



Bulanık TOPSIS Metodu ile Karar Verme: İnşaat Projelerinde Yüklenici Seçimi

Decision Making Through the Fuzzy TOPSIS Method: Contractor Selection in Construction Projects

A. Oben SABUNCUOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Ali GÖRENER

İşletme Fakültesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Öz

Yükleniciler, inşaat projelerinin arzu edilen şekilde sürdürülebilmesi noktasında önemli rol oynamaktadırlar. İstenen özelliklerde bir yüklenicinin seçilmiş olması, projenin başarısı için önemli bir koşuldur. Yüklenici seçimi, sayısal ve sayısal olmayan özellikleri barındıran bir çok kriterli karar verme problemidir. Bu çalışmada, yüklenici seçiminde kullanılmak üzere Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Bulanık İdeal Çözüme Dayalı Sıralama (TOPSIS) metodlarını içeren bir yaklaşım önerilmiştir. AHS ile seçim kriterlerinin önem ağırlıkları tespit edilmiş, TOPSIS yöntemi ile de uygun yüklenici alternatifleri değerlendirilmiştir. Ayrıca önerilen yaklaşıma ilişkin, inşaat endüstrisinden bir uygulama örneği sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: İnşaat Projeleri, Yüklenici, Bulanık Karar Verme, AHS, TOPSIS

JEL Sınıflandırması: D8

Abstract

Construction contractors have a great role in terms of operation work properly in construction project management. An effective contractor selection is most important to the success of any construction projects. Contractor selection is a multi criteria decision making problem which includes qualitative and quantitative characteristics. For the contractor selection problem, this

study proposes a combined decision approach, which employs analytic hierarchy process (AHP) and Fuzzy Technique Ordered Preference by Similarity to the Ideal Solution (TOPSIS) methods. In the proposed approach, AHP is used to determine the weights of selection criteria, and Fuzzy TOPSIS is used to select appropriate contractor alternative. Additionally, a real case study in construction industry is presented to illustrate the application of the proposed approach.

Keywords: Construction Projects, Contractor, Fuzzy Decision Making, AHP, TOPSIS

JEL classification: D8

Giriş

İnşaat endüstrisinde gerçekleştirilen projeler genel olarak, maliyet, zaman, kalite üçgeninde değerlendirilmektedir. Yapılan projelerde sıklıkla, zaman ve maliyetin planlanın üzerinde ortaya çıktığı, kalite ve iş güvenliğinde de standartların altına düştüğü görülmektedir. Bütün bu risklerin minimuma indirilmesi veya optimize edilmesinde en önemli adımlardan biri, projeyi yürütecek yüklenici veya yüklenicilerin doğru seçilmesidir (Singh ve Tiong, 2005).

İnşaat endüstrisi dinamik ve belirsizliklerle dolu bir alandır. Sektöre giriş koşullarının diğer endüstrilere göre görece kolay olması, yüklenicilerde aranan standartların enerji, petrol, denizcilik gibi endüstrilere göre çok daha kolay elde edilebilir olması, yüklenici seçerken karar vericilerin birçok belirsizlikle karşılaşmalarına sebep olmaktadır. Özel sektörde birçok firma kendine özgü geliştirdiği yöntemler ile yüklenici seçimini gerçekleştirmektedir (Singh ve Tiong, 2005). Kamu sektöründe de bir çok kriter dikkate alınmasına karşın, ana kriter halen, ihale fiyatı olmaktadır (Barrie ve Paulson, 1992; Topçu, 2004). İhale fiyatı en düşük yüklenicinin seçilmesi, yapı projenin yürütülmesi sırasında karşılaşılan sorunların temelini oluşturmaktadır (Hauts ve Skitmore, 1998; Topçu, 2004).

Yüklenici seçimi proje risklerinin yönetilmesi açısından da hayati öneme sahiptir (Zavadskas vd., 2008). İstenen nitelikte ve yeterlilikte yüklenici seçimi, müşterilerin proje çıktılarından memnun olma oranını etkileyen kritik bir unsurdur (Jaskowski, 2010). Yüklenici seçimi bir çok öğenin dikkate alındığı, çok kriterli bir karar verme problemi olarak ifade edilebilir (Hatush ve Skitmore, 1997). Bir problem hakkında karar verilmesi aşağıdakileri ana bileşenleri içermesi durumunda oldukça zordur (Fang vd., 1993):

- Problemin çok sayıda kriter içermesi
- Karar verici sayısının fazla olması
- Sayısal, sayısal olmayan ifadeleri ve belirsizlik öğelerini içermesi
- Tanımlanmamış veya eksik bilgilerin mevcut olması

Yapmış olduğumuz çalışmada öncelikle, bir inşaat projesi için yüklenici seçimi aşamasında ele alınan kriterler literatür destekli olarak irdeelenerek, kriterlerin önem dereceleri tespit edilmiştir. Bu aşamada kabul görmüş bir yöntem olan Analitik Hiyerarşi Süreci uygulanmıştır. Firmanın çalışmayı düşündüğü yüklenici alternatiflerinin analizi aşamasında ise karar vericilerin net rakamlarla değerlendirmeleri yapamadığı görülmüştür. Bu nedenle bulanık mantık destekli TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. İnsan yargılarının net rakamlarla ifade edilemediği noktalarda sözel ifadelerle değerlendirme yapmaya olanak sağlayan bulanık mantık, karar verme süreçlerinde etkili şekilde kullanılmaktadır. TOPSIS yöntemi ise bulanık mantık bütünlük şeklinde kullanılabilirliği, ek bir yazılıma ihtiyaç duymaması, hesap tablolarıyla çalışabilmeye imkan vermesi nedeniyle tercih edilmiştir.

Literatür Taraması

İnşaat sektöründe yüklenici seçimi ile ilgili çok kriterli karar verme çalışmaları oldukça sınırlıdır. Fong ve Choi (2000) gerçekleştirdikleri çalışmada üç farklı yüklenici alternatifini değerlendirmişlerdir. Maliyet, finansal kapasite, geçmiş performans, deneyim, kaynaklar, iş gücü, geçmiş yüklenici-müşteri deneyimi ve güvenlik kriterlerini dikkate alan araştırmacılar, analiz için AHS yöntemini kullanmışlardır. Zavadskas vd. (2008) ise çalışmalarında; tahmini maliyet, iş yapış süresi, işletme tecrübesi, yüklenici sıfatıyla tecrübe, iletişim, geçmişteki çalışmaların durumu ve kalite kriterlerini göz önünde bulundurmışlardır. Doğrusal

normalizasyon tabanlı değerlendirmelerinde onbeş farklı alternatifi analiz etmişlerdir. Darvish vd. (2009) farklı sektörlerdeki yüklenici değerlendirmelerine ilişkin yaptıkları çalışmada çizge teorisi temelli bir yaklaşım önermişlerdir. Değerlendirme kriterleri olarak ise; firmanın deneyimi, teknoloji, ekipman, yönetim, finansal stabilite, kalite, takımın geçmiş deneyimi, çalışılan ülkeye uyum, saygınlık, inovasyon ve yaratıcılık kriterlerini kullanmışlardır.

Huang (2011) yapmış olduğu çalışmada yüklenicilerin değerlendirilmesi için var olan metotları karşılaştırmıştır. Özellikle değerlendirme kriterleri üzerinde duran araştırmacı, finansal durum, ekipman ve personel, yönetim kapasitesi, kalite yönetim sistemi, güvenlik, mevcut projelerdeki durum ve tecrübe kriterlerinin önemine değinmiştir. Nieto-Morote ve Ruz-Vila (2012) ise çalışmalarında bulanık TOPSIS yöntemini uygulamışlardır. Teknik kapasite, deneyim, yönetim yeteneği, finansal durum kriterlerini göz önünde bulunduran yazarlar, üçgensel bulanık sayıları kullanmışlardır. Abbasianjahromi vd. (2013) yüklenici seçimi kapsamında yaptıkları çalışmada maliyet, kalite, zaman ve yeterlilik ana kriterlerini kullanmışlardır. Araştırmacılar bulanık mantık tabanlı bir karar verme yaklaşımı önermişlerdir.

Çiftçioğlu (2013) yapmış olduğu çalışmada maliyet, kalite, zaman, mesleki yeterlilik, finansal durum, iş güvenliği ve iletişim kriterlerini dikkate almıştır. AHS yöntemi ile yüklenici seçimi modeli oluşturan yazar, bir konut projesi kapsamında uygulama örneği sunmuştur. Rençber ve Kazan (2014) ise çalışmalarında, büyük çaplı bir inşaat projesi için yüklenici firma seçimindeki kriterlerin önemlerini karşılaştırmak istemişlerdir. Kriter önem derecelerinin belirlenmesi için AHS yöntemini kullanmışlardır. Polat (2015) ise çalışmasında yüklenici seçimi için AHS ve PROMETHEE yöntemlerini kullanmıştır. Maliyet, finansal durum, kalite, iş güvenliği, teknik yeterlilik ve deneyim gibi kriterleri dikkate alan araştırmacı, yüklenici seçiminin projelerin tamamlanmasında kritik öneme sahip olduğunu ifade etmiştir.

Tablo 1: Literatürde Yer Alan Çalışmalar ve Kullanılan Kriterler

Kullanılan kriterler	Çalışma
Maliyet, finansal kapasite, geçmiş performans, deneyim, kaynaklar, iş gücü, geçmiş yüklenici-müşteri deneyimi, güvenlik	Fong ve Choi (2000)
Maliyet, iş yapış süresi, işletme tecrübesi, yüklenici sıfatıyla tecrübe, iletişim, geçmişteki çalışmaların durumu, kalite	Zavadskas vd. (2008)
Deneyim, teknoloji, ekipman, yönetim, finansal stabilite, kalite, takımın geçmiş deneyimi, çalışılan ülkeye uyum, saygınlık, inovasyon, yaratıcılık	Darvish vd. (2009)
Finansal durum, ekipman, personel, yönetim kapasitesi, kalite yönetim sistemi, güvenlik, mevcut projelerdeki durum, tecrübe	Huang (2011)
Teknik kapasite, deneyim, yönetim yeteneği, finansal durum	Nieto-Morote ve Ruz-Vila (2012)
Maliyet, kalite, zaman, yeterlilik	Abbasianjahromi vd. (2013)
Maliyet, kalite, zaman, mesleki yeterlilik, finansal durum, iş güvenliği, iletişim	Çiftçioğlu (2013)
Hız, kalite, maliyet, güvenilirlik, hız, esneklik, liderlik, ekip çalışması, personel yeterliliği, yönetim tipi, kalite belgeleri, finansal yeterlilik, teknolojik yeterlilik, iş deneyimi	Rençber ve Kazan (2014)
Maliyet, finansal durum, kalite, iş güvenliği, teknik yeterlilik, deneyim	Polat (2015)

Karar Verme Yöntemleri

Analitik Hiyerarşi Süreci

Analitik Hiyerarşi Süreci, kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkiyi dikkate alan, hiyerarşik bir yapı oluşturularak bileşenlerin analizine imkân veren bir yöntemdir. Bu yöntemle, birçok kriterin dikkate alındığı karar problemlerinde, kriterlerin amaca ulaşmada hangi miktarda göz önünde bulundurulması gerektiğinin belirlenmesi için kriter ağırlıkları hesaplanabilir ve uygun karar alternatifi seçilebilir. AHS tekniğinde, kriter ve alternatifler karar vericiler tarafından ikili karşılaştırmalara tabi tutulurlar. Yapılan işlemlerde Saaty'nin (1980) geliştirmiş olduğu 1-9 puanlı tercih ölçeği kullanılır. Kriter ve alternatiflerin ikili karşılaştırılmaları yapılarak, önem ağırlıkları hesaplanır(Saaty, 1980; Beyazid, 2005).

AHS yöntemi, çok kriterli karar verme problemlerinde, tek başına veya diğer yöntemlerle birlikte kriter ağırlığı hesaplaması için kullanılabilir. Bu yöntemde ilk basamak problemin tanımlanmasıdır. Problemden ana kriterler, alt kriterler ve alternatifler ifade edilir. Tablo 2'deki ölçek kullanılarak, problem içerisinde yer alan kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla, karar vericiler tarafından ikili karşılaştırmalar yapılır. Karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Değerlendirmeye alınacak n adet kriter var ise, i kriterinin j kriterine göre önemini belirlemek üzere A matrisi oluşturulur. Bu matrisin elemanları arasında; $a_{ij} = 1 / a_{ji}$ ve $a_{ii} = 1$ ilişkisi bulunmaktadır. Karşılaştırma matrisinin köşegeni üzerindeki bileşenler ($i=j$ olduğundan) 1 değerini alır.

Tablo 2: İkili Karşılaştırma Ölçeği (Saaty, 1980)

Önem Değerleri	Açıklama
1	Karşılaştırılan iki kriterin eşit öneme sahip olması durumu
3	İlk kriterin ikinci kriterden önemli olması durumu
5	İlk kriterin ikinci kriterden çok önemli olması durumu
7	İlk kriterin ikinci kriterden çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	İlk kriterin ikinci kriterden mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2, 4, 6, 8	Gerekli durumlarda kullanılacak ara değerler

Yapılmış olan ikili karşılaştırmalar sonucunda öncelikler belirlenir. Öncelik vektörü olarak adlandırılan sütun vektörü elde edilir. Bu vektör, kriterlerin önem ağırlıklarını belirtmektedir. Sonra ise tutarlılık oranları hesaplanır. Hesaplanan tutarlılık oranı (CR) değerinin 0,10'dan küçük olması halinde yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğunu, CR değerinin 0,10'dan büyük olması ise ikili karşılaştırmaların tutarsız olduğunu ifade eder. CR değeri; Tutarlılık indeksinin (CI), rastsal indeks (RI) değerine bölünmesiyle elde edilir. Kriter sayısına bağlı rastsal indeks değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

$$CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (2)$$

Bu ifadede λ_{\max} en büyük öz değeri, n ise kriter sayısını ifade etmektedir. λ_{\max} hesaplanırken A vektörü ile kriterlerin karşılaştırmaları sonucu elde edilen w vektörü çarpılır. Elde edilen sütun vektörünün elemanlarının, w_i değerlerine bölünerek elde edilmesiyle oluşan değerler toplanır. Bulunan bu toplam kriter sayısına bölünerek λ_{\max} elde edilir. Bu noktaya kadar yapılan işlemlerle, problemin çözümüne etki eden kriterlerin ağırlıkları belirlenir (Dinçer ve Görener, 2011).

Tablo 3: Kriter Sayısına Bağlı Olarak Rastsal İndeks Değerleri (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Bulanık TOPSIS

TOPSIS metodu, çok kriterli karar problemlerinin analizinde kullanılan temel metotlardan biridir (Chen, 2000). TOPSIS, değerlendirilen alternatiflerin ideal çözümlere yakınlıklarını göz önünde bulunduran bir çözüm sistematüğünü kullanmaktadır (Hwang ve Yoon, 1981). Klasik ve bulanık mantık tabanlı uygulamaları bulunan metot, farklı alanlardaki birçok çalışmada kullanılmıştır. TOPSIS metodunun kullanıldığı alanlara örnek olarak; fabrika yeri seçimi (Chu, 2002; Alcan ve Basligil, 2011), malzeme seçimi (Shanian ve Savadogo, 2006), bakım stratejilerinin değerlendirilmesi (Shyjith vd., 2008), tedarikçi seçimi (Chen vd., 2006; Shahanaghi ve Yazdian, 2009), güneş enerjisi teknolojilerinin değerlendirilmesi (Cavallaro, 2010) ve yerel havacılık endüstrisinde rekabet analizi (Torlak vd., 2011) verilebilir.

Kesin verilerin elde edilemediği veya doğası gereği net rakamlarla ifade edilmesi zor olan insan yargılarının değerlendirilmesinin arzu edildiği ortamlarda TOPSIS, bulanık mantık ile bütünleştirilerek

kullanılabilmektedir (Chen, 2000). Bulanık TOPSIS metodunun aşamaları şu şekilde ifade edilebilir (Singh ve Benyoucef, 2011; Torlak vd., 2011; Apak vd., 2013):

(1) Alternatiflerin Belirlenmesi: Çok kriterli karar verme probleminin çözümü kapsamında dikkate alınacak alternatiflerin belirlendiği aşamadır.

(2) Değerlendirme Kriterlerinin Tespiti: Alternatiflerin değerlendirilmesinde dikkate alınacak kriterlerin tespit edilmesi aşamasıdır. Seçim sürecine etki eden faktörler sıralanır.

(3) Sözel Değerlendirmelere İlişkin İfadelerin Tanımlanması: Bulanık TOPSIS ile ilgili literatür incelendiğinde, kriter ağırlıklandırılması ve karar alternatiflerinin sözel olarak değerlendirilmesi aşamasında için genellikle üçgensel ve yamuk (dörtlü) bulanık sayıların kullanıldığı görülmektedir.

(4) Karar Matrisinin Oluşturulması: n adet değerlendirme kriteri m adet alternatif için bulanık karar matrisi oluşturulur. \tilde{w}_j kriter ağırlığını ifade etmektedir. \tilde{x}_{ij} ise her bir alternatifin kriter karşısındaki değerini ifade etmektedir.

$$A = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A-1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ A-2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A-m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{matrix} \quad (3)$$

$$W = \tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n \quad (4)$$

(5) Karar Matrisinin Normalize Edilmesi: Her bir değerlendirme kriterinin ağırlığı dikkate alınarak, ağırlıklandırılmış ve normalize edilmiş karar matrisi oluşturulmuştur. \tilde{R} , normalize edilmiş bulanık karar matrisini göstermektedir. \tilde{V} ise, ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisini ifade etmektedir.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{mn} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{mn} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$\tilde{v}_{ij} = r_{ij} \otimes w_j \quad (7)$$

(6) İdeal Çözümlerin Oluşturulması: Pozitif bulanık (\tilde{A}^*) ve negatif bulanık (\tilde{A}^-) ideal çözümlerin belirlenebilmesi amacıyla ağırlıklandırılmış karar matrisindeki sütunlara ilişkin değerlerin en yüksek olanları tespit edilir. Değerlendirilen faktör fayda yönlü değil ise en küçük değer dikkate alınır. İdeal ve negatif ideal bulanık çözümler (8) ve (9) numaralı denklemlerde ifade edilmiştir.

$$\tilde{A}^* = \{\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_j^*\} = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m \right), \mid j = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (8)$$

$$\tilde{A}^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_j^-\} = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m \right), \mid j = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (9)$$

(7) Alternatiflere İlişkin Uzaklıkların Hesaplanması: Değerlendirilen alternatiflerin ideal çözümden ne kadar saptığını ifade eden d_i^* değerinin hesaplanması (10) numaralı denklemde, negatif ideal çözüme ait d_i^- değerinin hesaplanması da (11) numaralı denklemde gösterilmiştir.

$$\tilde{d}_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\tilde{v}_j - \tilde{v}_{ij}^*)^2} \quad (10)$$

$$\tilde{d}_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\tilde{v}_j - \tilde{v}_{ij}^-)^2} \quad (11)$$

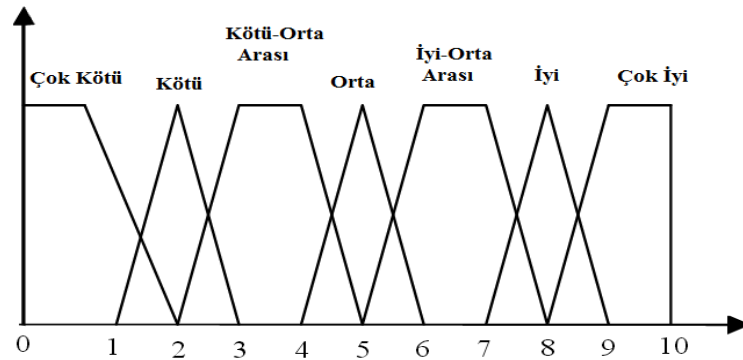
(8) Bulanık Göreceli Yakınlıkların Belirlenmesi: Bu aşamada, tüm alternatiflerin ideal çözüme göreceli yakınlık değerlerini gösteren $\tilde{C}C_i$ değerleri, (12) numaralı denklemle hesaplanır. En yüksek $\tilde{C}C_i$ değerini alan alternatif, ideal çözüme en yakın seçenek olarak kabul görmektedir. 0 ile 1 arasında olabilen bu değer, alternatifin karar verme problemi kapsamındaki uygunluğunu temsil etmektedir. Hesaplanan bulanık ifade durulaştırılır. En yüksek değeri elde eden alternatif, uygun çözüm olarak nitelendirilmektedir.

$$\tilde{C}C_i = \frac{\tilde{d}_i^-}{\tilde{d}_i^- + \tilde{d}_i^*} \quad (12)$$

Bu bölümde, Chen vd. (2006) tarafından geliştirilen bulanık TOPSIS modeline ilişkin algoritma kullanılmıştır. Karar verme grubu tarafından yapılan değerlendirmede Tablo 4'te yer alan dilsel değişkenler ve yamuk bulanık sayılar kullanılmıştır.

Tablo 4: Dilsel Değişkenlerin Yamuk Bulanık Sayı Karşılıkları (Chen vd., 2006)

Dilsel Değişken	Yamuk Bulanık Sayı Karşılığı
Çok İyi (Çİ)	(8, 9, 9, 10)
İyi (İ)	(7, 8, 8, 9)
İyi - Orta Arası (İO)	(5, 6, 7, 8)
Orta(O)	(4, 5, 5, 6)
Kötü - Orta Arası (KO)	(2, 3, 4, 5)
Kötü (K)	(1, 2, 2, 3)
Çok Kötü (ÇK)	(0, 1, 1, 2)



Şekil 1. Değerlendirmeler için Sözel İfadeler (Chen vd., 2006)

Uygulama

Bütünleşik AHS-Bulanık TOPSIS modelinin uygulanması amacıyla, inşaat projesinde yüklenici seçimine ilişkin bir çalışma yapılmıştır. Öncelikle mühendis, akademisyen ve yönetim ekibinden bir uzman ile karar verme grubu oluşturulmuştur. Üç kişiden oluşan grup, mevcut literatürü inceleyerek dikkate alınan inşaat projesi kapsamında yüklenici seçimi için kullanılacak kriterleri belirlemişlerdir. Dikkate alınan üç ana kriter ve alt kriterleri Tablo 5'te ifade edilmiştir.

Tablo 5: Yüklenci Seçiminde Dikkate Alınan Kriterler

Ana Kriter	Ana Kriterin Alt Kriterleri
K1- İhale Fiyatı	K11- İhale fiyatı
K2- İş Tasarımı ve Tecrübe	K21- İş programındaki başarısı
	K22- Taleplere yaklaşımı
	K23- Geçmişte çalıştığı firmalar ile ilişkileri
	K24- İş güvenliğindeki performansı
	K25- Gerçekleştirdiği projelerin boyutları ve tipleri
K3- Başarı Durumu	K31- Finansal verileri
	K32- Yönetim kapasitesi
	K33- Görünür kaynakları
	K34- Teknik yeterliliği
	K35- Proje kriterlerine uygunluğu
	K36- Kalite belgeleri

Kriter ağırlıklarının tespiti için AHS yöntemi kullanılmıştır. AHS, kriter karşılaştırması açısından literatürde kabul görmüş bir yöntemdir. Belirtilen kriterler için öncelikle ikili karşılaştırma matrisleri yapılandırılmıştır. Bu aşamada karşılaştırmalar, karar verici grubun mutabık kaldığı değerler ile yapılmıştır. Tüm matrislere yer vermenin sayfa sayısını arttıracığı düşüncesiyle sadece üçüncü ana kritere ait alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6: Üçüncü Ana Kritere Ait Alt Kriterler için Karşılaştırma Matrisi

	K31	K32	K33	K34	K35	K36
K31	1,00	2,00	4,00	2,00	1,00	2,00
K32	0,50	1,00	1,00	4,00	2,00	5,00
K33	0,25	1,00	1,00	3,00	2,00	2,00
K34	0,50	0,25	0,33	1,00	0,25	4,00
K35	1,00	0,50	0,50	4,00	1,00	0,33
K36	0,50	0,20	0,50	0,25	3,00	1,00

Tablo 7: AHS ile Bulunan Kriter Ağırlıkları

Kriter	Ağırlık
K11- İhale Fiyatı	0,411
K21- İş programındaki başarısı	0,084
K22- Taleplere yaklaşımı	0,058
K23- Geçmişte çalıştığı firmalar ile ilişkileri	0,051
K24- İş güvenliğindeki performansı	0,019
K25- Gerçekleştirdiği projelerin boyutları ve tipleri	0,049
K31- Finansal Verileri	0,088
K32- Yönetim Kapasitesi	0,072
K33- Görünür Kaynakları	0,053
K34- Teknik Yeterliliği	0,033
K35- Proje Kriterlerine Uygunluğu	0,046
K36- Kalite Belgeleri	0,036

AHS yönteminin tüm adımları sırasıyla uygulanarak, değerlendirme kriterlerinin önem ağırlıkları tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, değerlendirmede en fazla önem verilen kriterin fiyat olduğu görülmektedir.

Tablo 8: Karar Vericilerin Bulanık Değerlendirmeleri

Kriterler	Alternatifler	Karar Vericiler		
		KV1	KV2	KV3
K11- İhale fiyatı	Alternatif 1	Çİ	İ	İ
	Alternatif 2	İ	İO	İ
	Alternatif 3	İO	Çİ	İ
K21- İş programındaki başarısı	Alternatif 1	İ	Çİ	İ
	Alternatif 2	İO	İ	Çİ
	Alternatif 3	İ	İO	İ
K22- Taleplere yaklaşımı	Alternatif 1	KO	K	O
	Alternatif 2	İ	ÇO	İO
	Alternatif 3	O	O	O
K23- Geçmişte çalıştığı firmalar ile ilişkileri	Alternatif 1	İ	O	İ
	Alternatif 2	İ	İ	İ
	Alternatif 3	O	İ	O
K24- İş güvenliğindeki performansı	Alternatif 1	İ	Çİ	Çİ
	Alternatif 2	Çİ	Çİ	İ
	Alternatif 3	İ	Oİ	İ
K25- Gerçekleştirdiği projelerin boyutları ve tipleri	Alternatif 1	KO	O	O
	Alternatif 2	Çİ	İO	O
	Alternatif 3	Çİ	İO	O
K31- Finansal verileri	Alternatif 1	KO	İ	O
	Alternatif 2	K	ÇO	O
	Alternatif 3	O	İO	O
K32- Yönetim kapasitesi	Alternatif 1	İ	İ	O
	Alternatif 2	O	İ	İ
	Alternatif 3	İ	İ	O
K33- Görünür kaynakları	Alternatif 1	İ	Çİ	İ
	Alternatif 2	Çİ	Çİ	Oİ
	Alternatif 3	Çİ	İ	İ
K34- Teknik yeterliliği	Alternatif 1	İ	İ	O
	Alternatif 2	O	İ	İ
	Alternatif 3	İ	İ	O
K35- Proje Kriterlerine uygunluğu	Alternatif 1	İO	İ	Çİ
	Alternatif 2	İ	İO	İ
	Alternatif 3	KO	K	O
K36- Kalite belgeleri	Alternatif 1	İ	ÇO	İO
	Alternatif 2	O	O	O
	Alternatif 3	İ	O	İ

Bulanık TOPSIS aşamasında ise, karar vericiler Tablo 8'de gösterildiği şekilde üç alternatif yüklenici firmayı sözel ifadelerle değerlendirmişlerdir. Karar vericilerin direkt sayısal değerlendirmeler yapmakta zorlanması nedeniyle sözel ifadelerin kullanıldığı bulanık mantık tabanlı bir yaklaşım öngörülmüştür. Hesap tablolarıyla gerçekleştirilebilmesi, ek bir programa ihtiyaç duymaması ve karar vericiler tarafından anlaşılabilmesi gibi faktörler dikkate alınarak sıralama aşamasında Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Alternatiflerin sözel ifadelerle değerlendirilmesi sonrasında, ideal çözüme yakınlık ve uzaklık değerleri hesaplanarak durulaştırma işlemi yapılmıştır. Elde edilen uzaklık ve yakınlık değerleri Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9: İdeal Çözüme İlişkin Değerler

	K11	K21	K22	K23	K24	K25	K31	K32	K33	K34	K35	K36
d(Alternatif 1, A*)	0,0757	0,0155	0,0337	0,0145	0,0032	0,0288	0,0327	0,0199	0,0092	0,0092	0,0129	0,0293
d(Alternatif 2, A*)	0,1276	0,0243	0,0310	0,0062	0,0032	0,0179	0,0504	0,0199	0,0138	0,0092	0,0139	0,0224
d(Alternatif 3, A*)	0,1185	0,0262	0,0237	0,0166	0,0059	0,0179	0,0271	0,0199	0,0092	0,0092	0,0302	0,0158
d(Alternatif 1, A)	0,1504	0,0309	0,0229	0,0166	0,0075	0,0130	0,0460	0,0227	0,0184	0,0105	0,0314	0,0315
d(Alternatif 2, A)	0,3039	0,0672	0,0334	0,0406	0,0169	0,0356	0,0266	0,0483	0,0413	0,0224	0,0332	0,0278
d(Alternatif 3, A)	0,3271	0,0624	0,0294	0,0329	0,0142	0,0356	0,0452	0,0483	0,0430	0,0224	0,0176	0,0384

Tablo 10: Alternatiflerin d_i^* ve d_i^- Değerleri

Alternatifler	d_i^*	d_i^-
A1	0,2848	0,4018
A2	0,3398	0,6971
A3	0,3203	0,7166

Bulanık TOPSIS metodu kapsamında tüm alternatiflerin ideal çözüme göreceli yakınlık değerleri hesaplanarak, alternatif yüklenicilerin seçimine ilişkin sıralama yapılmıştır.

Tablo 11: Alternatiflerin Yakınlık Değerleri ve Sıralama Tablosu

Alternatifler	CC_i	Sıralama
A1	0,5852	3
A2	0,6722	2
A3	0,6911	1

Tablo 11'de ifade edilen yakınlık katsayılarından da görüldüğü gibi üçüncü alternatif olarak ifade edilen firma, proje için tercih edilmesi gereken yüklenici olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sonuç

İnşaat sektöründe gerçekleştirilen projeler, karar verme problemlerinin sıklıkla karşımıza çıktığı süreçleri bünyesinde barındırmaktadır. Birçok farklı iş kolu için önemli olan inşaat sektöründe, zamanında ve istenen kalitede ürün ortaya çıkarılması paydaşların proje içerisindeki durumuna doğrudan bağlıdır. Yüklenici seçiminin çözümüne yönelik olarak yapılan bu çalışmada, bir inşaat projesi için üç farklı yüklenici firma değerlendirilmiştir. Literatür dikkate alınarak oluşturulan değerlendirme modelinde 12 farklı kriter kullanılmıştır. AHS ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi sonrasında Bulanık TOPSIS yöntemleri ile alternatifler, karar vericilerin sözel ifadeleri ile değerlendirilmiştir.

Kriterlerin önem ağırlıklarını incelediğimizde, işletmenin göz önünde bulundurduğu kriter sıralamasında ilk sırayı ihale fiyatının aldığı görülmektedir. Kriterler içerisinde fiyat, yaklaşık % 40 ağırlığa sahiptir. Alternatifler arasındaki değerlendirmede ise A3 ile kodlanmış olan yüklenici firmanın sıralamada en üst sırada yer aldığı görülmektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda kriter sayısı artırılarak analiz detaylandırılabilir gibi, farklı karar verme yöntemleri ile de problemin çözümü gerçekleştirilebilir.

Referanslar

Abbasijahromi, 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, DOI: 10.3846/13923730.2012.743922

- Albayrak, E., & Erensal, Y. C. (2004). Using Analytic Hierarchy Process (AHP) to Improve Human Performance. An Application of Multiple Criteria Decision Making Problem, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15, 491-503.
- Alcan, P., & Basligil, H. (2011). A Facility Location Selection Problem by Fuzzy TOPSIS, *Proceedings of 15th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2011*, 329-332.
- Allahverdi, N. (2005). Bulanık Mantık ve Sistemler, <http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/bulanik.htm>
- Apak, S., Vayvay, Ö., & Feyzioğlu, P (2013). A Decision Making Model for the Evaluation of Supply Chain Execution and Management Systems, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 6, 2, 293-306, DOI:10.1080/18756891.2013.769767
- Barrie, D. S., & Paulson, B. C. (1992). *Professional Construction Management: Including CM, Design-Construct, and General Contracting*. McGraw-Hill.
- Beyazid, O., (2005). Use of AHP in Decision-Making for Flexible Manufacturing Systems, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16, 7, 808-819, DOI: 10.1108/17410380510626204
- Cavallaro, F. (2010). Fuzzy TOPSIS Approach for Assessing Thermal-Energy Storage in Concentrated Solar Power (CSP) Systems, *Applied Energy*, 87, 496-503, DOI:10.1016/j.apenergy.2009.07.009
- Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for Group Decision-Making Under Fuzzy Environment. *Fuzzy sets and Systems*, 114, 1, 1-9, DOI:10.1016/S0165-0114(97)00377-1
- Chen, C. T., & Lin, C. T., Huang, S. F. (2006). A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management. *International Journal of Production Economics*, 102, 2, 289-301, DOI:10.1016/j.ijpe.2005.03.009
- Cheng, C. H. (1999). Evaluating Weapon Systems Using Ranking Fuzzy Numbers, *Fuzzy Sets and Systems*, 107, 1, 25-35, DOI:10.1016/S0165-0114(97)00348-5
- Chu, T. C. (2002). Facility Location Selection Using Fuzzy TOPSIS Under Group Decisions. *Int. Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 10, 687-701, DOI: 10.1142/S0218488502001739
- Çiftçioğlu, B. (2013). İnşaat Sektöründe AHP Yöntemiyle Yüklenici Seçimi: Bir Konut Projesinde Uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi FBE Yüksek Lisans Tezi.
- Dağdeviren, M., Yavuz, S. & Kılınç, N. (2009). Weapon Selection Using the AHP and TOPSIS Methods under Fuzzy Environment. *Expert Systems with Applications*, 36, 8143-8151, DOI:10.1016/j.eswa.2008.10.016
- Darvish, M., Yasaei, M., & Saeedi, A. (2009). Application of the Graph Theory and Matrix Methods to Contractor Ranking. *International Journal of Project Management*, 27, 6, 610-619, DOI:10.1016/j.ijproman.2008.10.004
- Dinçer, H., & Görener, A. (2011). Analitik Hiyerarşi Süreci ve VIKOR Tekniği ile Dinamik Performans Analizi: Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19, 109-127.
- Ebrahimnejad, S., & Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Hashemi, H., Vahdani, B. (2012). A Novel Two-phase Group Decision Making Approach for Construction Project Selection in A Fuzzy Environment. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 9, 4197-4217, DOI:10.1016/j.apm.2011.11.050
- Eleren, A., & Ersoy, M. (2007). Mermer Blok Kesim Yöntemlerinin Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Değerlendirilmesi, *Madencilik*, 46, 3, 9-22.
- Fang, L., & Hipel, K. W., Kilgour, D. M. (1993). *Interactive Decision Making: The Graph Model For Conflict Resolution*, Vol. 3, John Wiley & Sons.

- Fong, P. S. W., & Choi, S. K. Y. (2000). Final Contractor Selection using the Analytical Hierarchy Process. *Construction Management & Economics*, 18, 5, 547-557, DOI: 10.1080/014461900407356
- Hatush, Z., & Skitmore, M. (1997). Criteria for Contractor Selection. *Construction Management & Economics*, 15, 1, 19-38, DOI:10.1080/014461997373088
- Hatush, Z., & Skitmore, M. (1998). Contractor Selection using Multicriteria Utility Theory: An Additive Model. *Building And Environment*, 33, 2, 105-115, DOI:10.1016/S0360-1323(97)00016-4
- Huang, X. (2011). An Analysis of the Selection of Project Contractor in the Construction Management Process. *International Journal of Business and Management*, 6, 3, 184-189.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application*, Springer Publications, Berlin.
- Jaskowski, P., Biruk, S., & Bucon, R. (2010). Assessing Contractor Selection Criteria Weights with Fuzzy AHP method Application in Group Decision Environment. *Automation in Construction*, 19, 2, 120-126, DOI:10.1016/j.autcon.2009.12.014
- Kaptanoğlu, D., & Özok, A. F. (2010). Akademik Performans Değerlendirmesi için Bir Bulanık Model. *İTÜ Dergisi/d*, 5, 1, 193-204.
- Nieto-Morote, A., & Ruz-Vila, F. (2012). A Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Model For Construction Contractor Prequalification, *Automation in Construction*, 25, 8-19, DOI:10.1016/j.autcon.2012.04.004
- Polat, G. (2015). Subcontractor Selection using the Integration of the AHP and PROMETHEE methods, *Journal of Civil Engineering and Management*, DOI: 10.3846/13923730.2014.948910.
- Rençber, Ö. F., & Kazan, H. (2014). Büyük Çaplı Projelerde Taşeron Firma Seçiminde Teklif Değerlendirme: Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Karar Verme, *International Journal of Social Science Research*, 3, 1, 11-24.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning Priority Setting*. McGraw Hill, New York.
- Saaty, T. L. (1990). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T. L. (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Service Sciences*, 1, 1, 83-98.
- Singh, D., & Tiong, R. L. (2005). A Fuzzy Decision Framework for Contractor Selection. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131, 1, 62-70, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:1(62)
- Singh, R. K., & Benyoucef, L. (2011). A Fuzzy TOPSIS Based Approach for E-Sourcing, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24, 437-448, DOI:10.1016/j.engappai.2010.09.006
- Shanian, A., & Savadogo, O. (2006). TOPSIS Multiple-Criteria Decision Support Analysis for Material Selection of Metallic Bipolar Plates for Polymer Electrolyte Fuel Cell, *Journal of Power Sources*, 159, 1095-1104, DOI:10.1016/j.jpowsour.2005.12.092
- Shahanaghi, K., & Yazdian, S. A. (2009). Vendor Selection Using a New Fuzzy Group TOPSIS Approach, *Journal of Uncertain Systems*, 3, 3, 221-231.
- Shyjith, K., Ilankumaran, M., & Kumanan, S. (2008). Multi-Criteria Decision-Making Approach to Evaluate Optimum Maintenance Strategy in Textile Industry, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 14, 4, 375-386, DOI:10.1108/13552510810909975
- Şen, Z. (2001). *Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri*. Bilge Kültür Sanat, İstanbul.
- Topçu, Y. I. (2004). A Decision Model Proposal for Construction Contractor Selection in Turkey. *Building and Environment*, 39, 4, 469-481, DOI:10.1016/j.buildenv.2003.09.009

- Torlak, G., Sevкли, M., Sanal, M., & Zaim, S. (2011). Analyzing Business Competition by Using Fuzzy TOPSIS Method: An Example of Turkish Domestic Airline Industry, *Expert Systems with Applications*, 38, 3396-3406, DOI:10.1016/j.eswa.2010.08.125
- Zadeh, L. A. (1975). The Concept of A Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning-I, *Information Sciences*, 8, 3, 199-249, DOI:10.1016/0020-0255(75)90036-5
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Tamořaitiene, J. (2008). Contractor Selection of Construction in a Competitive Environment. *Journal of Business Economics and Management*, 9, 3, 181-187, DOI: 10.3846/1611-1699.2008.9.181-187