Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Alt Yüklenici Seçimi: İnşaat Sektöründe Bir Uygulama

Hilal AYDIN
hilalaydin07@gmail.com

Betül OKUL
betulokul@hotmail.com

Yrd. Doç. Dr. Berk AYVAZ
İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik ve Tasarım Fakültesi
bayvaz@ticaret.edu.tr

Yrd. Doç. Dr. A.Osman KUŞAKCI
İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik ve Tasarım Fakültesi
aokusakci@ticaret.edu.tr

Prof. Dr. Sibkat KAÇTIOĞLU
İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik ve Tasarım Fakültesi
skactioglu@ticaret.edu.tr

Özet: *Son zamanlarda büyük projelerin yapıldığı inşaat sektöründe genel yüklenici firmalar aldıkları projelerin büyük bir kısmını maliyetleri azaltma, risk paylaşımı, çok farklı alanlarda uzmanlık gerektiren işleri o alanda uzmanlaşmış firmalara yaptırma vb. sebeplerden dolayı alt yüklenicilere vermeye başlamışlardır. Yapılan araştırmalar ise genel firmanın başarısının doğrudan alt yüklenici firmaların başarılarına bağlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla alt yüklenici firma seçimi genel yükleniciler için proje başarısı açısından çok stratejik bir öneme sahiptir. Alt yüklenici firmanın seçimi ise yapısında sayısal ve sayısal olmayan kriterleri bir arada içeren çok kriterli bir karar verme problemi niteliğine sahiptir. Bu çalışmada alt yüklenici seçim problemi ele alınarak, alt yüklenici firmaların seçiminde TOPSİS ve VİKOR teknikleri ile değerlendirme yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Önerilen teknikler Türkiye'de inşaat sektörü alanında faaliyet gösteren ana yüklenici bir firmanın alt yüklenici firma değerlendirme ve seçim problemine uygulanmıştır. Çalışma yöneticilere son derece stratejik öneme sahip altyüklenici seçiminde yardım etmesi açısından önem taşımaktadır.*

Anahtar Kelimeler: *Alt yüklenici seçimi, çok kriterli karar verme, TOPSİS, VİKOR.*

Subcontractor Selection with Multi Criteria Decision Making Methods: An Application in Construction Sector

Abstract: *In construction industry, where sizes of the contracts are continuously growing in recent decade, main contractors hand over some parts of the undertaken projects to subcontractors with the aim of cost minimization, risk sharing, and utilization of the subcontractor`s expertise focused at certain steps of the projects. Studies shedding lights on the main contractor-subcontractor relationships show that success of contractor is directly related to success of subcontractor. Thus, selecting the right subcontractor is of paramount importance for project. This selection problem, in general, a multicriteria decision making problem with quantitative as well as qualitative factors. This work employs TOPSIS and VIKOR methods to handle subcontractor selection problem. A case study is conducted based on the data provided by one of the biggest Turkish construction company and the subcontractor selection problem is solved with both methods. Hence, this work provides a systematic approach for managers of the main contractor companies while solving this strategic decision problem.*

Keywords: *Subcontractor selection, multicriteria decision making, TOPSIS, VIKOR.*

Giriş

Son yıllarda, inşaat sektöründeki genel yüklenici firmalar aldıkları projelerin büyük bir kısmını alt yüklenicilere vererek kendileri projeyi yöneten bir firma gibi davranmaya başlamışlardır (Polat ve diğ., 2012). Bir inşaat firması farklı alanlarda uzmanlık gerektiren projeler aldıkları zaman, projenin bir kısmını alanında uzman alt yüklenici firmalara paylaştırmaktadır (Ko ve diğ., 2007). Yapılan araştırmalar inşaat projelerinde tüm inşaat işlerinin %80-90 oranındaki kısmının alt yüklenici firmalar tarafından yapıldığını göstermektedir (Hinze ve Tracey, 1994). Alt yüklenici, bir sözleşme dâhilinde çizilen sınırlar içerisinde genel yüklenici firma için çalışarak, genel yüklenici firmanın gerçekleştireceği işin bir kısmını tamamlayıp firmadır (Can ve Arıkan, 2014).

İnşaat projelerindeki karmaşık ve uzmanlık gerektiren işlemlerin ve karmaşıklığın artması ile beraber hiç bir firma tek başına istenen özellikleri sağlayamaz hale gelmiştir. Bunun neticesi olarak da küçük boyutlu belirli alanlarda uzmanlaşmış alt yüklenici denilen firmalar piyasada oluşan çok çeşitli ve karmaşık taleplere yüksek uzmanlık seviyeleri ile karşılık vermeye başladılar (Akintan ve Morledge, 2013). Bunun yanı sıra genel yüklenici firmalar büyük projelerdeki maliyetleri azaltmak, yüksek uzmanlık ve tecrübe gerektiren işleri

kaliteli bir şekilde, zamanında yerine getirmek ve projedeki riski paylaşmak vb. sebeplerden dolayı alt yüklenici firmalarla çalışmak istemektedirler (Choudhry ve diğ., 2012). Kale ve Arditi (2001) beş yüz Amerikan genel yüklenici firma ile yaptıkları anket çalışması sonucunda alt yüklenici ile ilişkilerin genel yüklenici firmanın projeyi tamamlama performansına doğrudan etki ettiğini ortaya koymuşlardır. Alt yüklenici seçimi; genel yüklenici konumdaki firmanın etkinlik ve verimlilik hedeflerine ulaşmasında ve projeyi zamanında istenen şartlarda bitirmesinde önemli rol oynamaktadır (Can ve Arıkan, 2014; Cheng ve diğ., 2011).

Alt yüklenici firmanın seçimi ise yapısında sayısal ve sayısal olmayan kriterleri bir arada içeren çok kriterli bir karar verme problemi niteliğine sahiptir. Bu çalışmada alt yüklenici seçim problemi ele alınarak, alt yüklenici firmaların seçiminde TOPSİS ve VİKOR teknikleri ile değerlendirme yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Önerilen teknikler Türkiye'de inşaat sektörü alanında faaliyet gösteren ana yüklenici bir firmanın alt yüklenici firma değerlendirme ve seçim problemine uygulanmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde inşaat sektöründe alt yüklenici seçimine dair yapılan çalışmalara ait literatür taramasına yer verilmiştir. İkinci bölümde çalışmada kullanılacak olan çok kriterli karar verme teknikleri hakkında bilgi aktarılmıştır. Üçüncü bölümde, uygulamada kullanılacak TOPSIS ve VIKOR yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde uygulama yapılmış, son bölümde ise çalışma sonuçları değerlendirilmiştir.

1.Literatür Taraması

Çalışmanın bu bölümünde alt yüklenici seçim süreci ile ilgili detaylı bir literatür taraması yapılmıştır. Abourizk ve Chehayeb´in (1995) oluşturduğu modelde karar vericiler için her bir ölçüte kendilerinin ağırlık verebileceği metin yardımlı karar destek sistemi oluşturmuştur. Ölçütler ikili gruplar halinde eigen vektörleri kullanılarak seçilmiştir. Russell ve Skibniewski (1998) alt yüklenici seçimi için anketler aracılığıyla belirledikleri ölçütleri kullanarak ağırlıklandırılmış bir model oluşturmuştur. Doğrusal bir formülasyona sahip bu model günümüzde inşaat sektöründe oldukça fazla kullanılmaktadır. Evman (1999) çalışmasında alt yüklenici seçimi için Analitik Hiyerarşi Prosesinden (AHP) yararlanmıştır. Shiau ve diğerleri (2002) alt yüklenici seçim probleminde AHP yöntemini kullanmıştır. Ip ve diğerleri (2004), bir inşaat projesindeki alt yüklenici seçimi için Dal-sınır algoritmasından yararlanmışlardır. Seçim kriteri olarak ise bu çalışmada sadece maliyet ve süre kriterlerini kullanmışlardır.

Dulung ve Pheng (2005) tadilat projelerinde alt yüklenici seçimini etkileyen faktörler olarak ekonomik hedef, teknik ve yönetimsel hedef, özel hedef kriterlerini kullanılmıştır. Ko ve diğerleri (2007) alt yüklenici performansını değerlendirmek amacıyla evrimsel bulanık sinir çıkarım modelini geliştirmiştir.

Köseokur (2007), inşaat sektörünün önde gelen firmalarından birinde yapılan uygulamada, alt yüklenici seçimi için çok katmanlı perceptron yapay sinir ağlarını kullanmıştır. Kullanılan seçim kriterleri ise finansal durum, kaynaklarının durumu, fiyat teklifi ve geçmiş tecrübe olarak belirlenmiştir. Koçak ve Sey (2008) alt yüklenici seçiminde kapasite, uzmanlık alanı, teklif fiyatı, kalite, ödeme koşulları, güvenilirlik, zamanında teslim ölçütlerini seçim kriteri olarak belirlemiştir. Arslan ve diğerleri (2008) alt yüklenicilerin değerlendirilebildiği WEBSES olarak adlandırılan internet tabanlı bir alt yüklenici değerlendirme sistemi önermiştir. Kullanılan alt yüklenici seçim kriterleri maliyet, zaman, kalite ve yeterliliktir. Radziszewska (2010), inşaat sektöründe alt yüklenici seçimi problemini ELECTRE III yöntemi ile çözümlemiştir. Seçim kriterleri olarak maliyet dağılımı, pazar değişimlerine uyum kabiliyeti, karşılıklı ilişkiler, haberleşme yöntemi, bilgi paylaşım, çözüm çatışmaları, standartlar-davranış kuralları, iletişim sıklığı, güvenilirlik, kalite kontrol servisi durumu kullanılmıştır. Cheng ve diğerleri (2011) inşaat sektöründe alt yüklenici performansı değerlendirmek için evrimsel bulanık melez yapay sinir ağı geliştirmiştir.

Çiftçioğlu (2013), Türkiye'de ana yüklenici olarak faaliyette bulunan bir inşaat firmasının üç ana iş kalemi için alt yüklenici firma seçim sürecinde AHP yöntemini uygulamıştır. Seçim kriterleri olarak finansal durum ve yönetim, iletişim durumu, iş güvenliği ve çevre bilinci, kalite, maliyet, mesleki yeterlilik ve zaman kriterlerini kullanmıştır. Rençber ve Kazan (2014) yaptıkları çalışmada alt yüklenici firma seçim problemi için AHP yöntemini kullanmıştır. Değerlendirme kriteri olarak üretim yeteneğinin ana kriteri altında kalite, liderlik ve iş deneyimi kriterlerinin birinci derecede önemli oldukları tespit edilmiştir. Can ve Arıkan (2014) savunma sanayi sektöründe ARGE çalışmaları gerçekleştiren bir firmanın, yatırımlarında birlikte çalışacağı alt yüklenici firmayı seçim ve değerlendirme problemini ele almışlardır. Alt yüklenici seçim probleminde, maliyet, teknik gereksinimler, deneyim, garanti süresi, teslim zamanı kriterleri ile seçim yapılmıştır. Çalışmada karar verici için uygun kriter ağırlıkları AHP ile belirlenmiş ve alternatif alt yüklenicilerin en iyiden en kötüye doğru sıralaması Promethee II ile elde edilmiştir. Polat ve diğerleri (2015) alt yüklenici seçim problemi çok amaçlı optimizasyon modeli geliştirmiş ve çözüm için genetik algoritma yöntemini kullanmıştır. Modelin amaçları proje süresi, maliyet minimizasyonu ve kalite maksimizasyonudur.

2.Metodoloji

Çalışmanın bu aşamasında alt yüklenici seçim süreci için kullanılacak olan değerlendirme ölçütleri literatür taraması ve uzman kişilerle yapılan görüşmeler neticesinde belirlenmiştir. Bu bağlamda alt yüklenici firmaların değerlendirmesinde evrakların tam olması, bina referansları, teknik kadro yeterliliği, tünel kalıp referansı, teslim süresi, maliyet ve finansal durum kriterleri kullanılmıştır. Çözüm sürecinde ise çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSİS ve VIKOR yöntemleri kullanılarak, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2.1. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS ilk olarak Hwang and Yoon (1980) tarafından geliştirilmiştir. Ölçütlerin tüm en iyi değerlerinin bileşiminden oluşan pozitif ideal çözümlerle, en kötü değerlerinin bileşiminden oluşan negatif ideal çözümlerin olduğu birçok ölçütlü karar verme problemini çözerken seçilen alternatifin pozitif ideal çözümden en kısa mesafede ve negatif ideal çözümden en uzak mesafede bulunması kavramına dayanmaktadır.

Aşağıda TOPSİS yönteminin adımları tanımlanmıştır.

Adım 1. Karar Matrisi (D) oluşturulur. Karar matrisinin satırlarında i, i=1, 2, …, m alternatifler, sütunlarında ise j, j=1, 2, …, n ölçütler yer almaktadır. D matrisi karar verici tarafından oluşturulan veri matrisidir. Karar matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$D_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & . & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & . & x_{2n} \\ . & . & . & . \\ x_{m1} & x_{m2} & . & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 2. Normalize karar matrisi (R) oluşturulur.

Normalizasyon işleminin gerçekleştirilmesinde farklı yöntemler mevcuttur. En sık kullanılanlar vektör normalizasyonu, doğrusal normalizasyon ve monoton olmayan normalizasyondur. Doğrusal normalizasyon içinde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır.

Vektör normalizasyonu

$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}$, *i =1,2,…, m; j=1,2,0…, n*

Doğrusal normalizasyon (1)

$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^*}$ *i =1,2,…, m; j=1,2,…, n;* $x_j^* = max_i(x_{ij})$ (ölçüt için en iyi durum maksimizasyon ise).

$r_{ij} = \frac{x_j^-}{x_{ij}}$ *i =1,2,…, m; j=1,2,…, n;* $x_j^- = min_i(x_{ij})$ (ölçüt için en iyi durum maksimizasyon ise).

r_{ij} = 1-$\frac{x_{ij}}{x_j^*}$ i =1,2,…, m; j=1,2,…, n;= $max_i(x_{ij})$ (ölçüt için en iyi durum maksimizasyon ise).

Doğrusal normalizasyon (2)

r_{ij} = $\frac{x_{ij}-x_j^-}{x_j^*-x_j^-}$ i =1,2,…, m; j=1,2,…, n; x_j^*= $max_i(x_{ij})$; $x_j^- = min_i(x_{ij})$ (ölçüt için en iyi durum maksimizasyon ise).

r_{ij} = $\frac{x_j^*-x_{ij}}{x_j^*-x_j^-}$ i =1,2,…, m; j=1,2,…, n; x_j^*= $max_i(x_{ij})$; $x_j^- = min_i(x_{ij})$ (ölçüt için en iyi durum maksimizasyon ise).

Doğrusal normalizasyon (3)

r_{ij} = $\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}}$ i =1,2,…, m; j=1,2,…, n.

Monoton olmayan normalizasyon

$e^{\frac{z^2}{2}}$, z= $\frac{x_{ij}^*-x_j^0}{\sigma_j}$, x_j^0, j ölçütüne ilişkin en uygun değer ve σ_j, j ölçütüne ilişkin değerlerin standart sapması.

Monoton olmayan normalizasyon literatürde diğerlerine göre daha nadiren kullanılmaktadır.

Normalize edilmiş karar matrisi (R) için vektör normalizasyonu sıklıkla kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada normalize edilmiş karar matrisi (R) için vektör normalizasyonu formülü eşitlikte belirtilmiştir.

r_{ij} = $\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}$, i =1,2,…,m; j=1,2,…,n.

R matrisi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$R_{ij}=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & . & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & . & r_{2n} \\ . & . & . & . \\ r_{m1} & r_{m2} & . & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 3. Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi (Y) oluşturulur. Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) belirlenir. ($\sum_{i=1}^{n} w_i$ = 1) .

Daha sonra R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak Y matrisi oluşturulur. Y matrisi aşağıda gösterilmiştir.

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & . & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & . & w_n r_{2n} \\ . & . & . & . \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & . & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 4. Pozitif İdeal (A*) ve Negatif İdeal (A-) çözümler oluşturulur.

İdeal çözüm setinin oluşturulabilmesi için Y matrisindeki ağırlıklandırılmış ölçütlerin yani sütun değerlerinin en büyükleri (ilgili ölçüt minimizasyon yönlü ise en küçüğü) seçilir. Pozitif ideal çözüm setinin bulunması eşitlikte gösterilmiştir.

$$A^* = \{(max_i y_{ij} | j \in J), (min_i y_{ij} | j \in J')\}$$

Eşitlik yardımıyla hesaplanacak olan set $A^* = \{ y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^n \}$ şeklinde gösterilebilir.

Negatif ideal çözüm seti ise, Y matrisindeki ağırlıklandırılmış ölçütlerin, bir başka deyişle, sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü maksimizasyon yönlü ise en büyüğü) seçilerek oluşturulur. Negatif ideal çözüm setinin bulunması eşitlikte gösterilen formül ile sağlanmaktadır.

$$A^- = \{(min_i y_{ij} | j \in J), (max_i y_{ij} | j \in J')\}$$

Eşitlik yardımıyla hesaplanacak olan set $A^- = \{ y_1^-, y_2^-, \dots, y_n^- \}$ şeklinde gösterilebilir. Her iki formülde de J fayda (maksimizasyon), J' ise kayıp (minimizasyon) değerini göstermektedir. Gerek pozitif ideal gerekse negatif ideal çözüm seti, ölçüt sayısı m eleman oluşmaktadır.

Adım 5. Her alternatifin pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüme uzaklıkları hesaplanır.

TOPSIS yönteminde her bir alternatife ilişkin ölçüt değerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm setinden uzaklıklarının belirlenmesinde Euclidian Uzaklık Yaklaşımı'ndan yararlanılmaktadır. Buradan elde edilen alternatiflere ilişkin uzaklık değerleri ise Pozitif İdeal çözüme uzaklık (s_i^*) ve Negatif İdeal çözüme uzaklık ( ) olarak adlandırılmaktadır. Pozitif ideal çözüme uzaklık (s_i^*) değerinin hesaplanması eşitlikte sunulmuştur.

$$s_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (y_{ij} - y_j^*)^2}$$

Negatif ideal çözüme (s_i^-) uzaklığın hesaplanması ise eşitlikteki gibidir.

$$s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(y_{ij} - y_j^-)^2}$$

Burada hesaplanacak s_i^* ve s_i^- sayısı karşılaştırılan alternatif sayısı kadardır.

Adım 6. İdeal çözüme göreceli yakınlık hesaplanır.

Her bir alternatifin ideal çözüme göreceli yakınlığının hesaplanmasında pozitif ideal ve negatif ideal ayrım ölçütleri kullanılmaktadır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal çözüme uzaklık değerinin pozitif ideal çözüme uzaklık değeri ile negatif ideal çözüme uzaklık değerinin toplamına oranıdır. İdeal çözüme göreceli yakınlık değerinin hesaplanmasında eşitlikte sunulmuştur.

$$C_i^* = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^*}$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^* = 1$ ilgili alternatifin pozitif ideal çözüm noktasında bulunduğunu, $C_i^* = 0$ ilgili alternatifin negatif ideal çözüm noktasında bulunduğunu gösterir.

2.2. VIKOR Yöntemi

VIKOR, aynı ölçekle ölçülemeyen ve birbirleriyle çelişen ölçütler olduğunda karar problemini çözmek için geliştirilmiş bir çok ölçütlü karar verme yöntemidir. VIKOR yöntemi aşağıdaki adımlar izlenerek uygulanmaktadır:

Adım 1: *i* ölçüt sayısını (i= 1,2,3,…,n) ve j alternatif sayısını (j= 1,2,3,…,m) göstersin. Her ölçüt için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerleri belirlenir. Eğer ölçüt *i.* fayda ölçütü ise f_i^* değeri eşitlikteki gibi bulunur.

$f_i = max_j\, f_{ij}$

Eğer ölçüt *i.* fayda ölçütü ise f_i^- değeri eşitlikteki gibidir.

$f_i^- = min_j\, f_{ij}$

Adım 2: Her bir alternatif için S_j ve R_j değerleri hesaplanır. Burada S_j, *j.* alternatif içi ortalama grup değerini gösterir. S_j değerinin hesaplanışı eşitlikte verilmiştir.

$$S_j = \sum_{i=1}^{n} \frac{w_i . (f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)}$$

Buradaki w_i değeri her bir ölçütün ağırlığını göstermektedir. Ağırlıklar toplamının !'e eşit olması gerekmektedir. R_j, *j.* alternatif için en kötü grup değerini gösterir. R_j değerinin hesaplanışı eşitlikte verilmiştir.

$$R_j = \max \left[\frac{w_i . (f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \right]$$

Adım 3: Her bir alternatif için ölçütler bazında maksimum grup faydasını gösteren Q_i değerleri eşitlikte verilmiştir.

$$Q_j = \frac{v.(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1-v).(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)}$$

$S^* = min\ S_j$ $\qquad$ $R^* = min\ R_j$

$S^- = max\ S_j$ $\qquad$ $R^- = max\ R_j$

Burada *v* değeri ölçütlerin çoğunluğunun ağırlığını (maksimum grup faydasını) göstermektedir. Başka bir deyişle *v* değeri maksimum grup faydasını sağlayan strateji için ağırlığı ifade ederken, *1-v* karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını ifade etmektedir. Uzlaşma, "çoğunluk oyu" (v > 0,5) ile, "denge" (v=0,5) ile veya "veto" (v < 0,5) ile sağlanabilir. Bu oran grup kararı ile belirlenmektedir.

Adım 4: S_j, R_J ve O_J değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak alternatifler arasındaki sıralama belirlenir. Sonuçlar, üç sıralama listesi oluşturur.

Adım 5: Eğer aşağıdaki iki koşul sağlanırsa, en iyiyi Q minimum değerlerine göre sıralayan alternatif a^l uzlaştırıcı çözüm olarak önerilir. Bu koşulların değerlendirilmesi için C_1 kabul edilebilir avantaj ve C_2 karar vermede kabul edilebilir kararlılık kümesi elemanı olarak alternatifler belirlenir.

Bir alternatifin C_1 kabul edilebilir avantaj elemanı olması için *k* küçükten büyüğe sıralanmış durumdaki konumu olmak üzere $Q_{k+1} - Q_k \geq DQ$ koşulunu sağlaması gerekmektedir. Buradaki *DQ* değeri eşitlikte gösterilmiştir. *J* değeri ise toplam alternatif sayısını göstermektedir.

$$DQ = \frac{1}{J-1}$$

C_2 Karar vermede kabul edilebilir kararlılık: Bir alternatif S_j, R_J ve O_J sıralamalarının tümünde aynı sırada bulunuyor ise C_2 kabul edilebilir kararlılık kümesinin elemanıdır. Hem C_1 kabul edilebilir avantaj hem de C_2 karar vermede kabul edilebilir kararlılık kümesi olan uygun alternatiftir. Eğer bu iki durumdan bir tanesi sağlanmazsa, Q değerlerine göre sıralanan en iyi alternatif, minimum Q değerine sahip alternatiflerden biridir (Özdağoğlu, 2011).

3.Uygulama

Çalışmanın bu bölümünde Türkiye'de inşaat sektöründe faaliyet gösteren ana yüklenici bir firmanın alt yüklenici seçim problemi ele alınmıştır. Firmanın Sancaktepe 'de yapacağı yeni projesinin "betonarme – statik tasarım" işinin hangi alt yüklenici firmalara verileceğinin belirlenmesi söz konusudur. İhaleye başvuran firmalar arasında ilk aşamada yapılan eleme neticesinde aday sayısı üçe düşürülmüştür. Bu aşamadan sonra firmanın yukarıda açıklanan yedi kriter göz önüne alınarak alt yüklenici firmaların değerlendirmesi yapılacaktır.

Betonarme – Statik Tasarımı için aday olan üç firmanın ana yüklenici firma bünyesindeki üç uzmanın (satın alma müdürü, hakediş uzmanı, inşaat mühendisi) belirlenmiş kriterler açısından değerlendirmesi istenmiştir. Buna göre tablo 1 de uzmanların her bir değerlendirme kriteri için ortak belirledikleri (Öztürk ve diğ., 2008) verdikleri ağırlıklar görülmektedir.

Tablo 1: Ana Yüklenici Firmanın Kriterleri ve Ağırlıkları

Kriterler	Ağırlık (%)
Evrakların Tam Olması (K1)	5
Bina Referansları (K2)	15
Teknik Kadro Yeterliliği (K3)	20
Tünel Kalıp Referansı (K4)	25
Teslim Süresi (K5)	5
Maliyet (K6)	20
Finansal Durum (K7)	15
Toplam	**100**

3.1 TOPSIS çözümü

Adım 1: Karar matrisi oluşturulur. Karar matrisinin satırlarında i, i=1, 2, …, m alternatifler, sütunlarında ise j, j=1, 2, …, n ölçütler yer almaktadır. Karar vericiler yedili likert ölçeği kullanarak seçim kriterleri değerlendirmişlerdir.

Tablo 2: Karar matrisi.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A	6	2	5	2	4	1	5
B	5	5	2	2	5	7	6
C	7	6	7	7	6	6	5

Adım 2: Normalize karar matrisi oluşturulur. Matris (R) için vektör normalizasyonu formülü $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}$, *i =1,2,…, m; j=1,2,…, n.* kullanılmıştır.

Tablo 3: Normalize karar matrisi.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A	0,57207	0,254456	0,5954	0,2761	0,4636	0,1464	0,5143
B	0,47673	0,59373	0,1860	0,2761	0,5707	0,7688	0,6245
C	0,66742	0,76337	0,7815	0,9205	0,6777	0,6224	0,5877

Adım 3: Ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulur. Matris, R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak oluşturulmuştur.

Tablo 4: Ağırlıklı normalize karar matrisi.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A	0,02860	0,0381685	0,1190	0,06904	0,2318	0,02929	0,07714
B	0,02383	0,0890598	0,0372	0,06904	0,2853	0,15377	0,09367
C	0,03337	0,1145055	0,1563	0,23014	0,3388	0,12448	0,08816

Adım 4: Pozitif İdeal (A*) ve Negatif İdeal (A) çözümler oluşturulur. Pozitif ideal çözümler için $A^* = \{(max_i y_{ij} | j \in J), (min_i y_{ij} | j \in J')\}$, negatif ideal çözümler için $A^- = \{(min_i y_{ij} | j \in J), (max_i y_{ij} | j \in J')\}$ formülleri kullanılmıştır.

Tablo 5: Pozitif ve negatif ideal çözümler.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A*	0,033	0,115	0,156	0,230	0,33	0,153	0,093
A	0,024	0,038	0,037	0,069	0,23	0,029	0,077

Adım 5. Her alternatifin pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüme uzaklıkları hesaplanır. Pozitif ideal çözümlerinin hesaplanması için $s_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(y_{ij} - y_j^*)^2}$, negatif ideal çözümlerin hesaplanması için $s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(y_{ij} - y_j^-)^2}$ eşitlikleri kullanılmıştır.

Adım 6. İdeal çözüme göreceli yakınlık hesaplanır. Hesap için $C_i^* = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^*}$ formülü uygulanmıştır.

Tablo 6: İdeal çözümlere uzaklık ve göreceli yakınlık değeri.

	s_i^*	s_i^-	C_i^*
A	0,245780667	0,082014196	0,25019976
B	0,209134411	0,145676976	0,41057582
C	0,029803913	0,258240128	0,896530014

3.2 VIKOR çözümü

Bu aşamadaki işlemelerde tablo 1 ve tablo 2'deki kriter ağırlıkları ve karar matrisi kullanılmıştır. Çözüm adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: *i* ölçüt sayısını (i= 1,2,3,…,n) ve j alternatif sayısını (j= 1,2,3,…,m) göstersin. Her ölçüt için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerleri $f_i^* = max_j f_{ij}$ *ve* $f_i^- = min_j f_{ij}$ eşitlikleri ile belirlenmiştir.

Tablo 9: En iyi ve en kötü ölçüt değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
f_i^*	7	6	7	7	6	7	6
f_i^-	5	2	2	2	4	1	5

Adım 2: Her bir alternatif için S_j ve R_j değerleri hesaplanmıştır. $S_j = \sum_{i=1}^{n} \frac{w_i.(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)}$ ve $R_j = \max\left[\frac{w_i.(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)}\right]$ formülleri kullanılmıştır.

Tablo 10: S_j ve R_j değerleri

	S	R
A	1,3375	0,5
B	0,8	0,25
C	0,097058824	0,05

Adım 3: Her bir alternatif için ölçütler bazında maksimum grup faydasını gösteren Q_i değerleri $Q_j = \frac{v.(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1-v).(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)}$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 11: Maksimum grup faydası

	Q
A	1

B	0,505565435
C	0

min	**S***	**0,09705882**	**R***	**0,05**
max	S-	1,3375	R-	0,5

Adım 4: S_j, R_J ve O_J değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak alternatifler arasındaki sıralama belirlenmiştir.

Tablo 12: S_j, R_J ve O_J değerleri

Sıra	S	Sıra	R	Sıra	Q	Q*j+1*-Qj		
C	0,097	C	0,05	C	0	0,50556	C1	C2
B	0,8	B	0,25	B	0,50556	0,49443		C2
A	1,337	A	0,5	A	1	-		C2

Koşulların değerlendirilmesi aşamasında C_1 kabul edilebilir avantaj ve C_2 karar vermede kabul edilebilir kararlılık kümesi elemanı olarak alternatifler belirlenir. Bir alternatifin C_1 kabul edilebilir avantaj elemanı olması için k küçükten büyüğe sıralanmış durumdaki konumu olmak üzere $Q_{k+1} - Q_k \geq DQ$ koşulunu sağlaması gerekmektedir. Buradaki DQ değerinin hesaplanmasında $DQ = \frac{1}{J-1}$ formülü kullanılmıştır. J değeri ise toplam alternatif sayısını göstermektedir. DQ= 0,5 olarak hesaplanmıştır. Bir alternatif S_j, R_J ve O_J sıralamalarının tümünde aynı sırada bulunuyor ise C_2 kabul edilebilir kararlılık kümesinin elemanıdır. Hem C_1 kabul edilebilir avantaj hem de C_2 karar vermede kabul edilebilir kararlılık kümesi olan uygun alternatiftir. Hem C_1 kabul edilebilir avantaj hem de C_2 karar vermede kabul edilebilir kararlılık kümesinde olan uygun alternatif C alt yüklenicisidir.

Sonuçlar

Büyük inşaat projelerinin çok sayıda olduğu günümüzde genel yüklenici firmalar aldıkları projelerin büyük bir kısmını alt yüklenicilere vererek kendileri projeyi yöneten ve organize eden bir firma gibi hareket etmektedirler. Genel yüklenici firmalar aldıkları büyük ihalelerdeki maliyetleri azaltmak, yüksek uzmanlık ve tecrübe gerektiren işleri kaliteli bir şekilde, zamanında yerine getirmek ve projedeki riski paylaşmak vb. sebeplerden dolayı alt yüklenici firmalarla çalışmak istemektedirler. Yapılan araştırmalara göre inşaat projelerinde tüm inşaat işlerinin %80-90 oranındaki büyük kısmının alt yüklenici firmalara verilmesi proje başarısını alt yüklenici firma başarısına bağlı olduğunu göstermektedir. Alt yüklenici seçimi; genel yüklenici konumdaki firmanın etkinlik

ve verimlilik hedeflerine ulaşmasında ve projeyi zamanında istenen şartlarda bitirmesinde önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışmada inşaat sektöründen bir karar verme uygulaması olarak altyüklenici firma seçimi problemi ele alınmıştır. Altyüklenici seçimi kararında karar vericiye yardımcı olabilecek bir yöntem TOPSIS ve VIKOR yöntemleri dikkate alınarak bir değerlendirme yapılmıştır. Önerilen teknikler Türkiye'de inşaat sektörü alanında faaliyet gösteren ana yüklenici bir firmanın alt yüklenici firma değerlendirme ve seçim problemine uygulanmıştır.

Uzman kişilerle yapılan görüşmelerde alt yüklenici seçim kriterleri evrakların tam olması, bina referansları, teknik kadro yeterliliği, tünel kalıp referansı, teslim süresi, maliyet ve finansal durum olarak belirlenmiştir. TOPSİS metodu uygulanarak en uygun alt yüklenici, en yüksek ideal çözüme göreceli yakınlık değerine (C_i^* = 0,896530014) sahip olan C alt yüklenici seçilmiştir. VİKOR yöntemi uygulandığında ise yine en uygun alt yüklenici C_1 ve C_2 kümelerinin ortak elemanı olan C tedarikçisi seçilmiştir. Her iki koşul için de C alt yüklenici en iyi alt yüklenici olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma son derece çeşitli ve karmaşık işler içeren inşaat projelerinde ana yüklenici firma yöneticilerine ana yüklenicinin performansını doğrudan etkileyen alt yüklenici seçimi gibi son derece kritik bir işlem için karar vermeyi kolaylaştıran bir araç sunmaktadır. İleriki çalışmalarda alt yüklenici seçim kriterlerinin içerdikleri belirsizlikleri dikkate alarak seçim yapmayı kolaylaştıran bulanık yöntemlerle melez çok kriterli karar verme yöntemleri probleme uygulanabilir.

KAYNAKÇA

ABOURİZK, S.M. ve Chehayeb, N.N. (1995), A Hypertext Decision Support Model for Contractor Prequalification, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 10, no. 2, s.111-121.

AKİNTAN, O. A. ve Morledge, R. (2013), Improving The Collaboration Between Main Contractors And Subcontractors Within Traditional Construction Procurement, Journal of Construction Engineering, vol. 2015, pp. 1–17, 2015.

ARSLAN, G., Kıvrak, S., Birgönül, M. T. ve Dikmen, İ. (2008), Improving Sub-contractor Selection Process in Construction Projects: Web-based Sub-contractor Evaluation System (WEBSES), Automation in Construction 17, no. 4, s.480-488.

CAN, Ş. ve Arikan, F. (2014), Bir Savunma Sanayi Firmasinda Çok Kriterli Alt Yüklenici Seçim Problemi ve Cözümü, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlik Fakültesi Dergisi 29, no. 4, s.645-654.

CHENG, M.-Y., Tsai, H.-C. ve Sudjono, E. (2011), Evaluating Sub-Contractors Performance Using Evolutionary Fuzzy Hybird Neural Network.» International Journal of Project Management 29, no. 3, s.349-356.

CHOUDHRY, R., Hinze, Arshad, J. M. ve Gabriel, H. (2012), Subcontracting Practies in The Construction Industry of Pakistan.» Journal of Construction Engineering and Management 138, no. 12, s.1353-1359.

ÇİFTÇİOĞLU, B. (2013), İnşaat Sektöründe AHP Yöntemi ile Alt Yüklenici Seçimi: Bir Konut Projesinde Uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi

DULUNG, A. Z. A. ve Pheng, L. S. (2005), Factors Influencing The Selection of Subcontractors In Refurbishment Works, Department of Building, School of Design and Environment, Architectural Science Review 48, no. 1,s.93-103.

EVMAN, H. S., (1999), Alt Yüklenici Seçimi Açısından Uluslararası Anahtar Teslimi Bir İhalenin İncelenmesi.» İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

HINZE, J. ve Tracey, A. (1994), The Contractor-Subcontractor Relationship: The Subcontractors' views, Journal of Construction Engineering and Management 120, no. 2, s.274-287.

KALE, S. ve Arditi, D. (2001), General Contractors' Relationships With Subcontractors: A Strategic Asset.» Construction Management and Economics 19, no. 5, s.541-549.

KO, C.-H., Cheng, M.-Y. ve Wu, T.-K. (2007), Evaluating Sub-Contractors Performance Using EFNIM, Automation In Construction 16, no. 4, s.525-530.

KOÇAK, İ. ve Sey, Y. (2008), İnşaat Sektöründe Faaliyet Gösteren KOBİ'lerin Proje Sürecindeki Tutum ve Davranışları, İtüDergisi 7, no. 1, s.25-37.

KÖSEOKUR, H. (2007), İnşaat Sektöründe Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Alt Yüklenici Seçimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

ÖZDAĞOĞLU, A. (2011), Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama Örnekleri. İzmir: TMMOB.

ÖZTÜRK, A., Ertuğrul, İ. ve Karakaşoğlu, N. (2008), Nakliye firması seçiminde bulanık AHP ve Bulanık Topsis yöntemlerinin karşılaştırılması, Marmara Üni. İ.İ.B.F. dergisi, cilt:25, sayı 2,s.785-824.

POLAT, G., Alp, G. ve Bingöl, N. B. (2012), İnşaat İşletmelerinde Kaynak Tabanlı Stratejik Yönetim, e-Journal of New World Sciences Academy 7, no. 1, s.218-228.

RADZİSZEWSKA-ZİELİNA, E. (2010), Methods for Selecting The Best Partner Construction Enterprise inTerms of Partnering Relations, Journal of Civil Engineering and Management 16, no. 4, s.510-520.

RENÇBER, Ö. F. ve Kazan, H. (2014), Büyük Çaplı Projelerde Taşeron Firma Seçiminde Teklif Değerlendirme: Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Karar Verme, International Journal of Social 3, no. 1, s.11-24.

RUSSELL, J. ve Skipniewski, M.J. (1988), Decision Criteria in Contractor Prequalification.» ASCE Journal of Management in Engineering 4, no. 2, s.148-164.

SHIAU, Y. C., Tsai, T. P. Wang, W. C. ve Huang, M. L. (2002), Use Questionnaire and AHP Techniques to Develop Subcontractor Selection System, International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 19th (ISARC) Proceedings, National Institute of Standarts and Technology, s.35-40.