

# Bulanık CRITIC ve Bulanık EDAS Yöntemleri ile 3 Boyutlu Yazıcı Seçimi

## 3D Printer Selection by Using Fuzzy CRITIC and Fuzzy EDAS Methods

Nihan KABADAYI<sup>1</sup> , Sündüs DAĞ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>(Doç. Dr.), İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Üretim Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>(Doç.Dr.), İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Üretim Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

### ÖZ

Günümüzde katmanlı imalat bir diğer adıyla 3 boyutlu yazıcı çok sayıda farklı sektörde hem prototipleme hem de parça üretimi için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Geleneksel üretim yöntemlerine göre birçok avantaj sağlayan 3 boyutlu yazıcı teknolojileri sağlık sektöründen eğitim sektörüne ve inşaat, otomotiv sektöründen gıda sektörüne kadar geniş bir yelpazede kendini göstermektedir. 3 boyutlu yazıcıların kullanımı işletmelere maliyet, zaman, kaynak avantajı ve kişiselleştirilmiş ürünler üretme imkânı gibi stratejik avantajlar sunmaktadır. Bu sebeple işletmeler için 3 boyutlu yazıcı seçimi kritik öneme sahip bir karar süreçlerinden biridir.

Bu çalışmada, Kayseri ilinde plastik mobilya aksamaları üreten bir firmanın prototipleme ve tasarım amacıyla kullanacakları 3 boyutlu yazıcının seçim problemi ele alınmıştır. Çözüm için Bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemlerinden oluşan bütünlük bir Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (ÇKVV) önerilmiştir. İlk aşamada grup Teknik, Ekonomi, Performans ve Çevre başlıkları altında toplanan 20 farklı kriterin ağırlıkları bulanık CRITIC yöntemi uygulanarak belirlenmiştir. İkinci aşamada, firma yetkilileri tarafından üretimlerine uygun olabilecek dört farklı 3 boyutlu yazıcı belirlenerek, bulanık EDAS yöntemi ile bu alternatif yazıcıların sıralaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmanın sonucunda firmanın 3 boyutlu yazıcı seçim kararında en etkili kriterin atık oluşumu (K20) olduğu belirlenmiştir. Bu kriter, 3 boyutlu üretimin baskı sürecinde kullanılmayan veya atılan malzeme miktarını ifade eder. Atık oluşumu, üretim süreçlerinin çevresel sürdürülebilirliğini ve maliyetlerini doğrudan etkilediği için firma için önemlidir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, firma için en uygun 3 boyutlu yazıcı modeli Flashforge Creator 3 (A1) olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda belirlenen model ile firmanın prototip üretimi, prototipten ürüne geçiş ve hata tespiti gibi kritik süreçlerde fayda elde etmesi beklenmektedir.

### ABSTRACT

Nowadays, additive manufacturing, also known as three-dimensional (3D) printing, is widely used in many different sectors for both prototyping and part production. 3D printer technologies, which offer more advantages compared with traditional production methods, are applied in a wide range of sectors, from health, education construction, automotive, to food. The utilization of 3D printers offers businesses numerous advantages, including cost reduction, time savings, efficient resource utilization, and the ability to produce customized products. Therefore, selection of 3D printers is a critical decision-making process for businesses. This study discusses the 3D printer selection problem of a furniture parts company located in Kayseri, Turkey. An integrated multicriteria decision making (MCDM) approach, which comprises the fuzzy CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) and fuzzy EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) methods, is proposed for the solution. In the first stage, weights of 20 subcriteria gathered under the four main criteria (technical, economy, performance, and environment) are determined using the fuzzy CRITIC method. In the second stage, possible four different 3D printer options were determined by the company experts, and all four of these options were ranked using the fuzzy EDAS method. The application results indicated that waste generation (K20) holds significant importance as a criterion in the company's 3D printer selection process. Waste generation refers to the amount of material discarded or unused during the printing process, which directly impacts both environmental sustainability and production costs. Moreover, the results identified the Flashforge Creator 3 (A1) as the most suitable printer among all the options considered.

**Anahtar Kelimeler:** 3 Boyutlu Yazıcı, Katmanlı imalat, Çok kriterli karar verme, CRITIC, EDAS, Bulanık

**Keywords:** 3D printer, Additive manufacturing, Multi-criteria Decision Making, CRITIC, EDAS, Fuzzy

**Corresponding Author:** Nihan Kabadayı E-mail: nihank@istanbul.edu.tr

**Submitted:** 27.07.2022 • **Revision Requested:** 16.05.2023 • **Last Revision Received:** 29.05.2023 • **Accepted:** 27.03.2024 • **Published Online:** 15.04.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

## EXTENDED ABSTRACT

Nowadays, additive manufacturing, also called three-dimensional (3D) printing, is widely used in many different sectors for both prototyping and part production. 3D printer technologies, which offer more advantages compared with traditional production methods, are employed in a wide range of sectors, from health, education, construction, automotive to food. The utilization of 3D printers offers businesses numerous advantages, including cost reduction, time savings, efficient resource utilization, and the ability to produce customized products. Furthermore, the integration of 3D printers into manufacturing operations helps companies develop their local production capabilities. Therefore, 3D printing is anticipated to offer significant flexibility to the global supply chain by enabling companies to quickly adapt to changes in demand or product specifications. For example, if there is a sudden surge in demand for a particular product, manufacturers equipped with 3D printers can swiftly adjust their production schedules and begin manufacturing the required items without the need for retooling or extensive lead times. Additionally, 3D printing enhances resilience within the supply chain by reducing dependency on centralized production facilities and long-distance transportation networks. In the event of disruptions such as natural disasters or geopolitical conflicts affecting traditional manufacturing hubs, companies can utilize local 3D printing capabilities to maintain continuity in production and meet customer demands. This decentralized approach mitigates risks associated with supply chain disruptions and enhances the overall resilience of the global manufacturing ecosystem. In addition, local production with 3D printers in the supply chain helps reduce carbon footprint and decrease transportation costs of finished products, thanks to the more effective use of materials.

As a result, the environmental impact of enterprises during production and distribution processes is diminished, leading to increased efficiency in resource utilization. Consequently, businesses stand to gain from improved sustainable supply chain capabilities. Recently, 3D printers have become a popular tool in the market that can be used for different purposes. The market offers a wide range of 3D printer models with varying functions and print quality across different price ranges. Therefore, selecting the appropriate 3D printer model based on intended use and budget has become a crucial decision for businesses.

The selection of a 3D printer can be considered as a classical multicriteria decision-making (MCDM) problem, as it involves evaluating options against multiple criteria. This study proposes a practical decision-making tool that companies can utilize to select 3D printers suitable for their specific purposes. In addition, a comprehensive list of criteria for 3D printer evaluation is provided to guide companies through the decision-making process of 3D printer selection. An integrated MCDM method, comprising the fuzzy CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) and fuzzy EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) methods, is suggested for the solution. Criteria weights are determined using the fuzzy CRITIC method, which calculates the importance level of each criterion both objectively and subjectively while processing a large set of criteria. The fuzzy EDAS method, which is a practical method to solve MCDM problems involving many criteria, ranks the alternative 3D printer models. This study contributes to the literature by showing, for the first time, the integrated use of the fuzzy CRITIC and fuzzy EDAS methods for solving 3D printer selection problems.

This study tests the real-life problem solution performance of the proposed model on a production company located in Kayseri, Turkey. In the first stage, weights of 20 subcriteria gathered under the four main criteria (technical, economy, performance, and environment) are determined via the fuzzy CRITIC method. In the second stage, four different 3D printer models (Flashforge Creator 3, Zortrax M200 Plus, Ultimaker 2+ connect, and Zaxe Z1) are suggested by the company experts; these four options are then ranked using the fuzzy EDAS method. Following this, Flashforge Creator 3 is selected as the most suitable 3D printer model for the company. The feedback collected from the company experts revealed that the company has reaped many benefits in prototype production after it started to utilize the selected 3D printer model. Thanks to the utilization of 3D printers, the company has experienced several advantages, including reduced transition time from prototype to product, early-stage error detection such as during the design process, and the ability to adjust models according to customer needs, consequently improving customer satisfaction.

## 1. Giriş

Endüstri 4.0 ile birlikte birçok teknolojinin üretim ve tedarik zinciri yönetimi alanında kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu teknolojilerden birisi de katmanlı imalat teknolojileridir. Önceleri sadece prototipleme amacı ile kullanılan katmanlı imalat teknolojileri bilgisayar teknolojilerindeki ve malzeme bilimindeki gelişmelere paralel olarak diğer alanlarda da farklı amaçlarla kullanılmaya başlamıştır (Karagöz vd., 2021). Günümüzde birçok firma prototip, kalıp ve parça üretiminde 3 boyutlu yazıcı gibi katmanlı imalat teknolojilerinden yararlanmaktadır. Katmanlı imalat teknolojisinde 3 boyutlu sanal bilgisayar destekli bir tasarım modeli üçgensel kafes yüzeyli bir modele dönüştürüldükten sonra bu 3 boyutlu model özel yazılımlarla katmanlara ayrıştırılmakta ve 3 boyutlu yazıcı ile en alt katmandan başlayarak katman katman fiziksel bir ürüne dönüştürülmektedir (Kahraman, 2021).

Günümüzde hızla değişen müşteri istekleri ve ürünlerin kısalan yaşam eğrileri nedeniyle firmalar küçük partiler halinde ve çok çeşitlilikteki ürünü daha kısa sürede ve az maliyet ile üretmeyi hedeflemektedir. Katmanlı imalat yöntemlerinin sağlamış olduğu hızlı prototipleme, hızlı imalat ve hızlı kalıp üretimi sayesinde firmaların bu hedeflerine ulaşması mümkün hale gelmektedir. 3 boyutlu yazıcıların üretimde kullanılmasıyla birlikte firmalar kaliteli parça üretimi, kullanım kolaylığı, hızlı tasarım ve üretim, düşük maliyet, çeşitli ürün üretimi gibi avantajlardan faydalanabilmektedir (Khamhong vd., 2019). Buna ilaveten, 3 boyutlu

yazıcıları üretim operasyonlarına dahil edilmesi firmaların lokal üretim yeteneklerini gelişmesine katkı sağlamaktadır. Bu da tedarik zincirlerinin esneklik ve dayanıklılık kazanmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca tedarik zincirinde 3 boyutlu yazıcılar ile lokal üretimin gerçekleştirilmesi malzemelerin daha etkin kullanılması sayesinde karbon ayak izinin azaltılması ve bitmiş ürünlerin taşıma maliyetlerinin azaltılmasına fayda sağlamaktadır. Bu sayede işletmelerin üretim ve dağıtım süreçlerinde çevreye vermiş oldukları zararlar azalmış ve kaynakların kullanımı açısından verimlilikleri artmış olacaktır. Bu da işletmelerin sürdürülebilir tedarik zinciri yeteneklerini arttırmaya fayda sağlayacaktır. Günümüzde sürdürülebilirliğin önemi düşünüldüğünde bu teknolojilere yatırım yapmanın firmalar açısından bir başka önemli bir faydasının sürdürülebilir üretim yeteneklerinin gelişmesi olduğu söylenebilir (Shanker, 2021). Bu sebeplerle son yıllarda 3 boyutlu yazıcıların işletmeler tarafından farklı avantajlar elde edebilmek amacıyla kullanımı giderek artmaktadır. 2021 yılında küresel 3 boyutlu yazıcı pazar değeri 15,10 milyar dolar olarak kaydedilmiştir. Bu değer tahminleme dönemi boyunca yıllık bileşik % 24,3 büyüme oranıyla 2022 yılında 18,33 milyar dolara ulaşması ve 2029 yılında 83,90 milyar dolar olacağı tahmin edilmektedir. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında küresel pazar büyüme oranının 2020 yılında ortalama %20,2 olduğu gözlemlenmiştir (Fortune Industry Report, 2021).

3 boyutlu yazıcıların özellikle imalat sektöründe kullanımı son yıllarda artmış olmakla birlikte ilk olarak sanayide kullanımı otuz yıl öncesine dayanmaktadır. Bu otuz senelik süreç içerisinde 3 boyutlu yazıcılar hem fiziksel olarak hem de teknolojik olarak birçok değişim geçirmiştir (Sönmez vd., 2018). Hayatımızın her alanında kullanılır duruma gelen 3 boyutlu yazıcılar sağlık sektöründen eğitim sektörüne ve inşaat, otomotiv sektöründen gıda sektörüne kadar geniş bir yelpazede kendini göstermektedir. Bu sebeple piyasada farklı kullanım amaçlarına uygun farklı modellerde 3 boyutlu yazıcıların üretimi gün geçtikçe artmaktadır. Piyasada farklı fiyat aralıklarında farklı fonksiyon ve baskı kalitesini sunan çok sayıda 3 boyutlu yazıcı modeli bulunmaktadır. Bu sebeple işletmeler için kullanım amaçlarına ve bütçelerine uygun 3 boyutlu yazıcı modelinin belirlenmesi önemli bir karar haline gelmiştir. Piyasada bulunan farklı modellerdeki 3 boyutlu yazıcılar arasından işletmenin belirlemiş olduğu farklı kriterlere göre en uygun olanının seçilmesi klasik bir ÇKKV problemi olarak ele alınabilir.

Bu çalışmada işletmelerin 3 boyutlu yazıcı seçiminde kullanabilecekleri bütünlük bir ÇKKV yöntemi sunulmuştur. Bu yöntemde 3 boyutlu yazıcı seçiminde kullanılacak olan kriterlerin önem derecesi bulanık CRITIC (CRITERIA Importance Through Intercriteria Correlation) yöntemi ile belirlenmiştir. CRITIC yöntemi kriter ağırlıklarını hem objektif hem de subjektif bakış açısıyla değerlendirmeye imkan vermektedir. Bunun yanı sıra CRITIC yöntemi, korelasyon ve standart sapma gibi istatistiksel göstergeler ile değerlendirme yaparak sonuç sunması nedeniyle tercih edilmiştir. Alternatif 3 boyutlu yazıcıların belirlenen kriterlere göre değerlendirilmesi ve sıralanması bulanık EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. EDAS yöntemi ise literatürde çok fazla kullanılmamış olması ve uygulamasındaki kolaylık nedeniyle tercih edilmiştir. Çalışmanın uygulama bölümünde bir mobilya firmasında kalıp üretimi için kullanılacak olan 3 boyutlu yazıcının seçimi için bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada ele alınan 3 boyutlu yazıcı seçiminde çoğunlukla nitel özellik taşıyan kriterler bulunmaktadır. Bu nedenle karar vericilerin gerçek hayattaki kesinlik içermeyen durumları problemin çözümüne daha iyi yansıtmasına yardımcı olan bulanık yöntemler tercih edilmiştir. Türkçe literatürde 3 boyutlu yazıcı seçim problemini ele alan çok az sayıda yayın olması ve bu çalışmada kullanılmış olan bütünlük yöntemin Türkçe literatürde henüz çalışılmamış olması bu çalışmanın ulusal literatüre katkısıdır. Ayrıca uluslararası literatürde bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemlerinin birlikte 3 boyutlu yazıcı seçim probleminin çözümü için daha önce kullanılmamış olması sebebiyle bu çalışmanın uluslararası literatüre katkısı olacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürdeki çalışmalar dört başlık altında incelenmiştir. Bunlar; 3 boyutlu yazıcı seçimi ile ilgili çalışmalar, CRITIC yöntemi ile yapılmış olan çalışmalar, EDAS yöntemi ile ilgili yapılmış olan çalışmalar ve CRITIC ve EDAS yöntemini birlikte ele alan çalışmalardır. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan metotlar açıklanmıştır. Burada bulanık mantık ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemlerinin çalışma prensibi anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise çalışmada kullanılmış olan metotların gerçek hayat probleminde uygulaması gösterilmiştir. Son bölümde ise gelecek çalışmalara yol gösterici olabilmesi amacıyla ele alınan problem ve metot ilgili sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

## 2. Literatür Taraması

Bu çalışmada literatür dört boyutta incelenmiştir. Bunlar; 3 boyutlu yazıcı seçimi ile ilgili yapılmış olan çalışmalar, bulanık CRITIC yöntemi ile ilgili yapılmış olan çalışmalar ve bulanık EDAS yöntemi ile ilgili yapılmış olan çalışmalar ve bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemleri ile birlikte yapılmış olan çalışmalardır.

Roberson vd. (2013) masaüstü 3 boyutlu yazıcı modellerinin standart bir parçayı üretme yetenekleri üzerinden değerlendirilmesi için bir karar modeli oluşturmuştur. Standart parçanın bilgisayar ortamında tasarımı tamamlandıktan sonra farklı model 3 boyutlu yazıcılar ile üretimi gerçekleştirilip çıktı ürünlerin modele uygunluk derecesi ve bitiş yüzeyi değerlendirilmiştir. Ayrıca farklı 3 boyutlu yazıcı modellerinin değerlendirilmesi için tekli veya çoklu parçaların üretim zamanı, malzeme kullanımı ve birim maliyet kriterleri de ele alınmıştır. Çalışmada en uygun 3 boyutlu yazıcı seçimi için ilgili kriterlerin değerlendirilmesini sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir. Mançanares vd. (2015) üretilen parçaların özelliklerine bağlı olarak bir katmanlı imalat süreci seçim çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ileri sürülen yöntem AHP temelli bir yöntemdir. Çalışmada 3 boyutlu yazıcı seçim süreci iki aşamada ele alınmıştır. Öncelikle üretilen her bir parça için boyut ve malzeme gibi kısıtlayıcı faktörler analiz edilmiştir. Daha sonra

3 boyutlu yazıcılar teknolojik ve performans özelliklerine göre karşılaştırılmıştır. Netto vd. (2019) uygun fiyatlı 3 boyutlu yazıcı seçimi için AHP yöntemini uygulamıştır. Çalışmada üç farklı model 3 boyutlu yazıcı teknik performans, yazılım yetenekleri ve ekonomik özellikleri ana kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Burada teknik performans ana kriterinin altında yüzey düzgünlüğü, boyutsal uygunluk, geometrik uygunluk, baskı süresi alt kriterleri ele alınmış, yazılım yetenekleri ana kriterinin altında baskı hızı tahmini, malzeme kullanım miktarı tahmini alt kriterleri ele alınmış ve ekonomik özellikler ana kriterinin altında ise fiyat ve kullanılan malzeme fiyatı alt kriter olarak ele alınmıştır. AHP yönteminin uygulama sonucuna göre teknik performans en önemli ana kriter olarak belirlenirken yüzey düzgünlüğü de bu ana kriterin altındaki en önemli alt kriter olarak belirlenmiştir. Chen ve Wu (2021) çalışmalarında bulanık-ışbirlikçi akıllı AHP yöntemini kullanarak on farklı model 3 boyutlu yazıcıyı yedi kritere göre karşılaştırmıştır. Çalışmada 3 boyutlu yazıcı değerlendirmesinde kullanılan kriterler fiyat, değerlendirme notu, desteklenen uygulama tipi sayısı, baskı alanı, baskıda kullanılabilir renk seçenekleri ve desteklenen malzeme türü sayısıdır. Bu çalışmada bulanık-ışbirlikçi akıllı AHP yöntemi, grup karar verme yöntemi olan bulanık geometrik ortalama (FGM) ve bulanık kapsam analizi (FEA) yöntemleriyle karşılaştırılmış ve bulanık-ışbirlikçi akıllı AHP yönteminin karar vericilerin ortak fikirlerini yansıttığı için diğer yöntemlere göre daha geçerli sonuçlar ürettiği sonucuna varılmıştır. Prabhu ve Ilankumaran (2019), 3 boyutlu yazıcı seçimi için bulanık AHP, VIKOR ve ELECTRE yöntemlerini birlikte uygulamıştır. Bu çalışmada on farklı model 3 boyutlu yazıcı hacim, baskı hızı, katman kalınlığı, ekstrüder, fiyat ve filament malzemesinin maliyeti olmak üzere altı kritere göre değerlendirilmiştir.

Çetinkaya vd. (2017) çalışmalarında üç boyutlu yazıcı sektöründe faaliyet gösteren bir AR-Ge firması için en iyi üç boyutlu yazıcı seçimini gerçekleştirmek amacıyla bulanık AHP ve PROMETHEE yöntemlerini kullanmışlardır. Bu çalışmada 3 boyutlu yazıcı seçimi için önemli olabilecek 17 alt kriter, teknik, ekonomik, performans ve çevre olmak üzere 5 ana kriter altında ele alınmıştır. Khamhong vd. (2019) 3 boyutlu yazıcı seçiminde önemli olabilecek kriterleri teknik uzmanların ve kullanıcıların farklı bakış açılarını ele alarak incelemiştir. 3 boyutlu yazıcı seçiminde etkili olabilecek kriterleri yazıcı ile üretilen ürün, yazıcının teknik özellikleri ve üretimde kullanılan malzeme özellikleri olmak üzere üç ana kriter altında sınıflandırmıştır. Bu çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenebilmesi için bulanık AHP yöntemi uygulanmıştır. Ransikarbum ve Khamhong (2021) sağlık sektöründe 3 boyutlu yazıcı seçimi için bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. Bu çalışmada sağlık sektöründe kullanılan endüstriyel tip ve masaüstü tip olmak üzere iki farklı tip üç boyutlu yazıcı seçim süreci incelenmiştir. Üç boyutlu yazıcı seçiminde kullanılan kriterler, yazıcıdan elde edilen ürünün özellikleri, teknik özellikler ve malzeme özellikleri olmak üzere üç ana kriter sınıfı altında gruplandırılmıştır. Rakhade vd. (2021) bir akademik kurumun inovasyon merkezi için 3 boyutlu yazıcı seçimi konusunda çalışma yapmışlardır. İnovasyon merkezi için uygun olan 10 farklı 3 boyutlu yazıcı tipi belirlenmiş ve yazıcılar 3 ana kriter (ekonomik, fiziksel ve operasyonel gereksinimler) 9 alt kriter (baskı hacmi, filament kalınlığı, baskı hızı, ağırlık, hizmet maliyetleri, ekstrüzyon sıcaklığı, enerji tüketimi ve enerji ihtiyacı) bazında değerlendirmeye tabi tutulmuştur. AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiş ve TOPSIS yöntemi ile yazıcıların sıralaması yapılmıştır. Sonuç olarak inovasyon merkezine en uygun yazıcı modeli ET4 PRO 3IDEA olarak belirlenmiştir.

Zagudillin vd. (2021) insansız hava araçlarının üretiminde kullanılan 3 boyutlu yazıcıların kalitesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı, insansız hava araçları için yüksek kaliteli parça ve düzeneklerin üretiminde 3 boyutlu yazıcıların tasarımını ve kinematikliğini, QFD metodolojisinin uygulanmasına dayalı olarak daha fazla işlem yapmadan analiz etmektir. Çalışmaya göre, kaliteli parça üretimi için 3 boyutlu yazıcıların en önemli özellikleri: çalışma odasının boyutları, yüzey düzgünlüğü, yapısal güvenilirlik, çoklu materyal kullanımı, güvenilirlik, kullanım kolaylığı ve bakım, stabil çalışma ve işletim, hazırlık ve satınalma maliyetleridir.

Literatür incelendiğinde, çok sayıda çalışmada CRITIC yönteminin kriter ağırlıklarının belirlenmesinde diğer ÇKKV yöntemleriyle birlikte farklı uygulama alanlarında kullanıldığı tespit edilmiştir. Wang ve Zhao (2016) tornalamada kullanılan seramik alet malzemelerinin mekanik özelliklerinin optimizasyonu için AHP ve CRITIC yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Adalı ve Işık (2017) fason imalatçı seçim probleminde kullanacağı kriterlerin ağırlıkları için CRITIC yöntemini ve imalatçıların tam sıralaması için MAUT yöntemini önermiştir. Demircioğlu ve Coşkun (2018) tüketicilerin en uygun kesintisiz güç kaynağı tercihleri konusunda yaptıkları çalışmada CRITIC yöntemiyle kriter ağırlıklarını belirledikleri ve MOOSRA yöntemi ile ise alternatifleri sıralamışlardır. Tuş ve Adalı (2019) özel bir hastanedeki zaman ve devamlılık yazılımı seçiminde ilk kez CRITIC ve WASPAS yöntemlerini bir arada kullanmışlardır. Kriterlerin ağırlıkları CRITIC yöntemi ile belirlenmiş ve en uygun alternatifin bulunması için alternatifler WASPAS yöntemi ile sıralanmıştır. Ayçin (2020) lojistik sektöründe gerçekleştirdiği çalışmasında bilgi sistemleri departmanına alınacak personelin seçim sürecinde CRITIC ve MAIRCA yöntemlerini bir arada kullanılmıştır. Wang vd. (2021) hastane binalarının yer seçimi için önemli kriterleri belirlemişler ve bu kriterlerin ağırlıklarını CRITIC yöntemi ile tayin etmişlerdir. Daha sonra GRP yöntemi ile hastane inşaatı için en uygun bölgeyi belirlemişlerdir. Bu çalışmalara ek olarak pek çok farklı alanda CRITIC yöntemi bulanık sayılar kullanılarak uygulanmıştır. Yang vd. (2021) nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarının üretim sektöründeki sürdürülebilir tedarik zinciri çalışmalarına olan etkilerini araştırmışlardır. Her firmanın sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimine IoT uygularken düşünmesi gereken konular hakkında bilgi vermişlerdir. Kriter ağırlıklarının tahmin edilmesinde bulanık CRITIC yöntemini; önceliklendirmede ise bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Ali (2021) gerçekleştirdiği çalışmada CRITIC yöntemini kriter ağırlık bilgisinin tamamen bilinmediği durumla başa çıkmak için küresel bulanık ortama taşımıştır. Çalışmanın önemini göstermek için akıllı telefon seçim problemi üzerinde geliştirdiği modeli uygulamıştır. Ghorabae vd. (2018)

inşaat ekipmanlarının çevreye olan etkisini sürdürülebilirlik açısından değerlendirebilmek için bulanık CRITIC, bulanık SWARA ve bulanık EDAS yöntemlerini içeren hibrit bir model önermiştir. Rostmzadeh vd. (2018) sürdürülebilir tedarik zinciri risk yönetimi değerlendirmesi için bir çerçeve geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, TOPSIS ve CRITIC yöntemleri ile kriterlerin önemine dayalı olarak entegre bir bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımı önermişlerdir. Çalışmanın bulgularına göre en baskın riskler makine ve ekipman riskleri, tedarikçi hataları, talep dalgalanmaları, hükümet politikası riskleri, bilişim teknolojileri güvenliği ve ekonomik sorunlar olarak tespit edilmiştir. Narayanamoorthy vd. (2019) yenilenebilir su kaynaklarından geri kazanılmış suyun kullanım alanlarının sürdürülebilirlik çerçevesinde değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanmışlardır. Alternatifleri kriterler bazında değerlendirirken kullanacakları ağırlıkları Tereddütlü bulanık CRITIC yöntemi ile belirlemişler ve sonrasında Tereddütlü bulanık MAUT yöntemini kullanarak alternatifleri sıralamışlardır. Saraji vd. (2021) fintech şirketlerinde Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin önündeki zorlukları belirlemeyi ve şirketlerin ağırlıklı zorluklarla ilgili performansını üç temele dayalı olarak değerlendirmek için yeni bir Fermatean bulanık CRITIC-COPRAS yöntemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin önündeki 14 zorluk içerisinden en önemli zorluğun koordinasyon ve işbirliğindeki zorluk olduğunu ve bunu değişime direnç ve hükümet desteğinin izlediğini belirtmişlerdir. Harleem vd. (2021) döngüsel ekonomi bağlamında Hindistan'daki otomotiv sektörü tedarikçilerinin seçiminde bulanık CRITIC ve bulanık TOPSIS bütünlük yöntemini kullanmışlardır. Altı ana kriter ve yirmi dört alt kriter uzmanlar tarafından değerlendirilmiş ve çevre kriteri en önemli faktör olarak tespit edilmiştir. Alipour-Bashary vd. (2021) inşaat sektöründeki riskleri değerlendirmek için bulanık hata ağacı analizi, bulanık CRITIC ve bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Daha sonra risk karar matrisi yardımıyla riskleri sınıflandırmış ve her bir riskin önem derecesine göre uygun stratejiler sunmuşlardır.

EDAS yöntemi yeni bir ÇKKV yöntemi olmasına rağmen literatürde çok sayıda farklı problemin çözümünde kullanılmıştır. EDAS yöntemini ilk olarak çalışmış olan Ghorabae vd. (2015) bu yöntemi çok kriterli stok sınıflandırma probleminin çözümünde kullanmıştır. Bu çalışmada 47 stok kalemi üç kritere göre değerlendirilerek sıralanmıştır. Ayrıca bu makalede EDAS yöntemi VIKOR, TOPSIS, COPRAS ve SAW gibi diğer ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırılarak yöntemin geçerliliği test edilmiştir. Böylece EDAS yönteminin ÇKKV problemlerinin çözümünde bilinen diğer yöntemlerle tutarlı sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Ulutaş (2017) EDAS yöntemini üretim kapasitesini arttırmak isteyen bir tekstil atölyesi için dikiş makinesi seçim problemini çözmek amacıyla kullanmıştır. Özbek ve Engür (2018) EDAS yöntemini lojistik firma web sitelerinin değerlendirilmesi için uygulamıştır. Çalışmada yedi adet lojistik firmasının web siteleri 11 kritere göre değerlendirilmiştir. Stanujkic vd. (2018) EDAS yöntemini bir bilişim teknolojileri firmasının personel seçimi probleminin çözümünde kullanmıştır. Bu çalışmada personel seçiminde kullanılan kriterlerin önem dereceleri SWARA yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ulutaş (2019) Entropi temelli EDAS yöntemi ile lojistik firmalarının performansını ölçmüştür. Kısa ve Ayçin (2019) OECD ülkelerinin lojistik performanslarının değerlendirilmesi amacıyla EDAS yöntemini uygulamıştır. Bu çalışmada lojistik performans değerlendirme kriterlerinin önem dereceleri SWARA yöntemiyle belirlenmiştir. Asante vd. (2020) yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önündeki engelleri önem derecelerine göre sıralamak için MULTIMOORA ve EDAS yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Burada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önündeki potansiyel 23 engel altı ana başlık altında değerlendirilmiştir.

Literatürde EDAS yöntemi farklı türdeki bulanık sayı kümeleri kullanılarak uygulanmıştır. Ghorabae vd. (2016), ilk defa literatürde bulanık EDAS yönetimini uygulamıştır. Bu çalışmada bir deterjan üreticisi firmanın kimyasal madde tedarik süreci ele alınarak tedarikçi seçim probleminin çözümü için bulanık EDAS yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada yapılmış olan duyarlılık analizi sonuçlarına göre bulanık EDAS yönteminin ÇKKV problemlerinin çözümünde istikrarlı sonuçlar ürettiği kanıtlanmıştır. Kahraman vd. (2017) çalışmalarında EDAS yöntemini sezgisel (intuitionistic) bulanık sayılar kullanarak geliştirmiştir. Bu çalışmada EDAS yöntemi bulanık olmayan sayılar, bulanık sayılar ve sezgisel bulanık sayılar kullanılarak üç farklı yöntem aynı problemin çözümünde uygulanarak yeni geliştirilmiş olan yöntemin geçerliliği test edilmiştir. EDAS yönteminin diğer bir çok ÇKKV yöntemine göre daha az hesaplama gerektirdiği ve bu yöntemlerle aynı sıralama sonuçları ürettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca sezgisel bulanık EDAS yönteminin bulanık EDAS yöntemine göre biraz daha fazla karmaşık hesaplama gerektirmesi nedeniyle bu iki yöntemde farklı sıralama formülasyonunun kullanılması gerektiği ifade edilmiştir. Çalışmada katı atık imha tesislerinin yer seçimi problemi ele alınmıştır. Stevic vd. (2018) bulanık EDAS yöntemi ile apartman renovasyonunda kullanılacak olan en uygun PVC mamul üretimi yapan marangoz tedarikçisi firmayı belirlemiştir. Burada yedi alternatif PVC üreticisi firma 14 kritere göre değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda bulanık EDAS yönteminin karar vericilerin fikirlerinden kaynaklanacak subjektifliği göz önünde bulundurduğu ve grup karar süreçlerindeki belirsizliği hesaba kattığı belirtilmiştir. Yöntemde karar vericilerin fikirlerini objektif bir şekilde harmanlayarak sonuçların üretildiği gözlemlenmiştir. Feng vd. (2018) bulanık EDAS yönteminde genişletilmiş tereddütlü (hesistant) bulanık sayı setini kullanarak geliştirmiştir. Yöntem bir firmanın stratejik proje seçim probleminde uygulanarak geçerliliği test edilmiştir. Gündoğdu vd. (2018) çalışmalarında farklı birleştirme operatörleri kullanarak yeni bir tereddütlü bulanık EDAS modeli sunmuşlardır. Önerilmiş olan modelin geçerliliğini test etmek ve tereddütlü bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırmak için yöntemi organ naklinde hastane seçimi problemine uygulamışlardır. Uygulama sonuçlarında tereddütlü bulanık EDAS yönteminin tereddütlü bulanık TOPSIS yöntemi ile aynı en iyi alternatifi belirlediği gözlemlenmiştir. Bayrakdaroğlu ve Kundakcı (2019) bulanık EDAS yöntemini kullanarak AR-Ge proje seçimi problemini çözmüştür. Demircan ve Tunç (2019) aralık tip-2 bulanık EDAS yöntemini İstanbul'daki toplu taşıma otobüsü operatörlerinin hizmet düzeyini belirlemek için kullanmıştır. Mukul vd. (2019) akıllı ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesini bulanık EDAS yöntemi ile gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada

kriter ağırlıklarının hesaplanması için bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır. Demirtaş vd. (2020) tedarik seçim probleminin çözümünde bulanık EDAS yöntemini uygulamıştır. Aydın ve Üstün (2020), bulanık EDAS yöntemi ile yük taşımacılığında taşıma modu seçimi problemini çözmüştür. Bu çalışmada PFS (Picture Fuzzy Sets) bulanık sayıları kullanılmıştır. Yürüyen ve Ulutaş (2020) bulanık EDAS yöntemini üçüncü parti lojistik firması seçim problemine uygulamıştır. Bu çalışmada kriter ağırlıkları bulanık AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmada bulanık EDAS yönteminin sonuçlarının doğruluğunu test etmek amacıyla aynı problem bulanık ARAS, bulanık COPRAS ve bulanık MOORA-Oran yöntemleriyle çözülmüştür. Bulanık EDAS yöntemi diğer dört yöntemle aynı sonuçları üretmiştir. Böylece yöntemin doğruluğu kanıtlanmıştır. Polat ve Bayhan (2020) çalışmalarında bulanık EDAS yöntemi ile tedarikçi seçim problemini ele almıştır. Çalışmada farklı kriter ağırlıkları kullanılarak gerçekleştirilmiş olan duyarlılık sonucu analizine göre bulanık EDAS yöntemi istikrarlı sonuçlar üretmek her defasında aynı alternatifi en iyi olarak belirlemiştir. Bulanık EDAS yöntemi pratik ve uygulanabilir bir yöntem olarak tanımlanmıştır. Özdağoğlu vd. (2021) laboratuvarında kullanılacak kan gazı cihazının seçimi için bulanık EDAS yöntemini uygulamıştır. Bu çalışmada kriter ağırlıkları bulanık VIKOR yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmada bulanık EDAS yönteminin doğruluğu aynı problemin bulanık VIKOR yöntemiyle çözümlenmesiyle test edilmiştir. İki yöntem de aynı sıralama sonuçlarını ürettiği için bulanık EDAS yönteminin doğruluğu kanıtlanmıştır. Jana ve Pal (2021) genişletilmiş bipolar bulanık sayılar kullanarak EDAS yöntemini uygulamıştır. Geliştirilmiş olan yöntem bir yol inşaat firmasının proje seçim probleminin çözümünde kullanılarak yöntemin uygulanabilirliği test edilmiştir. Yılmaz ve Atan (2021) bulanık EDAS yöntemini uygulayarak en uygun hastane yer seçim problemini çözmüştür. Bu çalışmada İstanbul'da açılacak olan yeni bir hastane için en uygun yerleşim yeri 5 ana kriter ve 17 alt kriterine göre belirlenmiştir. Veskovic vd. (2020) Bulanık EDAS yöntemi ile tren yolcularının operatör seçimini incelemiştir. Kriterlerin ağırlıkları bulanık PIPRECIA yöntemi ile belirlenmiştir. Bulanık PIPRECIA yönteminin kalitatif ve kantitatif kriterleri aynı anda değerlendirebilmesi nedeniyle bu çalışmada tercih edildiği belirtilmiştir. Ayrıca farklı kriter ağırlıklarıyla gerçekleştirilmiş olan duyarlılık analizi sonuçları bulanık EDAS yönteminin tutarlı sonuçlar ürettiğini kanıtlamıştır. Çalışmada bulanık EDAS yöntemi bulanık MARCOS, bulanık SAW ve bulanık TOPSIS yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Bu uygulama sonucunda bulanık EDAS yönteminin diğer yöntemlerle aynı sonuçları ürettiği gözlemlenmiştir. Stanujkic vd. (2017) EDAS yöntemini gri sayılar kullanılarak geliştirmiştir. Çalışmada önerilmiş olan gri EDAS (EDAS-G) yöntemi bir inşaat firması için müteahhit seçim probleminin çözümü için kullanılmıştır. Yöntemin doğruluğunu test etmek amacıyla COPRAS ve MOORA yöntemleri ile sıralama sonuçları karşılaştırılmıştır. EDAS-G yöntemi diğer yöntemler ile aynı sıralama sonuçlarını ürettiği için doğruluğu kanıtlanmıştır. Huang vd. (2021) EDAS yöntemini beklenti teorisi ile geliştirmiştir. Geliştirilmiş olan yöntem bir yatırım bankasının yatırım kararlarının önceliklendirilmesinde uygulanmıştır. Aynı problem klasik EDAS yöntemi, beklenti teorisi temelli TODIM ve kümülatif beklenti temelli TODIM yöntemleri ile de çözümlenerek geliştirilmiş olan yöntemin performansı değerlendirilmiştir. Yapılan performans analizlerine göre beklenti teorisi ile geliştirilmiş olan EDAS yönteminin klasik EDAS yöntemine göre karar vericilerin irrasyonel kararlarını çözüme dahil ederek daha başarılı sonuçlar ürettiği belirlenmiştir.

Akçakanat vd. (2018) TR-61 bölgesindeki bankaların performans değerlendirmesi için CRITIC ve EDAS yöntemlerini birlikte uygulamıştır. Çalışmada banka performans değerlendirme kriterlerinin önem derecesi CRITIC yönteminin yanı sıra Modifiye Edilmiş Dijital Mantık (MDL) yöntemi ile de belirlendikten sonra her iki yöntemden elde edilen farklı önem ağırlık dereceleri EDAS yöntemi kullanılarak bankaların performans sıralamasını belirlemede kullanılmıştır. Daha sonra bu iki farklı hesaplama yöntemi sonuçları karşılaştırılmış ve her iki yöntem ile hesaplanan önem derecelerinin EDAS yöntemi ile sıralanmasının aynı olduğu gözlemlenmiştir. Kiracı ve Bakır (2019) havayolu firmalarının küresel finans krizi öncesi ve sonrasındaki performanslarını incelemek amacıyla CRITIC ve EDAS yöntemini birlikte uygulamıştır. Burada havayolu firmalarının performans ölçümünde kullanılan kriterlerin önem dereceleri CRITIC yöntemi ile belirlendikten sonra havayolu firmalarının performanslarına göre sıralanması EDAS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Can ve Kargı (2019) sektörlerin iş sağlığı ve güvenliği açısından risk seviyelerinin belirlenmesinde CRITIC-EDAS entegrasyonunu kullanmışlardır. Sektörlerin iş sağlığı ve güvenliği risklerinin seviyelerini etkileyen faktörlerin ağırlıklarını CRITIC yöntemi ile elde etmişler; sektör sıralamasında ise EDAS metodunu kullanarak en riskli sektörleri belirlemeye çalışmışlardır. Mishra vd. (2021) sürdürülebilir üçüncü parti tersine lojistik hizmet sağlayıcı seçimi probleminin çözümü için fermatean bulanık sayı seti ile CRITIC ve EDAS yöntemlerini birlikte uygulamıştır.

Yapılmış olan literatür çalışmasına göre Türkçe literatürde 3 boyutlu yazıcı seçim problemini ele alan çok az sayıda yayın bulunmaktadır. Ayrıca bu çalışmada kullanılmış olan bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemleri bütünlük olarak ilgili problemin çözümünde Türkçe literatürde henüz çalışılmamıştır. Buna ilaveten uluslararası literatürde bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemlerinin birlikte 3 boyutlu yazıcı seçim probleminin çözümü için daha önce kullanılmamış olduğu tespit edilmiştir.

### 3. Metodoloji

Bu çalışmada ÇKKV yöntemleri olan bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemleri kullanılmıştır. Yöntemler aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

#### A. Bulanık Mantık

İlk olarak Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiş olan bulanık mantık kişisel düşüncelerin sözel ifadeler ile değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu özelliği sayesinde bulanık mantık, karar vericilerin gerçek hayattaki kesinlik içermeyen durumları problemin

çözümüne daha iyi yansıtmasına yardımcı olmaktadır. Kesin mantık ile ifade edilmesi mümkün olmayan durumlara ilişkin gerçek hayat problemlerinin çözümünde bulanık mantık daha etkili sonuçlar üretmektedir (Bayrakdaroğlu ve Kundakci, 2019).

Literatürde genellikle hesaplama kolaylığı nedeniyle üçgensel (triangular) ve yamuksal (trapezoidal) bulanık sayılar kullanılmaktadır (Liu vd.,2020). Bu çalışmada üçgensel bulanık sayılar kullanılarak yöntemler uygulanmıştır. Eş.1 'de  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$  üçgensel bulanık sayısının üyelik fonksiyonu açıklanmıştır (Bayrakdaroğlu ve Kundakci, 2019).

$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2, \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3, \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (1)$$

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$  ve  $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$  iki pozitif üçgensel bulanık sayı ve  $k$  pozitif bulanık olmayan tam sayı olmak üzere bu sayılar arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibi gerçekleştirilmektedir (Ghorabae vd., 2016; Bayrakdaroğlu ve Kundakci, 2019; Kahraman vd., 2003):

- Toplama işlemi:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (2)$$

$$\tilde{A} \oplus k(a_1 + k, a_2 + k, a_3 + k) \quad (3)$$

- Çıkartma işlemi:

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (4)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1 - k, a_2 - k, a_3 - k) \quad (5)$$

- Çarpma işlemi:

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3) \quad (6)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1 \times k, a_2 \times k, a_3 \times k) \quad (7)$$

- Bölme işlemi:

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1/b_1, a_2/b_2, a_3/b_3) \quad (8)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1/k, a_2/k, a_3/k) \text{ eğer } k > 0 \quad (9)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_3/k, a_2/k, a_1/k) \text{ eğer } k < 0 \quad (10)$$

- $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$  üçgensel bulanık sayı olmak üzere  $\tilde{A}$  bulanık sayısının durulaştırılmış değeri Eş.11 ile hesaplanır (Bai ve Wang, 2006).

$$\kappa(\tilde{A}) = \frac{1}{3}(a_1 + a_2 + a_3) \quad (11)$$

- $\tilde{A}$  bulanık sayısı ile sıfır arasındaki maksimum değer hesaplanabilmesi için Eş. 12 'de açıklanmış olan  $\psi$  fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Ghorabae vd., 2016).

$$\psi(\tilde{A}) \begin{cases} (\tilde{A}), \kappa(\tilde{A}) > 0 \\ 0, \kappa(\tilde{A}) \leq 0 \end{cases} \quad (12)$$

### B. Bulanık Critic Yöntemi

CRITIC yöntemi, kriterler için objektif ağırlıklar belirleyen ağırlıklandırma yöntemlerinden biridir. İlk olarak 1995'te Diakoulaki ve arkadaşları tarafından önerilmiştir (Huang vd., 2021; Diakoulaki vd., 1995). ÇKKV problemlerinde, karar vericinin ihtiyaç duyduğu kriter önem bilgisini sağlamaktadır. CRITIC yaklaşımı, değerlendirme kriterlerinde yer alan tüm bilgilerin çıkarılması için değerlendirme matrisinin analitik incelemesine dayanmaktadır. Bu yöntem, karar verme probleminin yapısındaki karşılığın ve çatışmanın yoğunluğunu içerir (Diakoulaki vd., 1995). Kriterler arasındaki zıtlıkları hesaplamak için korelasyon analizini kullanır.

Bulanık CRITIC yöntemi, CRITIC yönteminin bulanık ortamda uygulanmış biçimidir. Gerçek hayatta karşılaştığımız karar problemlerinin birçoğu belirsiz ve göreceli durumlar içerdiği için çözüme ulaştırmada güçlükler yaşanmaktadır. Klasik yaklaşımlar, bilginin tam ve kesin olmadığı karmaşık karar problemleri için yetersiz kalmakta ve problemler doğru bir şekilde modellenememektedir. Bu çalışmada kullanılan yöntemlerin bulanık küme teorisi ile genişletilmesinin amacı, gerçek hayat problemlerindeki belirsizliklerin doğru bir şekilde tanımlanarak problemlerin daha doğru çözüme ulaştırılmasını sağlamaktır.

Bulanık CRITIC yönteminin uygulama adımları aşağıdaki şekilde uygulanmaktadır (Ghorabae vd., 2018; Rostamzadeh vd., 2018):

$\tilde{x}_{ij} = (x_{ij1}, x_{ij2}, x_{ij3})$  karar vericilerin j. (j=1,2,...m) kritere göre i. (i=1,2,...n) alternatif için belirlediği bulanık performans değerini göstermektedir.  $\tilde{w}_j^0 = (w_{j1}^0, w_{j2}^0, w_{j3}^0)$  j. kritere ait bulanık objektif ağırlıkları temsil etmektedir. N maliyet kriteri kümesi ve B ise fayda kriteri kümesidir.

**1. Aşama:** Performans değerlerinin dönüşümleri Eş. 13'deki formül ile hesaplanır ve kriter vektörleri Eş. 14'deki gibi gösterilir:

$$x_{ijk}^T = \begin{cases} \frac{x_{ijk} - x_{jk}^-}{x_{jk}^* - x_{jk}^-} & \text{eğer } j \in B \\ \frac{x_{jk}^- - x_{ijk}}{x_{jk}^- - x_{jk}^*} & \text{eğer } j \in N \end{cases} \quad (13)$$

$$x_{jk} = (x_{1jk}^T, x_{2jk}^T, \dots, x_{njk}^T) \quad (14)$$

$x_{ijk}^T, \tilde{x}_{ij}$ 'nin k. (k=1,2,3) elemanının dönüştürülmüş değeridir.  $x_{jk}$  j. kriterinin k. vektörünü göstermektedir.  $x_{jk}^*$  ve  $x_{jk}^-$ ,  $x_{ij}$  nin k. elemanına ve j. kriterine göre ideal ve ideal olmayan değerleridir. Eğer,  $j \in B$  ise  $x_{jk}^* = \max_i x_{ijk}$  ve  $x_{jk}^- = \min_i x_{ijk}$  ve eğer eğer  $j \in N$  ise  $x_{jk}^* = \min_i x_{ijk}$  ve  $x_{jk}^- = \max_i x_{ijk}$ .

**2. Aşama:** Her vektör için standart sapma ( $\sigma_{jk}$ ) Eş. 15 ile hesaplanır .

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_{ijk}^T - x_{jk}^-}{n}}, \quad \text{Burada; } x_{jk}^- = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ijk}^T}{n} \quad (15)$$

**3. Aşama:** Genel öğeleri  $r_{jj'}^k = (j' = 1, 2, \dots, m \text{ ve } k=1,2,3)$  olan m x m boyutunda 3 simetrik matris oluşturulur. Bu matrislerin elemanları,  $x_{jk}$  ve  $x_{j'k}$  vektörleri arasındaki doğrusal korelasyon katsayısıdır. Eğer  $x_{jk}$  veya  $x_{j'k}$  vektörlerinin tüm elemanları aynı ise korelasyon olmadığını söyleyebiliriz. Bu durumda  $r_{jj'}^k = 0$  olur.

**4. Aşama:** Her bir kriterin bilgi ölçüsü Eş. 16'de belirtilen formül ile hesaplanır.

$$H_{jk} = \sigma_{jk} \sum_{j'=1}^m (1 - r_{jj'}^k) \quad (16)$$

**5. Aşama:** Sıralanmamış objektif ağırlıklar Eş. 17'de verilen formül ile hesaplanır.

$$w_{jk}^u = \frac{H_{jk}}{\sum_{j=1}^m H_{jj'}} \quad (17)$$

**6. Aşama:** Her kritere ait başlangıç bulanık objektif ağırlık değerleri Eş. 18, Eş. 19 ve Eş. 20 ile belirlenir.

$$w_{j3}^{oi} = \max_k w_{jk}^u \quad (18)$$

$$w_{j2}^{oi} = \max_{k, w_{jk}^u \neq w_{j3}^{oi}} w_{jk}^u \quad (19)$$

$$w_{j1}^{oi} = \min_k w_{jk}^u \quad (20)$$

### C. Bulanık Edas Yöntemi



EDAS yöntemi alternatiflerin ortalama çözüm uzaklığına göre değerlendirilerek sıralanmasını sağlayan bir ÇKKV yöntemidir. Bu hesaplama yapısı nedeniyle diğer çok bilinen ÇKKV yöntemleri olan TOPSIS ve VIKOR yöntemlerine benzemektedir (Gündoğdu vd., 2018). EDAS yöntemi, 2015 yılında Ghorabae vd. (2015) tarafından geliştirilmiş olan yeni bir ÇKKV yöntemidir. Yöntemin kolay uygulanabilir olması ve ağır matematiksel işlemler gerektirmemesi karar vericiler tarafından tercih edilmesini sağlamaktadır.

$A = A_1, A_2, \dots, A_n$  n adet alternatifin bulunduğu küme,  $C = C_1, C_2, 0, \dots, C_m$  m adet kriterden oluşan bir küme ve  $D = D_1, D_2, \dots, D_k$  k adet karar vericiden oluşan bir kümeyi ifade etmektedir. Bulanık EDAS yönteminin uygulama aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Ghorabae vd., 2016; Yürüyen ve Ulutaş, 2020):

**1. Aşama:** Karar vericilerin alternatifler için belirlemiş olduğu performans değerleri ile bütünleştirilmiş bulanık karar matrisi ( $\tilde{X}$ ) oluşturulur:

$$\tilde{X} = [\tilde{x}_{ij}]_{n \times m} \quad (21)$$

$$x_{ij} = (\prod_{p=1}^k \tilde{x}_{ij}^p)^{1/d} \quad (22)$$

$\tilde{x}_{ij}^p$  değeri, p karar vericisinin ( $1 \leq p \leq d$ ),  $A_i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) alternatifini  $C_j$  ( $1 \leq j \leq m$ ) kriterine göre belirlediği performans değerini ifade etmektedir. Buna göre Eş. 22 kullanılarak her bir alternatif için ilgili kriterlere göre her bir karar verici tarafından tayin edilen performans değerlerinin geometrik ortalaması alınarak bütünleştirilmiş bulanık karar matrisi oluşturulur.

**2. Aşama:** Ortalama çözüm matrisi (AV) Eş. 23 ve 24 kullanılarak hesaplanır:

$$AV = [\tilde{a}v_j]_{1 \times m} \quad (23)$$

$$\tilde{a}v_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tilde{x}_{ij} \quad (24)$$

Burada ( $\tilde{a}v_j$ ) her bir kriter için alternatiflerin ortalama çözüm değerini ifade etmektedir.

**3. Aşama:** B kümesi faydalı kriterler kümesini ve N kümesi maliyet kriterler kümesini ifade etmektedir. Bu aşamada ortalama pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve ortalama negatif uzaklık matrisi (NDA) kriter türüne (fayda veya maliyet) göre hesaplanır.  $\kappa(\tilde{A})$  ve  $\psi$  değerlerinin hesaplanması Eş. 11 ve Eş. 12'de açıklanmıştır.

$$PDA = [p\tilde{d}a_{ij}]_{m \times n} \quad (25)$$

$$NDA = [n\tilde{d}a_{ij}]_{m \times n} \quad (26)$$

$$p\tilde{d}a_{ij} \begin{cases} \frac{\psi(\tilde{x}_{ij} - \tilde{a}v_j)}{\kappa(\tilde{a}v_j)} & \text{eğer } j \in B \\ \frac{\psi(\tilde{a}v_j - \tilde{x}_{ij})}{\kappa(\tilde{a}v_j)} & \text{eğer } j \in N \end{cases} \quad (27)$$

$$n\tilde{d}a_{ij} \begin{cases} \frac{\psi(\tilde{a}v_j - \tilde{x}_{ij})}{\kappa(\tilde{a}v_j)} & \text{eğer } j \in B \\ \frac{\psi(\tilde{x}_{ij} - \tilde{a}v_j)}{\kappa(\tilde{a}v_j)} & \text{eğer } j \in N \end{cases} \quad (28)$$

Eş. 27 ve 28 'de açıklanan  $p\tilde{d}a_{ij}$  ve  $n\tilde{d}a_{ij}$  değerleri j. alternatifin i. kriter için ortalama çözüm değerlerinden pozitif ve negatif uzaklık performans değerlerini ifade etmektedir.

**4. Aşama:** Pozitif ve negatif uzaklık değerleri kriter önem ağırlık değerleri ile çarpılıp toplanarak her alternatif için ağırlıklandırılmış pozitif ve negatif uzaklıklar Eş. 29 ve 30 yardımıyla hesaplanır.

$$\tilde{s}p_i = \sum_{j=1}^m (\tilde{w}_j * p\tilde{d}a_{ij}) \quad (29)$$

$$\tilde{s}n_i = \sum_{j=1}^m (\tilde{w}_j * n\tilde{d}a_{ij}) \quad (30)$$

**5. Aşama:** Tüm alternatifler için  $\widetilde{sp}_i$  ve  $\widetilde{sn}_i$  değerleri Eş. 31 ve 32 kullanılarak normalize edilir.

$$\widetilde{ns\overline{p}}_i = \frac{\widetilde{sp}_i}{\max_i(\kappa(\widetilde{sp}_i))} \quad (31)$$

$$\widetilde{ns\overline{n}}_i = 1 - \frac{\widetilde{sn}_i}{\max_i(\kappa(\widetilde{sn}_i))} \quad (32)$$

**6. Aşama:** Eş. 33 kullanılarak tüm alternatifler için değerlendirme skoru ( $\widetilde{as}_j$ ) hesaplanır.

$$\widetilde{as}_j = \frac{1}{2}(\widetilde{ns\overline{p}}_i + \widetilde{ns\overline{n}}_i) \quad (33)$$

**7. Aşama:** Alternatifler değerlendirme skoruna ( $\widetilde{as}_j$ ) göre büyükten küçüğe sıralanır. Değerlendirme skoru en büyük olan alternatif en iyi olarak belirlenir.

#### 4. Uygulama

Günümüzde 3 boyutlu yazıcıların fiyatlarının ucuzlaması ve yaygınlaşmasıyla birlikte bu yazıcıların KOBİ'lerde prototip üretimi, ürün üretimi gibi amaçlarla kullanımı yaygınlaşmıştır. 3 boyutlu yazıcılar farklı sektörlerde çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Mobilya sektöründe parça montajı gerektirmeyen ürünlerin tümünün 3 boyutlu yazıcılar ile üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Mobilya üretimini geleneksel olarak gerçekleştiren firmalar ise hızlı bir şekilde prototip hazırlama amacıyla 3 boyutlu yazıcılardan faydalanabilmektedir. Ayrıca mobilya sektöründeki ürün çeşidinin yüksek olması ve modellerin sıklıkla değişmesi gibi dezavantajların etkileri 3 boyutlu yazıcılar sayesinde azaltılabilmektedir.

Bu bölümde Kayseri ilinde faaliyet gösteren plastik mobilya aksamı üreten bir firmada 3 boyutlu yazıcı seçim karar süreci ele alınmıştır. Firma prototip ürün üretiminde maliyet ve zaman avantajı elde edebilmek için geleneksel yöntemlerin yerine 3 boyutlu yazıcı kullanma kararı almıştır. 3 boyutlu yazıcı seçim problemi çok sayıda alternatif modelin bir kriter setine göre değerlendirilmesini amaçladığı için bu problem klasik bir ÇKKV problemi olarak ele alınmıştır. Bu amaçla firmanın prototip üretimindeki ihtiyaçlarını en iyi düzeyde karşılayacak 3 boyutlu yazıcının seçimi için bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemlerinden oluşan bütünleşik bir ÇKKV yöntemi uygulanmıştır. Çalışmanın karar verici grubu iki adet firma yetkilisi ve bir akademisyen olmak üzere üç kişiden oluşmaktadır. Yetkililerden biri plastik enjeksiyon sektöründe çeşitli aşamalarda uzman ve yönetici seviyelerinde çalışmış fabrika müdürüdür. Diğer firma yetkilisi 10 yıldır aynı fabrikada çalışan ve imalat teknolojileri konusunda araştırmaları olan üretim yöneticisidir. Çalışmaya katkıda bulunan akademisyen endüstri mühendisliği alanında uzmanlaşmış, üretim teknolojileri ve karar verme üzerine çalışan bir öğretim üyesidir. İlk aşamada en uygun yazıcının seçiminde etkili olan kriter seti literatürdeki çalışmalar incelenerek ve karar verici grubun da fikirleri değerlendirilerek oluşturulmuştur. Bu çalışmanın sonucunda 3 boyutlu yazıcı seçiminde önemli olabilecek 23 alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler teknik, performans, ekonomi ve çevre olmak üzere 4 ana kriter grubu altında düzenlenmiştir. Tablo 1'de bu kriterler ve tanımları gösterilmiştir. Firma yetkilileri prototip üretimi için uygun olabilecek dört alternatif 3 boyutlu yazıcı modeli belirlemiştir. Bunlar; Flashforge Creator 3 (A1), Zortrax M200 Plus (A2), Ultimaker 2 +connect (A3) ve Zaxe Z1 (A4)'dir.

**Tablo 1.** 3 boyutlu yazıcı değerlendirme kriterleri ve tanımları

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Tanım	Referans
Teknik Özellikler	Kullanım kolaylığı	Cihazın kolay bir şekilde kurulumu ve kullanılabilirliği	(Çetinkaya vd., 2017; Ransikarbun ve Khamhong, 2021; Zagidullin vd., 2021)
	Otomatik Kalibrasyon	Cihazın teknik ayarlarının otomatik olarak cihaz tarafından yapılması	(Çetinkaya vd., 2017)
	Çoklu Ekstrüder	Cihazın birden fazla baskı kafasının bulunması	(Prabhu ve Ilangkumaran, 2019; Çetinkaya vd., 2017)
	Filament Kalınlığı	Cihazda kullanılan üretim maddesinin mm cinsinden kalınlığı	(Mançanares vd., 2015; Çetinkaya vd., 2017; Rakhade, 2021; Zagidullin vd., 2021)
	Wi-Fi Bağlantısı	Cihazın kablosuz internete bağlanabilme özelliği	(Çetinkaya vd., 2017)
	Ekipman koruması	Kapalı kabin özelliği	(Çetinkaya vd., 2017)
	Tek tip filament kullanım zorunluluğu	Cihazın bir çeşit filament kullanıma izin vermesi	(Çetinkaya vd., 2017)
	Ağırlık	Cihazın kilogram cinsinden ağırlığı	(Mançanares vd., 2015; Çetinkaya vd., 2017; Rakhade, 2021)

Tablo 1. Devamı

Performans	Baskı Hacmi	Cihazın maksimum yazdırma alanı	(Khamhong vd., 2019; Roberson vd., 2013; Maçanares vd., 2015; Chen ve Wu, 2021; Prabhu ve Ilangkumaran, 2019; Çetinkaya vd., 2017; Ransikarbum ve Khamhong, 2021)
	Baskı Hızı	Cihazın bir saatte mm cinsinden bastığı alan	(Roberson vd., 2013; Maçanares vd., 2015; Prabhu ve Ilangkumaran, 2019; Ransikarbum ve Khamhong, 2021; Zagidullin vd., 2021)
	Hazırlık süresi	Cihazın üretime başlayabilmesi için gereken süre	(Çetinkaya vd., 2017)
	Yüzey düzgünlüğü	Cihazın bastığı bitmiş ürünün yüzey kalitesi	(Khamhong vd., 2019; Roberson vd., 2013; Ransikarbum ve Khamhong, 2021)
	Parça düzgünlüğü	Cihazın bastığı bitmiş ürünün şekil kalitesi	(Zagidullin vd., 2021)
	Modelleme hassasiyeti	Cihazın modele uygun üretim yapabilme yeteneği	(Khamhong vd., 2019; Ransikarbum ve Khamhong, 2021)
	Baskı hassasiyeti	Cihazın belirlenen ölçülere uygun üretim yapabilme yeteneği	(Maçanares vd., 2015)
	Katman çözünürlüğü	Cihazın bastığı her bir katmanın mikron cinsinden değeri	(Roberson vd., 2013)
	Stabil çalışma durumu	Cihazın sorunsuz ve kararlı bir şekilde üretim yapabilme yeteneği	(Zagidullin vd., 2021)
Ekonomi	Fiyat	Cihazın parasal değeri	(Khamhong vd., 2019; Roberson vd., 2013; Maçanares vd., 2015; Ransikarbum ve Khamhong, 2021; Chen ve Wu, 2021; Prabhu ve Ilangkumaran, 2019), (Rakhade, 2021)
	Parça ve bakım maliyeti	Cihazın yedek parça ve bakım giderleri	(Khamhong vd., 2019; Zagidullin vd., 2021)
	Enerji Tüketimi	Cihazın watt cinsinden bir saatte kullandığı enerji miktarı	(Maçanares vd., 2015; Çetinkaya vd., 2017; Rakhade, 2021)
Çevre	Ses emisyonu	Cihazın çalışırken dışarıya verdiği gürültü seviyesi	(Çetinkaya vd., 2017)
	Karbon emisyonu	Cihazın çalışırken dışarıya verdiği karbon miktarı	(Çetinkaya vd., 2017)
	Atık miktarı	Cihazın çalışırken dışarıya verdiği atık madde miktarı	(Roberson vd., 2013; Çetinkaya vd., 2017)

Tablo 1’de gösterilmiş olan kriter seti karar verici grup tarafından firmanın 3 boyutlu yazıcı seçim kararı üzerindeki ilgi ve etki düzeyi açısından değerlendirilmiştir. Bu ilk değerlendirme sonucunda alternatiflerin tümünde bulunan ve bir karar faktörü olmayan wi-fi bağlantısı, ekipman koruması ve tek tip filament kullanım zorunluluğu kriter setinden çıkartılmıştır. Bunun üzerine firmanın 3 boyutlu yazıcı seçiminde kullanılmak üzere belirlenen nihai kriter seti Tablo 2’deki gibi oluşturulmuştur.

Bir sonraki adımda karar vericilerin Tablo 3’deki sözel değerlendirme ölçeği (Feng vd., 2018; Yürüyen ve Ulutaş, 2020) ile her bir alternatifi ilgili kritere göre değerlendirerek oluşturduğu karar matrisi Tablo 4’de gösterilmiştir.

3 boyutlu yazıcı seçiminde etkili olan kriterlerinin objektif önem ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla öncelikle Tablo 4’deki sözel değerlendirmeler Tablo 1 ‘deki bulanık üçgensel sayı karşılıklarına çevrilmiş ve daha sonra Eş. 22 kullanılarak ortalama bulanık karar matrisi elde edilmiştir. Tablo 5’de ortalama bulanık karar matrisi gösterilmiştir. Tablo 5, bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemlerinin karar matrisi olarak kullanılmıştır.

**Tablo 2.** 3 Boyutlu yazıcı değerlendirme kriteri seti

Ana Kriterler	Alt Kriterler
Teknik Kriterler	Kullanım kolaylığı (K1)
	Otomatik Kalibrasyon (K2)
	Çoklu Ekstrüder (K3)
	Filament Kalınlığı (K4)
	Ağırlık (K5)
Performans	Baskı Hacmi (K6)
	Baskı Hızı (K7)
	Hazırlık süresi (K8)
	Yüzey düzgünlüğü (K9)
	Parça düzgünlüğü (K10)
	Modelleme hassasiyeti (K11)
	Baskı hassasiyeti (K12)
	Katman çözünürlüğü (K13)
Stabil çalışma durumu (K14)	
Ekonomi	Fiyat (K15)
	Parça ve bakım maliyeti (K16)
	Enerji Tüketimi (K17)
Çevre	Ses emisyonu (K18)
	Karbon emisyonu (K19)
	Atık miktarı (K20)

**Tablo 3.** Sözel ifadeler ve Üçgen Bulanık Sayı Ölçeği

Sözel ifade	Üçgen Bulanık Sayı
Çok yüksek (ÇY)	(7,9,9)
Yüksek (Y)	(5,7,9)
Orta (O)	(3,5,7)
Düşük (D)	(1,3,5)
Çok Düşük (ÇD)	(1,3,3)

3 boyutlu yazıcı seçiminde etkili olan kriterlerin bulanık önem ağırlık değerleri bulanık CRITIC yönteminin çözüm adımları uygulanarak hesaplanmıştır. Burada K5, K8, K15, K16, K17, K18, K19 ve K20 kriterleri maliyet kriteri (N) ve diğer kriterler fayda kriteri (B) olarak ele alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre, ilk olarak Eş. 13 yardımı ile kriterlerin performans değerlerinin dönüşümleri gerçekleştirilmiş ve dönüştürülmüş değerler Eş. 14'deki gibi vektör haline getirilmiştir. Daha sonra değerlerin standart sapmaları hesaplanarak ikinci adım uygulanmıştır. Üçüncü adımda kriterlerin arasındaki korelasyon değerlerinin hesaplanmasıyla korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra ikinci ve üçüncü aşamalarda hesaplanan değerler kullanılarak Eş. 16 yardımıyla her bir kriterin bilgi ölçüsü hesaplanmıştır. Beşinci aşamada, kriterlerin sıralanmamış objektif ağırlık değerleri Eş. 17 ile hesaplanmış ve daha sonra Eş. (18-20) kullanılarak kriterlerin başlangıç bulanık objektif ağırlık değerleri belirlenmiştir. Başlangıç bulanık objektif ağırlık değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Kriterlerin durulaştırılmış ağırlık değerleri Eş. 11 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 6'da gösterilmiştir. Buna göre 3 boyutlu yazıcı seçiminde en önemli ağırlığa sahip olan üç kriter sırasıyla K20, K18 ve K19 olarak belirlenmiştir.

3 boyutlu yazıcı seçiminde etkili olan kriterlerin önem dereceleri belirlendikten sonra firma tarafından belirlenmiş olan alternatif 3 boyutlu yazıcı modellerinin sıralaması bulanık EDAS yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burada ilk aşamada Tablo 5'deki ortalama karar matrisi kullanılarak Eş. 22 yardımıyla bulanık ortalama çözüm değerleri ( $av_j$ ) hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 5'de gösterilmiştir. Bu aşamadan sonra ortalamaya pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve ortalamaya negatif uzaklık matrisi (NDA) kriter türüne (fayda veya maliyet) uygun olarak Eş. 27 ve Eş. 28 kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 7 ve Tablo 8'de sırasıyla tüm alternatifler için pozitif uzaklık (PDA) ve negatif uzaklık (NDA) değerleri gösterilmiştir. Bu tablolardaki hesaplamalar yapılırken üçgensel bulanık sayı ile sıfır arasındaki maksimum değer bulunabilmesi için Eş.12'den faydalanılmıştır.

Alternatiflerin ağırlıklandırılmış toplam pozitif ve negatif uzaklık değerlerinin hesaplanabilmesi için Eş. 30 ve Eş. 31'den faydalanılmıştır. Daha sonra Eş.32 ve Eş.33 kullanılarak bu değerler normalize edilmiştir. Normalize edilmiş olan değerler kullanılarak tüm alternatifler için bulanık değerlendirme skoru ( $\bar{a}s_j$ ) Eş.34 ile hesaplanmış ve tüm bu değerler Tablo 9'da gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Alternatiflerin Kriterlere Göre Sözel Değişkenler ile Değerlendirilmesi

Kriter	A1			A2			A3			A4		
	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3
K1	Y	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O	O	Y
K2	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	O	Y
K3	ÇY	ÇY	ÇY	ÇD	ÇD	ÇD	ÇY	ÇY	ÇY	ÇD	O	ÇY
K4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ÇY	ÇY	ÇD	Y	Y
K5	D	ÇD	D	Y	D	D	ÇY	ÇY	ÇY	D	Y	Y
K6	ÇY	ÇY	ÇY	Y	O	O	O	Y	Y	O	O	O
K7	D	O	O	Y	Y	Y	O	Y	Y	D	D	D
K8	O	O	O	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ÇY	ÇY
K9	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	O	O	O	O	O	D
K10	Y	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	O	O	Y	O	O	O
K11	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O
K12	Y	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y
K13	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O	O	O
K14	Y	Y	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y
K15	O	Y	Y	D	O	O	ÇD	D	D	ÇY	ÇY	ÇY
K16	O	O	Y	O	O	D	ÇY	D	Y	ÇY	ÇY	Y
K17	D	ÇD	O	O	O	Y	O	O	Y	ÇY	ÇY	ÇY
K18	O	O	O	O	O	O	ÇY	ÇY	ÇY	D	D	D
K19	Y	Y	Y	ÇY	ÇY	ÇY	O	O	O	Y	Y	Y
K20	ÇY	ÇY	Y	ÇY	ÇY	Y	ÇY	ÇY	ÇY	Y	Y	O

**Tablo 5.** Ortalama Bulanık Karar Matrisi

Kriterler	Alternatif 3 Boyutlu Yazıcı Modelleri				
	A1	A2	A3	A4	Ortalama (AV)
K1	(6,26;8,28;9,00)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(3,56; 5,59; 7,61)	(4,95; 6,67;8,65)
K2	(7; 9; 9)	(7; 9; 9)	(7; 9; 9)	(4,72; 6,80; 8,28)	(6,43; 8,45; 8,82)
K3	(7; 9; 9)	(1; 3; 3)	(7; 9; 9)	(2,76; 5,13; 6,80)	(4,44; 6,53; 6,95)
K4	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(6,26; 8,28;9,00)	(2,92; 5,28; 7,40)	(4,80; 6,89; 8,60)
K5	(1; 3; 3,56)	(1,71; 3,98; 6,08)	(7; 9; 9)	(2,92; 5,28; 7,40)	(3,16; 5,31; 6,51)
K6	(7; 9; 9)	(3,98; 5,00; 7,61)	(4,22; 6,26; 8,28)	(3; 5; 7)	(4,55; 6,31;7,97)
K7	(2,08;4,22;6,26)	(5; 7; 9)	(4,22; 6,26; 8,28)	(1; 3; 5)	(3,07; 5,12; 7,13)
K8	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(6,26; 8,28; 9,00)	(4,81; 6,82; 8,50)
K9	(6,26;8,28;9,00)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(2,08; 4,22;6,26)	(4,08; 6,12; 7,81)
K10	(6,26;8,28;9,00)	(5; 7; 9)	(3,56; 5,59;7,61)	(3; 5; 7)	(4,45; 6,47; 8,15)
K11	(6,26;8,28;9,00)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(4,22; 6,26; 8,28)	(5,12; 7,13; 8,82)
K12	(6,26;8,28;9,00)	(7; 9; 9)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(5,81; 7,82; 9,00)
K13	(6,26;8,28;9,00)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(4,81; 6,82; 8,50)
K14	(5,59; 7,61;9)	(7; 9; 9)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(5,65; 7,65; 9,00)
K15	(4,22;6,26; 8,28)	(2,08; 4,22; 6,26)	(1; 3; 4,22)	(7; 9; 9)	(3,57; 5,62; 6,94)
K16	(3,56;5,59; 7,61)	(2,08; 4,22; 6,26)	(3,27; 5,74; 7,40)	(6,26;8,28;9,00)	(3,79; 5,96; 7,57)
K17	(1,44;3,56; 5,59)	(3,56; 5,59; 7,61)	(3,56; 5,59; 7,61)	(6,26;8,28;9,00)	(3,70; 5,76; 7,45)
K18	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(7; 9; 9)	(1; 3; 5)	(3,50; 5,50; 7,00)
K19	(5; 7; 9)	(7; 9; 9)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(5 ;7; 8,50)
K20	(6,26;8,28;9,00)	(6,26; 8,28; 9,00)	(7; 9; 9)	(4,22; 6,26; 8,28)	(5,93; 7,95; 8,82)

Son aşamada her bir alternatif için durulaştırılmış değerlendirme skorları K(asj) Eş. 11 yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 9'da gösterilmiştir. Yapılmış olan hesaplamalara göre 3 boyutlu yazıcılar arasındaki sıralama  $A1 > A2 > A3 > A4$  şeklinde olmuştur. Buna göre alternatif 3 boyutlu yazıcılar arasındaki A1 (Flashforge Creator 3) firma için en uygun alternatif olarak belirlenmiştir.

**Tablo 6.** Bulanık Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Bulanık Ağırlık Değerleri	Durulaştırılmış Ağırlık Değerleri
K1	(0,029; 0,031;0,043)	0,034
K2	(0,039; 0,042;0,043)	0,041
K3	(0,063;0,068;0,071)	0,067
K4	(0,043;0,043;0,045)	0,043
K5	(0,037;0,040;0,043)	0,040
K6	(0,052;0,053;0,060)	0,055
K7	(0,052;0,057;0,081)	0,063
K8	(0,038;0,039;0,042)	0,040
K9	(0,031;0,033;0,038)	0,034
K10	(0,052;0,055;0,059)	0,055
K11	(0,033;0,034;0,059)	0,042
K12	(0,035;0,038;0,49)	0,041
K13	(0,036;0,037;0,48)	0,040
K14	(0,033;0,035;0,43)	0,037
K15	(0;0,050;0,50)	0,033
K16	(0,031;0,033;0,43)	0,036
K17	(0; 0,056; 0,057)	0,038
K18	(0,076;0,083;0,088)	0,082
K19	(0,070;0,073;0,077)	0,073
K20	(0,095;0,103;0,118)	0,105

**Tablo 7.** Tüm Alternatifler için Ortalamaya Pozitif Uzaklık (PDA) Değerleri

Kriterler	Alternatif 3 Boyutlu Yazıcı Modelleri			
	A1	A2	A3	A4
K1	(-0,01;0,01; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)
K2	(-0,01; 0,00; 0,01)	(-0,01; 0,00; 0,01)	(-0,01; 0,00; 0,01)	(0,00; 0,00; 0,00)
K3	(0,00; 0,03; 0,05)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,03; 0,05)	(0,00; 0,00; 0,00)
K4	(-0,02; 0,00; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(-0,01; 0,01; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)
K5	(-0,01; 0,02; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K6	(0,00; 0,02; 0,07)	(-0,03; 0,01; 0,06)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K7	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,03; 0,01; 0,07)	(-0,01; 0,03; 0,09)	(0,00; 0,00; 0,00)
K8	(-0,03; 0,00; 0,03)	(-0,02; 0,01; 0,04)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)
K9	(-0,01; 0,01; 0,04)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)
K10	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,02; 0,07)	(-0,03; 0,01; 0,06)	(0,00; 0,00; 0,00)
K11	(-0,01; 0,01; 0,05)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)
K12	(-0,01; 0,01; 0,04)	(-0,02; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K13	(-0,01; 0,01; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K14	(-0,01; 0,01; 0,02)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K15	(0,00; 0,00; 0,02)	(0,00; 0,01; 0,02)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K16	(-0,01; 0,01; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)
K17	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,01; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K18	(-0,05; 0,01; 0,07)	(-0,05; -0,01; 0,07)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,03; 0,08)
K19	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02;0,02;0,06)	(0,00; 0,00; 0,00)
K20	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,04; -0,01; 0,03)	(-0,03; 0,03; 0,08)

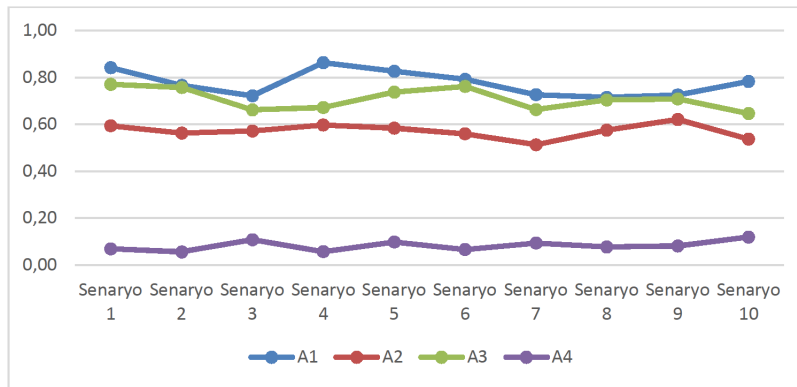
Yöntemin güvenilirliğini test etmek amacıyla farklı kriter ağırlıkları kullanılarak geliştirilmiş olan 10 senaryoya göre bulanık EDAS yöntemiyle 3 boyutlu yazıcı alternatifleri değerlendirilmiştir. Şekil 1'de değişik kriter ağırlıklarının kullanıldığı farklı senaryo durumunda her bir alternatif için değerlendirme skorlarının değişimi gösterilmektedir. Bu analiz sonucuna göre kriter ağırlıklarının değişmesi durumunda çalışmada kullanılan yöntemin sonucu stabil kalmaktadır. Buna göre kullanılan yöntemin ÇKKV probleminde alternatiflerin sıralanmasında kullanılabilecek etkili ve tutarlı bir yöntem olduğu söylenebilir.

**Tablo 8.** Tüm Alternatifler için Ortalamaya Negatif Uzaklık (NDA) Değerleri

Kriterler	Alternatif 3 Boyutlu Yazıcı Modelleri			
	A1	A2	A3	A4
K1	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,01; 0,01; 0,03)
K2	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,01; 0,01; 0,02)
K3	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,02; 0,04; 0,07)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,02; 0,05)
K4	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,01; 0,04)
K5	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,01; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(-0,01; 0,01; 0,03)
K6	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,01; 0,04; 0,07)	(-0,04; 0,00; 0,05)
K7	(-0,03; 0,01; 0,07)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,04; 0,08)
K8	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,01; 0,02; 0,04)
K9	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,01; 0,01; 0,04)
K10	(-0,03; 0,01; 0,06)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,02; 0,07)
K11	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,00; 0,04)	(-0,02; 0,00; 0,04)	(-0,01; 0,01; 0,04)
K12	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,01; 0,04)	(-0,01; 0,01; 0,05)
K13	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,01; 0,03)	(-0,01; 0,01; 0,04)
K14	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0; 0,02)	(-0,02; 0,00; 0,02)	(-0,01; 0,00; 0,03)
K15	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,01; 0,03)	(0,00; 0,01; 0,03)
K16	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,01; 0,01; 0,03)
K17	(0,00; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,03)
K18	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,05; 0,09)	(0,00; 0,00; 0,00)
K19	(-0,04; 0,00; 0,04)	(-0,02; 0,02; 0,04)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,04; 0,00; 0,04)
K20	(-0,03; 0,00; 0,05)	(-0,03; 0,00; 0,05)	(-0,02; 0,01; 0,05)	(0,00; 0,00; 0,00)

**Tablo 9.** Ağırlıklandırılmış Toplam Uzaklıklar, Normalize Değerleri ve Değerlendirme Skorları

	$sp_j$	$sn_j$	$nsp_j$	$nns_j$	$as_j$	$K(as_j)$
A1	(-0,189; 0,152; 0,547)	(-0,126; 0,021; 0,248)	(-1,116; 0,893; 3,223)	(1,555; 0,907; -0,089)	(0,219; 0,900; 1,567)	0,90
A2	(-0,126; 0,021; 0,248)	(-0,086; 0,076; 0,251)	(-1,549; 0,502; 3,216)	(1,375; 0,666; -0,100)	(-0,087; 0,584; 1,558)	0,69
A3	(-0,215; 0,089; 0,475)	(-0,110; 0,132; 0,426)	(-1,265; 0,527; 2,797)	(1,481; 0,420; -0,869)	(0,108; 0,474; 0,964)	0,52
A4	(-0,051; 0,056; 0,156)	(-0,246; 0,190; 0,740)	(-0,299; 0,329; 0,919)	(2,080; 0,167; -2,247)	(0,890; 0,248; -0,664)	0,16

**Şekil 1.** Farklı Senaryoya Göre Alternatiflerin Değerlendirme Skorlarının Değişimi

## 5. Sonuç

Firmalar teknolojiadaki yeniliklerin üretim süreçlerinde kullanılmasıyla birlikte verimlilik artışı ve maliyet tasarrufu gibi faydalar elde edebilmektedir. Katmanlı imalat küçük miktarda ve fazla çeşitlilikteki ürünlerin üretimi için firmalara zaman ve maliyet açısından çeşitli faydalar sağlamaktadır. Bu çalışmada mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın prototip üretiminde kullanmak ve bu sayede ürünün pazara sunum sürecini kısaltmak amacıyla satın alınması planlanan 3 boyutlu yazıcının seçim problemi ele alınmıştır. Firma için en uygun 3 boyutlu yazıcının seçimi 4 ana kriter ve 20 alt kriter ele alınarak gerçekleştirilmiştir.

Literatür incelemesine göre 3 boyutlu yazıcı seçiminde kullanılan kriter setlerinin sınırlı sayıda kriteri içerdiği gözlemlenmiştir. Çalışmada sunulan detaylı kriter setinin ilgili alanda yapılacak olan araştırmalara kılavuz olacağı düşünülmektedir.

Bu problemin çözümünde ÇKKV yöntemleri olan bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemleri uygulanmıştır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde, kriterlerin önem derecelerinin hem objektif hem de sübjektif olarak değerlendirilmesine imkân vermesi ve çözüm sürecinde standart sapma ve korelasyon gibi istatistiksel göstergeleri dikkate alarak sonuç sunması gibi avantajları sebebiyle CRITIC yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca CRITIC yönteminin kolay uygulanması ve her alana adapte edilebilmesi tercih edilmesindeki önemli sebeplerdendir. EDAS yönteminde alternatifler her bir kritere göre ortalama çözüm uzaklıkları hesaplanarak değerlendirilmektedir. Ayrıca EDAS yöntemi diğer ÇKKV yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha az hesaplama gerektirmektedir. EDAS yönteminin henüz literatürde çok fazla kullanılmamış olması ve problemlerin çözümü için daha az işlem gerektirerek hızlı sonuç üretmesi yöntemin bu çalışmada tercih edilmesinin sebebidir.

Çalışmanın sonucunda, ele alınan firmanın üretimdeki kullanım amacına göre Flashforge Creator 3 modeli en uygun 3 boyutlu yazıcı olarak belirlenmiştir. Firma, belirlenen bu model ile prototip üretiminde birçok fayda sağlamıştır. 3 boyutlu yazıcı kullanımı sayesinde prototipten ürüne geçiş süresinin kısaltılması, hataların tasarım süreci gibi erken aşamalarda tespit edilebilmesi ve model üzerinde müşteri ihtiyaçlarına uygun değişikliklerin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gibi avantajlar elde ederek müşteri memnuniyetini artırmıştır. Bunlara ek olarak firma geleneksel üretim yöntemleri ile üretmediği ve kısıtlı tasarımı olan parçaları üretebilir duruma gelmiştir.

3 boyutlu yazıcıların farklı sektörlerde kullanımının yaygınlaşması ve piyasadaki 3 boyutlu yazıcıların sayısının artması bu problemin işletmeler için önemli bir karar süreci haline gelmesine neden olmuştur. Ancak literatürde 3 boyutlu yazıcı seçimi ile ilgili az sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle gelecekte 3 boyutlu yazıcı seçiminde işletmecilere yol gösterici olabilmesi için farklı sektörlerde uygun olabilecek seçim kriterlerinin belirlenerek farklı ÇKKV yöntemlerinin uygulanması fayda sağlayacaktır.

---

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Yazar Katkıları:** Çalışmanın Konsepti/Tasarımı- N.K., S.D.; Veri Toplama- N.K., S.D.; Verilerin Analizi/Yorumlanması- N.K., S.D.; Makaleyi Hazırlayan- N.K., S.D.; Makalenin Eleştirel Revizyonu- N.K., S.D.; Nihai Onay ve Sorumluluk - N.K., S.D.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

**Finansal Destek:** Yazarlar finansal destek beyan etmemişlerdir.

**Peer Review:** Externally peer-reviewed.

**Author Contributions:** Conception/Design of Study- N.K., S.D.; Data Acquisition- N.K., S.D.; Data Analysis/ Interpretation- N.K., S.D.; Drafting Manuscript- N.K., S.D.; Critical Revision of Manuscript- N.K., S.D.; Final Approval and Accountability- T N.K., S.D.

**Conflict of Interest:** Authors declared no conflict of interest.

**Financial Disclosure:** Authors declared no financial support.

---

#### Yazarların ORCID ID'leri / ORCID IDs of the authors

Nihan KABADAYI 0000-0003-1950-4877  
Sündüs DAĞ 0000-0003-2413-2887

#### KAYNAKLAR / REFERENCES

- Adalı, E. A. (2017). CRITIC and MAUT methods for the contract manufacturer selection problem. *European Journal of Multidisciplinary Studies*, 2(5), 93-101.
- Akçakanat, Ö., Aksoy, E., & Teker, T. (2018). CRITIC ve MDL Temelli Edas Yöntemi ile Tr-61 Bölgesi Bankalarının Performans Değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(32), 1-24.
- Ali, J. (2021). A novel score function based CRITIC-MARCOS method with spherical fuzzy information. *Computational and Applied Mathematics*, 40(8), 1-27.
- Alipour-Bashary, M., Ravanshadnia, M., Abbasianjahromi, H., & Asnaashari, E. (2021). Building demolition risk assessment by applying a hybrid fuzzy FTA and fuzzy CRITIC-TOPSIS framework. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*.
- Asante, D., He, Z., Adjei, N. O., & Asante, B. (2020). Exploring the barriers to renewable energy adoption utilising MULTIMOORA-EDAS method. *Energy Policy*, 142, 111479.
- Ayçin, E. (2020). Personel seçim sürecinde CRITIC ve MAIRCA yöntemlerinin kullanılması. *İşletme*, 1(1), 1-12.
- Aydın, U., & Üstün, A. (2020). Yük taşımacılığı için bulanık EDAS yöntemi ile taşıma modu seçimi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(1), 24-33.



- Bai, Y., & Wang, D. (2006). Fundamentals of fuzzy logic control—fuzzy sets, fuzzy rules and defuzzifications. In *Advanced fuzzy logic technologies in industrial applications* (pp. 17-36). Springer, London.
- Bayrakdaroğlu, F. K., & Kundakçı, N. (2019). Bulanık EDAS yöntemi ile arge projesi seçimi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (24), 151-170.
- Can, G. F., & Kargı, Ş. (2019). Sektörlerin iş sağlığı ve güvenliği yönünden risk seviyelerinin CRITIC-EDAS entegrasyonu ile değerlendirilmesi. *Endüstri Mühendisliği*, 30(1), 15-31.
- Çetinkaya, C., Kabak, M., & Özceylan, E. (2017). 3D printer selection by using fuzzy analytic hierarchy process and PROMETHEE. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 371-380
- Chen, T., & Wu, H. C. (2021). Fuzzy collaborative intelligence fuzzy analytic hierarchy process approach for selecting suitable three-dimensional printers. *Soft Computing*, 25(5), 4121-4134.
- Demircan, M. L., & Tunc, S. (2019, July). A proposed service level improvement methodology for public transportation using Interval Type-2 Fuzzy EDAS based on customer satisfaction data. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* (pp. 1351-1359). Springer, Cham.
- Demircioğlu, M., & Coşkun, İ. T. (2018). CRITIC-MOOSRA yöntemi ve UPS seçimi üzerine bir uygulama. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 183-195.
- Demirtaş, Ö., Zaralı, F., & Doğan S. (2020). Bulanık Ortamda Tedarikçi Seçimi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 36(3), 456-471.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770.
- Fortune Industry Report. (2021). 3D printing market size, share and Covid-19 impact analysis. (2021) 21 Aralık 2021, <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/3d-printing-market-101902>.
- Feng, X., Wei, C., & Liu, Q. (2018). EDAS method for extended hesitant fuzzy linguistic multi-criteria decision making. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20(8), 2470-2483.
- Ghorabae, M. K., Amiri, M., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2018). A new hybrid fuzzy MCDM approach for evaluation of construction equipment with sustainability considerations. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 18(1), 32-49.
- Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Amiri, M., & Turskis, Z. (2016). Extended EDAS method for fuzzy multi-criteria decision-making: an application to supplier selection. *International journal of computers communications & control*, 11(3), 358-371.
- Haleem, A., Khan, S., Luthra, S., Varshney, H., Alam, M., & Khan, M. I. (2021). Supplier evaluation in the context of circular economy: A forward step for resilient business and environment concern. *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 2119-2146.
- Huang, Y., Lin, R., & Chen, X. (2021). An enhancement EDAS method based on prospect theory. *Technological and Economic Development of Economy*, 27(5), 1019-1038.
- Jana, C., & Pal, M. (2021). Extended bipolar fuzzy EDAS approach for multi-criteria group decision-making process. *Computational and Applied Mathematics*, 40(1), 1-15.
- Justino Netto, J. M., Ragoni, I. G., Frezzatto Santos, L. E., & Silveira, Z. C. (2019). Selecting low-cost 3D printers using the AHP method: a case study. *SN Applied Sciences*, 1(4), 1-12.
- Kahraman, C., Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Cevik Onar, S., Yazdani, M., & Oztaysi, B. (2017). Intuitionistic fuzzy EDAS method: an application to solid waste disposal site selection. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(1), 1-12.
- Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics information management*.
- Kahraman H. (2021). Endüstri 4.0 ile katmanlı imalat. 20 Aralık 2021, <https://www.endustri40.com/endustri-4-0-ile-katmanli-uretim/>
- Kamali Saraji, M., Streimikiene, D., & Kyriakopoulos, G. L. (2021). Fermatean fuzzy CRITIC-COPRAS method for evaluating the challenges to industry 4.0 adoption for a sustainable digital transformation. *Sustainability*, 13(17), 9577.
- Karagöz, İ., Bekdemir, A. D., & Özlem, T. (2021). 3B yazıcı teknolojilerindeki kullanılan yöntemler ve gelişmeler üzerine bir derleme. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(4), 1186-1213.
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435-451.
- Khamhong, P., Yingviwatanapong, C., & Ransikarbum, K. (2019, December). Fuzzy analytic hierarchy process (AHP)-based criteria analysis for 3D printer selection in additive manufacturing. In *2019 Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C)*, (pp. 1-5). IEEE.
- Kısa, A. C. G., & Ayçin, E. (2019). OECD Ülkelerinin Lojistik Performanslarının SWARA tabanlı EDAS Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(1), 301-325.
- Kıracı, K., & Bakır, M. (2018). CRITIC Temelli EDAS Yöntemi ile Havayolu İşletmelerinde Performans Ölçümü Uygulaması. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (35), 157-174.
- Kutlu Gündoğdu, F., Kahraman, C., & Civan, H. N. (2018). A novel hesitant fuzzy EDAS method and its application to hospital selection. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 35(6), 6353-6365.
- Mañanares, C. G., de S Zancul, E., Cavalcante da Silva, J., Cauchick Miguel, P. A. (2015). Additive manufacturing process selection based on parts' selection criteria. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80(5), 1007-1014.
- Mishra, A. R., Rani, P., & Pandey, K. (2022). Fermatean fuzzy CRITIC-EDAS approach for the selection of sustainable third-party reverse logistics providers using improved generalized score function. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, 13(1), 295-311.
- Mukul, E., Büyükkökan, G., & Güler, M. (2019). Strategic analysis of intelligent transportation systems. *Beykoz Akademi Dergisi*, 148-158.

- Narayanamoorthy, S., Annapoorani, V., Kang, D., & Ramya, L. (2019). Sustainable assessment for selecting the best alternative of reclaimed water use under hesitant fuzzy multi-criteria decision making. *IEEE Access*, 7, 137217-137231.
- Özbek, A., & Engür, M. (2018). EDAS yöntemi ile lojistik firma web sitelerinin değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 21(2), 417-429.
- Özdoğan, A., Keleş, M. K., & Eren, F. Y. (2021). Laboratuvar Kan Gazı Cihazı Alternatiflerinin Bulanık VIKOR ve Bulanık EDAS ile Değerlendirilmesi. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 220-237.
- Polat, G., & Bayhan, H. G. (2020). Selection of HVAC-AHU system supplier with environmental considerations using Fuzzy EDAS method. *International Journal of Construction Management*, 1-9.
- Prabhu, S. R., & Ilankumaran, M. (2019). Decision making methodology for the selection of 3D printer under fuzzy environment. *International Journal of Materials and Product Technology*, 59(3), 239-252.
- Rakhade, R. D., Patil, N. V., Pardeshi, M. R., & Patil, B. G. (2021). Selection of 3D Printer for Innovation Centre of Academic Institution Based on AHP and TOPSIS Methods. *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 12, pp. 1872-1880
- Rakhade, D. (2021). Selection of 3D printer for Innovation Centre of academic institution based on AHP and TOPSIS methods, *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 12, pp. 1872-1880.
- Ransikarbun, K., & Khamhong, P. (2021). Integrated fuzzy analytic hierarchy process and technique for order of preference by similarity to ideal solution for additive manufacturing printer selection. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30(9), 6481-6492.
- Roberson, D. A., Espalin, D., Wicker, R. B. (2013). 3D printer selection: A decision-making evaluation and ranking model. *Virtual and Physical Prototyping*, 8(3), 201-212.
- Shanker, N. (2021). *Resiliency-not-a-revolution-how-3d-printing-will-change-global-supplychains*.20 Aralık 2021, <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/07/08/resiliency-not-a-revolution-how-3d-printing-will-change-global-supply-chains/?sh=36a7310b5b49>
- Sönmez, S., Kesen, U. Dalgıç C. 6. 3 Boyutlu yazıcılar uluslararası matbaa teknolojileri sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 2018, 471-481.
- Stanujkic, D., Popovic, G., & Brzakovic, M. (2018). An approach to personnel selection in the IT industry based on the EDAS method. *Transformations in Business & Economics*, 17(2), 32-44.
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Ghorabae, M. K., & Turskis, Z. (2017). An extension of the EDAS method based on the use of interval grey numbers. *Studies in Informatics and Control*, 26(1), 5-12.
- Stević, Ž., Vasiljević, M., Zavadskas, E. K., Sremac, S., & Turskis, Z. (2018). Selection of carpenter manufacturer using fuzzy EDAS method. *Engineering Economics*, 29(3), 281-290.
- Tuş, A., & Aytaç Adalı, E. (2019). The new combination with CRITIC and WASPAS methods for the time and attendance software selection problem. *Opsearch*, 56(2), 528-538.
- Ulutaş, A. (2017). EDAS yöntemi kullanılarak bir tekstil atölyesi için dikiş makinesi seçimi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 169-183.
- Ulutaş, A. (2018). Entropi Tabanlı Edas Yöntemi ile Lojistik Firmalarının Performans Analizi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (23), 53-66.
- Vesković, S., Stević, Ž., Karabašević, D., Rajilić, S., Milinković, S., & Stojić, G. (2020). A new integrated fuzzy approach to selecting the best solution for business balance of passenger rail operator: Fuzzy PIPRECIA-fuzzy EDAS model. *Symmetry*, 12(5), 743.
- Wang, S., Wei, G., Lu, J., Wu, J., Wei, C., & Chen, X. (2022). GRP and CRITIC method for probabilistic uncertain linguistic MAGDM and its application to site selection of hospital constructions. *Soft Computing*, 26(1), 237-251.
- Wang, D., & Zhao, J. (2016). Design optimization of mechanical properties of ceramic tool material during turning of ultra-high-strength steel 300M with AHP and CRITIC method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(9), 2381-2390.
- Yang, K., Duan, T., Feng, J., & Mishra, A. R. (2021). Internet of things challenges of sustainable supply chain management in the manufacturing sector using an integrated q-Rung Orthopair Fuzzy-CRITIC-VIKOR method. *Journal of Enterprise Information Management*.
- Rostamzadeh, R., Ghorabae, M. K., Govindan, K., Esmaili, A., & Nobar, H. B. K. (2018). Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS-CRITIC approach. *Journal of Cleaner Production*, 175, 651-669.
- Yılmaz, M., & Atan, T. (2021). Hospital site selection using fuzzy EDAS method: case study application for districts of Istanbul. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, (Preprint), 1-12.
- Yürüyen, A. A., & Ulutaş, A. (2020). Bulanık AHP ve bulanık EDAS yöntemleri ile üçüncü parti lojistik firması seçimi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(İktisadi ve İdari Bilimler), 283-294.
- Zadeh, L. A. (1996). *Fuzzy sets*. In *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A Zadeh* (pp. 394-432).
- Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications*, 161, 113738.
- Zagidullin, R., Mitroshkina, T., & Dmitriev, A. (2021, March). Quality function deployment and design risk analysis for the selection and improvement of FDM 3D printer. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 666, No. 6, p. 062123). IOP Publishing.

#### Atf Biçimi / How cite this article

Kabadayı, N., & Dağ, S. (2024). 3D Printer selection by using fuzzy CRITIC and fuzzy EDAS methods. *Journal of Transportation and Logistics*, 9(1), 121-138. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1149720>