DOI:10.25092/baunfbed. 1664244 *J. BAUN Inst. Sci. Technol., 28(1), 99-109, (2026)*

AHP yöntemi ile iş makinesi seçimi

Ali Erkan KARAMAN[1,*]

[1]*Balıkesir Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl., Çağış kampüsü, Balıkesir.*

Geliş Tarihi (Received Date): 24.03.2025
Kabul Tarihi (Accepted Date): 12.08.2025

Öz

Gelişen teknoloji ile birlikte otomasyon süreci tüm sektörlerde hızla ilerlese de inşaat sektörü insan odaklı geleneksel çalışmayı halen sürdürmektedir. Şantiyelerde birbirinden farklı ve yüksek metrajlı aktivitelerin olmasından dolayı, süre ve maliyetten kazanım sağlama amacıyla iş makinelerinin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada iş makinalarının seçiminde literatürde ön plana çıkan 7 değerlendirme kriteri belirlenmiş, bu kriterlere göre 4 iş makinesinden birinin seçilmesine ilişkin karar alma probleminin analitik hiyerarşi prosesi (AHP)yöntemi ile çözümlenmesi amaçlanmıştır. AHP'nin yapısını oluşturan karşılaştırma matrislerine ilişkin tutarlılık analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda 4 iş makinesi alternatifi arasından en uygunu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: *AHP yöntemi, iş makinesi seçimi, karar alma problemi.*

Construction equipment selection with AHP method

Abstract

With the advancement of technology, the automation process is rapidly progressing in all sectors; however, the construction industry still maintains its human-centered traditional work approach. Due to the presence of various high-volume activities on construction sites, the use of heavy machinery becomes essential to achieve time and cost savings. In this study, seven evaluation criteria that stand out in the literature for the selection of construction equipment were determined. Based on these criteria, the decision-making problem of selecting one of four construction machines was solved using the Analytic Hierarchy Process method. Consistency analyses were conducted for the comparison matrices that form the structure of AHP. As a result of the analysis, the most suitable construction machine among the four alternatives was identified.

Keywords: *Analytic hierarchy process (AHP) method, construction equipment selection, decision-making problem.*

[*] Ali Erkan KARAMAN, ekaraman@balikesir.edu.tr, https://orcid.org/0000-0003-1958-9743

1. Giriş

İnşaat projeleri, karmaşık yapıları ve çok sayıda değişkeni içeren süreçlerdir. Bu süreçlerde iş makinelerinin doğru seçimi, projenin maliyet, zaman, kalite ve güvenlik açısından başarısını doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. İş makinesi seçimi; proje gereksinimleri, çevresel faktörler, maliyet, makine performansı ve operasyonel verimlilik gibi birçok kriterin değerlendirilmesini gerektirir. Bu çalışmada, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak otoyol projelerinde kullanılan palet tekerlekli ekskavatör seçim süreci detaylı bir şekilde incelenecektir. AHP, çok kriterli karar verme süreçlerinde etkili bir yöntem olarak literatürde sıklıkla kullanılmaktadır [örn; 1,2]. Bu yöntem, karmaşık karar problemlerini hiyerarşik bir yapıda ele alarak, kriterlerin ve alternatiflerin sistematik bir şekilde değerlendirilmesini sağlar.

İnşaat sektörü, küresel ekonomi içinde önemli bir paya sahiptir ve projelerin başarısı, doğru kaynak yönetimi ile doğrudan ilişkilidir. İş makineleri, inşaat projelerinin temel bileşenlerinden biridir ve yanlış makine seçimi, proje maliyetlerinin artmasına, zaman kayıplarına ve hatta proje başarısızlığına neden olabilir [3]. Bu nedenle, makine seçimi sürecinde bilimsel ve sistematik yaklaşımların kullanılması büyük önem taşımaktadır. AHP, bu tür karmaşık karar problemlerinde etkili bir şekilde uygulanabilen bir yöntemdir ve bu çalışmada da bu yöntemin uygulanabilirliği detaylı bir şekilde incelenecektir.

Son yıllarda, inşaat sektöründe dijitalleşme ve otomasyonun artmasıyla birlikte, iş makinesi seçimi süreçleri de önemli ölçüde değişmiştir. Örneğin, otonom ekskavatörler ve drone destekli inşaat makineleri, proje yönetiminde yeni bir dönem başlatmıştır [örn, 3,4]. Bu tür makineler, insan hatasını en aza indirerek proje verimliliğini artırmaktadır. Ancak, bu makinelerin yüksek maliyetleri, özellikle küçük ölçekli projelerde kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, makine seçimi sürecinde maliyet, performans ve teknolojik özellikler gibi kriterlerin dengeli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, inşaat sektöründe sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle, karbon ayak izi ve enerji verimliliği gibi kriterler, makine seçimi sürecinde dikkate alınması gereken önemli faktörler haline gelmiştir [5]. Bu noktada AHP yönteminin kullanılması belirli kriterler altında iş makinası seçiminde karar alıcıya büyük kolaylık sağlamakta ve hızlı bir çözüm sunmaktadır.

2. Literatür çalışması

İş makinesi seçimi konusunda yapılan çalışmalar, özellikle inşaat sektöründe verimlilik, maliyet optimizasyonu, sürdürülebilirlik ve teknolojik yenilikler üzerine odaklanmaktadır. Al-Hussein ve diğerleri (2005) [6], inşaat makinelerinin seçiminde çevresel faktörlerin ve makine performansının önemini vurgulamıştır. Benzer şekilde, Marzouk ve Moselhi (2003) [7], AHP yönteminin makine seçiminde kullanılabilirliğini incelemiş ve bu yöntemin karmaşık karar süreçlerinde etkili olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Jarkas ve Bitar (2012) [8], inşaat projelerinde makine seçiminin proje başarısı üzerindeki etkilerini analiz etmiş ve doğru makine seçiminin proje süresini kısalttığını ve maliyetleri düşürdüğünü ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, AHP'nin iş makinelerinin seçiminde uygulanabilirliğini desteklemektedir.

İnşaat sektöründe dijitalleşme ve otomasyonun artmasıyla birlikte, makine seçimi süreçleri de önemli ölçüde değişmiştir. Örneğin, Bock ve Linner (2016) [3], robotik ve

otonom makinelerin inşaat projelerindeki rolünü incelemiş ve bu tür makinelerin proje verimliliğini artırdığını belirtmiştir. Ayrıca, Wang ve diğerleri (2018) [4], yapay zeka ve makine öğrenmesi tekniklerinin makine seçim süreçlerine entegrasyonunu incelemiş ve bu teknolojilerin karar verme süreçlerini hızlandırdığını ortaya koymuştur. Shapira ve Goldenberg (2005) [9], inşaat makinelerinin seçiminde teknolojik yeniliklerin ve otomasyonun etkilerini incelemiş ve bu faktörlerin makine verimliliğini artırdığını belirtmiştir. Ayrıca, Elbeltagi ve diğerleri (2005) [10], makine seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımını incelemiş ve AHP'nin bu süreçteki avantajlarını vurgulamıştır.

Zhang ve diğerleri (2020) [5], inşaat makinelerinin seçiminde karbon ayak izi ve enerji verimliliği gibi kriterlerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır. Liu ve diğerleri (2021) [11], makine seçiminde sürdürülebilirlik kriterlerinin önemini vurgulamış ve bu kriterlerin AHP yöntemi ile nasıl entegre edilebileceğini göstermiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, inşaat sektöründe dijital ikizler (digital twins) ve nesnelerin interneti (IoT) gibi teknolojilerin makine seçim süreçlerine entegrasyonunu incelemiştir. Örneğin, Li ve diğerleri (2023) [12], IoT tabanlı sensörlerin makine verimliliğini artırdığını ve bakım maliyetlerini düşürdüğünü belirtmiştir. Bu çalışmalar, teknolojik yeniliklerin makine seçim süreçlerinde giderek daha fazla önem kazandığını göstermektedir. Bu literatür çalışmaları, iş makinesi seçiminin çok boyutlu bir problem olduğunu ve AHP gibi yöntemlerin bu süreçte etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

3. İnşaat projelerinde kullanılan iş makineleri

İnşaat projelerinde kullanılan iş makineleri, genellikle ekskavatörler, buldozerler, vinçler, beton pompaları, kompresörler, delici makineler ve kamyonlar gibi çeşitli makineleri içerir. Bu makineler, toprak kazısı, malzeme taşıma, yıkım ve inşaat gibi farklı görevlerde kullanılmaktadır. Özellikle ekskavatörler, hem küçük hem de büyük ölçekli projelerde en yaygın kullanılan makinelerden biridir [13]. Bu makineler, projenin türüne, büyüklüğüne ve karmaşıklığına göre farklılık göstermektedir. Örneğin, büyük ölçekli inşaat projelerinde ağır iş makineleri kullanılırken, küçük ölçekli projelerde daha hafif makineler tercih edilmektedir [3]. Ayrıca, makine seçimi projenin coğrafi konumu, iklim koşulları ve zemin yapısı gibi faktörlerden de etkilenmektedir.

Ekskavatörler, kazı işlemlerinde yaygın olarak kullanılan makinelerdir ve farklı kapasitelerde modelleri bulunmaktadır. Buldozerler, toprak işleme ve düzleme işlemlerinde kullanılırken, vinçler ağır yüklerin taşınması ve montaj işlemlerinde tercih edilmektedir. Beton pompaları, özellikle yüksek binaların inşasında betonun yüksek noktalara taşınması için kullanılmaktadır. Bu makinelerin doğru seçimi, projenin verimliliği ve maliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İnşaat sektöründe teknolojik gelişmeler, makinelerin daha akıllı ve otomatik hale gelmesine neden olmuştur. Örneğin, otonom ekskavatörler ve drone destekli inşaat makineleri, proje yönetiminde yeni bir dönem başlatmıştır [4]. Otonom ekskavatörler ve buldozerler, insan müdahalesi olmadan çalışabilme yeteneği ile dikkat çekmektedir. Bu tür makineler, özellikle tehlikeli veya zorlu çalışma koşullarında insan güvenliğini artırmakta ve iş verimliliğini optimize etmektedir [14]. Bu tür makineler, insan hatasını en aza indirerek proje verimliliğini artırmaktadır. Ancak, bu makinelerin yüksek maliyetleri, özellikle küçük ölçekli projelerde kullanımını sınırlandırmaktadır.

Son dönemde yapılan çalışmalar, inşaat makinelerinin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik yenilikler üzerine odaklanmaktadır. Örneğin, elektrikli ekskavatörler ve hibrit buldozerler, geleneksel dizel motorlu ekipmanlara kıyasla daha düşük emisyon değerlerine sahiptir [15]. Bu tür makineler, özellikle çevresel düzenlemelerin sıkı olduğu bölgelerde tercih edilmektedir

4. İş makinelerinin seçim kriterleri

İş makineleri seçimi, inşaat projelerinin başarısını doğrudan etkileyen kritik bir süreçtir. Literatürde bu seçim süreci ile ilgili farklı değerlendirme kriterleri kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Literatürde kullanılan kriterler incelendiğinde bu çalışma için 7 değerlendirme kriteri belirlenmiştir: (1) maliyet, (2) verimlilik performansı, (3) çevresel faktörler, (4) tedarik süreci, (5) bakım ve onarım, (6) güvenlik, (7) teknolojik özellikler.

- Maliyet: İş makinelerinin satın alma veya kiralama maliyeti, yakıt tüketimi ve işletme maliyetleri, proje bütçesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle büyük ölçekli projelerde, makine maliyetlerinin doğru hesaplanması, projenin finansal açıdan sürdürülebilirliği için kritik öneme sahiptir. Yakıt verimliliği yüksek makineler, uzun vadede önemli maliyet tasarrufları sağlayabilir [15].

- Verimlilik performansı: Makinenin kapasitesi, verimliliği ve iş yapma hızı, proje sürelerini ve genel verimliliği doğrudan etkiler. Yüksek performanslı makineler, özellikle zamanın kritik olduğu projelerde büyük avantajlar sunar. Örneğin, yüksek kapasiteli ekskavatörler, toprak kazısı işlemlerini hızlandırarak proje sürelerini kısaltabilir [13].

- Çevresel faktörler: Çevresel faktörler, özellikle sürdürülebilir inşaat uygulamaları açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Düşük emisyonlu ve enerji verimliliği yüksek makineler, çevreye olan olumsuz etkileri azaltırken, projelerin çevresel standartlara uygunluğunu da artırır. Elektrikli ve hibrit makineler, bu açıdan önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır [16].

- Tedarik süreci: İş Makinesinin proje süresine uygunluğu ve teslim süreleri, proje planlamasının önemli bir parçasıdır. Tedarik süreçlerindeki gecikmeler, proje zaman çizelgesini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, makine tedarikinin doğru planlanması ve yönetilmesi, proje başarısı için kritik öneme sahiptir [17].

- Bakım ve onarım: İş makinesinin bakım gereksinimleri, onarım maliyetleri ve yedek parça temini, işletme maliyetlerini doğrudan etkiler. Düzenli bakım, makinelerin ömrünü uzatır ve beklenmedik arızaların önüne geçer. Ayrıca, yedek parça temininin kolay olması, bakım süreçlerini hızlandırarak proje sürekliliğini sağlar [14].

- Güvenlik: Makinenin güvenlik standartlarına uygunluğu ve operatör güvenliği, inşaat projelerinde en önemli önceliklerden biridir. Güvenlik özellikleri yüksek makineler, kazaları önleyerek hem insan hayatını korur hem de proje maliyetlerini düşürür. Özellikle otomasyon teknolojileri, operatör güvenliğini artırmada önemli bir rol oynar [15].

- Teknolojik özellikler: Makinenin otomasyon seviyesi, teknolojik yenilikler ve kullanım kolaylığı, proje verimliliğini artıran önemli faktörlerdir. Otonom makineler, insan müdahalesi olmadan çalışabilme yeteneği ile özellikle tehlikeli ortamlarda büyük avantajlar sunar. Ayrıca, kullanıcı dostu arayüzler ve gelişmiş sensörler, operatörlerin iş yükünü azaltır [14].

5. AHP yöntemi

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), çok kriterli karar verme süreçlerinde kullanılan bir yöntemdir. AHP, karar verme sürecinde kriterlerin önem derecelerini belirlemek ve alternatifleri değerlendirmek için kullanılır. Bu yöntem, kriterlerin ikili karşılaştırmalarına dayanır ve tutarlılık indeksi ile tutarlılık oranı hesaplamaları yapılarak sonuçların güvenilirliği sağlanır [1]. AHP, iş makineleri seçimi gibi karmaşık karar süreçlerinde etkili bir şekilde uygulanır.

AHP yönteminin temel adımları şunlardır:

- Hiyerarşi Yapısının Oluşturulması: Karar problemleri hiyerarşik bir yapıda ele alınır. Üst düzeyde amaç, orta düzeyde kriterler ve alt düzeyde alternatifler yer alır.
- İkili Karşılaştırmalar: Kriterler ve alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır. Bu karşılaştırmalar, karar vericinin tercihlerine dayanır (Tablo 1).

Tablo 1. Kriterler için İkili Karşılaştırmalar Matrisi Oluşturulması

	Kriter 1	**Kriter 2**	**Kriterler…**	**Kriter j**
Kriter 1	W_1/W_1	W_1/W_2	……	W_1/W_j
Kriter 2	W_2/W_1	W_2/W_2	……	W_2/W_j
Kriterler…	……	……	……	……
Kriter i	W_i/W_1	W_i/W_2	……	W_i/W_j

- Ağırlıklandırma: İkili karşılaştırmalar sonucunda kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıkları Denklem 1 ile belirlenir.

$$W_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}} \quad (1)$$

- Tutarlılık Analizi: Denklem 2,3,4 ile karar vericinin tutarlılığı, tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranı hesaplanarak değerlendirilir.

$$CR\ (Karşılaştırma\ Matrisinin\ Tutarlılığı) = \frac{CI\ (Tutarlılık\ Göstergesi)}{RI\ (Rassallık\ Göstergesi)} \quad (2)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (3)$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{(AW)_i}{W_i} \quad (4)$$

- Sonuçların Değerlendirilmesi: Ağırlıklandırma sonuçlarına göre en uygun alternatif belirlenir.

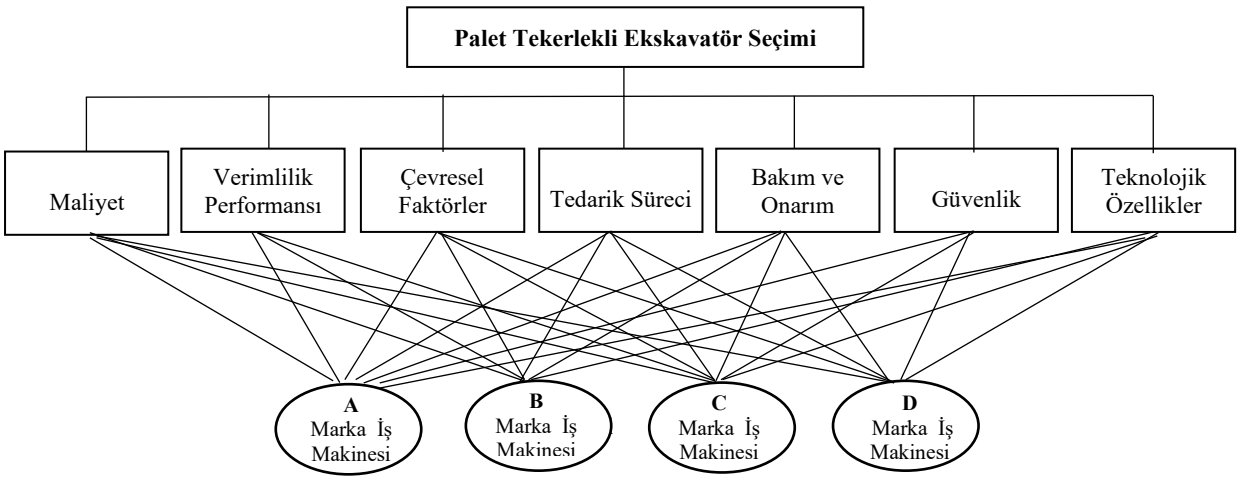
AHP yöntemi, özellikle inşaat sektöründe makine seçimi gibi karmaşık karar problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin, Marzouk ve Moselhi [7], AHP yönteminin makine seçiminde nasıl uygulanabileceğini detaylı bir şekilde açıklamıştır. Benzer şekilde, Shapira ve Goldenberg [9], AHP'nin iş makinesi seçim sürecindeki

avantajlarını vurgulamış ve bu yöntemin proje yöneticilerine daha objektif kararlar verme imkanı sunduğunu belirtmiştir.

6. Uygulama

Bu çalışmada, otoyol projelerinde palet tekerlekli ekskavatör seçimine yönelik uygulama örneği sunulmuştur. Literatürden de faydalanılarak, paletli ekskavatör seçim kriterleri oluşturulmuştur. Dört farklı markaya ilişkin paletli ekskavatörler için belirlenen kriterlere göre AHP yöntemi kullanılarak tercih sıralaması yapılmıştır. Kriterler ve iş makinesi alternatifleri arasındaki ikili karşılaştırmalar yapılmış ve AHP yöntemi ile iş makinelerinin ağırlıklandırılması sağlanmıştır. İlk aşamada yöntemin hiyerarşik yapısı ve standart karar matrisinin oluşturulmuştur. Sonrasına ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmuş ve tutarlılık analizleri yapılmıştır.

İş makinesi seçimlerinde çalışma kapsamında belirlenen kriterler; maliyet, verimlilik performansı, çevresel faktörler, tedarik süreci, bakım ve onarım, güvenlik ve teknolojik özellikler olarak literatürden oluşturulmuştur. Bu kriterler dikkate alınarak iş makinesi seçimine ilişkin hiyerarşik model Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. İş makinesi seçiminin hiyerarşik yapısı.

İş makinesi seçimine ilişkin hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra kriterler birbirleriyle karşılaştırılır ve ağırlıkları belirlenir. Sonrasında ise ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmaktadır. Karşılaştırmalar yapılırken Saaty'nin önem ölçeği tablosu kullanılmıştır (Tablo 2). Alanında uzman bir karar verici; her bir kriteri önem derecesine göre 1-9 arasında (1 önemli değil – 9 son derece önemli) değerlendirmiştir.

Tablo 2. Saaty'nin önem ölçeği [18].

Önem ölçeği	Tanım
1	Eşit derecede önemli
3	Orta derecede önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Kesin önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için, 7 kritere ilişkin karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur (Tablo 3). Kriterlerin normalize değerlerini elde etmek için oluşturulan karşılaştırma matrisindeki her sütunun değeri, bulunduğu sütun toplam değerine bölünür. Normalleştirilmiş kriterler matrisindeki tüm sütunların toplam değeri 1 olmalıdır. Bu şekilde kriterlerin ağırlığı hesaplanmış olunur (Tablo 4). Oluşturulan matrisin tutarlılığını belirlemek için tutarlılık analizi yapılmıştır. Tutarlılık Oranı (CR), Tutarlılık Göstergesi (CI) değerinin Rastgele Tutarlılık İndeksi (RI) değerine bölünmesiyle elde edilir. Elde edilen Tutarlılık Oranı (CI) 0.10'dan küçük ise oluşturulan matris tutarlıdır [19].

Tablo 3. Kriterlerinin karşılaştırma matrisleri.

Kriterler	**Karşılaştırma matrisi**						
	Maliyet	Verimlilik Performansı	Çevresel Faktörler	Tedarik Süreci	Bakım ve Onarım	Güvenlik	Teknolojik Özellikler
Maliyet	1,00	2,00	7,00	3,00	4,00	6,00	5,00
Verimlilik Performansı	0,50	1,00	6,00	2,00	3,00	5,00	4,00
Çevresel Faktörler	0,14	0,17	1,00	0,20	0,25	0,50	0,33
Tedarik Süreci	0,33	0,50	5,00	1,00	2,00	4,00	3,00
Bakım ve Onarım	0,25	0,33	4,00	0,50	1,00	3,00	2,00
Güvenlik	0,17	0,20	2,00	0,25	0,33	1,00	0,50
Teknolojik Özellikler	0,20	0,25	3,00	0,33	0,50	2,00	1,00
TOPLAM	2,59	4,45	28,00	7,28	11,08	21,50	15,83

Tablo 4. Kriterlerinin normalize değerleri ve ağırlıkları.

Kriterler	**Normalize edilmiş değerler**							**Tutarlılık Hesabı**		
	Maliyet	Verimlilik Performansı	Çevresel Faktörler	Tedarik Süreci	Bakım ve Onarım	Güvenlik	Teknolojik Özellikler	W	AxW	AxW/W
Maliyet	0,39	0,45	0,25	0,41	0,36	0,28	0,32	0,35	2,572	7,341
Verimlilik Performansı	0,19	0,22	0,21	0,27	0,27	0,23	0,25	0,24	1,747	7,359
Çevresel Faktörler	0,06	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,226	7,105
Tedarik Süreci	0,13	0,11	0,18	0,14	0,18	0,19	0,19	0,16	1,158	7,286
Bakım ve Onarım	0,10	0,07	0,14	0,07	0,09	0,14	0,13	0,11	0,757	7,169
Güvenlik	0,06	0,04	0,07	0,03	0,03	0,05	0,03	0,05	0,325	7,049
Teknolojik Özellikler	0,08	0,06	0,11	0,05	0,05	0,09	0,06	0,07	0,493	7,073
TOPLAM	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ORT.	7,197
									CI	0,033
									CR	0,025

< 0,10 tutarlıdır.

Bundan sonraki süreçte her bir değerlendirme kriterine göre iş makinesi alternatiflerinin, birbirlerine göre karşılaştırmalı matrislerini oluşturulmuştur. Bu karşılaştırma matrislerinin normalizasyonu yapılarak her bir değerlendirme kriterine ilişkin seçeneklerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Her bir karşılaştırma matrisinin normalize edilmiş ağırlıkları hesaplanmış ve tutarlılıkları kontrol edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Her bir kritere göre iş makinelerinin karşılaştırılması.

Maliyet	Karşılaştırma matrisi				Normalize edilmiş değerler				Tutarlılık Hesabı			
	A	B	C	D	A	B	C	D				
	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	W	AxW	AxW/W	
A İş Makinesi	1	4	1/2	3	0,28	0,31	0,27	0,32	0,29	1,19	4,05	
B İş Makinesi	1/4	1	1/6	1/2	0,07	0,08	0,09	0,05	0,07	0,29	4,01	
C İş Makinesi	2	6	1	5	0,56	0,46	0,54	0,53	0,52	2,11	4,06	
D İş Makinesi	1/3	2	1/5	1	0,09	0,15	0,11	0,11	0,11	0,46	4,01	
	3,58	13,00	1,87	9,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ORT.	4,034	
										CI	0,011	
										CR	0,013	< 0,10 tutarlıdır.

Verimlilik Performansı	Karşılaştırma matrisi				Normalize edilmiş değerler				Tutarlılık Hesabı			
	A	B	C	D	A	B	C	D				
	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	W	AxW	AxW/W	
A İş Makinesi	1	5	2	4	0,51	0,36	0,57	0,48	0,48	2,00	4,18	
B İş Makinesi	1/5	1	1/5	1/3	0,10	0,07	0,06	0,04	0,07	0,27	4,03	
C İş Makinesi	1/2	5	1	3	0,26	0,36	0,28	0,36	0,31	1,31	4,17	
D İş Makinesi	1/4	3	1/3	1	0,13	0,21	0,09	0,12	0,14	0,57	4,07	
	1,95	14,00	3,53	8,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ORT.	4,112	
										CI	0,037	
										CR	0,042	< 0,10 tutarlıdır.

Çevresel Faktörler	Karşılaştırma matrisi				Normalize edilmiş değerler				Tutarlılık Hesabı			
	A	B	C	D	A	B	C	D				
	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	W	AxW	AxW/W	
A İş Makinesi	1	2	1/3	1/2	0,15	0,20	0,16	0,13	0,16	0,65	4,02	
B İş Makinesi	1/2	1	1/4	1/3	0,08	0,10	0,12	0,09	0,10	0,39	4,02	
C İş Makinesi	3	4	1	2	0,46	0,40	0,48	0,52	0,47	1,89	4,05	
D İş Makinesi	2	3	1/2	1	0,31	0,30	0,24	0,26	0,28	1,12	4,04	
	6,50	10,00	2,08	3,83	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ORT.	4,031	
										CI	0,010	
										CR	0,011	< 0,10 tutarlıdır.

Tedarik Süreci	Karşılaştırma matrisi				Normalize edilmiş değerler				Tutarlılık Hesabı			
	A	B	C	D	A	B	C	D				
	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	W	AxW	AxW/W	
A İş Makinesi	1	1/4	2	1/2	0,13	0,14	0,18	0,10	0,14	0,56	4,02	
B İş Makinesi	4	1	5	3	0,53	0,56	0,45	0,62	0,54	2,22	4,10	
C İş Makinesi	1/2	1/5	1	1/3	0,07	0,11	0,09	0,07	0,08	0,34	4,02	
D İş Makinesi	2	1/3	3	1	0,27	0,19	0,27	0,21	0,23	0,95	4,06	
	7,50	1,78	11,00	4,83	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ORT.	4,051	
										CI	0,017	
										CR	0,019	< 0,10 tutarlıdır.

Bakım ve Onarım	Karşılaştırma matrisi				Normalize edilmiş değerler				Tutarlılık Hesabı			
	A	B	C	D	A	B	C	D				
	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	W	AxW	AxW/W	
A İş Makinesi	1	1/3	1/2	1/6	0,08	0,07	0,06	0,10	0,08	0,31	4,07	
B İş Makinesi	3	1	3	1/3	0,25	0,21	0,35	0,19	0,25	1,04	4,13	
C İş Makinesi	2	1/3	1	1/4	0,17	0,07	0,12	0,14	0,12	0,50	4,01	
D İş Makinesi	6	3	4	1	0,50	0,64	0,47	0,57	0,55	2,26	4,14	
	12,00	4,67	8,50	1,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ORT.	4,088	
										CI	0,029	
										CR	0,033	< 0,10 tutarlıdır.

Güvenlik	Karşılaştırma matrisi				Normalize edilmiş değerler				Tutarlılık Hesabı			
	A	B	C	D	A	B	C	D				
	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	W	AxW	AxW/W	
A İş Makinesi	1	5	1/4	3	0,18	0,29	0,16	0,29	0,23	0,97	4,20	
B İş Makinesi	1/5	1	1/8	1/3	0,04	0,06	0,08	0,03	0,05	0,21	4,05	
C İş Makinesi	4	8	1	6	0,72	0,47	0,65	0,58	0,61	2,61	4,31	
D İş Makinesi	1/3	3	1/6	1	0,06	0,18	0,11	0,10	0,11	0,44	4,03	
	5,53	17,00	1,54	10,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ORT.	4,149	
										CI	0,050	
										CR	0,055	< 0,10 tutarlıdır.

Teknolojik Özellikler	Karşılaştırma matrisi				Normalize edilmiş değerler				Tutarlılık Hesabı			
	A	B	C	D	A	B	C	D				
	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	İş Makinesi	W	AxW	AxW/W	
A İş Makinesi	1	3	1/2	2	0,26	0,27	0,24	0,32	0,27	1,13	4,13	
B İş Makinesi	1/3	1	1/4	1/3	0,09	0,09	0,12	0,05	0,09	0,35	4,03	
C İş Makinesi	2	4	1	3	0,52	0,36	0,48	0,47	0,46	1,90	4,12	
D İş Makinesi	1/2	3	1/3	1	0,13	0,27	0,16	0,16	0,18	0,73	4,06	
	3,83	11,00	2,08	6,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ORT.	4,088	
										CI	0,029	
										CR	0,033	< 0,10 tutarlıdır.

Son şamada ikili karşılaştırmalardan oluşturulan matris ile kriterlerin ağrılıkları çarpılarak iş makinelerinin önem düzeyleri elde edilmiştir (Tablo 6). Analiz sonucunda, en yüksek değer alandan başlanmak üzere önem düzeylerine göre iş makineleri sıralanmıştır (Tablo 7).

Tablo 6. İş makinelerinin önem seviyeleri.

SEÇENEKLER	Maliyet	Verimlilik Performansı	Çevresel Faktörler	Tedarik Süreci	Bakım ve Onarım	Güvenlik	Teknolojik Özellikler	AĞIRLIKLAR	Seçeneklerin Önem Seviyeleri
A İş Makinesi	0,29	0,48	0,16	0,14	0,08	0,23	0,27	0,35	0,281
B İş Makinesi	0,07	0,07	0,10	0,54	0,25	0,05	0,09	0,24	0,166
C İş Makinesi	0,52	0,31	0,47	0,08	0,12	0,61	0,46	0,03	0,358
D İş Makinesi	0,11	0,14	0,28	0,23	0,55	0,11	0,18	0,16	0,194
TOPLAM	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,11	
								0,05	
								0,07	

Tablo 7. İş makinelerinin tercih sıralaması.

SEÇENEKLER	Seçeneklerin Tercih Düzeyleri	Seçeneklerin Sıralaması	Sıralama	SEÇENEKLER
A İş Makinesi	0,281	2	1	C İş Makinesi
B İş Makinesi	0,166	4	2	A İş Makinesi
C İş Makinesi	0,358	1	3	D İş Makinesi
D İş Makinesi	0,194	3	4	B İş Makinesi

7. Sonuçlar

AHP yöntemi, karar alma ve seçim yapma süreçlerinde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada AHP ile iş makinesi seçimi gerçekleştirilerek, farklı kriterler gözetilerek, seçenekler arasından bir sıralama yapılmıştır. AHP; kriterlerin ağırlıklarına ve seçeneklerin kriterlere göre ayrı ayrı değerlendirilmesine dayanan çok ölçütlü bir yöntem olup, birçok karar verme süreçlerine kolaylıkla uygulanabilmekte, proje yöneticilerine daha objektif ve sistematik bir karar verme süreci sunmaktadır.

Araştırmada ekskavatör seçimi için 7 değerlendirme kriteri ve 4 farklı seçenek kullanılmıştır. Kriterlerin ağırlıkları yapılan karşılaştırma matrisi ile elde edilmiştir. Her bir kriter için seçeneklerin karşılaştırma matrisleri yapılmış ve kriterlerin ağırlık matrisi ile seçenekler matrisi çarpılarak, seçeneklerin tercih ağırlıkları belirlenmiştir. Tercih ağırlıkları sıralandığında birinci sırada C ekskavatörü en iyi seçenek olmuştur. Sırasıyla A ekskavatörü ikinci, D ekskavatörü üçüncü sırada yer alırken B ekskavatörü son sıradadır. Sonuçlar incelendiğinde sıralamadaki belirleyici faktörün; maliyet ve verimlilik performans kriterlerine ilişkin ağırlık değerleri olduğu görülmektedir. Bu iki kritere göre yapılan seçenekler arası karşılaştırma matrisinde de C ve A ekskavatörleri diğer seçeneklere göre daha yüksek puanlanmıştır. Ağırlık matrisi ile seçenekler matrisinin çarpılması ile en iyi seçeneğin C ekskavatörü olduğu sonucuna varılmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda farklı analiz teklikler ile değerlendirmeler yapılarak, analitik temellere dayanan rasyonel kararlar verilebilir.

Kaynaklar

[1] Saaty, T. L., **The Analytic Hierarchy Process**. New York, NY, USA: McGraw-Hill, (1980).

[2] Harris, F., ve McCaffer, R., **Modern Construction Management**, Chichester, UK: John Wiley & Sons, (2013).

[3] Bock, T., & Linner, T., Robot-oriented design: **Design and Management Tools for the Deployment of Automation and Robotics in Construction**, Cambridge, UK: Cambridge University Press, (2016).

[4] Wang, L., Zhang, J. ve Liu, Y., Artificial intelligence in construction equipment selection: A review, Advanced Engineering Informatics, 38, 676-688, (2018).

[5] Zhang, Y., Wang, H. ve Liu, Z., Environmental impact assessment of construction equipment: A life cycle approach. Journal of Cleaner Production, 258, 120725, (2020).

[6] Al-Hussein, M., Alshibani, A. ve Alkass, S., A model for selecting construction equipment using genetic algorithms, Construction Innovation, 5(2), 73-86, (2005).

[7] Marzouk, M. ve Moselhi, O., A decision support tool for equipment selection in construction projects, Journal of Construction Engineering and Management, 129(5), 528-535, (2003).

[8] Jarkas, A. M. ve Bitar, C. G., Factors affecting construction labor productivity in Kuwait, Journal of Construction Engineering and Management, 138(7), 811-820, (2012).

[9] Shapira, A. ve Goldenberg, M. AHP-based equipment selection model for construction projects, Journal of Construction Engineering and Management, 131(7), 803-811, (2005).

[10] Elbeltagi, E., Hegazy, T. ve Grierson, D., Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms, Advanced Engineering Informatics, 19(1), 43-53, (2005).

[11] Liu, Z., Chen, H. ve Zhang, Y., Sustainable construction equipment selection: A multi-criteria decision-making approach, Sustainable Cities and Society, 72, (2021).

[12] Li, X., Wang, Y. ve Zhang, Q., IoT-based equipment monitoring in construction: A case study, Journal of Building Engineering, 65, (2023).

[13] Smith, J. ve Johnson, R., Heavy equipment in construction: Types and applications, Construction Management and Economics, 38(5), 456-468, (2020).

[14] Wang, Y., Zhang, X. ve Liu, H., Autonomous construction equipment: Current trends and future directions, Automation in Construction, 125, 103-115, (2021).

[15] Zhang, Y. ve Liu, H., Cost and performance analysis of construction equipment in large-scale projects, Journal of Construction Engineering and Management, 146(8), 04020085, (2020).

[16] Green, T. ve Brown, L., Sustainable construction equipment: A review of electric and hybrid machinery, Journal of Cleaner Production, 215, 1-12, (2019).

[17] Taylor, M. ve Lee, K., The impact of construction machinery on project management efficiency, International Journal of Project Management, 40(3), 234-245, (2022).

[18] Eren, T., Abalı, Y. A. ve Kutlu, B. S., Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile bursiyer seçimi: bir eğitim kurumunda uygulama, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 26(3-4), 259-272, (2012).

[19] Şengül, Ü., Eren, M. ve Eslamıan Shıraz, S., Bulanık AHP ile belediyelerin toplu taşıma araç seçimi, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi(40), 143-165, (2015).