



Bulanık Bütünleşik Çok Ölçütlü Karar Verme Modeli ile Arsa Seçimi

Şura TOPTANCI^{1*}, Ezgi AKTAŞ POTUR²

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara

Özet

İnşaat sektörünün rekabetçi ve dinamik yapıda olması, projelerin yüksek yatırım maliyetlerine sahip olması ve kullanılan kaynakların sınırlı olması sebebiyle şirketlerin kârlılığını koruyabilmesi adına inşaat sektöründe stratejik kararlar verilmesi gerekmektedir. İnşaat şirketleri yatırımlarını yaparken başarılı bir proje yönetimi sürecinin gerçekleştirilebilmesi için projeye özgü kısıtlara göre alternatif yerler arasından en uygun seçimi yapmak durumundadır. Gerçek hayat problemlerinde çoğunlukla belirsizlik altında karar verildiğinden kesin ifadeler kullanılması karar verme sürecini zorlaştırmaktadır. Böyle problemlerin çözümü için dilsel ifadelerin kullanıldığı Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme (Bulanık ÇÖKV) teknikleri elverişli olmaktadır. Bu çalışmada Ankara'da faaliyet gösteren bir inşaat şirketinin yeni inşa edilecek konut projesi için en uygun arsanın seçilmesi amaçlanmıştır. En uygun çözümün belirlenmesi için şehir içinde bulunan alternatif 5 adet arsa yapılan literatür araştırması ve karar vericilerin görüşleri doğrultusunda belirlenen 8 ölçüte göre değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, belirsizliği Tip-1 bulanık küme teorisi kapsamında ele alan bütünleşik bir model geliştirilmiş olup değerlendirme ölçütlerinin önem ağırlıklarının belirlenmesinde Bulanık AHP (Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi, değerlendirme ölçütlerine göre en uygun alternatif karar verilmesinde ise Bulanık EDAS (Bulanık Ortalama Çözüm Uzaklığına Göre Değerlendirme) yöntemi kullanılmıştır. Değerlendirme sonucunda en yüksek ağırlığa sahip olan ölçüt altyapı olmuştur. İnşaat firmasının Gölbaşı ilçesinde bulunan arsa yerine yatırım yapması önerilmiştir. Önerilen bütünleşik modelin etkililiği yapılan uygulama ile gösterilmiş ve bu çalışma ile şirketin doğru bir yatırım yapmasına katkı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık AHP, Bulanık EDAS, Çok Ölçütlü Karar Verme, Konut Projesi, Arsa Seçimi

Site Selection with an Integrated Fuzzy Multi Criteria Decision Making Model

Abstract

Due to the competitive and dynamic nature of the construction sector, the high investment costs of the projects and the limited resources used, strategic decisions must be made in the construction sector in order to companies to maintain their profitability. Construction companies have to make the most appropriate selection among alternative locations according to project-specific criteria in order to achieve a successful project management process while

* İletişim e-posta: sura_t@eskisehir.edu.tr

**Bu çalışmanın bir kısmı IV. International Conference on Data Science and Applications 2021'de sözlü olarak sunulmuştur.

making their investments. As real life problems are mostly decided under uncertainty, the use of precise expressions complicates the decision-making process. Fuzzy Multi-criteria Decision Making (Fuzzy MCDM) techniques using linguistic expressions are suitable for solving such problems. In this study, it is aimed to select the most suitable site for the new housing project of a construction company operating in Ankara. In order to determine the most feasible solution, 5 alternative sites in the city are evaluated according to 8 criteria determined by the literature research and the opinions of the decision makers. In this study, an integrated model that addresses uncertainty within the scope of Type-1 fuzzy set theory has been developed, and the Fuzzy AHP (Fuzzy Analytical Hierarchy Process) method is used to determine the importance weights of the evaluation criteria and the Fuzzy EDAS (Fuzzy Evaluation based on Distance from Average Solution) method is used to decide the most appropriate alternative according to these evaluation criteria. As a result of the evaluation, the criterion with the highest weight was infrastructure. It was proposed that the construction company invest in the land in Gölbaşı district. The effectiveness of the proposed integrated model has been demonstrated with an application and this study has contributed to the company making a correct investment.

Keywords: Fuzzy AHP, Fuzzy EDAS, Multi Criteria Decision Making, Housing Project, Site Selection

1. Giriş

İnşaat projeleri, inşaat sektörünün geniş ve dinamik yapıda olmasından dolayı ülkelerin ekonomileri üzerinde önemli bir role sahiptir. İnşaat çalışmalarında yeni yapıların oluşturulması, mevcut yapıların veya mühendislik projelerinin onarılması, değiştirilmesi, bakımı gibi işlemler gerçekleştirilmektedir [1]. İnşaat sektöründe inşa edilecek taşınmaz türüne göre en uygun arsanın seçilmesinin sektörün rekabetçi yapıda olması, sınırlı kaynaklar ile çalışılması ve projelerin çok yüksek yatırım maliyetlerine sahip olması sebebiyle şirketlerin mali durumu üzerinde hayati bir etkisi vardır. Projelere yönelik kararlar alınırken problemin yapısına ve karar vericilerin görüşlerine göre belirlenen ölçütler (kistaslar) göz önünde bulundurulmaktadır.

Genellikle birbiriyle çelişen çok sayıda ölçütün bulunduğu bir seçim probleminde en uygun alternatife karar verilmesi için Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) tekniklerinden yararlanılmaktadır [2]. ÇÖKV süreci, mümkün olan tüm seçenekler arasında en iyi olanın belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır [3]. Arsa seçim problemlerinin yapısı göz önüne alındığında problem çözme aracı olarak ÇÖKV tekniklerinin kullanılmasının iyi bir seçim olduğu söylenebilir [2].

Literatürde inşaat alanında ÇÖKV tekniklerinin uygulandığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. İpekçi Çetin vd. [4] tarafından yapılan çalışmada Antalya'da bulunan bir inşaat firmasında konut projesi için en iyi alternatif arsa yerinin belirlenmesi amacıyla Chang tarafından geliştirilen

Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesinden yararlanılarak matris ağırlıkları hesaplanmıştır. 2 ana ölçüt ve bu ana ölçütler altında 10 alt ölçüt kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada Konyaaltı, Muratpaşa ve Kepez ilçelerinde bulunan 4 farklı arsa değerlendirilmiştir.

Zolfani vd. [5] tarafından yapılan çalışmada çevresel sürdürülebilirlik yaklaşımı ile İran'ın Tahran kentinde bulunan beş yıldızlı bir otel inşaatı projesi değerlendirilmiştir. Çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve 5 adet bina inşaat projesinin değerlendirilmesi için SWARA ve COPRAS yöntemleri kullanılarak bütünsel bir çok kriterli karar verme modeli önerilmiştir. Karar vericilerin görüşleri ile belirlenen 4 ana kriter (enerji tüketimi, çevresel etki, toplum ve finansal geri dönüş) alt kriterlere ayrılarak SWARA yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Alternatif 5 inşaat projesi Karmaşık Oransal Değerlendirme (COPRAS) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Mati'c vd. [6] tarafından yapılan çalışmada ise bir inşaat şirketinde sürdürülebilir tedarikçi seçimi için Tam Tutarlılık Yöntemi (FUCOM) ve Rough COPRAS bütünsel modeli ile 21 sürdürülebilirlik kriterine göre inşaat firması için 5 tedarikçi değerlendirilmiştir. Alinezhad vd. [7] tarafından yapılan çalışmada bir yol inşaatı yapım şirketinin ekskavatör satın alma kararı için Ortalama Çözüm Uzaklığına Dayalı Değerlendirme yönteminden (EDAS) yararlanılmıştır. Belekar vd. [8] tarafından yapılan çalışmada ihale kararlarına yardımcı olunması adına AHP yöntemi kullanılarak hazır beton yüklenici firma seçimi için bir model geliştirilmiştir.

Mathiyazhagan vd. [9] tarafından inşaat sektöründe malzeme seçimi için yapılan çalışmada malzeme seçimine yönelik ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesinde Best Worst yöntemi; alternatiflerin sıralanmasında Bulanık İdeal Çözüme Benzerlik Açısından Sıralama Tekniği (TOPSIS) yönteminden yararlanılmıştır.

Mohandes vd. [10] tarafından yapılan çalışmada inşaat işçilerinin güvenlik seviyelerinin değerlendirilmesinde Bulanık TOPSIS yöntemiyle riskler önceliklendirilmiş ve bulanık bir risk değerlendirme modeli geliştirilmiştir.

Tsai vd. [11] tarafından yapılan çalışmada çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanması amacıyla yeşil bina projeleri için inşaat yöntemi seçiminde DEMATEL (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı), ANP (Analitik Ağ Süreci) ve 0-1 Hedef Programlama yöntemleri kullanılmıştır.

Sedady ve Beheshtinia [12] tarafından yapılan çalışmada yenilenebilir enerji santrallerinin inşaat önceliklerinin belirlenmesinde Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerini temel alan hibrit bir model önerilmiştir.

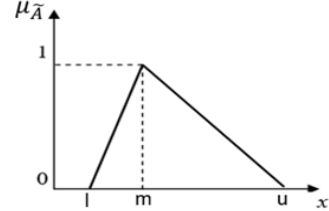
Bu çalışmada bir inşaat firmasının yeni inşa edilecek bir konut projesi için arsa belirleme konusunda çeşitli ölçütleri dikkate alarak doğru bir yatırım yapmasına yardımcı olunması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, bu çalışmada karar verme sürecinde belirsizliği de ele alan bütünleşik bir model önerilmiştir. Arsa seçimi için yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak Bulanık AHP ve Bulanık EDAS yöntemleri birlikte değerlendirilerek geliştirilen hibrit model ile literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır. Ölçütlerin önem ağırlıkları Buckley'in Bulanık AHP yöntemiyle belirlendikten sonra alternatif 5 adet arsa arasından en uygun olanın seçilmesi için Bulanık EDAS yöntemi kullanılmıştır.

2. Metodoloji

2.1. Bulanık küme teorisi

Gerçek hayat problemlerinde incelenen durum tamamen gözlem altında bulundurulmadığından yeterli ve kesin olmayan bilgiler ele alınmaktadır [13]. Bununla beraber, bir karar verme probleminde karar vericilerin farklı özelliklere sahip olması, orta, iyi, yüksek gibi subjektif ifadelerle görüşlerin belirtilmesi, tam ve net olmayan bilgiler belirsizlik ortamının oluşmasına sebep olmaktadır. Bu problemin ortadan kaldırılması için 1965 yılında L.A. Zadeh tarafından belirsizliği ölçen ve belirsizliğin etkisinin işleme

alınmasını sağlayan Bulanık küme teorisi geliştirilmiştir. Bulanık küme teorisinde bir aralıkta tanımlanan sayılar bulanık sayı olarak ifade edilmekte ve bu sayıların üyelik derecesi 0 ile 1 arasında herhangi bir değer alabilmektedir [13]. Üçgen ve yamuk bulanık sayı türleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 1'de üçgen bir bulanık sayısının genel gösterimi yer almaktadır.



Şekil 1. Üçgen bulanık sayı

Üçgen bulanık sayılar üzerindeki temel bulanık aritmetik işlemler aşağıda belirtilmiştir.

$$\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1) \quad \tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2) \quad (1)$$

$$\tilde{A}_1(+) \tilde{A}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

$$\tilde{A}_1(-) \tilde{A}_2 = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2) \quad (3)$$

$$\tilde{A}_1(\cdot) \tilde{A}_2 = (l_1 \cdot l_2, m_1 \cdot m_2, u_1 \cdot u_2) \quad (4)$$

$$\tilde{A}_1(/) \tilde{A}_2 = (l_1/u_2, m_1/m_2, u_1/l_2) \quad (5)$$

$$\lambda \cdot \tilde{A}_1 = (\lambda \cdot l_1, \lambda \cdot m_1, \lambda \cdot u_1) \quad (6)$$

2.2. Bulanık AHP

AHP, 1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biridir. Ele alınan ölçütlerin ve alt ölçütlerin birbirlerine göre ne kadar önemli, tercih edilir veya baskın olduğunu ikili karşılaştırmalarla ele alan bu yöntem hem ölçüt ağırlıklarının elde edilmesi için hem de alternatiflerin sıralanması için kullanılabilir. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasında 1 (eşit önemli) - 9 (kesin önemli) önem skalası kullanılmaktadır [14].

Bulanık AHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process- Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi) yönteminde ise bulanık küme teorisi AHP yöntemiyle birlikte kullanılmaktadır [15].

Literatürde bulanık AHP için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunlar arasında en yaygın olanlar "Chang'ın Genişletilmiş Analiz yöntemine dayalı Bulanık AHP yaklaşımı" ve "Buckley'in Bulanık AHP yaklaşımı"dır. Bununla birlikte, Chang'ın Genişletilmiş Analiz yöntemine dayalı Bulanık AHP yaklaşımında ele alınan değerlendirme ölçütlerinin bazılarının önem ağırlığını sıfır (0) olarak hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada tüm

değerlendirme ölçütleri için önem ağırlıklarının belirlenmesi amaçlandığından Buckley'in geliştirdiği Bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır. Bulanık AHP yöntemi kapsamında kullanılacak sözel ifadeler ve bulanık skor değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Sözel değişkenler ve ilgili bulanık önem ölçüğü

Sözel Önem	Önem Derecesi	Üçgen Bulanık Ölçek	Üçgen Bulanık Karşılık Ölçeği
Eşit önem	1̄	(1, 1, 1)	(1/1, 1/1, 1/1)
Orta önem	3̄	(2, 3, 4)	(1/4, 1/3, 1/2)
Kuvvetli önem	5̄	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
Çok kuvvetli önem	7̄	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
Kesin önem	9̄	(9, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/9)
Ara değerler	2̄	(1, 2, 3)	(1/3, 1/2, 1/1)
	4̄	(3, 4, 5)	(1/5, 1/4, 1/3)
	6̄	(5, 6, 7)	(1/7, 1/6, 1/5)
	8̄	(7, 8, 9)	(1/9, 1/8, 1/7)

Buckley'in Bulanık AHP yönteminin hesaplama aşamaları adım adım aşağıda gösterilmiştir.

Adım 1: Ölçütler arasındaki ikili karşılaştırma matrisi değerleri karar vericilerin sözel görüşlerine karşılık gelen bulanık sayı değerleri kullanılarak elde edilir. Eşitlik 7'de gösterilen, \tilde{A} matrisi bu çalışmada bulanık ikili karşılaştırma matrisidir:

$$\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}]_{n \times n} \quad (7)$$

Eşitlik 7 'de n ölçütün olduğu durumda \tilde{a}_{ij} , i ninci satırda yer alan ölçütün j ninci sütunda yer alan ölçüte göre bulanık skorunu göstermektedir. Bu karar matrisinin her bir elemanı üçgen bulanık sayı olup bu matriste $i=j$ olduğunda \tilde{a}_{ij} (1,1,1) değerini almaktadır.

Adım 2: Bulanık ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılıkları klasik AHP yönteminde olduğu gibi hesaplanır.

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (8)$$

$$CR = CI/RI \quad (9)$$

Burada, λ_{max} en büyük öz değeri, CI tutarlılık indeksini, CR tutarlılık oranı ve RI rassal indeksi ifade eder. Tutarlılık oranı 0.1'den küçük ise karar verici görüşlerinin tutarlı olduğu anlaşılır.

Adım 3: Birden fazla karar vericinin olduğu durumda karar vericilerin skor değerlendirmeleri Eşitlik 10'da yer alan geometrik ortalama operatörü ile birleştirilerek bulanık ikili karşılaştırma matrisi değerleri elde edilir.

$$\tilde{k}_{ij} = (\tilde{k}_{ij}^1 \otimes \tilde{k}_{ij}^2 \otimes \dots \otimes \tilde{k}_{ij}^m)^{1/n} \quad (10)$$

Eşitlik 10' da $i = 1, \dots, n$ ve m karar verici sayısını ifade etmektedir.

Adım 4: Her bir ölçüt için bulanık ikili karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalaması Eşitlik 11 ile hesaplanır.

$$\tilde{c}_i = \left(\prod_{j=1}^n \tilde{k}_{ij} \right)^{1/n} \quad (11)$$

Adım 5: Eşitlik 12 ile her bir ölçütün bulanık ağırlığı (\tilde{w}_i) hesaplanır.

$$w_i = \tilde{c}_i \otimes (\tilde{c}_1 \oplus \tilde{c}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{c}_n)^{-1} = (lw_i, mw_i, uw_i) \quad (12)$$

Adım 6: Bulanık ölçüt ağırlıkları durulaştırılır ve ölçütler için kesin sayı önem ağırlıkları (w_i) elde edilir. Literatürde farklı durulaştırma yaklaşımları önerilmiştir. Bu çalışmada, durulaştırma aşamasında Hsieh ve arkadaşları [16] tarafından önerilen en iyi bulanık olmayan performans değeri (BNP-Best Nonfuzzy Performance Value) yöntemi kullanılmıştır.

$$w_i = lw_i + [(uw_i - lw_i) + (mw_i - lw_i)]/3 \quad (13)$$

Adım 7: Durulaştırma işlemi sonrası ölçütlerin önem ağırlıkları normalize edilir. Normalize edilmiş ağırlıklar (Nw_i) ölçütlerin nihai önem ağırlığını göstermektedir.

$$Nw_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (14)$$

2.3. Bulanık EDAS

EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution- Ortalama Çözüm Uzaklığına Göre Değerlendirme) yöntemi M. Keshavarz Ghorabae ve arkadaşları tarafından 2015 yılında geliştirilmiştir. EDAS yönteminde en iyi alternatif ortalama çözümden uzaklığın bir fonksiyonudur [17]. Bu yöntemde, ilk iki gösterge ortalamadan pozitif uzaklık (PDA) ve ortalamadan negatif uzaklık (NDA) olarak verilir. Daha yüksek PDA değerleri ve daha düşük NDA değerleri optimal çözümü ifade etmektedir [18]. M. Keshavarz Ghorabae ve arkadaşları [19] bulanık küme teorisini EDAS yöntemi ile birlikte kullanarak Bulanık EDAS yöntemini geliştirmiş ve tedarikçi seçimi probleminde yamuk bulanık sayılar ile işlemler yaparak uygulamışlardır.

Tanım: $\tilde{A} = (l, m, n)$ bir üçgen bulanık sayı, A ise \tilde{A} 'nin En iyi bulanık olmayan performans değeri (BNP-Best Nonfuzzy Performance Value) yöntemiyle durulaştırılmış hali olmak üzere, \tilde{A} üçgen bulanık sayısı ile sıfır arasındaki maksimum değeri bulmak için Eşitlik 15'dan yararlanır [19]:

$$\tilde{A} \text{ ve } 0 \text{ arasındaki maksimum değer} = \begin{cases} \tilde{A}, & \text{eğer } A > 0 \\ 0, & \text{eğer } A \leq 0 \end{cases} \quad (15)$$

Bulanık EDAS yönteminin n adet alternatif ve m adet ölçüt için adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir [19]:

Adım 1: Karar vericiler için satırlarda alternatiflerin sütunlarda ise kriterlerin bulunduğu bulanık karar matrisi $[\tilde{x}_{ij}]_{n \times m}$ oluşturulur. \tilde{x}_{ij} i ninci satırda yer alan alternatifin j ninci sütunda bulunan ölçüte göre değerini göstermektedir. Her bir karar vericinin görüşü Tablo 2'deki tanımlamalara göre alınmaktadır. Sözel tanımlamalara karşılık gelen bulanık skor değerlerinin geometrik ortalaması alınarak birleştirilmiş bulanık karar matrisi $\tilde{kX} = [\tilde{kx}_{ij}]_{n \times m}$ oluşturulur.

Tablo 2. Alternatifleri ölçütlere göre değerlendirme ölçeği

Sözel Terimler	Bulanık Sayı Değerleri
Çok düşük (ÇD)	(0,0,1)
Düşük (D)	(0,1,3)
Ortanın altı (OA)	(1,3,5)
Orta (O)	(3,5,7)
Ortanın üstü (OU)	(5,7,9)
Yüksek (Y)	(7,9,10)
Çok yüksek (ÇY)	(9,10,10)

Adım 2: Bütün ölçütlerin değerlerinin ortalaması alınarak bulanık ortalama $(\tilde{F\bar{A}V}_j)$ değerleri oluşturulur.

$$\tilde{F\bar{A}V}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{kx}_{ij}}{n} \quad (16)$$

Adım 3: Her bir ölçüt için ortalamadan pozitif bulanık uzaklık matrisi $(\tilde{F\bar{P}D\bar{A}}_{ij})$ ve ortalamadan negatif bulanık uzaklık matrisi $(\tilde{F\bar{N}D\bar{A}}_{ij})$ değerleri ölçütün fayda ve maliyet ölçütü olması durumu dikkate alınarak hesaplanır. Burada, AV_j değerleri bulanık ortalama $(\tilde{F\bar{A}V}_j)$ değerlerinin durulaştırılmış halidir.

$$\text{Fayda ölçütü, } \tilde{F\bar{P}D\bar{A}}_{ij} = \frac{\max(0, (\tilde{kx}_{ij} - \tilde{F\bar{A}V}_j))}{AV_j} \quad (17)$$

$$\tilde{F\bar{N}D\bar{A}}_{ij} = \frac{\max(0, (\tilde{F\bar{A}V}_j - \tilde{kx}_{ij}))}{AV_j} \quad (18)$$

$$\text{Maliyet ölçütü, } \tilde{F\bar{P}D\bar{A}}_{ij} = \frac{\max(0, (\tilde{F\bar{A}V}_j - \tilde{kx}_{ij}))}{AV_j} \quad (19)$$

$$\tilde{F\bar{N}D\bar{A}}_{ij} = \frac{\max(0, (\tilde{kx}_{ij} - \tilde{F\bar{A}V}_j))}{AV_j} \quad (20)$$

Adım 4: Bütün alternatifler için ağırlıklandırılmış pozitif uzaklık $(\tilde{F\bar{W}S\bar{P}}_i)$ ve ağırlıklandırılmış negatif uzaklık $(\tilde{F\bar{W}S\bar{N}}_i)$ değerleri Eşitlik 21 ve 22 kullanılarak hesaplanır.

$$\tilde{F\bar{W}S\bar{P}}_i = \sum_{j=1}^m Nw_j \times \tilde{F\bar{P}D\bar{A}}_{ij} \quad (21)$$

$$\tilde{F\bar{W}S\bar{N}}_i = \sum_{j=1}^m Nw_j \times \tilde{F\bar{N}D\bar{A}}_{ij} \quad (22)$$

Burada, Nw_j normalize edilmiş ölçüt ağırlıklarını göstermektedir.

Adım 5: İşlem kolaylığı sağlama açısından $\tilde{F\bar{W}S\bar{P}}_i$ ve $\tilde{F\bar{W}S\bar{N}}_i$ değerleri Eşitlik 13'de gösterilen BNP yöntemiyle durulaştırılarak sırasıyla WSP_i ve WSN_i kesin sayı değerleri elde edilir. Bütün alternatifler için WSP_i ve WSN_i değerleri Eşitlik 23 ve 24 ile normalize edilerek $NWSP_i$ ve $NWSN_i$ değerleri hesaplanır.

$$NWSP_i = \frac{WSP_i}{\max_i(WSP_i)} \quad (23)$$

$$NWSN_i = 1 - \frac{WSN_i}{\max_i(WSN_i)} \quad (24)$$

Adım 6: Her bir alternatif için değerlendirme skorları (AS_i) elde edilir. En büyük skora sahip alternatif en iyi alternatif olarak belirlenir.

$$AS_i = 1/2 \times (NWSP_i + NWSN_i) \quad (25)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma, Ankara'da faaliyet gösteren bir inşaat şirketinin yeni başlayacak inşaat projesi için Çankaya ilçesi Çiğdem Mahallesi (A1), Beytepe Mahallesi (A2), Mustafa Kemal Mahallesi (A3), Beytepe Mahallesi2 (A4) ve Gölbaşı ilçesi Kızılcaşar Mahallesinde (A5) bulunmak üzere 5 arsa alternatifinin değerlendirilmesi sürecinde uygulanmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan alternatifler ve değerlendirme ölçütleri yapılan literatür çalışması ve karar verici ekibin görüşleri alınarak belirlenmiştir. Ekip üyeleri inşaat şirketinde görev alan iki inşaat mühendisi ve bir

mimardan oluşmaktadır. Ele alınan problem için gerekli veriler karar vericilerin sözel değerlendirmeleri üzerinden sağlanmıştır. Güvenlik durumu (Ö1), zemin durumu (Ö2), altyapı (Ö3), ulaşım (Ö4), sosyal alanların durumu (Ö5), arsa bedeli (Ö6), metrekare alan (Ö7) ve şehir merkezine yakınlık (Ö8) olmak üzere belirlenen 8 ölçütün

önem ağırlıklarının hesaplanmasında Buckley'in geliştirdiği Bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır. Ölçütler altında ele alınan 5 adet alternatif arsa arasından en uygun arsanın belirlenmesi için Bulanık EDAS yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 3. Bulanık ağırlıklar, kesin sayı önem ağırlıkları ve normalize edilmiş ağırlıklar

Değerlendirme ölçütleri	Bulanık ağırlıklar	Önem ağırlıkları	Normalize edilmiş ağırlıklar
Güvenlik Durumu (Ö1)	(0.095, 0.124, 0.161)	0.127	0.123
Zemin Durumu (Ö2)	(0.153, 0.208, 0.281)	0.214	0.207
Altyapı (Ö3)	(0.177, 0.238, 0.317)	0.244	0.236
Ulaşım (Ö4)	(0.095, 0.137, 0.190)	0.141	0.136
Sosyal Alanların Durumu (Ö5)	(0.042, 0.057, 0.079)	0.059	0.058
Arsa Bedeli (Ö6)	(0.036, 0.047, 0.062)	0.048	0.047
Metrekare Alan (Ö7)	(0.048, 0.067, 0.099)	0.071	0.069
Şehir Merkezine Yakınlık (Ö8)	(0.088, 0.123, 0.175)	0.129	0.125

Buckley Bulanık AHP yöntemi kullanılarak elde edilen analiz sonuçlarına göre güvenlik durumu, zemin durumu, altyapı, ulaşım, sosyal alanların durumu, arsa bedeli, metrekare alan ve şehir merkezine yakınlık ölçütlerinin ağırlıklarının sırasıyla 0.123, 0.207, 0.236, 0.136, 0.058, 0.047, 0.069 ve 0.125 olduğu görülmektedir. Karar vericiler için risk parametrelerinin bulanık ikili karşılaştırma matrisleri CR değerleri sırasıyla 0.080, 0.089 ve 0.080 olarak hesaplanmıştır. CR değerleri, 0.10'dan küçük bir değer olduğu için ikili değerlendirme matrislerinin tutarlı olduğu görülmüştür.

Konut projesi için en uygun arsa seçiminde kullanılan ölçütlerin genel ağırlıkları Bulanık AHP yöntemiyle bulunduktan sonra, 5 aday yer arasında sıralanma yapılabilmesi için bütünleşik modelin son safhası olan EDAS metodu kullanılmıştır. Bu aşamada aday arsa yerlerinin ilgili ölçütlere göre değerlendirilmesi için ayrı bir anket formu hazırlanmıştır. Bulanık EDAS karar matrisi verileri Tablo 2'de yer alan puan değerlerine göre karar vericilerin anketlere verdiği yanıtların geometrik ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Bulanık EDAS önem sırası

Alternatifler	WSP	WSN	NWSP	NWSN	AS	Sıralama
A1	0.362	0.085	0.924	0.818	0.871	2
A2	0.165	0.350	0.422	0.252	0.337	4
A3	0.348	0.468	0.887	0.000	0.444	3
A4	0.064	0.424	0.163	0.094	0.129	5
A5	0.392	0.004	1.000	0.991	0.996	1

Tablo 4'ten elde edilen sonuçlara göre A1, A2, A3, A4 ve A5 alternatifleri için Bulanık EDAS yöntemi ile elde edilen değerlendirme skorları sırasıyla 0.871, 0.337, 0.444, 0.129 ve 0.996 olmuştur.

Bulanık EDAS yöntemini uygulayarak arsa yerlerinin önem sıralamasının $A5 > A1 > A3 > A2 > A4$ olduğu belirlenmiştir. Gölbaşı ilçesi Kızılcaşar Mahallesinde bulunan arsanın en büyük öneme sahip olduğu anlaşılmıştır.

Literatürde inşaat alanında ÇÖKV ile ilgili yapılan çalışmalarda tedarikçi, yüklenici firma ve ekipman seçimi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Belear vd. [8] tarafından yapılan çalışmada hazır beton yüklenici firma seçimi problemi için AHP yöntemi kullanılmış ve ölçütler klasik AHP yöntemi ile ele alınmıştır. Klasik AHP yönteminde kesin sayılar kullanıldığından belirsizlikler değerlendirmeye alınamamaktadır. Bu durum ilgilenilen problemde verilen kararı etkileyebilmektedir. Bu çalışmada ölçütler ortaya çıkan belirsizlik altında ele alınmış ve ölçütlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde Buckley'in geliştirdiği Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Literatürde Chang tarafından geliştirilen Bulanık AHP yönteminin kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Bu yöntemde bazı ölçütlerin ağırlıkları sıfır çıkabilmektedir. Chang'in yönteminin dezavantajından dolayı bu çalışmada Buckley'in geliştirdiği Bulanık AHP yöntemi ile ölçüt ağırlıkları hesaplanmış ve geliştirilen bütünleşik yöntem kullanılarak şirketin yatırım yapabileceği en uygun arsa yerine öneri yapılmıştır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, yeni inşa edilecek bir konut projesi için en uygun arsa yerinin belirlenmesine yönelik çok ölçütlü bir karar verme problemi ele alınmıştır. En uygun arsa yerinin seçiminde karar vericiler tarafından göz önünde tutulacak ölçütler Bulanık AHP ile ağırlıklandırılmıştır. Ardından, belirlenen 5 alternatif yer elde edilen ölçüt ağırlıkları kullanılarak Bulanık EDAS yöntemi ile sıralanmıştır. Karar verme ortamında oluşan belirsizlikler bu çalışmada Tip-1 bulanık küme teorisi kapsamında modellenmiştir.

Literatürde inşaat projesi için yer seçimi konusuna dair az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bununla beraber, oluşturulan hibrit modelle literatürde konut projesi için yer probleminin çözümünü ele alan çalışmaya rastlanmamıştır. Değerlendirme sonucuna göre, inşaat firmasının A5 arsa yerine yatırım yapması önerilmiştir. Bu konuda yapılacak gelecek çalışmalarda oluşan belirsizlik sezgisel, aralık tip-2 vb. farklı küme teorisi yaklaşımları ile incelenebilir. Kurulan model farklı tür ÇÖKV problemlerinin çözümünde kullanılabilir.

5. Kaynaklar

- [1] Behm, M. "Construction Sector". *Journal of Safety Research*, 39, 175-178, 2008.
- [2] Yap, J.Y.L., Ho, C. C. and Ting, C. Y. "A systematic review of the applications of multi-criteria decision-making methods in site selection problems". *Built Environment Project and Mass Management*, 9(4), 548-563, 2019.
- [3] Darko, A., Chan, A. P. C., Ameyaw, E. E., Owusu, E.K., Parn, E. and Edwards, D. J. "Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction". *International Journal of Construction Management*, 19(5), 436-452, 2019.
- [4] İpekçi Çetin, E., Akil, Y. ve Güler, A. I. "İnşaat Projelerinde Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile Karar Verme". *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 10(23), 173-190, 2014.
- [5] Zolfani, S. H., Pourhossein, M., Yazdani, M. and Zavadskas, E. K. "Evaluating construction projects of hotels based on environmental sustainability with MCDM framework". *Alexandria Engineering Journal*, 57, 357-365, 2018.
- [6] Matic, B., Jovanovic, S., Das, D. K., Zavadskas, E. K., Stevic, Z. Sremac, S. and Marincovic, M. "A new hybrid MCDM model: Sustainable supplier selection in a construction company". *Symmetry*, 11(3), 353, 2019.
- [7] Alinezhad, A. and Khalili, J. EDAS Method. In *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)*. *International Series in Operations Research & Management Science*. Switzerland, Springer, 2019.
- [8] Belekar, S., Jamadar, S., Manjarekar, J., Singh, R. and Kazi, A. "Application of Analytical Hierarchy Process (AHP) in Construction Works". *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(3), 2021.
- [9] Mathiyazhagan, K., Gnanavelbabu, A. and Prabhuraj, B. L. "A sustainable assessment model for material selection in construction industries perspective using hybrid MCDM approaches". *Journal of Advances in Management Research*, 16(2), 234-259, 2019.
- [10] Mohandes, S. R., Sadeghi, H., Mahdiyar, A., Durdyev, S., Banaitis, A., Yahya, K. and İsmail, S. "Assessing construction labours safety level: a fuzzy MCDM approach". *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(2), 175-188, 2020.
- [11] Tsai, W.H., Lin, S.J., Lee, Y.F., Chang, Y.C. and Hsu, J.L. "Construction method selection for green building projects to improve environmental sustainability by using an MCDM approach". *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(10), 1487-1510, 2013.
- [12] Sedady, F. And Beheshtinia, M. A. "A novel MCDM model for prioritizing the renewable power plants' construction". *Management of Environmental Quality*, 30, 383-399, 2019.
- [13] Zadeh, L.A. *Fuzzy Sets. Inf. Control*. 8: 338-353, 1965.
- [14] Saaty, T.L. *In: The Analytic Hierarchy Process*. 1st ed. New York:McGraw-Hill, 1980.
- [15] Buckley, J.J. "Fuzzy hierarchical analysis". *Fuzzy. Set. Syst.*, 17(3): 233-247, 1985.
- [16] Hsieh, T.Y., Lu, S.T., and Tzeng, G.H. "Fuzzy MCDM Approach for Planning and Design Tenders Selection in Public Office Buildings". *International Journal of Project Management*, 22, 573-584, 2004.
- [17] Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., Turskis, Z. "Multi-criteria inventory classification using a new method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS)". *Informatica*, 26(3), 435-451, 2015.
- [18] Kahraman, C., Ghorabae, M., Zavadskas, E., Onar, S., Yazdani, M. and Oztaysi, B. "Intuitionistic fuzzy edas method: an application to solid waste disposal site selection". *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(1), 1-12, 2017.
- [19] Keshavarz Ghorabae, K., Zavadskas, E. K., Amiri, M., Turskis, Z. "Extended EDAS method for fuzzy multi-criteria decision-making: an application to supplier selection". *International Journal of Computers Communications & Control*, 11(3), 358-371, 2016.