



Yerleştirme Faaliyetlerinde Alt Yüklenici Seçimi için Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi

Şeyda Topaloğlu Yıldız^{1*}, Mertcan Özçelik², Semih Akaba³, Soner Altan⁴,
Nisa Yağmur Bilgi⁵, Kaan Bodur⁶, Mehmet Erdem Çorapçioğlu⁷

^{1*} Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6827-126X), seyda.topaloglu@deu.edu.tr

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4600-9946), mertcan.ozcelik.mo@gmail.com

³ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4170-2757), semihakaba@gmail.com

⁴ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6907-9210), soneraltan9612@gmail.com

⁵ TUSAŞ- Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5908-3814), nisayağmur.bilgi@tai.com.tr

⁶ TUSAŞ- Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5701-7629), kaan.bodur@tai.com.tr

⁷ TUSAŞ- Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2986-6575), mehmeterdem.corapcioglu@tai.com.tr

(İlk Geliş Tarihi 28 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 4 Mayıs 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079723)

ATIF/REFERENCE: Yıldız, Ş. T., Özçelik, M., Akaba, S., Altan, S., Bilgi, N. Y., Bodur, K., & Çorapçioğlu, M. E. (2022). Yerleştirme Faaliyetlerinde Alt Yüklenici Seçimi için Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 54-64.

Öz

Bu çalışmada, alt yüklenici seçimi problemi için ankete dayalı çok kriterli karar verme metodolojisi geliştirilmiştir. Anket çalışması alt yüklenici firmanın iş tipine uygun olarak ilgili ana iş alanlarında gerçekleştirilir. Bu alanlar belirlenen ana boyutlara göre değerlendirilir. Geliştirilen metodolojide ilk olarak ana iş alanları ve ana iş boyutlarının nispi önemleri yani ağırlıklarının hesaplanması için FUCOM ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra anket sonuçları ve hesaplanan ağırlıklar dikkate alınarak, çok kriterli karar vermede kullanılan TOPSİS, VIKOR, Uzlaşık programlama ve MABAC tekniklerine dayanan alt yüklenici firmaların seçimine ilişkin bir sıralama yöntemi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alt Yüklenici Seçimi, Anket Değerlendirme, Çok Kriterli Karar Verme, FUCOM, TOPSİS, VIKOR, MABAC, Uzlaşık Programlama.

Multi-Criteria Decision Making Method for Subcontractor Selection in Indigenization Activities

Abstract

In this study, a survey-based multi-criteria decision-making methodology has been developed for the subcontractor selection problem. The survey is carried out in the relevant main business areas under the work type of the subcontractor company. These areas are evaluated according to the specified main dimensions. For the developed methodology, initially, the FUCOM weighting method is used to calculate the relative importance of the main business areas and main business dimensions. Then, a ranking method for the selection of the subcontractors based on the TOPSİS, VIKOR, MABAC, and Compromise Programming techniques used in multi-criteria decision-making is presented, considering the survey results and the calculated weights.

Keywords: Subcontractor Selection, Questionnaire Evaluation, Multi-criteria Decision Making, FUCOM, TOPSİS, VIKOR, MABAC, Compromise Programming

* Sorumlu Yazar: seyda.topaloglu@deu.edu.tr

1. Giriş

Yüksek teknoloji ürünlerin geliştirilmesi için etkin bir tedarik zincirinin kurulması gerekmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde alt sistemler ve bileşenler geliştiren çoğu alt yüklenici firma gerekli yetkinliğe sahip değildir. Bu anlamda firmaların deneyimlerini ortaya çıkarmak, tesis kapasitelerini, üretim süreci ve kalite kontrol süreci yeterliliklerini, Ar-Ge ve test ve ölçüm altyapılarını, sektöre özel belgelendirme gibi alanlardaki yeterliliklerini değerlendirmek gerekmektedir.

Bu çalışmada, büyük ölçekli bir savunma ve havacılık şirketinin ihtiyaçları kapsamında yerli alt yüklenici firma seçimi ele alınmıştır. Alt yüklenici firma, ana şirketin uzun vadeli hedeflerine ulaşabilmesi için proje yönetim sürecinde belirli iş paketlerini üstlenmektedir (Dolgui ve Proth, 2013; Enshassi, Arain ve Tayeh, 2012). Birçok sektörde günümüz koşullarında ana firma-alt yüklenici firma iş modeli uygulanmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe alt yüklenicilerin projeye katkısı toplam değer olarak %90'a ulaşmaktadır (Nobbs, 1993). Havacılık sektöründe Airbus ve Boeing gibi sektörün önde gelen firmaları %70-80 oranında alt yüklenici kullanmaktadır.

Alt yüklenici, alıcı firma için bir sözleşme ile belirlenen limitler dahilinde çalışan ve alıcı firma tarafından yapılacak işin bir kısmını tamamlayıp devreden firmadır (Dolgui ve Proth, 2013). Alt yüklenici firmalar, ana sistemin bir alt sistemini geliştirmek ve üretmekten sorumludur. Özellikle Ar-Ge çalışmalarında, projenin yürütülmesi için seçilecek alt yüklenicilerin, projenin başarısında kritik olan birden fazla kriteri sağlaması, projenin güvenilirliğini, etkinliğini ve verimliliğini sağlamada önemli bir role sahiptir. Bu kriterler; projeye uygun teknik özellikler, deneyim, bilgi düzeyi, fiyat, teslim süresi ve garanti koşulları, teslimat sonrası hizmet, kalite, işbirliği, güven, iş ahlakı, stratejik yönetim kabiliyeti, ürün ömrü, sistem bileşenleri olabilir (Can ve Arıkan, 2014). Her proje için yapıldığı sektöre göre farklı kriterlerin değerlendirilmesi gerekebilir. Hal böyle olunca alt yüklenici seçim problemi çok kriterli bir karar problemine dönüşür.

Günümüzde hızla gelişmekte olan teknolojik faaliyetler havacılık ve uzay sektörünü de önemli ölçüde etkilemektedir. Bu kapsamda faaliyet alanını arttırmak isteyen TUSAŞ için, yeni tedarikçiler ile çalışma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Yerlileştirme faaliyetlerine yönelik birçok projesi bulunan TUSAŞ, çok sayıda yerli tedarikçi arasından kriterlerine en uygun olanlar ile çalışmak amacıyla örnek bir alt yüklenici seçim anketi oluşturmuştur (Bilgi, Apan ve Çorapçioğlu, 2020). Yapılan çalışmada anket soruları 11 farklı ana iş alanına ve *Proses, Performans, Araç ve Veri Yönetimi, İnsan ve Organizasyon* olmak üzere dört farklı ana boyuta ayrılmıştır. Bu çalışmada anket sonuçlarının uygulanabilirliğini arttırmak ve alt yüklenicilerin daha tutarlı değerlendirilmesini sağlamak için iki aşamadan oluşan bir çözüm metodolojisi önerilmiştir. İlk aşamada, değerlendirme sırasında iş modeline göre değişen ana iş alanları ve bu iş alanlarında tanımlanmış olan ana boyutların nispi önemlerini belirlemek için, FUCOM tabanlı bir ağırlıklandırma yöntemi uygulanmıştır. İkinci aşamada, belirlenen ağırlıklar ve alt yüklenici firmaların anket sonuçları kullanılarak TOPSIS, VIKOR, MABAC ve Uzlaşık Programlama (UP) gibi çok kriterli karar verme teknikleriyle firmaların tercih sıralaması yapılmıştır.

Çalışmanın geri kalan kısmında, ikinci bölümde çok kriterli alt yüklenici seçim problemi için literatür araştırması yapılmış ve önerilen yöntemin diğer çalışmalardan farkı ve literatüre katkısı

vurgulanmıştır. Üçüncü bölümde, ilk olarak kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan FUCOM yöntemi anlatılmış, daha sonra alternatiflerin sıralanmasında kullanılan TOPSIS, VIKOR, MABAC ve UP teknikleri açıklanmıştır. Dördüncü uygulama bölümünde ise alt yüklenicilerin tercih sıralamaları anlatılan yöntemlere göre yapılmıştır. Son olarak, beşinci bölümde sonuçlar özetlenmiş ve geleceğe yönelik çalışmalardan bahsedilmiştir.

2. Literatür Araştırması

Artan rekabet ortamında, yüksek teknoloji ürünlerine olan talebin artması ve karmaşık üretim teknikleri, yüksek tasarım ve kalifiye personel ihtiyacı, firmaları alt yüklenicilerle işbirliği yapmaya zorlamaktadır (Dolgui ve Proth, 2013). İmalatçı alt yüklenicilerin kullanıldığı üretim modelinde, ana firmanın rekabet gücü artar, üretim döngüsü kısalar, müşteri taleplerine hızlı bir şekilde karşılık verilebilir. Ayrıca, kaynak ve işgücü maliyetleri azalır (Zhiqiang, Xilan ve Xuewen, 2006). Enshassi, Arain ve Tayeh (2012), alt yükleniciler ile işbirliği yapılmasının avantajlarını şu şekilde belirtmiştir: 1. Kalifiye iş gücü sağlar, 2. Genel giderler azalır, 3. Ana firmanın projenin ilgili iş paketlerindeki belli iş yükleri (projenin izlenmesi ve kontrolü, kalite kontrolü, güvenlik yönetimi ve iş gücü yönetimi) azalır.

Alt yüklenici seçimi problemi inşaat sektörü ağırlıklı olmak üzere, tekstil ve elektronik sektörlerinde daha çok ilgilenilmiştir (Can ve Arıkan, 2013). Kumaraswamy ve Matthews (2000), alt yüklenici firma seçimi için kullanılan yöntemleri incelemiştir. Rahman ve Kumaraswamy (2005), inşaat sektöründeki kritik projelerde yer alacak müteahhit, alt yüklenici, tedarikçi ve müşteri seçiminde, işbirliğine dayalı çalışma düzenlemelerini etkileyen kriterlerin belirlenmesi üzerine istatistiksel bir çalışma yapmıştır. Hartmann, Ling ve Tan (2009), Singapur'da bir inşaat firmasının alt yüklenici seçimini etkileyen kriterlerin belirlenmesinde istatistiksel bir çalışma yürütmüştür.

Abbasianjahromi, Rajaie ve Shakeri (2013), alt yüklenici seçim problemi için Bulanık Tercih Seçim İndeksine (Fuzzy Preference Selection Index – PFSI) dayalı bir karar modeli geliştirmiştir. Önerilen model kriter ağırlıklandırma aşamasını ortadan kaldırmakta ve her kriterin göreceli önemi, karar vericinin FPSI yöntemi ile alternatiflerin değerlendirilmesine ilişkin görüşlerine dayalı olarak hesaplanmıştır. Yayla, Yıldız ve Yıldız (2013), bir tekstil firması için optimal taşeron seçimine ilişkin bir vaka çalışması sunmuştur. Seçim problemini çözmek için hiyerarşik bir karar modeline dayalı genelleştirilmiş Choquet Integral yöntemi kullanılmıştır. Ulubeyli ve Kazaz (2016), ana yüklenicinin yabancı projeler için uygun alt yüklenicileri seçmesine dair bir alt yüklenici seçim modeli (CoSMo) geliştirmiştir. Niteliksel ve niceliksel karar kriterlerini toplu bir ölçümde birleştiren, insan yargısının dilsel değerler aracılığıyla modellenbildiği bulanık kümeler yöntemi kullanılmıştır.

Can ve Arıkan (2014), savunma sanayi sektöründe AR-GE çalışmaları gerçekleştiren bir firmanın, birlikte çalışacağı alt yüklenici firmayı seçmesi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve PROMETHEE II yöntemlerinin birleşiminden oluşan bir karar modeli geliştirmiştir. Bu modelde karar vericinin kriter ağırlıkları AHP tarafından belirlenmekte, alternatiflerin sıralaması PROMETHEE II ile yapılmaktadır.

Polat (2016), bir inşaat firmasının alt yüklenici seçim problemi için AHP ve PROMETHEE yöntemlerini kullanarak bütünlüklü bir karar yaklaşımı önermiştir. Önerilen yaklaşımda, alt

yüklenici seçim probleminin yapısını analiz etmek ve kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için AHP, kriterlerin ağırlıklarını değiştirerek tam sıralama elde etmek ve duyarlılık analizi yapmak için PROMETHEE kullanılmıştır. Husin ve Husaini (2017), alt yüklenici seçimi için bir Yapar Sınır Ağları (ANN) modeli geliştirmiş ve ana firmanın stratejik hedefi ile ilgili önemli kriterleri belirlemiştir. Önerilen ANN modeli, alt yüklenici seçiminin performansını iyileştirmek için kriter ağırlıklarının genelleştirilmesinde katkı sağlamıştır.

Abbasianjahromi, Sepehri ve Abbasi (2018), seçim kriterlerini kategorize etmek için Kano modeli kavramlarına dayalı bir anket yapmıştır. Kano modeli, seçim kriterlerini zorunlu, ters, tek boyutlu, çekici ve kayıtsız olmak üzere beş kategoride sınıflandırmak için uygulanmıştır. Bulanık küme teorisi, AHP ve TOPSIS yöntemlerinin kullanıldığı hibrit bir çerçevede, en iyi alt yüklenici seçilmiştir. Morkunaite, Podvezko, Zavadskas ve Bausys (2019), kültürel miras binalarının korunması ve restorasyonu için müteahhit seçimi problemini ele almıştır. Bu problemde önemli kriterlere karar vermek ve her bir kriter için ağırlık elde etmek için AHP uygulanmıştır. En uygun alternatifin belirlenmesinde PROMETHEE tekniği kullanılmıştır.

Tavana, Azadmanesh, Nasr ve Mina (2021), konaklama endüstrisindeki kamu-özel ortaklığı (PPP) projelerinde ortak seçimi için bütünlük çok kriterli karar verme ve optimizasyon modeli geliştirmiştir. Önerilen model, ortakları değerlendirmek için ağırlıklı etkiye sahip doğrusal olmayan bir gösterge sistemi kullanmaktadır. Daha sonra, her PPP projesine bir ortak seçmek için doğrusal programlama metrik çözüm yaklaşımı kullanılarak çok amaçlı bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Abdullah, Ong ve Rahim (2021), taşeronların denetlenmesi için en önemli 10 kriteri belirlemiş ve bu kriterleri beş uzman tarafından değerlendirilmiştir. Önerdikleri Sezgisel Bulanık Kümeler-DEMATEL yöntemini taşeron seçiminde kilit başarı faktörlerine karar vermede kullanılmıştır. Çok kriterli karar verme tekniklerini sınıflandıran ve uygulama alanlarını içeren derleme çalışmaları bulunmaktadır (Zavadskas, Turskis ve Kildienė, 2014; Azhar, Radzi ve Wan Ahmad, 2021). Behzadyan, Otaghsara, Yazdani ve Ignatius (2012) literatürde farklı alanlardaki TOPSIS uygulamalarını derlerken, Gül, Çelik, Aydın, Gümüş ve Güneri (2016) VIKOR uygulamalarını derlemiştir. Ayrıca MABAC yöntemi ve uygulama alanları ile Alinezhad ve Khalil'inin (2019) çalışmasından yararlanılabilir.

Çalışmamızın mevcut literatüre katkıları aşağıda özetlenmiştir:

- Mevcut literatürde alt yüklenici seçiminde anket değerlendirmeye dayalı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada alt yüklenici firmanın iş modeline göre ilgili iş alanları belirlenmiş ve belirlenen boyutlara göre bu iş alanlarında anketler yapılmıştır.
- Alt yüklenicinin iş modeline göre iş alanlarının ağırlıklandırılması ve bu iş alanındaki boyutların nispi önemlerinin belirlenmesinde FUCOM ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Alt yüklenicilerin değerlendirilmesinde kullanılan kriter ağırlıklarının belirlenmesi için FUCOM yöntemini uygulayan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.
- Anket değerlendirme sonuçlarına göre alt yüklenici firmaların tercih sıralaması ilk defa TOPSIS, VIKOR, Uzlaşık Programlama (UP) ve MABAC teknikleri ile yapılmıştır.

3. Materyal ve Metot

Dünyanın önde gelen havacılık firmalarının katkısı ile hazırlanan ve IAQG (International Aerospace Quality Group, Uluslararası Havacılık Kalite Grubu, 2014) tarafından kullanılan anketin, ülkemizdeki bir havacılık ve uzay firması tarafından alt yüklenici ön seçimi çalışmalarında kullanıma uygun olduğu değerlendirilmiştir. IAQG anketinde firmaların yetkinliklerinin değerlendirilmesi için 11 ana iş alanı belirlenmiştir; Bu değerlendirmede, diğer veri toplama tekniklerine (görüşme, gözlem) göre anketin farklı bölgelerden çok daha büyük gruplara hızla uygulama olağanın olması ve maliyetinin daha düşük olması gibi avantajlar ön plana çıkmıştır (Aiken, 1997). Bilgi vd. (2020), IAQG tarafından belirlenen derecelendirme yaklaşımı yerine, her bölümdeki soruları birbirini tamamlayıcı bir yapıda ve koşullarla ilişkilendirilmiş olarak sunmuşlardır. Soruların her bölümde eşit önemde olması nedeniyle eşit ağırlıklandırma uygulanmış ve değerlendirme 3'lü Likert ölçeğine göre (hayır, kısmen ve evet) derecelendirilmiştir. Her cevabın sayısal bir karşılığı vardır. Firmaların ankete verdikleri cevaplar için, firma beyanındaki kanıtlara bakılmadan Evet (4), Kısmen (2) ve Hayır (0) puanları kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Firmaların puanlandırmalarına ilişkin kanıt sağlamaları beklenmektedir. Puanlamanın uygun olup olmadığına karar vermek için ilgili kanıtlar bir değerlendirici tarafından kontrol edilir. Eğer bu kanıtlar puanlamayla uyumlu değilse, verilen puan revize edilir.

Sistem Tasarımı, Mevcut Tasarımın Üretimi, Talaşlı İmalat gibi üç farklı iş modeline göre alt yükleniciler değerlendirilmek istendiği için, bu anket alt yüklenicilere uygun olan *Ürün Gerçekleştirme Planlaması, Tasarım ve Geliştirme, Üretim ve Muayene* şeklinde belirlenmiş olan üç ana iş alanında belirlenen boyutlara göre uygulanmıştır. *Proses, Performans, Araç ve Veri Yönetimi, İnsan ve Organizasyon* olmak üzere dört farklı ana boyutta değerlendirme yapılmıştır. Bu kapsamda 6 firmaya anket soru seti gönderilmiş ve faaliyetleri doğrultusunda doldurmaları istenmiştir. Pilot çalışma için firma seçiminde, halihazırda alt yüklenici olarak çalışmakta olan ve aday statüsünde olan firmaların seçimine dikkat edilmiştir.

Çalışmanın ilk adımı olarak, alt yüklenicilerin iş modeline göre ana iş alanlarında ve ana boyutlarında ağırlıklandırmalar yapılmıştır. Kriterlerin belirlenmesi ve ağırlıklandırılması için altı uzman kişinin görüşüne başvurulmuştur. Bu kişilerin uzmanlık alanları tedarik kalitesi, sistem tasarımı-entegrasyonu ve imalat mühendisliğidir.

Buradaki amaç, alt yüklenici türlerine göre öncelik verilen iş alanlarını ön plana çıkarmaktır. Yapılan ağırlıklandırmalardan sonra alt yükleniciler, çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmiş ve tercih sıralamaları elde edilmiştir. Uygulanan yöntemler fayda fonksiyonuna dayalı çok kriterli karar verme yöntemleridir. Bu yöntemler, basit hesaplama, kolay anlama ve bir alternatif kümesinin olması avantajlarına sahip olduklarından en çok kullanılan sıralama yöntemleri arasındadır (Ecer, 2020). Bu nedenle çalışmamızda bu yöntemlerin uygulanması tercih edilmiştir. Bu gruptaki yöntemler, her bir kriter için fayda fonksiyonlarına sahiptir ve bu fonksiyonların değerleri normalize edilmektedir. Her bir alternatifin tüm kriterlere göre fayda değerlerini bir araya getirmek için birleştirme veya toplama işlemleri uygulanır. Ayrıca kriterlerin birbirinden bağımsız olduğu varsayılır. Bu durum bizim çalışmamız için geçerlidir.

3.1. FUCOM Yöntemi ile Kriter Ağırlıklandırma

Çalışmanın ilk aşamasında ana iş alanları ve ana boyut kategorileri için FUCOM (Full Consistency Method-Tam Tutarlılık Yöntemi) yöntemi kullanılarak ağırlıklandırma yapılmıştır. Pamucar, Stevic ve Sremac (2018) tarafından geliştirilen FUCOM yönteminin tercih edilmesinin başlıca sebepleri, kolay uygulanması ve tutarsızlığa izin vermemesidir. FUCOM'un diğer ağırlıklandırma yöntemlerine (AHP, ANP, BWM vb.) göre temel avantajları şöyledir (Ecer, 2020):

- Önemli derecede daha az ikili karşılaştırma gerektirir. (n kriterli bir problemde $n - 1$ tane ikili karşılaştırma olur.)
- Kriterlerin tutarlı olarak ikili karşılaştırılmasına izin verir.
- Kriter ağırlıklarının hesaplanması daha güvenilir bir şekilde gerçekleşir.

FUCOM yönteminin adımları aşağıdaki gibidir;

Adım 1: Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi.

Her alt yüklenici tipi için iş modeline göre ana iş alanı ve ana boyutlar belirlenmiştir.

Adım 2: Değerlendirme kriterlerinin karşılaştırmalı önem vektörünün belirlenmesi.

FUCOM yöntemi kriterlerden birinin en önemli kriter olarak seçilmesine ve diğer kriterlerin bu kritere göre 2'den 9'a kadar numaralandırılarak önem sıralarının belirlenmesine dayanır. En önemli kriter 1 değerini alırken diğer kriterler bu kritere göre nispi önem seviyesinde sıralanır. En önemli kritere yakın olan kriterler küçük değerler alırken, önem seviyesi düşük olanlar büyük değerler alırlar. Örneğin "Sistem Tasarımı" için Tablo 1'in sol tarafında ana iş alanları, sağ tarafında ana boyutlar için bu değerlendirmeler verilmektedir.

Tablo 1. Sistem Tasarımı Karşılaştırma Matrisi (System Design Comparison Matrix)

Sistem Tasarımı			
İş Alanları		Boyutlar	
Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)	3	Proses (PS)	2
Tasarım Geliştirme (TG)	1	Performans (PF)	5
Üretim ve Muayene (ÜM)	5	Araç ve Veri Yönetimi (AVY)	1
		İnsan ve Organizasyon (İÖ)	3

Adım 3: Doğrusal olmayan iyileştirme modelinin kısıtlarının tanımlanması.

Kısıt 1: Kriterlerin ağırlık katsayılarının oranı $\varphi_{k/(k+1)}$, kriterler arasındaki karşılaştırmalı öneme eşittir;

$$\varphi_{k/(k+1)} = \frac{w_k}{w_{k+1}} \quad (1)$$

Kısıt 2: Ağırlık katsayılarının değerleri matematiksel geçiş durumunu karşılamalıdır;

$$\varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{k+1/k+2} = \varphi_{k/k+2} \quad (2)$$

Adım 4: Değerlendirme kriterlerinin ağırlık katsayılarının nihai değerlerini belirlemek için bir model tanımlanması.

$$\text{Min } \chi \quad (3)$$

$$\left| \frac{w_{j(k)}}{w_{j(k+1)}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi, \quad \forall j \quad (4)$$

$$\left| \frac{w_{j(k)}}{w_{j(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \times \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi, \quad \forall j \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (6)$$

$$w_j \geq 0, \quad \forall j \quad (7)$$

"Sistem Tasarımı" iş modeli için alınan veriler sonucunda ana iş alanları ve ana boyutlar için hesaplanan ağırlık değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2. Sistem Tasarımı İş Modeline Göre Ağırlıklar (Weights of System Design Business Model)

Sistem Tasarımı			
İş Alanları		Boyutlar	
ÜGP	0.2174	PS	0.2459
TG	0.6522	PF	0.0984
ÜM	0.1304	AVY	0.4918
		İÖ	0.1639

İş alanları ve boyutlar için elde edilen bu ağırlıkların birbirleri ile çarpımı sonucunda ise global ağırlıklar Tablo 3'de verilmektedir. Örneğin, "Tasarım Geliştirme" iş alanındaki "Proses" boyutunun global ağırlığı $0.6522 \times 0.2459 = 0.1604$ olarak hesaplanır. Bu boyutların iş alanlarına göre hesaplanan global ağırlıkların toplamı 1'e eşittir.

Tablo 3. Sistem Tasarımı İş Modeline Göre Global Ağırlıklar (Global Weights of System Design Business Model)

	ÜGP	TG	ÜM
PS	0.0535	0.1604	0.0321
PF	0.0214	0.0641	0.0128
AVY	0.1069	0.3207	0.0641
İÖ	0.0356	0.1069	0.0214

3.2. TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yönteminde seçeneklerin değerlendirilmesi pozitif ve negatif ideal çözüm olmak üzere iki temel noktaya dayanır. Yöntemin amacı pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak karar seçeneğini belirlemektir. TOPSIS yöntemi altı adımdan oluşur.

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar seçenekleri (alternatifler) ve değerlendirme ölçütleri (kriterleri) belirlendikten sonra oluşturulan matrisle karar matrisi adı verilir. Oluşturulan matrisin boyutları n (alternatifler) \times m (kriterler) şeklindedir. Eşitlik (8)'de verilen D karar matrisinde satırlar alternatifleri, sütunlar ise kriterleri göstermektedir. Matristen seçilen bir f_{ij} değeri i seçeneğinin j kriterine göre performans değerini gösterir.

$$D = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1m} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \dots & f_{nm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Adım 2: Normalize Matrisin Hesaplanması

2. adımda, ilk adımda oluşturulan karar matrisi normalize edilerek Eşitlik (9)'daki matris (R) elde edilir. Herhangi bir elemanın değeri 0 ise normalize matriste de bu değer 0 alınır.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (9)$$

R normalize matrisinin her bir elemanı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n f_{ij}^2}}, & i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (10)$$

Adım 3: Ağırlıklı Normalize Matrisin Hesaplanması

Bu adımda kriterler için belirlenen ağırlıklar (w_j), R matrisindeki elemanlar ile çarpılarak ortaya ağırlıklı normalize matris (V matrisi) çıkar.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_m r_{1m} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_m r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{n1} & w_2 r_{n2} & \dots & w_m r_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nm} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Adım 4: Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi

Oluşturulan V matrisi ile değerlendirme ölçütünün amacına göre her bir ölçüt için pozitif ve negatif ideal çözümler bulunur. Ölçütler fayda cinsinden ise, sütunların en büyük değerleri pozitif ideal çözümleri, en küçük değerleri negatif ideal çözümleri verir. Ölçütler maliyet cinsinden ise, en büyük değerler negatif ideal çözümleri, en küçük değerler pozitif ideal çözümleri verecektir. Pozitif ideal çözüm kümesi $V^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_m^+\}$, negatif ideal çözüm kümesi ise $V^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_m^-\}$ şeklinde tanımlanır.

Adım 5: İdeal Çözümlere Olan Uzaklıkların Hesaplanması

Alternatiflerin pozitif ideal (V_i^+) ve negatif ideal (V_i^-) çözümlere olan uzaklığı Eşitlik (12) ve (13)'e göre hesaplanır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Adım 6: Yakınlık Katsayılarının Hesaplanması

Pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklar kullanılarak her bir karar seçeneği için ideal çözüme yakınlık katsayıları (C_i^*) Eşitlik (14) ile hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, i = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

Yukarıdaki formülle hesaplanan C_i^* değerleri 0 ile 1 arasında değer alır ve bu değerlerden 1'e en yakın olan C_i^* değerine ait karar seçeneği öncelikli olarak tercih edilir.

3.3. VIKOR Yöntemi

Oprinovic (1981) tarafından önerilen VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemi, çok kriterli karar vermede etkili yöntemlerden biridir. Aşağıdaki beş adımdan oluşur.

Adım 1: Her bir kriterin en iyi (f_j^*) ve en kötü (f_j^-) değerleri belirlenir. Eğer j kriteri oluşturulan model açısından "fayda" veya "maliyet" anlamında bir değerlendirme kriteri ise f_j^* ve f_j^- değerleri Eşitlik (15) ve Eşitlik (16)'e göre hesaplanır.

$$f_j^* = \max_i f_{ij}, j = 1, 2, \dots, m \quad (\text{Fayda kriteri}) \quad (15)$$

$$f_j^- = \min_i f_{ij}, j = 1, 2, \dots, m \quad (\text{Maliyet kriteri})$$

$$f_j^+ = \min_i f_{ij}, j = 1, 2, \dots, m \quad (\text{Fayda kriteri}) \quad (16)$$

$$f_j^- = \max_i f_{ij}, j = 1, 2, \dots, m \quad (\text{Maliyet kriteri})$$

Adım 2: Her bir alternatif için S_i ve R_i değerleri Eşitlik (17) ve (18)'e göre hesaplanır. Burada w_j , kriter ağırlıklarını ifade etmektedir.

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-) \quad (17)$$

$$R_i = \max_j [w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-)] \quad (18)$$

Adım 3: Her bir alternatif için Q_i değerleri hesaplanır.

$$Q_i = v(S_i - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - v)(R_i - R^*) / (R^- - R^*) \quad (19)$$

$$S^* = \min_i S_i; S^- = \max_i S_i \quad (20)$$

$$R^* = \min_i R_i; R^- = \max_i R_i \quad (21)$$

v değeri (> 0,5) seçildiğinde, Q_i endeksine göre çoğunluğun olumlu tutum sergilediği, v değeri (< 0,5) seçildiğinde, Q_i endeksine göre çoğunluğun olumsuz tutum sergilediği anlamı yüklenilmektedir. Grup kararı ile belirlenen v değeri genellikle v = 0,5 seçilerek, değerlendiricilerin uzlaşmacı bir tutum sergiledikleri kabul edilir.

Adım 4: Elde edilen Q_i, R_i, S_i değerleri sıralanır. En küçük Q_i değerine sahip alternatif tüm alternatifler arasından en iyisi olarak seçilir.

Adım 5: Elde edilen sonucun geçerli olması için iki koşul sağlanmalıdır. Ancak bu şekilde, minimum Q değerine sahip alternatif, en iyi olarak nitelendirilebilir. Bu koşullar, şu şekilde ifade edilebilir:

Koşul 1 - (Kabul edilebilir avantaj): En iyi ve en iyiye en yakın seçenek arasında belirgin bir fark olduğunun kanıtlanmasını içeren koşuldur. A_1 , en az Q değerine sahip olan birinci en iyi alternatif, A_2 ise ikinci en iyi alternatiftir. n, alternatif sayısıdır.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq D(Q) \quad (22)$$

$$D(Q) = 1 / (n - 1) \quad (23)$$

Koşul 2 - (Kabul edilebilir istikrar): Elde edilen uzlaşık çözümün istikrarlı olduğunun kanıtlanması açısından, en iyi Q değerine sahip A_1 alternatifi, S ve R değerlerinin de en az bir tanesinde en iyi skoru elde etmiş olmalıdır.

Yukarıda belirtilen iki koşuldan bir tanesi sağlanamazsa uzlaşık çözüm kümesi şu şekilde önerilir:

- Eğer Koşul 1 sağlanmıyorsa, A_1, A_2, \dots, A_n alternatifleri arasından aşağıda verilen eşitsizliği sağlayanlar çözüm kümesine dahil edilir:

$$Q(A_i) - Q(A_1) < D(Q) \quad (24)$$

- Eğer Koşul 2 sağlanmıyorsa, A_1 ve A_2 alternatifleri çözüm kümesine dahil edilir.

Uzlaşık çözüm kümesinde, Q değerlerine göre sıralama yapılır. Minimum Q değerine sahip alternatif en iyi alternatiftir.

3.4. Uzlaşık Programlama

UP' de, "ideal" çözüme uzaklık ölçütü olarak her alternatif için $L_p(i)$ değeri hesaplanır. UP, ilk olarak Zeleny (1973) tarafından geliştirilmiştir. Küçükten büyüğe sıralama ölçütü olarak kullanılan $L_p(i)$ 'ler $[0, 1]$ aralığında Eşitlik (25) ile hesaplanan normalize değerlerden oluşur. Bu ölçütteki p parametresi, karar vericinin ideal çözümden sapmalara taviz konusundaki tutumunu yansıtan bir dengeleme faktörüdür. Amaç, mümkün olduğunca ideal çözüme "yakın" bir çözüm elde etmektir. UP'de maliyet tipi kriter için, değerlendirme ölçütü -1 ile fayda tipinde bir kriter için +1 ile çarpılır. f_j^* ve f_j^- değerleri kriterler için alternatifler arasından alınan maksimum ve minimum değerlere karşılık gelir. Eşitlik (25)'deki metriğe göre alternatiflerin tercih sıralaması en küçük $L_p(i)$ değerinden en büyüğüne göre olur.

$$L_p(i) = \left[\sum_{j=1}^m w_j^p \left| \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right|^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (25)$$

- $p = 1$ için tüm sapmalar büyüklükleriyle doğru orantılı olarak dikkate alınır.
- $p = \infty$ için yalnızca en büyüksapma dikkate alınır.

3.5. MABAC Yöntemi

MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yönteminin temel prensibi, alternatiflerin kriter fonksiyonlarının sınır yakınlık alanına olan uzaklıklarına göre değerlendirilmesidir. Pamučar ve Ćirović (2015) tarafından geliştirilen bu yöntemde bir sınır yakınlık alanı oluşturulur. Daha sonra tüm alternatifler için kriter fonksiyonları hesaplanır ve bunların sınır yakınlık alanına olan uzaklıkları belirlenir. Son aşamada kriter fonksiyonlarının uzaklıkları ile birlikte alternatifler listelenir ve en uygun alternatif seçilir.

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması

MABAC yönteminde, Eşitlik (8)'deki gibi karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Normalize Matrisin Hesaplanması

Karar matrisi normalize edilerek Eşitlik (26)'daki normalize matris (N) elde edilir. Normalizasyonda kriterlerin maliyet ve fayda niteliğine göre Eşitlik (27)'deki formüller kullanılır.

$$N = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1m} \\ t_{21} & t_{22} & & t_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{n1} & t_{n2} & \dots & t_{nm} \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$t_{ij} = \frac{f_{ij} - f_j^-}{f_j^* - f_j^-} \quad (\text{Fayda kriteri}) \quad (27)$$

$$t_{ij} = \frac{f_{ij} - f_j^*}{f_j^- - f_j^*} \quad (\text{Maliyet kriteri})$$

Yukarıdaki f_{ij} , f_j^* ve f_j^- değerleri karar matrisinde bulunmaktadır. f_j^* sütunlarda bulunan maksimum değerleri, f_j^- ise sütunlardaki minimum değerleri gösterir.

Adım 3: Ağırlıklı Normalize Matrisin Hesaplanması

Ağırlıklı normalize matrisin her elemanı (v_{ij}), Eşitlik (28) ile hesaplanır:

$$v_{ij} = w_j \cdot (t_{ij} + 1) \quad (28)$$

Adım 4: Sınır Yakınlık Matrisinin Oluşturulması

Her bir kriter için Eşitlik (29) ile (g_j) değerleri hesaplanarak Eşitlik (30)'daki sınır yakınlık matrisi (G) elde edilir.

$$g_j = \left(\prod_{i=1}^n v_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (29)$$

$$G = [g_j]_{1 \times m} \quad (30)$$

Adım 5: Alternatiflerin Sınır Yakınlık Alanından Uzaklıklarının Hesaplanması

Alternatiflerin sınır yakınlık alanına olan uzaklıklarını gösteren (Q) matrisi Eşitlik (31) ile elde edilir. Bu işlemde ağırlıklandırılmış matris elemanları (v_{ij}) ve sınır yakınlık matrisi elemanları (g_j) arasındaki fark alınır.

$$Q = \begin{bmatrix} v_{11} - g_1 & v_{12} - g_2 & \dots & v_{1m} - g_m \\ v_{21} - g_1 & v_{22} - g_2 & \dots & v_{2m} - g_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} - g_1 & v_{n2} - g_2 & \dots & v_{nm} - g_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nm} \end{bmatrix} \quad (31)$$

Sınır yakınlık alanına göre alternatiflerin konumları belirlenir. Eşitlik (32)'de gösterildiği gibi bir alternatif (A_i), 3 konumda bulunabilir. Bir alternatifin istenen seviyede olması için üst yakınlık alanında (G^+) bulunması gerekmektedir ($q_{ij} > 0$). Bunun dışında alternatif iki farklı konumda bulunabilir. Bunlar alt yakınlık alanı (G^-) ve sınır yakınlık alanı (G) olmaktadır. Alt yakınlık alanına (G^-) yakın olan alternatifler negatif ideal alternatiflerdir yani performansı düşük alternatiflerdir ($q_{ij} < 0$).

$$A_i \in \begin{cases} G^+ \text{ ise } q_{ij} > 0 \\ G \text{ ise } q_{ij} = 0 \\ G^- \text{ ise } q_{ij} < 0 \end{cases} \quad (32)$$

Adım 6: Alternatiflerin Sıralanması

6. adımda alternatiflerin sınır yakınlık alanından uzaklıkları (q_{ij}), Eşitlik (33)'teki gibi toplanarak alternatiflere ait sıralama elde edilir. Hesaplanan S_i değerlerinden en yüksek olanı en uygun alternatifi belirler.

$$S_i = \sum_{j=1}^m q_{ij} \quad (33)$$

4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmanın bu aşamasında FUCOM yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak, çok kriterli karar verme yöntemleri TOPSIS, VIKOR, UP ve MABAC ile anket sonuçlarına göre firmaların tercih sıralaması yapılmıştır. Tablo 3’de verilen üç farklı iş modeline göre belirlenen iş alanlarının ve ana boyutlarının nispi önemleri FUCOM yöntemiyle farklı ağırlıklar atayarak belirlenmiştir. Burada “Sistem Tasarımı” iş Modeli için kullanılan yöntemlerin hesaplamaları verilmektedir.

Tablo 4. İş Modelleri, İş Alanları ve Ana Boyutlar (Business Models, Business Areas and Key Dimensions)

İş Modelleri	İş Alanları	Ana Boyut
1. Sistem Tasarımı	1. Tasarım Geliştirme	1. Proses
2. Mevcut Tasarımın Üretimi	2. Ürün Gerçekleştirme Planlaması	2. İnsan ve Organizasyon
3. Talaşlı İmalat	3. Üretim ve Muayene	3. Performans
		4. Araç ve Veri Yöntemi

Yöntemlerin ilk adımında oluşturulan karar matrisi Ek-A Tablo A1’de verilmiştir. Bu matris, TUSAŞ anket çalışmasında alt yüklenicilerin belirlenen 3 ana iş alanındaki 4 boyuta göre aldıkları toplam puanları içermektedir (Bilgi vd., 2020). Örneğin, Tablo A1’de ilk sütun, “Tasarım Geliştirme (TG)” iş alanının “Proses (PS)” boyutu için alt yüklenicilerin (A, B, C, D, E, F) anket puanlarını göstermektedir. Son sütun, “Üretim ve Muayene (ÜM)” iş alanının “Performans (PF)” boyutu için alt yüklenicilerin aldıkları puanları içerir. Bu şekilde toplam 12 sütunluk bir veri bulunmaktadır. Kriterlerin hepsi fayda niteliğindedir. Tüm alternatifler gözetilerek kriterlerin aldığı en iyi ve en kötü değerler Tablo A2’de verilmiştir.

4.1. TOPSIS ile Alt Yüklenici Tercih Sıralaması

İlk önce Eşitlik (10)’a göre normalize matris (R) elde edilir (Adım 2). Tablo 3’de verilen kriter ağırlıklarının R normalize matris ile çarpılması sonucu elde edilen ağırlıklı normalize matris Ek-A Tablo A2’de sunulmuştur (Adım 3). Bu tablonun son iki satırında pozitif ve negatif ideal çözümler gösterilmektedir (Adım 4). Alt yüklenicilerin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları Eşitlik (12) ve (13)’e göre hesaplanarak Tablo 5’de verilmiştir (Adım 5). Tablo 5’in son sütununda alternatiflerin Eşitlik (14)’e göre hesaplanan yakınlık katsayıları bulunmaktadır (Adım 6). Elde edilen yakınlık katsayılarından yola çıkarak TOPSIS yönteminde, altı firma arasından “Sistem Tasarımı” iş modelinde en iyi alternatif E firması olarak belirlenmiştir. E, D ve C firmaları ilk 3 sırayı paylaşmaktadır.

Tablo 5. TOPSIS ile İdeal Çözümlere Olan Uzaklıklar (Distances to Ideal Solutions with TOPSIS)

Firmalar	S_i^+	S_i^-	C_i^+
A	0,099	0,040	0,735
B	0,079	0,063	0,673
C	0,050	0,076	0,600
D	0,039	0,080	0,445
E	0,034	0,095	0,363
F	0,077	0,044	0,363

4.2. VIKOR ile Alt Yüklenici Tercih Sıralaması

İlk olarak Ek-A Tablo A3’de gösterilen en iyi ve en kötü kriter değerleri tespit edilir (Adım 1). Eşitlik (17)’ye göre Ek-A Tablo

A4’deki ağırlıklı normalize matris elde edilir (Adım 2). Her bir alternatif için farklı v değerlerine göre Tablo 6’daki Q_i değerleri hesaplanır (Adım 3). En küçük S_i değerine sahip alternatif en iyi seçenek olarak belirlenir (Adım 4). Tablo 6’da da görüldüğü gibi her v değeri için en iyi alternatif E firması olarak bulunmuştur. E, D ve C firmaları ilk 3 sırayı paylaşmaktadır.

Tablo 6. VIKOR ile Hesaplanan S_i , R_i ve Q_i Değerleri (S_i , R_i and Q_i Values Calculated with VIKOR)

	S_i	R_i	Q_i Değerleri				
			$v = 0$	$v = 0,25$	$v = 0,50$	$v = 0,75$	$v = 1$
A	0,67	0,29	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87
B	0,66	0,32	1,00	0,96	0,93	0,89	0,85
C	0,45	0,13	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44
D	0,26	0,13	0,28	0,23	0,18	0,13	0,08
E	0,22	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,73	0,16	0,40	0,55	0,70	0,85	1,00

4.3. UP ile Alt Yüklenici Tercih Sıralaması

Her alt yüklenici firma için Eşitlik (25)’de verildiği gibi, farklı p değerlerine karşılık gelen $L_p(i)$ ölçütü hesaplanır. Hesaplanan ölçüt değerleri Tablo 7’de gösterilmektedir.

Tablo 7. UP ile Hesaplanan $L_p(i)$ Ölçütleri ($L_p(i)$ Measures Calculated with UP)

Tedarikçiler	$p = 1$	$p = 2$	$p = 3$	$p = 4$	$p = 5$
A	0,67	0,35	0,31	0,30	0,29
B	0,66	0,35	0,32	0,32	0,32
C	0,45	0,19	0,16	0,14	0,14
D	0,26	0,15	0,14	0,13	0,13
E	0,22	0,09	0,07	0,06	0,06
F	0,73	0,27	0,21	0,19	0,18

Farklı p değerleri için E, D ve C alternatifleri ilk üç sırayı paylaşmaktadır. E firması en iyi alternatiftir.

4.4. MABAC ile Alt Yüklenici Tercih Sıralaması

En iyi ve en kötü kriter değerlerine göre karar matrisinin (Tablo A1) normalizasyon işlemi Eşitlik (27)’ye göre yapılır (Adım 2). Eşitlik (28)’e göre Ek-A Tablo A5’deki ağırlıklı normalize matris elde edilir (Adım 3). Eşitlik (29)’a göre her kriter için Ek-A Tablo A6’daki sınır yakınlık değerleri hesaplanır (Adım 4). Ağırlıklı normalize matris elemanları ve sınır yakınlık matrisi elemanları arasındaki fark alınarak alternatiflerin kriterlere göre sınır yakınlık alanından uzaklıkları Ek-A Tablo A7’de hesaplanmıştır (Adım 5). Toplam uzaklık değerleri (S_i) Tablo 8’de verilmektedir (Adım 6). S_i değeri en yüksek olan E alternatifi en uygun alternatif olarak belirlenmiştir.

Tablo 8. MABAC ile Hesaplanan S_i Değerleri (S_i Values Calculated with MABAC)

Firmalar	E	D	C	B	A	F
S_i	0,319	0,279	0,092	-0,116	-0,126	-0,192

4.5. Tüm İş Modellerine Göre Tercih Sıralaması

“Sistem Tasarımı” iş modeli için elde edilen sonuçlar Tablo 9’da verilmiştir. Bütün yöntemlerin uygulanması sonucunda çıkan sıralamalarda ilk üç alternatif sabit kalmış ve tüm yöntemlerde E firması en iyi alternatif olarak seçilmiştir.

Tablo 9. Sistem Tasarımı İş Modeli Sonuçları (Results of System Design Business Model)

Sıralama	TOPSIS	VIKOR	UP	MABAC
1	E	E	E	E
2	D	D	D	D
3	C	C	C	C
4	B	F	B	B
5	F	A	F	A
6	A	B	A	F

“Mevcut Tasarımın Üretimi” iş modeli için elde edilen sonuçlar Tablo 10’daki gibidir. Uygulanan yöntemler sonucunda bütün sıralamalar aynı çıkmıştır. D firması en iyi alternatif olmakla birlikte A firması da D’ye oldukça yakın sonuçlar almıştır.

Tablo 10. Mevcut Tasarımın Üretimi İş Modeli Sonuçları (Results of Production of Existing Design Business Model)

Sıralama	TOPSIS	VIKOR	UP	MABAC
1	D	D	D	D
2	A	A	A	A
3	E	E	E	E
4	C	C	C	C
5	B	B	B	B
6	F	F	F	F

“Talaşlı İmalat” iş modeli için elde edilen sonuçlar Tablo 11’de verilmiştir. Uygulanan yöntemler sonucunda bütün sıralamalar aynı çıkmıştır. D firması en iyi alternatif olmakla birlikte A firması da D’ye oldukça yakın sonuçlar almıştır.

Tablo 11. Talaşlı İmalat İş Modeli Sonuçları (Results of Machining Business Model)

Sıralama	TOPSIS	VIKOR	UP	MABAC
1	D	D	D	D
2	A	A	A	A
3	E	E	E	E
4	C	C	C	C
5	B	B	B	B
6	F	F	F	F

Firmanın halihazırda alt yüklenicisi olduğu bilinen A ve D firmalarına göre potansiyel olan diğer firmaların sonuçları kıyaslandığındaki değerlendirmeler aşağıda sıralanmıştır:

- “Sistem Tasarımı” iş modeline bakıldığında E firmasının ön plana çıktığı,
- “Mevcut Tasarımın Üretimi” iş modeline bakıldığında halihazırda çalışılan A ve D alt yüklenici firmaların performansının diğer firmalara göre yüksek olmasından dolayı ön plana çıktıkları,
- Son olarak “Talaşlı İmalat” iş modeline bakıldığında, benzer bir şekilde halihazırda A ve D alt yüklenici firmalarının ön plana çıktıkları tespit edilmiştir.

5. Sonuç

Bu çalışmada alt yüklenicilerin seçimi problemine yönelik ankete dayalı, bütünlük çok kriterli bir karar verme metodolojisi önerilmiştir. Alt yüklenici firmalar iş modeline göre belirlenen iş alanları için, farklı boyutlarda ankete dayalı olarak değerlendirilmektedir. Öncelikle iş alanlarının ve bu iş alanlarında incelenecek boyutların ağırlıklandırılması FUCOM yöntemiyle

yapılmıştır. Daha sonra farklı çok kriterli karar verme tekniklerinden TOPSIS, VIKOR, UP ve MABAC yöntemleriyle firmaların tercih sıralamaları elde edilmiştir.

Tüm yöntemlerde çıkan sıralamalar hemen hemen aynıdır. Sadece “Sistem Tasarımı” iş modelinde son üç firmanın sıralamasında yöntemler arasında farklılıklar olmuştur. Bu durum, önerilen karar verme metodolojisinin tutarlılığını sergilemekte olup TUSAŞ A.Ş.’ye alt yüklenici seçimi konusunda daha güvenilir sonuçlar sağlayacağına göstergesidir. İleride yapılacaklar çalışmaları arasında anket değerlendirmede kullanılan puanlandırma (Evet (2) – Hayır (0) – Kısmen (1)) yerine, sunulan kanıtları daha detaylı değerlendirebilecek olan 0-6 arasında puanlandırmaya izin veren Likert değerlendirme ölçeğinin kullanılması planlanmaktadır. Geliştirilen anket metodolojisi ve kriter ağırlıklandırma yönteminin uygulamaya konması için örneklem setinin artırılması ve başarılı analiz sonuçlarının ortaya çıkarılması planlanmaktadır. Ayrıca gelecek çalışma olarak anketi bilgisayar ortamında yöneten ve önerilen çok kriterli karar verme tekniklerini kullanarak tercih sıralaması yapan bir karar destek sistemi geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Kaynakça

- Abbasianjahromi, H., Rajaie, H., & Shakeri, E. (2013). A framework for subcontractor selection in the construction industry. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(2), 158-168.
- Abbasianjahromi, H., Sepehri, M., & Abbasi, O. (2018). A decision-making framework for subcontractor selection in construction projects. *Engineering Management Journal*, 30(2), 141-152.
- Abdullah, L., Ong, Z., & Rahim, N. (2021). An intuitionistic fuzzy decision-making for developing cause and effect criteria of subcontractors selection. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 14(1), 991-1002.
- Aiken, L. R. (1997). *Questionnaires and inventories: Surveying opinions and assessing personality*. Wiley.
- Alinezhad, A., & Khalili, J. (2019). MABAC method. In *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)* (pp. 193-198). Springer, Cham.
- Azhar, N. A., Radzi, N. A., & Wan Ahmad, W. S. H. M. (2021). Multi-criteria decision making: A systematic review. *Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering*, 14(8), 779-801.
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051-13069.
- Bilgi, N. Y., Apan, E., & Çorapçıoğlu, M. E. (2020). Alt yüklenicilerin değerlendirilmesi için analitik çözüm önerisi: Savunma ve havacılık sanayii için bir anket uygulaması. 8. *Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı Bildiriler Kitabı*.
- Can, Ş., & Arıkan, F. (2014). Bir savunma sanayi firmasında çok kriterli alt yüklenici seçim problemi ve çözümü. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(4), 645-654.

- Dolgui, A., & Proth, J. M. (2013). Outsourcing: Definitions and analysis. *International Journal of Production Research*, 51(23–24), 6769–6777.
- Ecer, F. (2020). Çok kriterli karar verme yöntemleri. Seçkin Yayıncılık.
- Enshassi, A., Arain, F., & Tayeh, B. (2012). Major causes of problems between contractors and subcontractors in the Gaza Strip. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 17(1), 92-112.
- Fachrurrazi, S. H., & Munirwansyah, H. (2017). The subcontractor selection practice using ANN-multilayer. *Civil Engineering*, 8(4), 761-772.
- Gul, M., Celik, E., Aydin, N., Gumus, A. T., & Guneri, A. F. (2016). A state of the art literature review of VIKOR and its fuzzy extensions on applications. *Applied Soft Computing*, 46, 60-89.
- Hartmann, A., Ling, F. Y. Y., & Tan, J. S. H. (2009). Relative importance of subcontractor selection criteria: Evidence from Singapore. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(9), 826-832.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag, New York.
- International Aerospace Quality Group. (2014). *SCMH Supplier Selection and Capability Assessment "Maturity Model" Communication Kit & User Guide*.
- Kumaraswamy, M. M., & Matthews, J. D. (2000). Improved subcontractor selection employing partnering principles. *Journal of Management in Engineering*, 16(3), 47-57.
- Li, D. F. (2007). Compromise ratio method for fuzzy multi-attribute group decision making. *Applied Soft Computing*, 7(3), 807-817.
- Morkunaite, Z., Podvezko, V., Zavadskas, E. K., & Bausys, R. (2019). Contractor selection for renovation of cultural heritage buildings by PROMETHEE method. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19(4), 1056-1071.
- Nobbs, H. (1993). *Future role of construction specialists*. London: Business Round Table.
- Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1), 5-21.
- Pamučar, D., & Čirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016-3028.
- Pamucar, D., Stevic, Z., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: Full consistency method (FUCOM). *Symmetry*, 10(393), 1-22.
- Polat, G. (2016). Subcontractor selection using the integration of the AHP and PROMETHEE methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(8), 1042-1054.
- Rahman, M. M., & Kumaraswamy, M. M. (2005). Relational selection for collaborative working arrangements. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(10), 1087-1098.
- Tavana, M., Azadmanesh, A., Nasr, A. K., & Mina, H. (2021). A multicriteria-optimization model for cultural heritage renovation projects and public-private partnerships in the hospitality industry. *Current Issues in Tourism*, 1-26.
- Ulubeyli, S., & Kazaz, A. (2016). Fuzzy multi-criteria decision making model for subcontractor selection in international construction projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 22(2), 210-234.
- Yayla, A.Y., Yildiz, A., & Yildiz, K. (2013). Generalised choquet integral algorithm for subcontractor selection in the textile industry – A case study for Turkey. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 21, 6(102), 16-21.
- Yong, D. (2006). Plant location selection based on fuzzy TOPSIS. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28 (7), 839-844.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165-179.
- Zeleny, M. (1973). Compromise programming. *Multiple criteria decision making*, Edited by J.L Cochrane and M. Zeleny.

Ek-A. Hesaplama Tabloları

Tablo A1. Karar Matrisi (Decision Matrix)

Firmalar	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
A	13	3	15	1	28	16	22	12	30	18	30	10
B	19	18	14	12	18	12	18	10	18	14	18	4
C	24	16	20	12	20	16	10	12	24	20	16	8
D	21	20	20	8	28	20	18	16	32	21	32	8
E	28	16	24	4	20	18	16	14	28	18	26	10
F	14	10	19	6	14	10	12	10	16	12	16	6

Tablo A2. TOPSIS Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi (V) ve İdeal Çözümler (TOPSIS Weighted Normalized Decision Matrix (V) and Ideal Solutions)

Firmalar	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
A	0,041	0,009	0,104	0,003	0,028	0,015	0,058	0,008	0,015	0,009	0,033	0,007
B	0,061	0,052	0,097	0,038	0,018	0,011	0,048	0,007	0,009	0,007	0,020	0,005
C	0,077	0,047	0,138	0,038	0,020	0,015	0,026	0,008	0,012	0,010	0,017	0,005
D	0,067	0,058	0,138	0,025	0,028	0,019	0,048	0,011	0,017	0,011	0,035	0,007
E	0,089	0,047	0,166	0,013	0,020	0,017	0,042	0,010	0,014	0,009	0,028	0,003
F	0,045	0,029	0,131	0,019	0,014	0,009	0,032	0,007	0,008	0,006	0,017	0,004
V^*	0,089	0,058	0,166	0,038	0,028	0,019	0,058	0,011	0,017	0,011	0,035	0,007
V^-	0,041	0,009	0,097	0,003	0,014	0,009	0,026	0,007	0,008	0,006	0,017	0,003

Tablo A3. Kriterler için En İyi ve En Kötü Değerler (Best and Worst Values for Criteria)

	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
f_j^+	28	20	24	12	28	20	22	16	32	21	32	10
f_j^-	13	3	14	1	14	10	10	10	16	12	16	4

Tablo A4. VIKOR Ağırlıklı Normalize Matrisi (VIKOR Weighted Normalized Matrix)

Firmalar	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
A	0,1604	0,1069	0,2887	0,0641	0,0000	0,0143	0,0000	0,0143	0,0040	0,0071	0,0080	0,0000
B	0,0962	0,0126	0,3207	0,0000	0,0382	0,0285	0,0356	0,0214	0,0281	0,0166	0,0561	0,0043
C	0,0428	0,0252	0,1283	0,0000	0,0305	0,0143	0,1069	0,0143	0,0160	0,0024	0,0641	0,0043
D	0,0748	0,0000	0,1283	0,0233	0,0000	0,0000	0,0356	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E	0,0000	0,0252	0,0000	0,0467	0,0305	0,0071	0,0535	0,0071	0,0080	0,0071	0,0241	0,0128
F	0,1497	0,0629	0,1604	0,0350	0,0535	0,0356	0,0891	0,0214	0,0321	0,0214	0,0641	0,0086

Tablo A5. MABAC Ağırlıklı Normalize Matrisi (MABAC Weighted Normalized Matrix)

Firmalar	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
A	0,16	0,11	0,35	0,06	0,11	0,06	0,21	0,03	0,06	0,04	0,12	0,03
B	0,22	0,20	0,32	0,13	0,07	0,04	0,18	0,02	0,04	0,03	0,07	0,02
C	0,28	0,19	0,51	0,13	0,08	0,06	0,11	0,03	0,05	0,04	0,06	0,02
D	0,25	0,21	0,51	0,10	0,11	0,07	0,18	0,04	0,06	0,04	0,13	0,03
E	0,32	0,19	0,64	0,08	0,08	0,06	0,16	0,04	0,06	0,04	0,10	0,01
F	0,17	0,15	0,48	0,09	0,05	0,04	0,12	0,02	0,03	0,02	0,06	0,02

Tablo A6. MABAC Sınır Yakınlık Değerleri Matrisi (MABAC Boundary Proximity Values Matrix)

	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
g_j	0,16	0,11	0,35	0,06	0,11	0,06	0,21	0,03	0,06	0,04	0,12	0,03

Tablo A7. MABAC Sınır Yakınlık Matrisine Uzaklıklar (Distances to MABAC Boundary Proximity Matrix)

Firmalar	Tasarım Geliştirme (TG)				Ürün Gerçekleştirme Planlaması (ÜGP)				Üretim ve Muayene (ÜM)			
	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF	PS	İO	AVY	PF
A	-0,0661	-0,0638	-0,1049	-0,0331	0,0278	0,0038	0,0576	-0,0003	0,0123	0,0029	0,0319	0,0056
B	-0,0020	0,0306	-0,1370	0,0311	-0,0104	-0,0104	0,0220	-0,0074	-0,0118	-0,0066	-0,0162	0,0013
C	0,0515	0,0180	0,0555	0,0311	-0,0027	0,0038	-0,0493	-0,0003	0,0002	0,0077	-0,0243	0,0013
D	0,0194	0,0432	0,0555	0,0078	0,0278	0,0181	0,0220	0,0140	0,0163	0,0101	0,0399	0,0056
E	0,0942	0,0180	0,1837	-0,0156	-0,0027	0,0110	0,0042	0,0069	0,0082	0,0029	0,0158	-0,0073
F	-0,0554	-0,0197	0,0234	-0,0039	-0,0256	-0,0176	-0,0315	-0,0074	-0,0158	-0,0113	-0,0243	-0,0030