



## UÇAK PERFORMANS PARAMETRELERİNİN AĞIRLIKLANDIRILMASINDA SWARA METODU

Azar GARAYEV<sup>1</sup>, Ebru YAZGAN<sup>2</sup>, Elif KORUYUCU<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı, Eskişehir,  
ORCID No : 0000-0001-8691-7626

<sup>2</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Eskişehir  
ORCID No : 0000-0002-6545-8536

<sup>3</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Porsuk Meslek Yüksekokulu, İHA Teknolojisi ve  
Operatörlüğü Programı, Eskişehir, ORCID No : 0000-0001-9217-382X

### Anahtar kelimeler

### Öz

*Havacılık, MCDM,  
SWARA, uçak  
performansı, çok kriterli  
karar verme*

*Askeri ve sivil alanda çok büyük bir öneme sahip olan hava taşımacılığının en önemli unsurlarından biri uçak performansıdır. Uçuş fazlarının her biri için uçuş performansının artırılmasını sağlamak için birçok çalışma yapılmaktadır. Uçuş performansını etkileyen birçok unsur bulunmaktadır. Bu çalışmada uçak performansına etki eden faktörler araştırılarak belirlenmiş, daha sonra belirlenen bu faktörlerin uçak performansını ne derecede etkilediği uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda, Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis) kullanılarak faktörlerin önem dereceleri değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda uçak performans parametrelerinin ağırlıklandırılmasında en yüksek önem derecesine sahip ilk üç kriter sırası ile Ağırlık, yapım malzemesi ve sıcaklık olarak belirlenmiştir.*

\* elifkoruyucu@eskisehir.edu.tr  
doi : 10.46399/muhendismakina.1196706

---

## SWARA METHOD FOR WEIGHTING AIRCRAFT PERFORMANCE PARAMETERS

---

---

### Keywords

*Aviation, MCDM, SWARA, aircraft performance, multi-criteria decision making*

### Abstract

*Aircraft performance is one of the most important elements of air transport, which has a great importance in the military and civil fields. Many studies are carried out to increase flight performance for each of the flight phases. There are many factors that affect flight performance. In this study, the factors affecting the aircraft performance were determined by researching and then the degree of importance of the factors was evaluated by using the SWARA (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis), in line with the opinions of the experts. As a result of the evaluation, the first three criteria with the highest degree of importance in weighting the aircraft performance parameters are determined as weight, construction material and temperature, respectively.*

---

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 31.10.2022

Kabul Tarihi : 27.03.2023

Research Article

Submission Date : 31.10.2022

Accepted Date : 27.03.2023

---

## **Extended Abstract**

### **Introduction**

Aircraft performance expresses how well the aircraft can meet the requirements such as speed, take-off length, running distance, range, fuel consumption, which were determined during the design. Efforts are being made to continuously improve the designs of the aircraft in order to ensure that the aircraft performs its flight with higher performance during use. The most important aircraft performance parameters to be considered during the design phase are maximum take-off weight, wing reference area and engine thrust. These parameters are critical to aircraft design and control of size, cost and computational complexity. Manufacturers make huge investments to keep aircraft performance at the highest level at high pressures, high temperatures and different weather conditions. For this, performance data are obtained and evaluated by performing many tests during the production of the aircraft.

In cases where there are many criteria, Multi-Criteria Decision Making methods (MCDM) are used to solve the research. In the literature, it has been seen that many different studies have been carried out for different fields with the help of MCDM methods. However, MCDM methods have rarely been used in the solution of decision-making problems in the field of aviation. The aim of this study is to make the use of the MCDM method in the field of aviation more widespread, and also; is to draw attention to the criteria that need to be investigated in the determined area. In this study, the factors affecting aircraft performance were analysed by ranking them in order of importance with the SWARA method which is a MCDM method.

### **Material and Method**

MCDM is expressed as the determination of the most suitable alternative or alternatives, taking into account the criteria that can affect each other among many alternatives. For this reason, MCDM methods are used in cases where there are too many criteria. The SWARA method is one of the new MCDM methods introduced in 2010. In this method, the expert (decision maker) has an important role in the evaluations and calculation of the weights. This method allows experts to estimate the importance of criteria in the process of determining weights. Each expert determines the importance of each criterion based on his own knowledge, experience and experience. The steps of the SWARA method are summarized below:

First of all, the criteria of the defined problem and the experts who should participate in the selection stage should be determined as decision makers. Then, each of the decision makers is asked to rank the criteria determined for the study according to their own experience and thoughts, in order of importance, with the most important criterion at the top. The criteria are listed from the most important to the least important. These steps are implemented by all decision makers. Importance scores are written in the side column of the criteria arranged in order of importance. A high importance score indicates that the degree of importance between the two criteria being compared is high. Each criterion is compared with the criterion determined above. The importance score is determined for all criteria by comparing them.

### **Findings and Evaluation**

In this study, it is aimed to evaluate the factors affecting aircraft performance with SWARA, which is a MCDM method. During the determination of these factors, researches were carried out and many different sources and experts were used. 14 criteria affecting aircraft performance have been determined.

5 decision makers experienced in their field were interviewed and they were asked to rank 14 criteria according to their importance levels within the scope of the study. Decision makers evaluated the criteria according to their own experience and knowledge and ranked them in order of importance. Then, each of the criteria listed in order of importance by the decision makers was compared with the previous criterion and an importance score was written. In line with the information received from the decision makers, the SWARA analysis was concluded.

### **Results and Discussions**

Studies to increase aircraft performance is one of the most important aim of the aviation industry. In this study, the factors that may affect the aircraft performance were investigated and the criteria weights were determined in line with the opinions of the decision makers who are experts in the aviation sector, using the SWARA method, which is the MCDM method.

Within the scope of the study, 14 criteria affecting aircraft performance were discussed. These are important factors that can affect aircraft performance such as temperature, icing, micro-explosions, fuel, tires, winglet, rain, construction material, weight, pressure, runway structure, wind, ground effect, propeller efficiency. For each criterion, weight evaluation results were obtained from different experts and analysed by MCDM method.

As a result of the criterion weighting, the most important criterion that can affect the aircraft performance among the factors has been determined as "weight". Aircraft weight is important not just at take-off but throughout the entire flight time, and many airplanes, especially airplanes with complex fuel systems, can change both their weight and their centre of gravity as a result of fuel combustion. Therefore, it is important to plot positions for take-off, landing and zero fuel when calculating weight and balance. All this explains why the weight factor is seen as the most important criterion by experts. It is seen that other criteria such as construction material and temperature are considered as important factors affecting aircraft performance by decision makers.

In order to determine in advance how important the factors affecting the performance of the aircraft are and to increase the performance of the aircraft, all factors should be considered and both technicians and aviation industry employees should be informed by working on them. It is foreseen that if precautions are taken in order of importance for each of these factors, the flight performance can be increased and the flight life of the aircraft can be extended at the same time.

## 1. Giriş

Uçak performansı, uçağın tasarlanırken belirlenen hız, kalkış uzunluğu, koşu mesafesi, menzil, yakıt tüketimi gibi gereksinimleri ne kadar gerçekleştirebildiğini ifade etmektedir. Uçağın kullanım sırasında uçuşunu daha yüksek performansta gerçekleştirmesi amacı ile tasarımlarının sürekli iyileştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Tasarım aşamasında dikkate alınması gereken en önemli uçak performans parametreleri; maksimum kalkış ağırlığı, kanat referans alanı ve motor itki gücüdür. Bu parametreler, uçak tasarımı ve boyut, maliyet ve hesaplama karmaşıklığının kontrolü için kritik öneme sahiptir. Üretici şirketler uçak performansını yüksek basınçlarda, yüksek sıcaklıklarda ve farklı hava koşullarında en üst seviyede tutmak için çok büyük yatırımlar yapmaktadır. Bunun için uçağın üretimi sırasında birçok testler yapılarak performans verileri elde edilmekte ve değerlendirilmektedir. Kalkış, tırmanma, dayanıklılık bu verilere örnek olarak gösterilebilir. Uçakların uçuş performansında farklı faktörlerin etkisiyle artma veya azalma gibi değişiklikler meydana gelebilmektedir. Bunun gibi farklı uçuş durumu ve farklı faktörlerin olduğu anlarda uçak performansı stabil tutulmaya çalışılmalıdır (Immer ve Juretzko, 2018).

Çok sayıda kriterin bulunduğu durumlarda araştırmayı çözüme kavuşturmak için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) metotlarından faydalanılmaktadır. Literatürde ÇKKV metotlarının yardımıyla farklı alanlar için farklı birçok çalışmanın yürütüldüğü görülmüştür. Ancak havacılık alanında yapılan karar verme problemlerinin çözümü sırasında ÇKKV metotları nadiren kullanılmıştır. Bu çalışmada uçak performansına etki eden faktörler, bir ÇKKV metodu olan SWARA yöntemi ile önem sırasına göre sıralanarak analizleri yapılmıştır.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Uçak performansı ile ilgili açık literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde, genel olarak çok fazla çalışmanın yapıldığı ve çalışmalardan verimli sonuçlar alındığı görülmektedir. Ertürk ve Gömeç (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, MATLAB/Simulink ortamında 6-DOF uçak doğrusal olmayan model simülasyonları ile kalkış ve iniş aşamalarında aerodinamik parazit etkisinin analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, model araç olarak Türk Havacılık ve Uzay Sanayi tarafından tasarlanan ve geliştirilen jet eğitim uçağı HURJET kullanılmıştır. Comer, Swartz ve Chakraborty (2020), belirli uçuş profilleri ile kalibrasyon uçuşlarından alınan uçuş veri kayıtlarını kullanarak uçak performans modellerinin kalibrasyonu göstermişlerdir. Bu alanda yapılan bir başka çalışmayla Coffel, Thompson ve Horton (2017), her gün artan ortalama sıcaklık değerinin önümüzdeki yıllar içerisinde uçak performansına ve havacılık sektörüne etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, çeşitli havalimanlarında bulunan farklı kalkış ağırlıklarındaki uçakların ağırlık kısıtlamalarıyla ilgili incelemeler yapılmıştır.

Tay, Keller ve Hornung (2018) tarafından yapılan çalışmada, hibrit-elektrikli uçakların uçuş performansı çok geniş bir şekilde ele alınmıştır. Ayrıca, yakıt tüketimi konusunda da araştırmalar yapılmış ve hibrit-elektrikli uçakların yakıtla çalışan uçaklarla karşılaştırması yapılmıştır. Uçak performansı açısından literatürde bulunan önemli çalışmalardan biri de uçağın aerodinamik özelliklerinin ele alınmasıyla ilgilidir. Vachon, Ray, Walsh ve Ennix (2002). tarafından düşük aerodinamik sürtünme ve yakıt tüketimi gibi formasyon uçuşundan kaynaklanan performans faydalarını araştıran çalışmalar yapılmıştır. Holloway, Burris ve Johannes (1970), konfigürasyon çalışmaları kapsamında kontrol sistemi tasarımını incelemiş ve uçak performansına fayda edecek faktörleri araştırmışlardır. Whalen ve Bragg (2005), uçuş zamanı meydana gelen buzlanma koşullarında verileri kullanarak akıllı buzlanma sisteminde bulunan karakterizasyon yöntemlerini geliştirmiş ve değerlendirmişlerdir. Ayrıca, buzlanmanın uçak konfigürasyonu ve parametreleri üzerindeki etkileri de ele almışlardır. M. Cavcar ve A. Cavcar (2005), uçak performans farklılıklarının hava trafik gecikmeleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Şöhret, Ekici, Altuntaş, Hepbaşlı ve Karakoç (2016) araştırmalarında, konvansiyonel yakıt ve alternatif yakıtla uçuş yapan uçakların gaz türbin motorlarının, bileşenler arasındaki etkileşimini anlamak için gelişmiş ekserji analizi metodolojisi kullanılmışlardır. Çalışkan ve Hajiyev (2013), buzlanma ile ilgili bir diğer çalışmada uçak dinamiklerinin istatistiksel özelliklerine dayalı uçak gövdesi ve uçağı tehlikeli buzlanma koşullarından korumak için yeniden yapılandırılabilir, kontrol edilebilir bir sistem belirlemek ve tanımlamak için bir çalışma yürütmüşlerdir.

Literatürde yer alan, uçak performansı ile ilgili çalışmaların çok çeşitli olduğu anlaşılmaktadır. Lakin bu çalışmalar arasında belirli kriterlerle uçak performansını inceleyen kaynakların çok az olduğu da bilinmektedir. SWARA yöntemiyle çeşitli alanlar için birçok çalışmalar yapılmış olsa da, uçak performansı gibi havacılık sektörüyle ilgili çalışmalar pek de fazla değildir.

ÇKKV teknikleri farklı alanlarda nitel ve nicel faktörleri ağırlıklandırmak amaçlı kullanılmaktadır. Kriterler çeşitli matematiksel yöntemler veya deneysel yöntemlerle değerlendirilebilir. ÇKKV metotları, hem maddi yönden tasarruf sağlamak hem de zaman tasarrufu sağlamak amacıyla kullanılan yöntemlerdendir. Çok sayıda faktörün uzmanlar yardımı ile ağırlıklandırılması ve ÇKKV metodu ile elde edilen önemli olan az sayıda faktörlerle deneylere başlanması maliyetlerin düşürülmesinde kritiktir. Bu ve bunun gibi çalışmaların sonuçları deneysel çalışmalar için ön çalışma niteliğinde olup çok sayıda kriterin ağırlıklandırılmasında önemli bir tekniktir. Literatür incelendiğinde, bu yöntemlerin sadece tüketici tercihlerinin belirlenmesi gibi konularda değil, bu çalışma gibi nicel ve nitel kriterleri içeren konularda da kullanıldığı görülmektedir. Açık literatürde bulu-

nan, ÇKKV metotlarının farklı alanlarda, farklı amaçlarla kullanıldığı bazı örnek çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Zolfani ve Saparuskas (2013), SWARA yöntemini, enerji sisteminin sürdürülebilirlik değerlendirme göstergelerini değerlendirmek ve önceliklendirmek için yaptıkları çalışmada kullanmışlardır. Wang ve Chang (2007), yaptıkları çalışmada; Tayvan Hava Kuvvetleri Akademisinde bulunan pervaneli hava araçları arasından en uygun eğitim uçağını seçebilmek için, eğitim uçaklarının tatbikat ustaları ve kursiyerler için önemli olan performans kriterlerini çok kriterli bir karar verme yöntemi olan TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) ile değerlendirmişlerdir. Öztürk, Yazgan ve Delice (2021), yaptıkları çalışmada Uçak Bakım Teknisyenleri için fiziksel iş yükü faktörlerini belirleyerek, belirlenen faktörleri ÇKKV metotlarından biri olan DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Model) yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Liou, Tzeng ve Chang (2007), yaptıkları çalışmada Tayvan'ın altı büyük havayolu şirketi için havayolu emniyet endeksinin nicel ölçümünü ÇKKV yaklaşımlarından DEMATEL ve ANP (Analytic Network Process) modellerini hibrit olarak kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Petrović ve Kankaraš (2018), Sırbistan Cumhuriyeti hava trafiğini hava sahası ihlalden ve diğer havacılık tehditlerinden korumak için DEMATEL ve AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemlerini kullanarak savaş uçağı ve uçak seçimi için kriterler belirlemişler ve kriterlerin önceliklendirilmesini yapmışlardır. Yapılan çalışmada, önemli kriterler belirlenmiş, daha az önemli kriterleri ortadan kaldırılmıştır. Abdulvahitoğlu Adnan, Abdulvahitoğlu Aslı ve Kılıç (2022), yaptıkları çalışmada elektrikli araçlarda kullanılacak en uygun bataryanın sahip olması gereken özellikleri ÇKKV metodlarından SWARA ve TOPSIS Metodlarını tümleşik olarak kullanarak belirlemişler ve ağırlıklandırmışlardır. Balki, Erdoğan, Aydın ve Sayın (2020), alternatif yakıtlar kullanılan küçük bir buji ateşlemeli motorun performas, emisyon ve yanma karakteristikleri açısından çalışma parametrelerinin optimizasyonunu ÇKKV metodlarından SWARA ve ARAS (Additive Ratio Assessment) yöntemlerini birlikte kullanarak yapmışlardır. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları, her bir karar verici için SWARA yöntemi ile hesaplanmıştır. Büyüközkan ve Gülerüz (2016), Türkiye'de en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi için ÇKKV yaklaşımlarından DEMATEL ve ANP birlikte kullanarak bir değerlendirme yapmışlardır. Bongo ve diğerleri (2018), yaptıkları çalışmada DEMATEL-ANP ve PROMETHEE II (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation) yaklaşımlarını kullanarak, hava trafik kontrolörlerinin maruz kaldığı iş yükü ana stres faktörlerini belirlemiş ve alınabilecek önlemleri sıralamışlardır. Yuan, XU ve Zhang (2021), 3. Taraf lojistik sağlayıcıların seçimi için ÇKKV metotlarından DEMATEL ve COPRAS (Complex Proportional Assessment) hibrit yöntemini kullanmışlardır. Ghenai, Albawab ve Bettayeb (2020), yenilenebilir enerji sistemleri (güneş, rüzgâr, fosforik asit yakıt

hücresi ve katı oksit yakıt hücresi) için sürdürülebilirlik göstergelerinin değerlendirilmesine ilişkin bazı araştırmalar yapmışlardır. Çalışmalarında ÇKKV yöntemi olan hibrit Adımlı Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi ARAS ve SWARA yöntemlerinden yararlanmışlardır. Rani, Mishra, Krishankumar, Mardani, Cavallaro, Soundarapandian, Ravichandran ve Balasubramanian (2020), sürdürülebilir tedarikçi seçiminin değerlendirme sürecinin, çeşitli niteliksel ve niceliksel kriterlerin araştırılması gerektiği nedeniyle bunun kararvericiler için karmaşık bir görev olduğundan bahsedilmişlerdir. Zolfani, Yazdani ve Zavadskas (2018) çalışmalarında kriterlerin önceliklendirilmesi ve ağırlıklandırılması sürecinin, ÇKKV'nin önemli bir parçası olduğundan bahsetmişlerdir. Siyasetin karar almanın merkezinde olduğu durumlarda, kriterlerin ağırlıklandırılmasında SWARA yönteminin etkili yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Stanujkic, Karabasevic ve Zavadskas (2015), SWARA yöntemine ve grup kararına dayalı olarak, müşterinin isteklerine göre uygun ambalaj tasarımını seçmek için uygun ambalajların seçiminde etkin bir yaklaşım sağlamak için çalışılmışlardır. İncelenen örneklere dayanarak, SWARA yönteminin birçok benzer problemi çözmek için başarılı bir şekilde kullanılabileceği ve bazı durumlarda Konjoint Analizi gibi benzer yöntemlere göre avantajları olabileceği sonucuna varmışlardır. Radović ve Stević (2018), ulaşım sektörünün 20 temel göstergesinin seçildiği toplam 62 performans göstergesini karşılaştırmışlardır. Çalışma Sırbistan ve Bosna-Hersek'te yapılmış ve 13 farklı denizcilik şirketinden 19 karar vericiyi içermiştir. Kriterlerin ve alt kriterlerin görelî ağırlığını belirlemek için SWARA yöntemini kullanmışlardır.

ÇKKV yönteminin farklı birçok alanda başarılı bir şekilde kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmanın amacı ÇKKV metodunun havacılık alanında kullanımını daha da yaygınlaştırmak, ayrıca; belirlenen alanda başlıca araştırılması gereken kriterlere dikkat çekmektir. Uçak performansına etki eden faktörlerin herhangi bir ÇKKV metoduyla değerlendirilmesini temel alan bir çalışmaya açık literatürde rastlanılmamıştır. Yapılan bu çalışmayla birlikte literatüre katkı sağlanması beklenmektedir.

### 3. Yöntem

ÇKKV, birçok alternatif arasından birbirini etkileyebilecek kriterlerin dikkate alınarak en uygun olan alternatif veya alternatiflerin belirlenmesi olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle çok fazla kriterin olduğu durumlarda ÇKKV yöntemlerinden faydalanılmaktadır. ÇKKV yöntemi, bu alandaki yöntemlerin günlük olarak uygulanması kaçınılmaz olduğu için bilim alanında özel bir yere sahiptir. Gerçek hayat problemlerinin çözümüne katkı sağladığı gibi bilim alanında çok karmaşık ve değişik problemlerin çözümüne de katkı sağlamaktadır. ÇKKV sadece son on yılda yaşadığı gelişme ile bilimdeki özel konumunu ispat etmektedir (Zavadskas,



Stevic, Tanackov ve Prentkovskis, 2018). Bir karar vericiden beklenen; kriterler arasından en iyiyi bulmak, kriterleri en iyiden en kötüye doğru sıralamak, onları önceden tanımlanmış sınıflar halinde gruplandırmaktır. Eldeki kriterleri belli bir fikir etrafında sıralamak için birçok yöntem bulunmaktadır. Çok kriterli bir yaklaşımda, analist farklı bakış açıları kullanarak birkaç kriter oluşturmaya çalışmaktadır. ÇKKV; bilimde, iş dünyasında ve hükümetlerde karmaşık bir dünya varsayımına dayanan ve en yaygın kullanılan karar metodolojilerinden biridir ve karar verme sürecini daha açık, rasyonel ve verimli hale getirmektedir. Gerçek hayatta, bir karar verici her şeyden önce durumu anlamalı ve tanımlamalıdır. Bu aşama, paydaşların belirlenmesini ve değerlendirilmesini, farklı uygulanabilir eylem alternatiflerini, çok sayıda farklı ve önemli karar kriterlerini, bilginin türü ve kalitesini vb. içerir (Zavadskas ve Turskis, 2010).

### 3.1SWARA Yöntemi

SWARA yöntemi 2010 yılında sunulan yeni ÇKKV yöntemlerinden birisidir. Bu yöntemde, değerlendirmelerde ve ağırlıkların hesaplanmasında uzmanın (karar verici) önemli bir rolü vardır. Kriterlerin önem oranı konusunda uzman görüşlerinin tahmin edilebilmesi bu yöntemin ana unsurudur (Zolfani ve Sapauskas, 2013). SWARA genellikle makine araçları temin edilirken aracın seçimine karar verme, işe alım, kurumsal ve sosyal sorumluluk, sürdürülebilirlik, ürün tasarımı, ambalaj tasarımı gibi çeşitli karmaşık ÇKKV problemlerini çözmek için kullanılmaktadır. Bu yöntem, uzmanların ağırlıkları belirleme sürecinde kriterlerin önem oranını tahmin etmelerini sağlar. Uzmanlardan elde edilen verilerin toplanmasında ve koordine edilmesinde etkilidir. Hesaplanan ağırlıkların değerlendirilmesinde de uzmanlara önemli görevler düşmektedir. Her uzman kendi bilgi, birikim ve deneyimine dayalı olarak her bir kriterin önemini belirler (Shahsavari, Rad, Afzal, Nezafati ve Aghdam, 2019).

SWARA yönteminin adımları aşağıdaki özetlenmiştir (Keršulienė ve Turskis, 2011; Keršulienė, Zavadskas ve Turskis, 2010; Shahsavari ve diğ., 2019; Zavadskas ve Turskis, 2010; Zolfani ve Sapauskas, 2013):

Öncelikle tanımlanan problemin kriterleri ve seçim aşamasına katılması gereken konu ile ilgili uzmanlar karar verici olarak belirlenmelidir. Daha sonra karar vericilerin her birinden çalışma için belirlenen kriterleri kendi tecrübe ve düşüncelerine göre en önemli gördükleri kriter en üstte olacak şekilde önem sırasına göre kriterleri sıralamaları istenilir. Kriterler en önemliden en önemsiz doğru yukarıdan aşağıya sıralanır. Bu adımlar tüm karar vericiler tarafından uygulanır.

Önem sırasına göre dizilen kriterlerin yan sütununa önem puanları yazılır. En önemli görülen yani en üstteki kriterin önem puanı olmaz. Önem puanları, 0 ile 1 arasında bir sayı olmalıdır. Önem puanının büyük olması demek, karşılaştırı-

lan iki kriter arasındaki önem derecesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Her kriter bir üstte belirlenen kriter ile kıyaslanır. Birinci kriterin ikinci kriterden ne kadar daha önemli olduğu, önem puanı olarak ikinci kriterin yanına yazılır. Bu şekilde ikinci kriter ile üçüncü kriter, üçüncü kriter ile dördüncü kriter vb. kıyaslanarak tüm kriterler için önem puanı belirlenmiş olur.

Aşağıda gösterilen (1) eşitliğinde bulunan  $k_j$  katsayısı kriterlerin ikili kıyaslaması yoluyla bulunur.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

Yeniden hesaplanmış ağırlık değerini gösteren  $q_j$  değişkeni eşitlik (2) ile hesaplanır.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Kriterlerin göreceli ağırlıklarını gösteren  $w_j$  değeri ise (3) eşitliğinin yardımıyla bulunur.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (3)$$

#### 4. Bulgular

Bu çalışmada uçak performansına etki eden faktörlerin ÇKKV yöntemi olan SWARA ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Söz konusu faktörlerin belirlenmesi aşamasında araştırmalar yapılmış ve birçok farklı kaynaktan ve uzman kişilerden faydalanılmıştır. Belirlenen 14 kritere ait kriterler kodları ve kriterlerin isimleri Tablo1`de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kriterlerin Kodları ve İsimleri

Kriter kodu	Kriterler
$C_1$	Sıcaklık
$C_2$	Buzlanma
$C_3$	Mikro patlamalar
$C_4$	Yakıtlar
$C_5$	Lastikler
$C_6$	Kanatçığin etkisi
$C_7$	Yağmur
$C_8$	Yapım malzemesi
$C_9$	Ağırlık
$C_{10}$	Basınç
$C_{11}$	Pist yapısı
$C_{12}$	Rüzgâr
$C_{13}$	Yer etkisi
$C_{14}$	Pervane veriminin etkisi

#### 4.1 Kriterlerin Önem Düzeyine Göre Ağırlıklandırılması

Uçak performansına etki edebilecek 14 kriter belirlendikten sonra kendi alanında tecrübeli 5 Karar verici ile görüşülmüş ve onlardan çalışma kapsamında 14 kriteri önem düzeylerine göre sıralamaları istenilmiştir. Kriterlerin karar vericiler tarafından önem düzeyine göre sıralamaları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Performans Kriterlerinin Önceliklendirilmesi

No	Kriterler	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
$C_1$	Sıcaklık	7	3	1	2	4
$C_2$	Buzlanma	12	14	11	5	5
$C_3$	Mikro patlamalar	2	8	12	11	14
$C_4$	Yakıt	5	7	10	6	2
$C_5$	Lastikler	9	12	3	12	10
$C_6$	Kanatçığın etkisi	6	4	14	10	11
$C_7$	Yağmur	10	10	2	7	8
$C_8$	Yapım malzemesi	1	6	4	8	6
$C_9$	Ağırlık	3	1	5	1	1
$C_{10}$	Basınç	11	2	6	3	3
$C_{11}$	Pist yapısı	13	13	13	13	9
$C_{12}$	Rüzgâr	8	9	7	4	7
$C_{13}$	Yer etkisi	14	11	8	14	12
$C_{14}$	Pervane veriminin etkisi	4	5	9	9	13

Tablo 2`de gösterilen kriter sıralamaları karar vericiler tarafından kendi tecrübe ve bilgilerine göre değerlendirilerek yazılmıştır.

#### 4.2 Kriterlerin Karşılaştırılması ve Ortalama Değerin Karşılaştırmalı Önem Değerinin Belirlenmesi

Kriterler uzmanlar tarafından önem sırasına göre sıralandıktan sonra karar vericilerden her kriteri kendisinden bir önceki kriterle kıyaslamaları ve 0 ile 1 arasında bir puan vererek önem puanı olan sj değerini yazmaları istenilmiştir. En önemli kriterin sj katsayısının karşısı boş bırakılmıştır. Tablo 3`te 5 karar vericinin 14 kriter için belirledikleri sj değerleri sunulmuştur.

Tablo 3. Kriterler için  $s_j$  ve  $k_j$  Değerleri

Kriterler	$s_j^1$	$s_j^2$	$s_j^3$	$s_j^4$	$s_j^5$	$k_j^1$	$k_j^2$	$k_j^3$	$k_j^4$	$k_j^5$
$C_1$	0.05	0.01		0.05	0.01	1.05	1.01	1.00	1.05	1.01
$C_2$	0.3	0.05	0.3	0.05	0.05	1.30	1.05	1.30	1.05	1.05
$C_3$	0.2	0.01	0.1	0.2	0.05	1.20	1.01	1.10	1.20	1.05
$C_4$	0.5	0.1	0.2	0.05	0.25	1.50	1.10	1.20	1.05	1.25
$C_5$	0.01	0.005	0.05	0.2	0.05	1.01	1.005	1.05	1.20	1.05
$C_6$	0.15	0.01	0.15	0.1	0.1	1.15	1.01	1.15	1.10	1.10
$C_7$	0.01	0.01	0.1	0.2	0	1.01	1.01	1.10	1.20	1.00
$C_8$		0.05	0.1	0.25	0.05	1.00	1.05	1.10	1.25	1.05
$C_9$	0.25		0.05			1.25	1.00	1.05	1.00	1.00
$C_{10}$	0.01	0.3	0.2	0.15	0.01	1.01	1.30	1.20	1.15	1.01
$C_{11}$	0.05	0.005	0.05	0.2	0.01	1.05	1.005	1.05	1.20	1.01
$C_{12}$	0.15	0.05	0.15	0.3	0.25	1.15	1.05	1.15	1.30	1.25
$C_{13}$	0.2	0.005	0.1	0.4	0.2	1.20	1.005	1.10	1.40	1.20
$C_{14}$	0.5	0.01	0.15	0.05	0.25	1.50	1.01	1.15	1.05	1.25

### 4.3 Kriterlerin $k_j$ Değerinin Belirlenmesi

$k_j$  değeri Eşitlik (1) kullanılarak bulunmuş ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Belirlenen ve en önemli kriter olarak görülen ilk kriterlerin karşısı boş olduğu için onun  $k_j$  değeri 1.00 olarak belirlenmiştir.

### 4.4 Yeniden Hesaplanan Ağırlık Değerinin Bulunması

Yeniden hesaplanan ağırlık değeri Eşitlik (2) yardımıyla hesaplanarak Tablo 4'te sunulmuştur. Birinci kriter için  $q_j$  değeri 1 olarak belirlenmiş, ikinci kriter içinse kendisinden önceki kriterin  $q_j$  değerinin kendi  $k_j$  değerine bölünmesiyle elde edilmiştir. Toplam  $q_j$  değerleri de Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Yeniden Hesaplanan Ağırlık Değerleri

Kriterler	$q_j^1$	$q_j^2$	$q_j^3$	$q_j^4$	$q_j^5$
$C_1$	0.24538	0.76161	1	0.95238	0.78424
$C_2$	0.15931	0.56623	0.27526	0.60671	0.74689
$C_3$	0.83333	0.64001	0.25024	0.27793	0.30972
$C_4$	0.2963	0.64641	0.35784	0.57782	0.8
$C_5$	0.21126	0.59751	0.8658	0.23161	0.5366
$C_6$	0.25765	0.75407	0.20723	0.33352	0.48782
$C_7$	0.20917	0.6035	0.90909	0.48151	0.56906
$C_8$	1	0.71106	0.78709	0.38521	0.71133
$C_9$	0.66667	1	0.74961	1	1
$C_{10}$	0.2071	0.76923	0.62468	0.82816	0.79208
$C_{11}$	0.15172	0.59454	0.23832	0.19301	0.56343
$C_{12}$	0.21337	0.60954	0.5432	0.63704	0.56906
$C_{13}$	0.12643	0.6005	0.49381	0.13786	0.40651
$C_{14}$	0.44444	0.74661	0.4294	0.36687	0.32521
Toplam $q_j$ değerleri	5.02213	9.60083	7.73157	7.00963	8.60194

#### 4.5 Kriterlerin Göreceli Ağırlık Değerlerinin Hesaplanması

Son adım olarak tüm karar vericiler için göreceli ağırlık değeri olan  $w_j$  değeri Eşitlik (3) yardımıyla hesaplanarak Tablo 5`te gösterilmiştir. Her kriter için  $w_j$  değeri onun kendi  $q_j$  değerinin tüm  $q_j$  değerlerinin toplamına bölünmesi yoluyla belirlenmiştir.

Tablo 5. Göreli Ağırlık Değerleri

Kriterler	$w_j^1$	$w_j^2$	$w_j^3$	$w_j^4$	$w_j^5$
$C_1$	0.04886	0.07933	0.12934	0.13587	0.09117
$C_2$	0.03172	0.05898	0.0356	0.08655	0.08683
$C_3$	0.16593	0.06666	0.03237	0.03965	0.03601
$C_4$	0.059	0.06733	0.04628	0.08243	0.093
$C_5$	0.04207	0.06224	0.11198	0.03304	0.06238
$C_6$	0.0513	0.07854	0.0268	0.04758	0.05671
$C_7$	0.04165	0.06286	0.11758	0.06869	0.06615
$C_8$	0.19912	0.07406	0.1018	0.05495	0.08269
$C_9$	0.13275	0.10416	0.09695	0.14266	0.11625
$C_{10}$	0.04124	0.08012	0.0808	0.11815	0.09208
$C_{11}$	0.03021	0.06193	0.03082	0.02753	0.0655
$C_{12}$	0.04249	0.06349	0.07026	0.09088	0.06615
$C_{13}$	0.02518	0.06255	0.06387	0.01967	0.04726
$C_{14}$	0.0885	0.07776	0.05554	0.05234	0.03781

Son olarak, kriterlerin göreceli ağırlık değerleri de hesaplandıktan sonra sıralamayı belirlemek için geometrik ortalama alınmıştır. Final sıralama Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Son Ağırlıklar ve Sıralama

Kriterler	$w_j$	Sıralama
$C_1$	0.097	3
$C_2$	0.060	11
$C_3$	0.068	7
$C_4$	0.070	6
$C_5$	0.062	10
$C_6$	0.052	12
$C_7$	0.071	5
$C_8$	0.103	2
$C_9$	0.119	1
$C_{10}$	0.082	4
$C_{11}$	0.043	14
$C_{12}$	0.067	8
$C_{13}$	0.044	13
$C_{14}$	0.062	9

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Uçak performansını arttırmaya yönelik çalışmalar havacılık sektörünün en önemli amaçlarından biridir. Yapılan bu çalışmada uçak performansına etki edebilecek faktörler araştırılmış ve ÇKKV metodu olan SWARA yöntemi kullanılarak havacılık sektöründe uzman olan karar vericilerin görüşleri doğrultusunda kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

Uçak performansı konusu havacılık sektöründe çok önemli bir yere sahip olmakla beraber her geçen gün araştırılması ve güncelleştirilmesi gereken bir konudur. Çalışma kapsamında 14 kriter ele alınmıştır. Bunlar sıcaklık, buzlanma, mikro patlamalar, yakıt, lastikler, kanatçık, yağmur, yapım malzemesi, ağırlık, basınç, pist yapısı, rüzgâr, yer etkisi, pervane verimi gibi uçak performansına etki edebilecek önemli faktörlerdir. Her bir kriter için farklı uzmanlardan ağırlık değerlendirme sonuçları alınmış ve ÇKKV yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu analizlerin sonucunda; ağırlık kriterinin uzmanlara göre uçak performansına daha çok etki edebileceği değerlendirmeler sonucu belirlenmiştir.

Kriter ağırlıklandırılması sonucunda faktörler içerisinde uçak performansına etki edebilecek en önemli kriter "ağırlık" olarak belirlenmiştir. Uçağın ağırlığı, sadece kalkışta değil, tüm uçuş süresi boyunca önemlidir ve birçok uçak, özellikle karmaşık yakıt sistemlerine sahip uçakların yakıt yanması sonucunda hem



ağırlıkları hem de ağırlık merkezleri değişebilir. Bu nedenle ağırlık ve denge hesaplanırken kalkış, iniş ve sıfır yakıt için konumların çizilmesi önemlidir. Tüm bunlar ağırlık faktörünün uzmanlarca neden en önemli kriter olarak görüldüğünü açıklamaktadır.

Diğer kriterlerden yapım malzemesi, sıcaklık gibi kriterlerin de karar vericiler tarafından uçak performansını etkileyen önemli faktörler olarak değerlendirildiği görülmektedir.

Yapılan çalışmada, literatür taramasında da bahsedilen çalışmalarda olduğu gibi belirli kriterler kapsamında önem düzeylerinin belirlenmesi adımları uygulanmış, ÇKKV yöntemlerinin üzerinde durulmuştur. Genellikle elde edilen sonuçlar yapılan diğer çalışmalar ile benzerlik gösterse de, alanlar farklı, yöntemler aynı olmuştur. Buna en esas gerekçe olarak araştırılan bilim alanlarının farklılığı gösterilebilir.

ÇKKV metodunun bu tarz çalışmalarda önemi daha çok fark edilmiştir. Her kriter için önemli verileri elde etmek hem zaman hem de mali açıdan çalışmaları aksatabilir. ÇKKV yöntemlerinin yardımıyla bu veriler çok çabuk ve daha az maliyetli bir şekilde elde edilebileceği düşünülmektedir.

Uçak performansına etki eden faktörlerin ne derece önemli olduğunun önceden belirlenebilmesi ve uçağın performansının artırılması için tüm faktörler göz önüne alınmalı ve üzerinde çalışılarak hem teknisyenlere hem de havacılık sektörü çalışanlarına bilgi verilmelidir. Bu faktörlerin her biri için önem sırasına göre önceden önlemler alınması durumunda uçuş performansının artırılabilceği, aynı zamanda uçakların uçuş ömrünün uzayabileceği öngörülmektedir.

### **Semboller ve Kısaltmalar**

AHP	Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
ANP	Analytic Network Process (Analitik Ağ Süreci)
ARAS	Additive Ratio Assessment (Toplanan Oran Değerlendirmesi)
COPRAS	Complex Proportional Assessment (Karmaşık Orantılı Değerlendirme)
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Model (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı Modeli)
KV	Karar Verici
MCDM	Multi-Criteria Decision Making methods (Çok Kriterli Karar Verme Metotları)

PROMETHEE	Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation (Zenginleştirme Değerlendirme İçin Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi)
SWARA	Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi)
TOPSIS	Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüm ile Benzerlik Sırasına Göre Sipariş Tercihi Tekniği)
$q_j$	Yeniden hesaplanan ağırlık değeri
$k_j$	Ağırlık değeri
$s_j$	Önem puanı
$w_j$	Göreceli ağırlık değeri

### Teşekkür

Uzman ekibe yardımlarından ötürü teşekkür ederiz.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynakça

- Abdülvahitoğlu, A., Abdülvahitoğlu, A., Kılıç, M., 2022. "Elektrikli Araç Bataryalarının Bütünleşik SWARA-TOPSIS Metodu ile Değerlendirilmesi", *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37 (4), 1061-1076.
- Balki, M. K., Erdoğan, S., Aydın, S., Sayın, C., 2020. "The Optimization of Engine Operating Parameters Via SWARA and ARAS Hybrid Method in a Small SI Engine Using Alternative Fuels", *Journal of Cleaner Production*, 258, 120685. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120685>.
- Bongo, M. F., Alimpangog, K. M. S., Loar, J. F., Montefalcon, J. A., Ocampo, L. A., 2018. "An Application of DEMATEL-ANP and PROMETHEE II Approach for Air Traffic Controllers' Workload Stress Problem: A Case of Mactan Civil Aviation Authority of the Philippines", *Journal of Air Transport Management*, 68, 198-213. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.10.001>
- Büyüközkan, G., Güteryüz, S., 2016. "An Integrated DEMATEL-ANP Approach for Renewable Energy Resources Selection in Turkey", *International Journal of Production Economics*, 182, 435-448. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.015>

- Cavcar, M., Cavcar, A., 2005. "Optimum Range and Endurance of a Piston Propeller Aircraft with Cambered Wing", *Journal of Aircraft*, 42(1), 212–217. doi:<https://doi.org/10.2514/1.6095>
- Coffel, E.D., Thompson, T.R., Horton, R.M., 2017. "The impacts of rising temperatures on aircraft takeoff performance". *Climatic Change*, 144, no. 2, 381–388, doi:<https://doi.org/10.1007/s10584-017-2018-9>
- Comer, A. M., Swartz, S., Chakraborty, I., 2020. "Data-Driven General Aviation Aircraft Performance Modeling and Safety Research", AIAA AVIATION 2020 FORUM. doi:<https://doi.org/10.2514/6.2020-3097>
- Çalışkan, F., Hajiyev, C., 2013. "A review of inflight detection and identification of aircraft icing and reconfigurable control", *Progress in Aerospace Sciences*, 60, 12– 34. doi:10.1016/j.paerosci.2012.11.00
- Erturk, S. A., Gomec, F. S., 2020. "The Analyses of Aircraft Performance During Take-off and Landing with Aerodynamic Interference Effects and the 6-DOF Model", AIAA AVIATION 2020 FORUM. doi:<https://doi.org/10.2514/6.2020-2640>
- Hashemkhani Zolfani, S., Yazdani, M., Zavadskas, E. K., 2018. "An extended step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) method for improving criteria prioritization process", *Soft Computing*. doi:<https://doi.org/10.1007/s00500-018-3092-2>
- Ghenai, C., Albawab, M., Bettayeb, M., 2020. "Sustainability indicators for renewable energy systems using multi-criteria decision-making model and extended SWARA/ARAS hybrid method", *Renewable Energy*, 146, 580–597. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.157>
- Holloway, R. B., Burris, P. M., Johannes, R. P., 1970. "Aircraft performance benefits from modern control systems technology", *Journal of Aircraft*, 7(6), 550–553. doi:<https://doi.org/10.2514/3.44211>
- Immer, M., Juretzko, P. G., 2018. "Advanced Aircraft Performance Analysis", *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 00-00. doi:<https://doi.org/10.1108/AEAT-11-2016-0205>
- Keršulienė, V., Turskis, Z., 2011. "Integrated fuzzy multiple criteria decision making model for architect selection", *Technological and Economic Development of Economy*, 17(4), 645- 666.
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., 2010. "Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA)", *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258.

- Liou, J. J.H., Tzeng, G.-H., Chang, H.-C., 2007. "Airline Safety Measurement Using a Hybrid Model", *Journal of Air Transport Management*, 13 (4), 243-249. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2007.04.008>
- Öztürk, Y. , Yazgan, E., Kılıç Delice, E., 2021. "Uçak Bakım Teknisyenleri için DEMATEL Yöntemi ile Fiziksel İş Yükü Faktörlerinin Değerlendirilmesi", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Special Issue 2021 (ICAENS)*, 1447-1453. doi:<https://doi.org/10.31590/ejosat.1010051>
- Petrović, I., Kankaraš, M., 2018. "DEMATEL-AHP Multi-Criteria Decision Making Model for The Selection and Evaluation of Criteria For Selecting An Aircraft For The Protection of Air Traffic. Decision Making", *Applications in Management and Engineering*, 1(2), 93–110.
- Radović, D., Stević, Ž., 2018. "Evaluation and selection of KPI in transport using SWARA method", *Transport & Logistics: the International Journal*, 2018; Vol 18, Issue 44.
- Rani, P., Mishra, A. R., Krishankumar, R., Mardani, A., Cavallaro, F., Soundarapandian Ravichandran, K., Balasubramanian, K., 2020. "Hesitant Fuzzy SWARA-Complex Proportional Assessment Approach for Sustainable Supplier Selection (HFSWARA-COPRAS)", *Symmetry*, 12(7), 1152. doi:<https://doi.org/10.3390/sym12071152>
- Shahsavar, S.; Rad, A.J.; Afzal, P.; Nezafati, N.; Aghdam, M.A., 2019. "Prospecting for polymetallic mineralization using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) and fractal modeling in Aghkand Area", *NW Iran. Arab. J. Geosci.* 2019, 12, 248.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D., Zavadskas E. K., 2015. "A Framework for the Selection of a Packaging Design Based on the SWARA Method", *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 2015, 26(2), 181–187. doi:<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1350.9603>
- Şöhret, Y., Ekici, S., Altuntaş, Ö., Hepbasli, A., Karakoç, T. H., 2016. "Exergy as a useful tool for the performance assessment of aircraft gas turbine engines: A key review", *Progress in Aerospace Sciences*, 83, 57–69. doi:<https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2016.03.00>
- Tay, G., Keller, P., Hornung, M., 2018. "Development of a software tool for comprehensive flight performance and mission analysis of hybrid-electric aircraft", *Transportation Research Procedia*, 29, 401-409. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.02.036>
- Vachon, M. J., Ray, R., Walsh, K., Ennix, K., 2002. "F/A-18 Aircraft Performance

- Benefits Measured During the Autonomous Formation Flight Project*", AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibit. doi:<https://doi.org/10.2514/6.2002-4491>
- Yuan, Y., Xu, Z., Zhang, Y., 2021. "The DEMATEL–COPRAS Hybrid Method Under Probabilistic Linguistic Environment and Its Application in Third Party Logistics Provider Selection", *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 21, 137–156. doi:<https://doi.org/10.1007/s10700-021-09358-9>
- Wang, T.-C., Chang, T.-H., 2007. "Application of TOPSIS in Evaluating Initial Training Aircraft Under a Fuzzy Environment", *Expert Systems with Applications*, 33(4), 870–880. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.07.003>
- Whalen, E. A., Bragg, M. B., 2005. "Aircraft Characterization in Icing Using Flight Test Data", *Journal of Aircraft*, 42(3), 792–794. doi:<https://doi.org/10.2514/1.11198>
- Zavadskas, E. K., Stevic, Z., Tanackov, I., Prentkovskis, O., 2018. "A Novel Multicriteria Approach – Rough Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis Method (R-SWARA) and Its Application in Logistics", *Studies in Informatics and Control* 27(1):97-106. doi:<https://doi.org/10.24846/v27i1y201810>
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., 2010. "A New Additive Ratio Assessment (ARAS) Method in Multicriteria Decision-Making", *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2): 159-172.
- Zolfani, S. H., & Saparauskas, J. (2013). "New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System", *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 24(5), 408-414. doi:<https://doi.org/10.5755/j01.ee.24.5.4526>