir yandan AHP kullanarak kriter ağırlıkları tanımlanır ve bir tutarlılık

indeksi kullanılır, diğer yandan TOPSIS yöntemi ile kriter değerleri ve optimizasyon türü belirlenir. Sonuç olarak, bu hibrit yöntem karar verirken öznelliği azaltır.

Bu çalışma, HEMS / MEDEVAC olarak isimlendirilen ambulans helikopteri varyantı için gerçekleştirilmiştir. İhtiyaç makamının, 5.000 – 7.000 kg MTOW (Maximum Take off Weight) kapasitesinde, yani orta sınıf helikopter sınıfına giren ambulans helikopterleri tedarik etmek istediği varsayılmıştır. İhtiyaca göre en uygun helikopteri seçmek için bu çalışma gerçekleştirilmektedir.

Bu örnek üstünde gösterilen sonuçlar, müşteri açısından ürün seçme algoritması sunmaktadır. Bu durum ise doğal olarak helikopterlerin özelliklerini etkilediğinden helikopter tasarımını, mekanik sistemlerin tasarımı ve analizini vb. birçok noktaya etki yaratmaktadır. Ayrıca, benzer çalışmalar farklı sektörler için de gerçekleştirilmiştir [8,9].

LİTERATÜR TARAMASI

Karar verme süreci genellikle birkaç alternatif arasında bir seçim yapmayı içerir. Karar vermedeki verimlilik, mümkün olduğunca en iyi sonuçları sunan alternatifini seçmekten ibarettir. Amaca ulaşmak için uygun alternatifler seçilen kriter ve niteliklere göre karşılaştırılır. Bu bağlamda çok kriterli karar analiz yöntemleri karar verme sürecini desteklemek için faydalıdır zira hem nicelik hem nitelik dikkate alırlar ve bu sayede çok disiplinli bir yaklaşım sunarlar [10].

AHP, literatürde bildirilen en fazla sayıda uygulamaya sahip en iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan karar verme araçlarından biri olarak kabul edilir [11]. Ayrıca askeri uçakların seçimi için kullanılmış bir metodolojidir [12].

TOPSIS ile ayrıca askeri hedeflerin tehdit sınıflandırmasını elde edilmiştir [13]. AHP ve TOPSIS metodolojilerinin bir kombinasyonunun benimsenmesi, değişkenlerin tanımlanmasını ve bilgilerin rasyonel bir analizini sağlar. Akademik literatür, AHP ve TOPSIS yöntemlerini birleştiren birçok uygulamayı içermektedir. Örneğin, askeri uçakların hava muharebesinin etkinliği [14], uçak [15] ve İnsansız Hava Araçları [16] seçimi için AHP ve TOPSIS teknikleri birleştirilmiştir.

Bu makalede sunulan modelleme, iki yöntemden oluşan hibrit modellemeye ek olarak, sonuçların normalizasyonunu içerir. Bu özellik, karar verme sürecine güvenlik, şeffaflık ve basitlik sağlayan bir duyarlılık analizine olanak tanır. Ayrıca, bu metodoloji literatürde ilk defa genel maksat helikopterleri için kullanılmaktadır.

METODOLOJİ

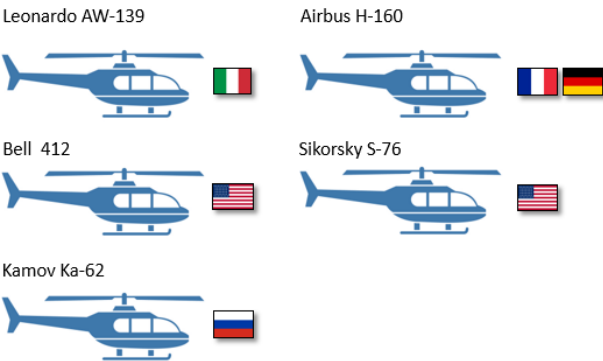
Segment ve Rakip Analizi

Öncelikle ihtiyaç makamının belirlediği MTOW aralığında bir araştırma yapılmış ve pazarın tüm modelleri belirlenmiştir.



Şekil 1. Firma-Ürün diyagramı

Şekil 1'deki diyagramda y eksen MTOW kapasitesini, x eksen ise genel maksat sınıfında üretim yapan üretici firmaları göstermektedir. Görüldüğü üzere bir markanın farklı ağırlıklarda birden fazla modeli bulunabilmektedir. Bunlar toplamında bir şirket için ürün gamını oluşturmaktadır. Problem tanımında 5.000 – 7.000 kg arası MTOW belirtildiği için bu sınıfa giren helikopterler çalışmaya tabi edilmiş, Şekil 1'deki diyagramda kırmızı çerçeve içerisinde gösterilmiştir. Bu aşamada ortaya çıkan ürün alternatifleri Airbus H160, Bell 412, AW139, AW159, Sikorsky S-76, Ka-52 ve T625 GÖKBAY şeklinde oluşmuştur (Şekil 2). Diyagramda kırmızı çerçeve içinde görünen diğer modeller, günümüzde artık üretimi olmayan eski model ürünlerdir. Bununla birlikte T625 Gökbe'ın henüz yayımlanmamış bilgileri bulunduğu için, bu çalışmaya dahil edilmemiştir.



Şekil 2. Hedef marka ve ürünler (temsili görsellerdir)

Hedef ürünler belirlendikten sonra literatür ve veritabanı taraması yapılmış olup ürün nitelikleri (seyir hızı (cruise speed), menzil (range), uçuş süresi (endurance), yer etkisinin dışında gezinme (HOGE),

yer etkisinde gezinme (HIGE), faydalı yük (useful load), işletme maliyeti (operational cost), tırmanma oranı (rate of climb), hacim (volume), azami kalkış ağırlığı (MTOW), motor gücü (engine power), yolcu sayısı (passenger), yakıt kapasitesi (fuel capacity), Hizmet tavanı (service ceiling), vb.) Tablo 1'deki gibi elde edilmiştir. Veriler elde edilirken öncelikli olarak firma katalog bilgileri, bulunamayan değerler için helikopter veritabanları, helikopter tanıtım siteleri ya da kiralama şirketlerinin verdiği değerler kullanılmıştır [17-31].

Tablo 1 oluşturulduktan sonra elde edilen tüm verilere göre radar diyagramı ve dağılım diyagramı çizilebilmekte, ürün kıyaslaması yapılabilmektedir.

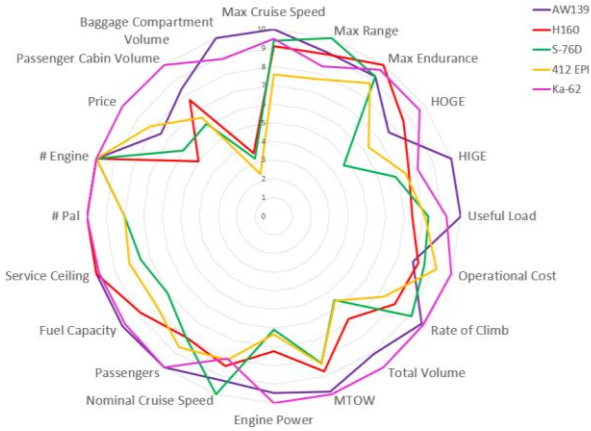
Tablo 1. Hedef marka ve ürünlerin nitelikleri

	Birim	AW139	H160	S-76D	412 EPI	Ka-62
Max Cruise Speed	km/h	306	278	287	232	290
Max Range	km	807	796	874	672	735
Max Endurance	hr	4	4,33	4	3,8	4,2
HOGE	m	2478	2804	1503	2042	3150
HIGE	m	4682	3566	3213	3475	3800
Useful Load	kg	2700	2000	2233	2191	2500
Operational Cost	\$/h	1924	1852	1778	1647	1507
Rate of Climb	m/sec	10,9	8,9	10,16	8,13	11
Total Volume	m ³	11,4	8,5	6,9	7	12,5
MTOW	kg	6400	5670	5386	5398	6500
Engine Power	kW	2504	1909	1606	1674	2649
Nominal Cruise Speed	km/h	202	184	219	177	175
Passengers	adet	15	12	12	13	15
Fuel Capacity	liters (kg)	1588 (1270)	1400 (1120)	1116 (893)	1251 (1001)	1563 (1250)
Service Ceiling	m	6096	6096	4572	4974	6000
# Pal	adet	5	5	4	4	5
# Engine	adet	2	2	2	2	2
Price	\$	12	18	15	11	9
Passenger Cabin Vol.	m ³	8	7,3	5,8	6,2	9,5
Baggage Compartment Vol.	m ³	3,4	1,2	1,1	0,8	3

Tablodaki değerleri tek grafikte toplayabilmek için, nitelik bazında en yüksek olana 10 puan, diğer değerlere de doğru orantılı olarak puan ataması yapılarak değerler normalize edilmiştir. Ayrıca, "operational cost" ters orantılı olduğu için en düşük değere 10 puan atanmıştır.

Şekil 3'de normalize edilmiş değerler üzerinden bir radar diyagramı çizilmiştir. Bu grafiğin yorumu; merkeze yaklaştıkça performansın azalması, dış yüzeye yaklaştıkça performansın artması

yönündedir. Diyagramdan açıkça görüldüğü gibi mor çizginin temsil ettiği ürün (Ka-62) bariz bir şekilde üstünlük göstermiştir. Yine aynı mantıkla sarı çizginin temsil ettiği ürün (Bell-412) rakiplerine göre daha zayıf bir performans sergilemiştir.



Şekil 3. Normalize edilmiş değerlerle oluşturulan Radar Diyagramı

Bu grafiğin amacı nitelik bazından pazar liderini görebilmektir. x eksenini nitelikler y eksenini ise nitelik puanıdır. Örnek vermek gerekirse “ faydalı yük (useful load)” niteliğinin pazar lideri AW139 iken, aynı nitelikte pazarın en güçsüz oyuncusu H160’dır.

AHP

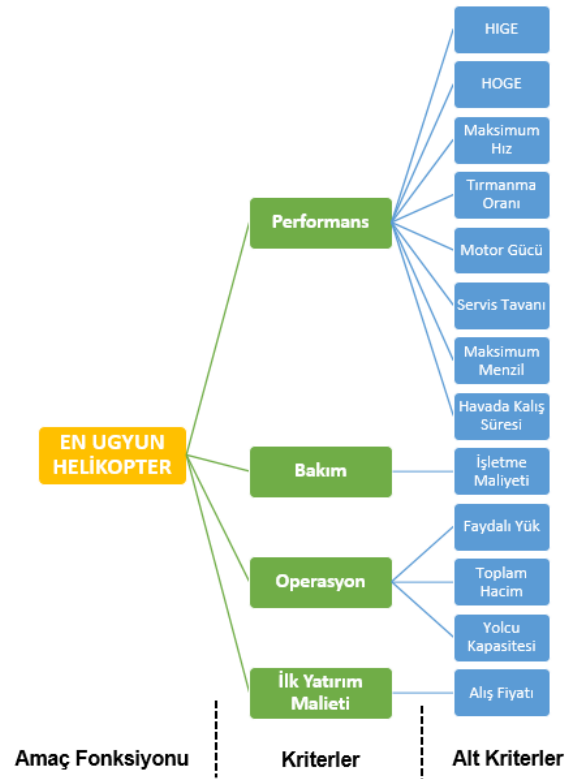
Literatürde yapılan çalışmalar tüm niteliklerin ortak önem derecesine sahip olduğu durumlar için geçerlidir. Ancak gerçek hayatta bu mümkün olmamakla birlikte helikopterin kullanım amacına göre bir nitelik diğer niteliğin önüne geçebilmektedir. Örnek vermek gerekirse yangın söndürme helikopteri için “ faydalı yük” oldukça önemli iken bir ambulans helikopterinde “ maksimum hız”, bir VIP helikopterinde “ kabin hacmi” öne çıkmaktadır. Yine aynı mantıkla bir offshore helikopteri için “ tırmanma oranı” önemli değilken, polis helikopteri için ise “ kabin hacmi” önemli değildir.

Dolayısıyla tüm bu niteliklerin helikopter tipine göre önceliklendirilmesi ve ağırlıklandırılması gerekmektedir. Bu amaç için çalışmada AHP yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, 1970’li yılların ortasında Pensilvanya Üniversitesi’nden Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen, ölçme ve karar verme için kullanılan matematiksel bir teoridir [32]. Belli bir amaç doğrultusunda çok sayıda alternatifin, belirlenen kriterler aracılığı ile karşılaştırılmasını sağlayan, çok kriterli karar verme yöntemidir ve karar vericiler tarafından karmaşık problemlerin çözümünde yaygın olarak tercih edilmektedir [33]. AHP, bazı diğer yöntemlerle birleştirilerek de

kullanılabilmektedir. Bu çalışmada TOPSIS yöntemi ile birlikte kullanılmaktadır.

Analitik hiyerarşik proses 5 adımdan oluşmaktadır;

1. **Adım:** Problem tanımlanarak amaç, kriterler ve alternatifler verilir. En tepeye amaç, orta seviyeye kriterler ve alt kriterler, en alt seviyeye de alternatifler yerleştirilir [34]. Şekil 4’de bu yapı oluşturulmuştur.
2. **Adım:** Hiyerarşik yapının oluşturulmasından sonra kriterlerin ve alt kriterlerin kendi aralarında önem derecelerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Karar verici kriterleri veya alternatifleri ikili olarak karşılaştırır [34].



Şekil 4. Hiyerarşik yapı

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & a_{21} & a_{31} & \dots & a_{n1} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{32} & \dots & a_{n2} \\ 1/a_{31} & 1/a_{32} & 1 & \dots & a_{n3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1/a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (1)$$

Değerlendirmeye alınacak n adet kriter için i kriterinin j kriterine göre önemini belirlemek üzere A matrisi oluşturulur. Kullanılan ikili

karşılaştırma matrisinin formatı Tablo 2’de verilmiştir.

3. **Adım:** İkili kıyaslamalar Tablo 2’deki matris yardımıyla ve ağırlık değerleri w_j incelenerek her kriter için “öncelik vektörleri” aşağıdaki formüle göre elde edilir.

$$W_i = \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \right) / n \quad (2)$$

4. **Adım:** Yapılan karşılaştırmaların tutarlılığı ölçülerek “tutarlılık oranı (CR)” değeri elde edilir. Bu değer 0,1’den küçük olması beklenir, aksi halde yapılan ikili kıyaslamalarda bir hata yada tutarsızlık olduğu kanısına varılır ve süreç başa sarar. CR değeri, öz değer λ_{\max} ’a bağlı tutarlılık indeksinin (CI) rassal indeks (RI) bölünmesiyle elde edilir [35].

Tablo 2. İkili karşılaştırma matrisinin formatı

	Max Cruise	Max Range	Max Enduran	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational	Rate of Climb	Total Volume
Max Cruise Speed	1								
Max Range		1							
Max Endurance			1						
HOGÉ				1					
HIGE					1				
Useful Load						1			
Operational Cost							1		
Rate of Climb								1	
Total Volume									1

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1) * RI}$$

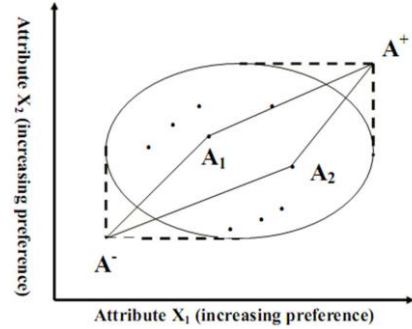
5. **Adım:** Bu işlemler tüm hiyerarşik yapı için tekrarlanır. Alternatiflere ait ağırlıklı puanlar hesaplanır. Karar alternatiflerinin puanları karşılaştırılarak sıralama yapılır. En yüksek puana sahip alternatif en uygun alternatif olarak belirlenir. [35]

AHP çalışmasında elde edilen çıktılar, bir sonraki adım olan TOPSIS aşamasında girdi olarak kullanılmaktadır.

ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMİ (TOPSIS)

Alternatiflerin değerlendirilmesi, pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm olmak üzere iki temel noktaya dayanır. Şekil 5’da gösterilen TOPSIS yönteminde, pozitif ideal çözüme en kısa mesafedeki ve negatif ideal çözüme en uzak mesafedeki karar seçeneğinin belirlenmesi hedeflenir.

Pozitif ideal çözüm, maliyet ölçütünü minimum yapan ve fayda ölçütünü maksimum yapan çözümdür. Negatif ideal çözüm ise, maliyet ölçütünü maksimum yapan ve fayda ölçütünü minimum yapan çözüm olarak değerlendirilir. TOPSIS yöntemi, pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıkları ortaya koyarak, ideal ve ideal olmayan çözümleri de ortaya çıkarır.



Şekil 5. TOPSIS metodolojisi görseli [36]

1. **Adım:** Karar matrisi oluşturulur. Bu matris, Tablo 2’de bulunan 9 ürün niteliğidir. Yapılan anket görüşmeleri neticesinde bu 9 niteliğin, helikopter seçiminde en önemli kriterler olduğu belirtilmiştir.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

2. **Adım:** Normalize matris (R) oluşturulur. Değerlerin bazıları tek haneli bazıları dört haneli olduğu için matris normalize edilmelidir. Bunu yaparken değerlerin kareleri alınır, karesi alınmış tüm değerler toplanır ve toplam değer kare kökü alınır. Daha sonra tüm değerler bir bir bu sonuç değerine bölünür.

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n a_{kj}^2}}, & i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,m \\ 0, & d.y. \end{cases} \quad (5)$$

3. **Adım:** Ağırlıklar hesaplanır. Bu çalışmada ağırlıklar, AHP kısmında ortaya çıkan değerler olarak kullanılacaktır. Ağırlıkların toplamı 1 olmalıdır. Bu ağırlıklar “öncelik vektörü” olarak isimlendirilecektir.

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (6)$$

4. **Adım:** Pozitif ve negatif ideal çözümler hesaplanır. Bu işlem yapılırken öncelik vektörü ile normalize edilmiş matrisdeki değerler çarpılır. Elde edilen yeni matrisdeki en büyük değer “pozitif ideal çözüm”, en küçük değer ise “negatif ideal çözüm” olarak tayin edilir.

5. **Adım:** İdeal çözümlere uzaklıklar hesaplanır. Öklid yaklaşımından faydalanılır ve aşağıdaki yöntem $V_{ij} = w_j r_{ij}$ ve her kolondaki maksimum V_j^+ ve minimum değerler V_j^* ile beraber kullanılır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2}, i=1,2,\dots,n \quad (7)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^*)^2}, i=1,2,\dots,n \quad (8)$$

6. **Adım:** İdeal çözüme göre göreceli yakınlıklar hesaplanır. Her bir alternatifin ideal çözüme göre benzerliğinin hesaplanmasında (C_i^+) pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklık ölçülerinden yararlanılmaktadır [37].

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, i=1,2,\dots,n \quad (9)$$

UYGULAMA

AHP Uygulması

Uzman grupları ile yapılan değerlendirmeler sonucunda çözümü en çok etkileyecek 9 kriter şu şekilde belirlenmiştir; maksimum hız (max cruise speed), menzil (max range), maksimum havada kalış süresi (max endurance), HOGE, HIGE, faydalı yük (useful load), işletme maliyeti (operational cost), tırmanma oranı (rate of climb), toplam hacim (total volume).

Kriterlerin ikili değerlendirmeleri yapılırken üç ayrı uzman grubu ile çalışılmıştır. Son kullanıcı pozisyonunda olan pilotlar ile, müşteri konumunda olan işletmeci / operatör firma ile ve ürünün tüm tasarımı ve üretim sürecine hakim olan geliştiriciler (tasarımcılar) ile değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmeler yapılırken kriterlerin birbirlerine göre üstünleklerni yada zayıflıklarını kıyaslama tablolarına işlemek için Tablo 3'deki değerler kullanılır. Değerlendirmeler sonucunda aşağıdaki gibi (Tablo 4 – 6) sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3. Değerlendirmelerde kullanılan önem skalası

ÖNEM SKALASI	
Önem Değerleri	Değer Tanımları
1,00	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
2,00	Ara değer
3,00	1.faktörün 2.faktörden daha önemli olması durumu
4,00	Ara değer
5,00	1.faktörün 2.faktörden çok önemli olması durumu
6,00	Ara değer
7,00	1.faktörün 2.faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
8,00	Ara değer
9,00	1.faktörün 2.faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
1,00	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
0,50	Ara değer
0,33	2.faktörün 1.faktörden daha önemli olması durumu
0,25	Ara değer
0,20	2.faktörün 1.faktörden çok önemli olması durumu
0,17	Ara değer
0,14	2.faktörün 1.faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
0,13	Ara değer
0,11	2.faktörün 1.faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu

Tablo 4. Pilot İçin öncelik matrisi uygulamaları ve tutarlılık analizi

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGE	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
Max Cruise Speed	1,00	1,73	3,87	3,00	1,22	2,83	4,90	4,24	2,45
Max Range	0,58	1,00	3,16	3,00	1,22	2,83	4,90	4,90	2,83
Max Endurance	0,26	0,32	1,00	1,00	0,58	2,00	3,87	1,00	1,22
HOGE	0,33	0,33	1,00	1,00	0,71	2,00	3,46	2,83	2,83
HIGE	0,82	0,82	1,73	1,41	1,00	3,16	4,58	4,50	4,47
Useful Load	0,35	0,35	0,50	0,50	0,32	1,00	3,46	2,00	2,83
Operational Cost	0,20	0,20	0,26	0,29	0,22	0,29	1,00	0,33	0,35
Rate of Climb	0,24	0,20	1,00	0,35	0,20	0,50	3,00	1,00	2,00
Total Volume	0,41	0,35	0,82	0,35	0,22	0,35	2,83	0,50	1,00

CI Tutarlılık Göstergesi	RI Düzeltme Değeri	CR
0,066	1,45	0,05

Tablo 5. Operatör İçin öncelik matrisi uygulamaları ve tutarlılık analizi

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGE	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
Max Cruise Speed	1,00	3,00	3,00	5,00	2,00	2,00	0,50	4,00	1,00
Max Range	0,33	1,00	0,50	2,00	0,50	0,50	0,25	2,00	0,33
Max Endurance	0,33	2,00	1,00	2,00	0,50	0,50	0,25	2,00	0,33
HOGE	0,20	0,50	0,50	1,00	0,33	0,50	0,17	1,00	0,25
HIGE	0,50	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	0,33	2,00	0,50
Useful Load	0,50	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,33	2,00	0,50
Operational Cost	2,00	4,00	4,00	6,00	3,00	3,00	1,00	5,00	2,00
Rate of Climb	0,25	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,20	1,00	0,25
Total Volume	1,00	3,00	3,00	4,00	2,00	2,00	0,50	4,00	1,00

CI Tutarlılık Göstergesi	RI Düzeltme Değeri	CR
0,019	1,45	0,01

Tablo 6. Tasarımcı İçin öncelik matrisi uygulamaları ve tutarlılık analizi

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGE	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
Max Cruise Speed	1,00	3,00	9,00	9,00	7,00	7,00	5,00	9,00	7,00
Max Range	0,33	1,00	5,00	7,00	5,00	5,00	5,00	9,00	5,00
Max Endurance	0,11	0,20	1,00	1,00	0,50	0,33	0,14	1,00	0,33
HOGE	0,11	0,14	1,00	1,00	0,33	0,20	0,14	1,00	0,33
HIGE	0,14	0,20	2,00	3,00	1,00	0,50	1,00	3,00	3,00
Useful Load	0,14	0,20	3,00	5,00	2,00	1,00	5,00	7,00	5,00
Operational Cost	0,20	0,20	7,00	7,00	3,00	0,20	1,00	3,00	3,00
Rate of Climb	0,11	0,11	1,00	1,00	0,33	0,14	0,33	1,00	0,33
Total Volume	0,14	0,20	3,00	3,00	0,33	0,20	0,33	3,00	1,00

CI Tutarlılık Göstergesi	RI Düzeltme Değeri	CR
0,135	1,45	0,09

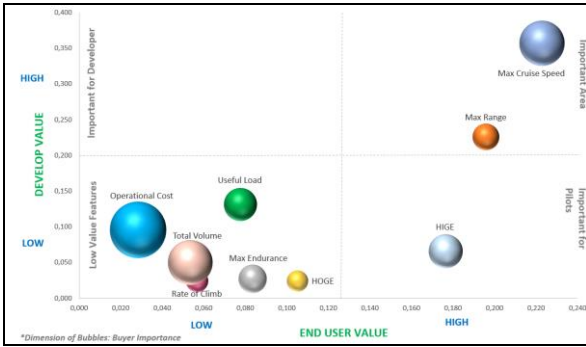
Ticari helikopter değerlendirmesi yapıldığı için müşteriler için %70, pilotlar için %20 ve geliştirici için %10 şeklinde ağırlık verilmesine karar verilmiştir ve “ağırlıklı ortalama matrisi” aşağıdaki gibi (Tablo 7) elde edilmiştir.

Tablo 7. Ağırlıklı ortalama nihai karar matrisi ve tutarlılık analizi

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
Max Cruise Speed	1,00	2,75	3,77	5,00	2,34	2,67	1,83	4,55	1,89
Max Range	0,36	1,00	1,48	2,70	1,09	1,42	1,65	3,28	1,30
Max Endurance	0,26	0,67	1,00	1,70	0,52	0,78	0,96	1,70	0,51
HOGÉ	0,20	0,37	0,59	1,00	0,41	0,77	0,82	1,37	0,77
HIGE	0,43	0,91	1,94	2,45	1,00	1,38	1,25	2,68	1,54
Useful Load	0,38	0,71	1,28	1,30	0,72	1,00	1,43	2,50	1,42
Operational Cost	0,55	0,60	1,04	1,21	0,80	0,70	1,00	3,87	1,77
Rate of Climb	0,22	0,30	0,59	0,73	0,37	0,40	0,26	1,00	0,61
Total Volume	0,53	0,77	1,95	1,29	0,65	0,71	0,56	1,64	1,00

CI Tutarlılık Göstergesi	RI Düzeltme Değeri	CR
0,029	1,45	0,02

Kriterlerin ikili değerlendirmeleri yapılırken üç ayrı uzman grubu ile çalışılmıştır. Son kullanıcı pozisyonunda olan pilotlar ile, müşteri konumunda olan işletmeci / operatör firma ile ve ürünün tüm tasarımı ve üretim sürecine hakim olan geliştiriciler (tasarımcılar) ile yapılan değerlendirmeler sonucunda aşağıdaki gibi bir baloncuk diyagramı elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Baloncuk diyagramı (bubble chart)

Bu diyagram üç boyutlu bir diyagram olup tek görselde tüm kriterlerin hem son kullanıcı, hem müşteri, hem de geliştirici için önem sırasını görebilmek için kullanılır.

Grafikteki x eksenini; son kullanıcı için niteliğin ne derece değerli olduğunu (sağa gittikçe niteliğin önemi artar), y eksenini; geliştirici için niteliğin ne derece değerli olduğunu (yukarı çıktıkça niteliğin önemi artar), baloncukların boyutu ise müşteri için niteliğin ne derece önemli olduğunu gösterir.

Grafığın sağ alt tarafında kalan kısım; pilotlar için önemli ancak geliştirici için çok önemli olmayan niteliklerin toplandığı alan olarak nitelendirilebilir. Bu kısımda kalan nitelikler için baloncukun boyutu belirleyici olacaktır.

Grafığın sol alt tarafında kalan kısım; düşük değerli nitelikler (Low Value Features) olarak değerlendirilebilir. Bunun sebebi geliştirici için geliştirme değeri fazla olmaması ve son kullanıcı açısından niteliğinin önemli olmamasıdır. Bu kısımda

kalan nitelikler için baloncukun boyutu belirleyici olacaktır.

Grafığın sol üst tarafında kalan kısım; Üzerinde fazla efor sarf edilmemesi gereken nitelikler (Features to Cut) olarak değerlendirilebilir. Bunun sebebi, bu bölgede kalan niteliklerin son kullanıcı için öneminin az olmasıdır. Bu kısımda kalan nitelikler için baloncukun boyutu belirleyici olacaktır.

Grafığın sağ üst tarafında kalan kısım; Asıl yoğunlaşılması ve efor sarf edilmesi gereken nitelikler bu alanda toplanmıştır. Bunun sebebi hem geliştirme faaliyetlerin yoğun olması, hem de son kullanıcı için değer üretmesidir.

Tablo 7'deki ağırlıklı ortalama karar matrisi elde edildikten sonra, öncelik vektörleri de elde edilmiş olup her bir kriterin önem sırası ortaya çıkmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Öncelik vektörleri (önem sırası)

	Öncelik Vektörü	Yüzde Önem
Max Cruise Speed	0,254	25,44%
Max Range	0,133	13,31%
Max Endurance	0,076	7,65%
HOGÉ	0,060	6,04%
HIGE	0,129	12,90%
Useful Load	0,104	10,36%
Operational Cost	0,108	10,77%
Rate of Climb	0,044	4,38%
Total Volume	0,092	9,16%

Gerçekleştirilen tutarlılık analizine göre, yapılan değerlendirme "tutarlı" olarak hesaplanmıştır. Tüm değerler Denklem 3'de yerine konduğunda sonuçlar aşağıdaki gibi (Tablo 9) elde edilmiştir;

Tablo 9. Uzman Gruplarına ve Ağırlıklı Ortalamaya Göre Tutarlılık göstergeleri

	CI Tutarlılık Göstergesi	RI Düzeltme Değeri	CR
Pilot	0,066	1,45	0,05
Müşteri	0,019	1,45	0,01
Tasarımcı	0,135	1,45	0,09
Ortalamada	0,029	1,45	0,02

CR değerlerinin tamamı 0,1'den küçük olduğu için yapılan değerlendirmeler tutarlıdır.

TOPSIS Uygulması

AHP çalışmasından elde edilen çıktılar, TOPSIS çalışmasına girdi sağlar. TOPSIS metodolojisinin üçüncü adımı olan ağırlıkların elde edilmesi kısmı, AHP çalışması ile elde edilmiş olur (Tablo 8'deki değerler).

Tüm alternatif ürünler için karar matrisi oluşturulmuştur. Daha önceden belirlenen 9 kriter (nitelik) için değerler matrise işlenmiştir (Tablo 10). Matrisdeki değerler standart olmadığı için normalize edilmesi gerekmektedir.

Tablo 10. Karar matrisi

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
AW139	306	807	4	2478	4682	2700	1924	10,9	11,4
H160	278	796	4,33	2804	3566	2000	1852	8,9	8,5
S-76D	287	874	4	1503	3213	2233	1778	10,16	6,9
412 EPI	232	672	3,8	2042	3475	2191	1647	8,13	7
Ka-62	290	735	4,2	3150	3800	2500	1507	11	12,5

Normalize edilmiş karar matrisi (Tablo 11) aşağıdaki gibi oluşur. Karar matrisindeki değerlerin karesi alınarak tüm satır toplanır, toplam değerın karekökü alınır, sonra karar matrisindeki değerler bir bir bu karekök değerine bölünür.

Tablo 11. Normalize edilmiş karar matrisi

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
AW139	0,0485	0,1279	0,0006	0,3928	0,7422	0,4280	0,3050	0,0017	0,0018
H160	0,0519	0,1485	0,0008	0,5232	0,6654	0,3732	0,3456	0,0017	0,0016
S-76D	0,0618	0,1882	0,0009	0,3236	0,6917	0,4807	0,3828	0,0022	0,0015
412 EPI	0,0471	0,1364	0,0008	0,4145	0,7055	0,4448	0,3344	0,0017	0,0014
Ka-62	0,0501	0,1270	0,0007	0,5442	0,6565	0,4319	0,2603	0,0019	0,0022

Normalize edilmiş karar matrisi, Tablo 8'de verilen öncelik vektörleri ile çarpılır ve aşağıdaki nihai matris (Tablo 12) elde edilir. Bu nokta, AHP ile TOPSIS'in kesiştiği noktadır.

Tablo 12. Nihai matris

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
AW139	0,01234	0,01702	0,00005	0,02373	0,09576	0,04432	0,03286	0,00008	0,00017
H160	0,01320	0,01976	0,00006	0,03161	0,08585	0,03864	0,03723	0,00007	0,00015
S-76D	0,01572	0,02504	0,00007	0,01955	0,08925	0,04978	0,04124	0,00010	0,00014
412 EPI	0,01198	0,01815	0,00006	0,02504	0,09102	0,04606	0,03602	0,00007	0,00013
Ka-62	0,01275	0,01690	0,00006	0,03287	0,08470	0,04472	0,02805	0,00008	0,00020

Pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenir. Bu işlem yapılırken Tablo 12'deki matris ele alınır, her sütunun (nitelik) içerisindeki en büyük değer pozitif ideal çözüm değeri, en küçük değer ise negatif ideal çözüm değeri olarak tayin edilir.

Tablo 13. Pozitif ve negatif ideal çözümler

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
Pozitif ideal çözüm değerleri	0,01572	0,02504	0,00007	0,03287	0,09576	0,04978	0,02805	0,00010	0,00020
Negatif ideal çözüm değerleri	0,01198	0,01596	0,00005	0,01955	0,08470	0,03809	0,04124	0,00007	0,00013

Pozitif ve negatif ideal çözümü olan uzaklıklar tespit edilir. Bu işlem yapılırken; Tablo 12'deki nihai matris değerlerden, Tablo 13'deki pozitif ideal çözüm değerleri çıkarılır, bu sonucun karesi alınır, tüm satırdaki değerler toplanır ve toplam değerın karekökü alınır. Böylece pozitif ideal çözüme olan uzaklık tespit edilir. Aynı mantıkla negatif ideal çözüme olan uzaklıklar da tespit edilir (Tablo 14).

Tablo 14. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar

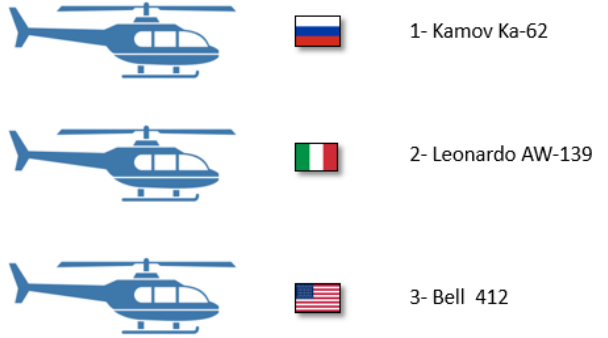
	Pozitif ideal çözüme uzaklık	Negatif ideal çözüme uzaklık
AW139	0,014568588	0,01581363
H160	0,018497031	0,013384713
S-76D	0,019848481	0,015931166
412 EPI	0,014917491	0,012873979
Ka-62	0,014932315	0,019926115

İdeal çözüme göreceli yakınlıklar hesaplanır ve bu değerler seçimdeki nihai sıralamayı oluşturur. Bu değerler hesaplanırken; negatif ideal çözüme olan uzaklık, pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkların toplamına bölünür.

Tablo 15. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar

	İdeal çözüme göreceli yakınlık
AW139	0,520
H160	0,420
S-76D	0,445
412 EPI	0,463
Ka-62	0,572

Tablo 15'deki nihai sonuçlara göre, hava ambulansı (HEMS) konfigürasyonu için tercih sıralaması şu şekilde oluşmuştur; Kamov Ka-62, Leonardo AW-139 ve Bell 412. Şekil 7'de de bu sıralama görsel olarak görülebilmektedir.



Şekil 7. Seçim sonucu

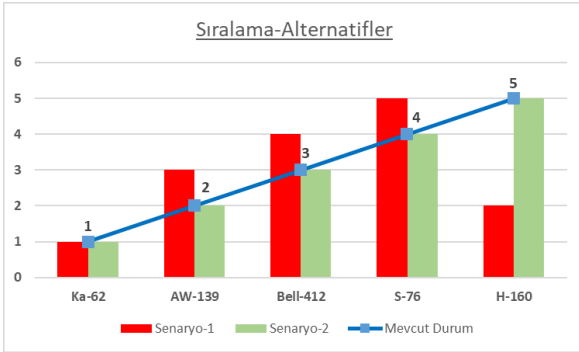
Duyarlılık Analizi

Sonuçların, kriter ağırlıklarında oluşabilecek değişikliklere ne derece duyarlı olduğunu ortaya çıkarmak için duyarlılık analizi kullanılmaktadır [38]. Tablo 16'da tüm kriterlerin mevcut durumda hesaplanan ağırlıkları bulunmaktadır. Bununla birlikte, literatüre [38] uygun şekilde tüm kriterlere eşit ağırlık verilerek gerçekleştirilen TOPSIS sonuçları (Senaryo-1) ve en düşük ağırlık puanı alan kriter ile en yüksek puanı alan kriterin puanları değiştirilerek gerçekleştirilen TOPSIS sonuçları (Senaryo-2) da tabloda verilmiştir.

Tablo 16. Duyarlılık Analizi Ağırlıkları

	Max Cruise Speed	Max Range	Max Endurance	HOGÉ	HIGE	Useful Load	Operational Cost	Rate of Climb	Total Volume
Mevcut Durum	0,254	0,133	0,076	0,060	0,129	0,104	0,108	0,044	0,092
Senaryo-1	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111
Senaryo-2	0,044	0,133	0,076	0,060	0,129	0,104	0,108	0,254	0,092

Mevcut duruma ve diğer iki senaryoya göre oluşturulan sıralama grafiği Şekil 9’da verilmiştir. Bu grafiğe bakarak üç senaryoda da Ka-62 helikopterinin ilk sırada yer aldığını, mevcut durum ile Senaryo-3 sıralamasının bire bir aynı olduğunu, Senaryo-2’de ise sadece AW-139 ile H-160 helikopterlerin yerinin değiştiği, diğer üç modelin aynı kaldığı gözlenmiştir. Sonuç olarak, gerçekleştirilen duyarlılık analizi kurulmuş olan model ve bu modele göre elde edilen sıralamaların tutarlı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8. Durumlar ve sıralamalar grafiği

SONUÇ

Bu çalışmada, genel maksat helikopterlerinin hava ambulansı (HEMS) varyantıyla ilgili olarak farklı ve yenilikçi bir ürün konumlandırma çalışması icra edilmiştir.

Önce uzman grupları ile seçim kriterleri belirlenmiş olup daha sonra AHP yöntemi ile bu kriterler tutarlı bir şekilde ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra bu çıktılar TOPSIS yöntemine entegre edilerek matematiksel bir hesap yapılmış, ihtiyaca binaen optimum çözüm hesaplanmıştır (Şekil 7).

Bir ülkenin döner kanat hava ambulansı varyantı ihtiyacı hasıl olduğunda, yapılacak çok kriterli seçimde bu yöntem uygulanabilir. Ayrıca fiyatın da girdi olarak denklemlere tabi tutulması mümkündür. TOPSIS çalışmasının sonucunda elde edilen değerler (Şekil 8), ürünün birim satış fiyatına bölünmesi ile “fayda maliyet endeksi” de çıkarılabilir. Bu değer; ödenecek bir dolar karşılığında elde edilecek faydayı sayısal olarak temsil edecektir.

Bu çalışmada yenilikçi bir yöntem olarak AHP metoduna üç ayrı karar mercinin katılımı ile ağırlıklı ortalamalar kullanılarak konsolide bir sonuç elde edilmiştir. Son kullanıcı olan pilotlar, hava aracını

işleten operatörler ve geliştiriciden oluşan bu üç mercinin AHP sonuçları da ayrıca 3 boyutlu bir diyagram olan baloncuk diyagramıyla sunulmuştur. Bununla birlikte çalışmanın ilk kısmı olan AHP çıktıları ile, ikinci kısım olan TOPSIS çalışması bir birine entegre edilmiş, matematiksel bir model oluşturulmuştur.

Çözüme ulaşıldıktan sonra gerçekleştirilen duyarlılık analizi ile kriter ağırlıklarında oluşabilecek olası değişikliklere karşı modelin ne derece duyarlı olduğu incelenmiştir. Üç farklı senaryo için de sıralama kayda değer şekilde değişmemiş olup Ka-62 her alternatif de ilk sırada konumlanmıştır.

Ancak unutulmamalıdır ki, bu çalışma firmaların beyan etmiş oldukları katalog bilgilerine göre icra edilmiştir. Bazı ürünlerin uçuş kitapları (flight book / flight manual) yayınlanmadığı için yada erişimi mümkün olmadığı için, firmaların vermiş oldukları spesifikasyon bilgileri doğru kabul edilmiş, sonuçlar bu verilerle elde edilmiştir. Bununla birlikte, Türkiye’nin milli ürünü T625 Gökbey’in henüz yayımlanmamış bazı spesifikasyon bilgileri bulunduğu için, bu çalışmaya dahil edilmemiştir.

KAYNAKÇA

1. Bali, T.: “Peculiarities of helicopter supported operations”, Armed Forces Academy of General Milan Rastislav Štefánik, Liptov, SLOVAKIA.
2. Schrage, D. P., Yillikci, Y. K., Phillips, J. W., and Mavris, D. N.: “Conceptual Design and Proposed Development of the GAP-4 Multi-Purpose Small Utility Helicopter”, Proceedings of the 20th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 1996, pp. 601-610.
3. “Sikorsky Transfers S-70i™ Helicopter To Aselsan For Turkish Utility Helicopter Program Development”, available at: <https://news.lockheedmartin.com/2017-03-02-Sikorsky-Transfers-S-70i-TM-Helicopter-to-Aselsan-for-Turkish-Utility-Helicopter-Program-Development>, (accessed 06 June 2022).
4. Wang, D., and Zhang, B.: “Extension of learnable bandwidth for iterative learning control”, Proceedings of the 2009 International Workshop on Multidimensional (nD) Systems, 2009, 10813776.
5. “T70 Turkish Utility Helicopter Program”, available at: <https://www.tusas.com/en/products/helicopter/co-development-production/t70>, (accessed 06 June 2022).
6. “General Purpose Helicopter”, available at: <https://www.tusas.com/en/products/helicopter/in-digenous-development/gokbey>, (accessed 06 June 2022).
7. Bhutia, P. W., G., and Phipon, R.: “Appication of ahp and topsis method for supplier selection

- problem”, IOSR Journal of Engineering, 2012, 2 (10), pp. 43-50.
8. İç, Y. T., and Apaydın, İ.: “Küçük ve Orta Ölçekli Makine İmalat Firmaları İçin Dış Ticaret Kabiliyeti Analizi”, Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2016, 14 (2), pp. 54-68.
 9. İç, Y. T., Yalçınkaya, M. C., and Dalarslan, S.: “Vana İmalatçısı Firmaların Teknik ve Ticari Yeterliliklerinin Belirlenmesi Amacıyla Bir Tedarikçi Değerlendirme Çalışması”, Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2018, 16 (1), pp. 30-41.
 10. dos Santos, M., Quintal, R. S., da Paixao, A. C., and Gomes, C. F. S.: “Simulation of Operation of an Integrated Information for Emergency Pre-Hospital Care in Rio de Janeiro Municipality”, Procedia Computer Science 2015, 55, pp. 931-938.
 11. Vaidya, O. S., and Kumar, S.: “European Journal of Operational Research”, European Journal of Operational Research 2006, 169 (1), pp. 1-29.
 12. Sanchez-Lozano, J. M., and Rodriguez, O. N.: “Application of Fuzzy Reference Ideal Method (FRIM) to the military advanced training aircraft selection”, Applied Soft Computing 2020, 88, pp. 106061.
 13. Azimirad, E., and Haddadnia, J.: “Target threat assessment using fuzzy sets theory”, International Journal of Advances in Intelligent Informatics 2015, 1 (2), pp. 57-74.
 14. Wang, J., Fan, K., Su, Y., Liang, S., and Wang, W.: “Air combat effectiveness assessment of military aircraft using a fuzzy AHP and TOPSIS methodology”, 2008 Asia Simulation Conference - 7th International Conference on System Simulation and Scientific Computing, 10392819.
 15. Kiracı, K., and Akan, E.: “Aircraft selection by applying AHP and TOPSIS in interval type-2 fuzzy sets”, Journal of Air Transport Management 2020, 89, pp. 101924.
 16. Hamurcu, M., and Eren, T.: “Selection of Unmanned Aerial Vehicles by Using Multicriteria Decision-Making for Defence”, Journal of Mathematics 2020, 2020, pp. 4308756.
 17. “Helicopter Database”, available at: <https://www.helis.com/database/>, (accessed 06 June 2022).
 18. “Russian Helicopters”, available at <https://rostec.ru/en/>, (accessed 06 June 2022).
 19. “Aviation Pro”, available at: www.aviationpro.net, (accessed 06 June 2022).
 20. “Leonardo Company”, available at: <https://www.leonardo.com/en/home>, (accessed 06 June 2022).
 21. “Bell Flight”, available at: <https://www.bellflight.com/>, (accessed 06 June 2022).
 22. “Helicopters”, available at: <https://www.airbus.com/en/products-services/helicopters>, (accessed 06 June 2022).
 23. “Lockheed Martin”, available at: <https://www.lockheedmartin.com/>, (accessed 06 June 2022).
 24. “Janes”, available at: <https://www.janes.com/>, (accessed 06 June 2022).
 25. “AvBuyer”, available at: <https://www.avbuyer.com/>, (accessed 06 June 2022).
 26. www.conclindd.com, (accessed 05 February 2022).
 27. “Global Air”, available at: <https://www.globalair.com/>, (accessed 06 June 2022).
 28. “Military Factory”, available at: <https://www.militaryfactory.com/>, (accessed 06 June 2022).
 29. “Aero Corner”, available at: <https://aerocorner.com/>, (accessed 06 June 2022).
 30. “Shephard Issue 17 Handbook, The Concise Global Industry Guide – Military Training and Simulation”, Shephard Media, UK, 2021.
 31. “Shephard Issue 32 Handbook, The Concise Global Industry Guide – Military Helicopters”, Shephard Media, UK, 2019.
 32. Papamichail, K. N., Yillikci, and Rajaram, V.: “A Framework for Assessing Best Practice in Decision Making”, Research Review, 2006, 13 (1), pp. 1-21.
 33. Gülenç, İ., G., and Aydın Bilgin, G.: “Yatırım Kararlari İçin Bir Model Önerisi: AHP Yöntemi”, Öneri Dergisi, 2010, 9 (34), pp. 97-107.
 34. Saaty, T. L.: “Decision making with the analytic hierarchy process”, International Journal of Services Sciences, 2008, 1 (1), pp. 83-98.
 35. Samut, P. K.: “İki Aşamalı Çok Kriterli Karar Verme ile Performans Değerlendirmesi: AHP ve TOPSIS Yöntemlerinin Entegrasyonu”, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2014, 14 (4), pp. 57-67.
 36. Balioti, V., Tzimopoulos, C., and Evangelides, C.: “Multi-Criteria Decision Making Using TOPSIS Method Under Fuzzy Environment. Application in Spillway Selection”, Proceedings, 2018, 2 (11), 637.
 37. Jadidi, O., Hong, T. S., Firouzi, F., Yusuff, R. M., and Zulkifli, N.: “TOPSIS and fuzzy multi-objective model integration for supplier selection problem”, Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering, 2008, 31 (2), pp. 762-769.
 38. Perçin, S.: “Bulanık AHS ve TOPSIS yaklaşımının makine-teçhizat seçimine uygulanması”, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2012, 21 (1), pp. 169-184.