



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLERİN
ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (AHP), TOPSIS VE ELECTRE
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
KULLANILARAK KIYASLANMASI**

GÖKALP KARAÇAM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. RIFAT AKBIYIKLI**

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLERİN
ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (AHP), TOPSIS VE ELECTRE
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
KULLANILARAK KIYASLANMASI

Gökalp KARAÇAM tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Rıfat AKBIYIKLI

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Rıfat AKBIYIKLI

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Latif Onur UĞUR

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Osman AYTEKİN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 26/01/2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

26 Ocak 2022

Gökalp KARAÇAM

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Rıfat AKBIYIKLI'ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

26 Ocak 2022

Gökalp KARAÇAM



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2. MATERYAL VE YÖNTEM	6
2.1. KARAR VERME KAVRAMI	6
2.2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ.....	6
2.2.1. AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi)	9
2.2.1.1. AHP Yöntemi ile Problemleri Çözerken İncelenecek Adımlar	9
2.2.2. TOPSIS.....	12
2.2.2.1. TOPSIS Yöntemi ile Problemleri Çözerken İncelenecek Adımlar	12
2.2.3. ELECTRE.....	14
2.2.3.1. ELECTRE Yöntemi ile Problemleri Çözerken İncelenecek Adımlar	14
3. ENDÜSTRİYEL YAPILAR	17
3.1. ENDÜSTRİYEL YAPILARDA MALİYET KONUSU	18
3.2. BETONARME SİSTEMLİ ENDÜSTRİYEL YAPILAR	18
3.3. PREFABRİKE SİSTEMLİ ENDÜSTRİYEL YAPILAR	20
3.4. ÇELİK SİSTEMLİ ENDÜSTRİYEL YAPILAR.....	21
4. ENDÜSTRİYEL YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM SEÇİM KRİTERLERİ	23
4.1. SEÇİM KRİTERLERİ.....	23
4.1.1. Süre ve Maliyet ile İlgili Kriterler	24
4.1.1.1. Birim Maliyet	24
4.1.1.2. Projelendirme Süresi.....	25
4.1.1.3. Yapım Süresi	25
4.1.2. Taşıyıcı Eleman Kısıtları ile İlgili Kriterler.....	25
4.1.2.1. Malzeme ve işçilik zorluğu	25
4.1.2.2. Sürdürülebilirlik.....	25
4.1.2.3. Yangına dayanıklılık	26
4.1.2.4. Kat yüksekliği ve aks aralığı esnekliği	26
4.1.2.5. Net Alan	26
4.1.2.6. Risk ve iş güvenliği.....	26
4.1.3. Şehir Yapısı ile İlgili Kriterler	27
4.1.3.1. Demografik yapı.....	27
4.1.3.2. İnşaat malzemelerine uzaklık	27
4.1.3.3. Kalifiye eleman bulma zorluğu	27

4.2. TAŞIYICI SİSTEM ALTERNATİFLERİ	28
4.2.1. Yerinde Döküm Betonarme Sistem Alternatifi	28
4.2.2. Prefabrike Betonarme Sistem Alternatifi	28
4.2.3. Çelik Sistem Alternatifi	29
5. UYGULAMA	30
5.1. AHP YÖNTEMİNİN UYGULANMASI.....	30
5.2. TOPSIS YÖNTEMİNİN UYGULANMASI.....	44
5.3. ELECTRE YÖNTEMİNİN UYGULANMASI	47
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	54
7. KAYNAKLAR	56
8. EKLER	59
8.1. EK 1: TOPSIS YÖNTEMİ ÇÖZÜM AŞAMALARI	59
8.2. EK 2: ELECTRE YÖNTEMİ ÇÖZÜM AŞAMALARI.....	67
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Basit hiyerarşi modeli.....	10
Şekil 3.1. Örnek yerinde döküm betonarme sistem kolon imalatı [36].	19
Şekil 3.2. Örnek prefabrike kolon imalatı.....	20
Şekil 3.3. Örnek çelik yapısal sistemli tesis [39].	22
Şekil 4.1. Endüstriyel yapı seçiminde kullanılan kriterler.	24
Şekil 5.1. Ana kriterler önem ağırlığı grafiği.....	33
Şekil 5.2. Süre ve maliyet alt kriterleri önem ağırlığı grafiği.	34
Şekil 5.3. Taşıyıcı eleman kısıtları alt kriterleri önem ağırlığı grafiği.	35
Şekil 5.4. Şehir yapısı ana kriterine bağlı alt kriterlerin önem ağırlığı grafiği.	36
Şekil 5.5. Kriterler önem ağırlıkları genel durumu.....	43



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Karşılaştırma Ölçeği [22].	10
Çizelge 2.2. Rassallık Göstergeleri [23].	11
Çizelge 5.1. Ana kriterler karşılaştırma matrisi.	30
Çizelge 5.2. Ana kriterler normalize karar matrisi.	31
Çizelge 5.3. Ana kriterler ikili karşılaştırma.	32
Çizelge 5.4. Süre ve maliyet alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması.	33
Çizelge 5.5. Taşıyıcı elemanlar ana kriterine bağlı alt kriterler karşılaştırılması.	34
Çizelge 5.6. Şehir yapısı ana kriterine bağlı alt kriterler karşılaştırılması.	35
Çizelge 5.7. Birim maliyet alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.	37
Çizelge 5.8. Projelendirme süresi alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.	37
Çizelge 5.9. Yapım süresi alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.	38
Çizelge 5.10. Malzeme ve işçilik zorluğu alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.	38
Çizelge 5.11. Sürdürülebilirlik alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.	39
Çizelge 5.12. Yangına dayanıklılık alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.	39
Çizelge 5.13. Kat yüksekliği ve aks aralığı esnekliği alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.	40
Çizelge 5.14. Net alan alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.	40
Çizelge 5.15. Risk ve iş güvenliği alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.	41
Çizelge 5.16. Demografik yapı alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.	41
Çizelge 5.17. İnşaat malzemelerine uzaklık alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.	42
Çizelge 5.18. Kalifiye eleman bulma zorluğu.	42
Çizelge 5.19. Önem ağırlık değerleri ve alternatiflerin sıralanması.	44
Çizelge 5.20. TOPSIS pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri kıyası.	45
Çizelge 5.21. TOPSIS ideal çözüme göreceli uzaklık değerleri.	46
Çizelge 5.22. TOPSIS yöntemi sonuç sıralaması.	46
Çizelge 5.23. Uyum ve uyumsuzluk seti hesaplama.	48
Çizelge 5.24. ELECTRE uyum ve uyumsuzluk seti.	48
Çizelge 5.25. ELECTRE uyum matrisi.	49
Çizelge 5.26. ELECTRE uyumsuzluk matrisi.	50
Çizelge 5.27. ELECTRE uyum üstünlük matrisi.	51
Çizelge 5.28. ELECTRE uyumsuzluk üstünlük matrisi.	51
Çizelge 5.29. ELECTRE C_p değerleri.	52
Çizelge 5.30. ELECTRE D_p değerleri.	52
Çizelge 5.31. Toplam üstünlük matrisi(E).	53
Çizelge 5.32. Endüstriyel yapılarda alternatiflerin nihai sıralamaları.	53
Çizelge 8.1. TOPSIS Karar matrisi.	60
Çizelge 8.2. TOPSIS normalize karar matrisi.	61
Çizelge 8.3. TOPSIS ağırlıklı normalize karar matrisi.	62
Çizelge 8.4. TOPSIS pozitif ideal çözüme uzaklık hesabı.	63
Çizelge 8.4. TOPSIS pozitif ideal çözüme uzaklık hesabı (devam).	64
Çizelge 8.5. TOPSIS negatif ideal çözüme uzaklık hesabı.	65
Çizelge 8.5. TOPSIS negatif ideal çözüme uzaklık hesabı (devam).	66
Çizelge 8.6. ELECTRE I karar matrisi.	68
Çizelge 8.7. ELECTRE I normalize karar matrisi.	69
Çizelge 8.8. ELECTRE I ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi.	70

Çizelge 8.9. ELECTRE uyumsuzluk seti kümesi.	71
Çizelge 8.9. ELECTRE uyumsuzluk seti kümesi (devam).....	72



KISALTMALAR

AHP	Analitik Hiyerarşı Prosesi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ELECTRE	Elimination and Choice Translating Reality
MS Excel	Microsoft Excel
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution



SİMGELER

a_{ij}	Karşılaştırma matrisi elemanları
A_1	Birinci alternatif
A_n	N. alternatif
A	Karar matrisi
A^+	Pozitif ideal çözüme uzaklık değeri
A^-	Negatif ideal çözüme uzaklık değeri
C	Uyum matrisi
C_p	Uyum matrisleri ortalama değer
$\underline{c}$	Uyum eşik değeri
C_i^*	İdeal çözüme göreceli uzaklık
CI	Tutarlılık indeksi
CR	Tutarlılık oranı
D	Uyum matrisi
$\underline{d}$	Uyumsuzluk eşik değeri
D_p	Uyumsuzluk matrisleri ortalama değer
E	Toplam üstünlük matrisi
F	Uyum üstünlük matrisi
G	Uyumsuzluk üstünlük matrisi
K	Karar matrisi
RI	Rassalık göstergesi
R_{ij}	Normalize karar matrisi
S_i^+	İdeal çözüme uzaklık değeri
S_i^-	Negatif ideal çözüme uzaklık değeri
V_{ij}	Ağırlıklı normalize karar matrisi
w_i	Önem ağırlık değerleri
X_{ij}	Normalize karar matrisi
Y_{ij}	Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi
λ_{max}	En büyük özvektör

ÖZET

ENDÜSTRİYEL YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLERİN ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (AHP), TOPSIS VE ELECTRE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ KULLANILARAK KIYASLANMASI

Gökalp KARAÇAM

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Rıfat AKBIYIKLI

Ocak 2022, 72 sayfa

Ülkeler, ekonomisini geliştirmek ve istihdam sağlamak amacıyla endüstriye çok önem vermektedir. Bu sebeple ülkemizde tüm şehirlerde kurulan ve kurulmaya devam edilen organize sanayi bölgeleri bulunmaktadır. Organize sanayi bölgelerinde yatırım yapacak kişinin endüstriyel yapının taşıyıcı sistemi konusunda seçim yapması gerekmektedir. Yapılacak seçimin birçok kriterden oluştuğu için karar verici yöneticinin seçimi zorlaşmaktadır. Seçim problemlerini kolaylaştırmak amacıyla çok kriterli karar verme teknikleri ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada sırasıyla AHP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri kullanılmıştır. Endüstriyel yapıların yapısal sisteminin üç alternatif arasında seçimi ele alınmıştır. Yapılan analizlerde üç adet ana kriter ve ana kriterlere bağlı olan on iki alt kriter kullanılmıştır. Kullanılan tüm kriterler ve alternatifler uzman görüşleri ve müteahhit firmaların görüşleri alınarak oluşturulmuştur. Seçim probleminde süre ve maliyet, taşıyıcı sistem kısıtları ve şehir yapısı ana kriterleri kullanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarında birinci sırayı kullanan üç yöntemde de aynı alternatif almıştır. AHP ve TOPSIS yöntemlerinin sıralama sonuçları aynı çıkmıştır. ELECTRE yönteminde, diğer yöntemlerde göre ikinci ve üçüncü alternatif sıralaması değişmiştir. Günümüzde tüm sektörlerde kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinin, endüstriyel yapılarda taşıyıcı sistem kıyaslaması yapma probleminde de kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Anahtar sözcükler: AHP, Çok kriterli karar verme teknikleri, ELECTRE, Taşıyıcı sistem seçimi, TOPSIS.

ABSTRACT

COMPARISON OF STRUCTURAL SYSTEMS IN INDUSTRIAL BUILDING USING AHP, TOPSIS AND ELECTRE MULTI CRITERIA DECISION MAKING METHODS

Gökalp KARAÇAM

Düzce University

Institute of Graduate Studies, Department of Civil Engineering.

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Rıfat AKBIYIKLI

January 2022, 72 pages

Countries, attach great importance to the industry in order to develop their economy and provide employment. For this reason, there are organized industrial zones established and continuing to be established in all cities in our country. The person who will invest in the organized industrial zones should make a choice about the structural system of the industrial structure. Since the selection to be made consists of many criteria, the selection of the decision maker manager becomes difficult. Multi criteria decision making techniques have emerged to facilitate selection problems. In this study, respectively were used AHP, TOPSIS and ELECTRE methods. The choice of the structural system of industrial buildings among three alternatives is discussed. Three main criteria and twelve sub criteria related to the main criteria were used in the analysis. All criteria and alternatives used have been created by taking the opinions of experts and contractors. Duration and cost, structural system constraints and city setup main criteria were used in the selection problem. In the result of the analysis obtained, the first row took the same alternatives in all three methods. The ranking results of AHP and TOPSIS methods were the same. In the ELECTRE method, the second and third alternative order has changed compared to other methods. Today, it is understood that multi criteria decision making techniques used in all sectors can also be used in the problem of making structural system comparisons in industrial structures.

Keywords: AHP, ELECTRE, Multi-criteria decision making methods, Structural system selection, TOPSIS.

1. GİRİŞ

Günümüzde tüm sektörlerde görev yapan karar verici yöneticilerin alternatifler arasında seçim yapılması istenmektedir. Yöneticiler seçim yaparken etkileneceği birçok durum mevcuttur. Bu sebeple doğru alternatifi seçmekte güçlükler ve büyük zaman kaybı yaşanmaktadır. Yaşanan güçlüklerin önüne geçilmesi ve alternatifler arasından seçim yapılma aşamasında artık yaygınca çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri kullanılmaktadır. ÇKKV teknikleri ile güç seçimleri yaparken kullanılacak tekniğin doğruluğu sayesinde en doğru seçeneği bulma konusunda oldukça güvenilir olduğu bu zamana kadar yapılan çalışmalarda görülmüştür.

Bu çalışmada, endüstriyel yapılarda yapısal sistemin hangi kriterlere bağlı olduğu ve bu kriterler arasında önem ağırlıkları elde edilerek seçim yapılmıştır. Literatür çalışması yapılarak ÇKKV teknikleri ile yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmada Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) ve Elimination and Choice Translating Reality (ELECTRE) yöntemleri kullanılarak endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi işlemi anlatılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler uzman görüşleri alınarak elde edilmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde ÇKKV teknikleri ve uygulamada kullanılacak yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümünde, endüstriyel yapıların ülkemiz için ne kadar önemli yere sahip olduğu ve endüstriyel yapılarda kullanılan yapısal sistemlerin açıklamaları yapılmıştır.

Dördüncü bölümde endüstriyel yapılarda yapısal sisteminde kullanılan alternatifler arasında seçim yapmak için kullanılan kriterler ve kriterlerin açıklamaları yapılmıştır. Beşinci bölümde ise uzman görüşleri ile belirlenen ana kriterler, alt kriterler ve alternatiflerin ikili karşılaştırmaları yapılarak önem ağırlıkları hesaplanmış ve tutarlılık kontrolü yapılmıştır. Tutarlılık kontrolü sağlandıktan sonra AHP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri Microsoft Excel (MS Excel) uygulaması kullanılarak alternatiflerin seçim sıralamaları belirlenmiştir.

EK kısmında, uygulama sırasında yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuç tabloları verilmiştir. Altıncı bölümde ise çalışmada hesaplanan veriler ve elde edilen sonuçlar üzerine bilgiler verilmiştir.



1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu bölümünde ÇKKV verme teknikleri ile ilgili makaleler ve daha evvel yapılmış olan tezler üzerinde durulmuştur.

[1]'de ÇKKV tekniklerinden AHP yöntemi kullanılarak finans sektöründe faaliyet yürüten bir firmanın, müfettiş yardımcısı seçimi süreci işlenmiştir.

[2] kaynağında gemi inşaatında kullanılacak ana makine seçiminde yardımcı olabilmesi için ÇKKV tekniklerinden AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerini işlemişlerdir. Çalışmada belirlenen 5 adet ana kriter ve ana kriterlere bağlı olacak şekilde bulunan alt kriterler oluşturulmuştur. Çalışmada AHP ve PROMETHEE yöntemlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

[3] çalışmasında, inşaat sektöründe faaliyetini yürüten bir firma için doğru projenin seçimini belirlemek için ÇKKV tekniklerine başvurulmuştur. Bu doğrultu da proje seçimi yapılırken kaynakların en doğru şekilde kullanılacak projenin seçimi hedeflenmiştir. ÇKKV tekniklerinden Bulanık TOPSIS yöntemi ile çözülen çalışmada, önerilen modelin proje seçimi alternatiflerine uygulandığında doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

[4] çalışmasında, inşaat sektöründe faaliyet gösteren yapı denetim firmalarının seçiminde karşılaşılan sorunları göz önüne alarak ÇKKV teknikleri yardımıyla en uygun yapı denetim firması seçimi yapılmıştır. ÇKKV yöntemlerinden AHP, ELECTREE ve SAW yöntemlerini kullanarak Isparta ilinde inşaat sektöründe faaliyet gösteren yapı denetim firmaları arasından seçim yaparken 7 kriter belirlenmiştir. Firma imajı, kalite, fiyat, güvenilirlik, tanınırlık, daha önce çalışılmış olmak, referanslar olarak belirlenen kriterler yardımıyla en uygun yapı denetim firması seçimi sağlanmıştır.

[5] çalışmasında, Çorum ilinin şehir merkezinde AVM yapılacak yerin ÇKKV yöntemleri kullanılarak en uygun yer tespiti amaçlamıştır. Yer seçimi için 10 kriter ve Çorum ilinin şehir merkezinde 8 adet yer belirlemiştir.

[6] kaynağında, inşaat sektöründe faaliyet gösteren firmaların şantiye sahası incelenerek risk faktörleri tespitini yapmışlardır. Risk faktörleri içinde inşaat imalat prosesini direk etkileyebilen taşeron seçimi üzerinde durulmuştur. Ankara ilinde uygulanacak anahtar teslim resmi kurum binası yapım işinde taşeron firması seçimini işlemişlerdir. Çalışmada TOPSIS yöntemi benimsemişlerdir. Yapılan çalışmada, taşeron seçimindeki en öncelikli

kriterin her zaman en uygun fiyatı veren firma olmadığı görülmektedir. Uygun fiyat kriterin yanında diğer kriterlerinde dikkatli bir şekilde incelenmesi gerektiği görülmektedir.

[7] çalışmasında, bina yıkım ve yeniden yapım maliyetlerini etkileyen faktörlerin bina maliyet oranı açısından önemini araştırmışlardır. Türkiye gibi deprem riski fazla olan ülkelerde, riski yüksek binaların ve eskimiş olan binaların güçlendirme veya yıkım süreçler, hakkında karar verilebilmesi için yapılacak işlemin maliyetinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada 385 inşaat mühendisinin görüşlerini almışlardır. Veri analizi, açıklayıcı faktör analizi ve regresyon analizi yöntemlerini kullanmışlardır. Yapılan çalışmanın sonucunda binanın statığı, önem katsayısı, zemin tipi ve bulunduğu yörenin deprem sınıfı özelliklerinin, inşaat maliyeti üzerinden başka faktörlere göre daha fazla önem taşıdığı belirtilmiştir.

[8] çalışmasında, inşaat sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın satın alınması gerçekleşecek ekskavatörün seçimi üzerinde çalışmıştır. Ana kriterler ve 4 adet alternatif ekskavatör belirleyerek ÇKKV tekniklerinden AHP, TOPSIS, ELECTRE ve PROMETHEE yöntemlerini kullanarak çözüme ulaşmıştır. Kullandığı yöntemlerin hepsinde aynı seçenek birinci öncelik olarak sonuçlanmıştır.

[9] çalışmasında, Antalya ilinde turizm sektöründeki aile işletmelerinin hizmet kalitesini ÇKKV yöntemlerini kullanarak değerlendirmiştir. Hizmet kalitesi kriterlerinin önem ağırlıklarını AHP yöntemi ile bulup daha sonra TOPSIS yöntemi yardımıyla otellerin hizmet kalitelerinin karşılaştırılmasını sağlamıştır. Hizmet kalitesi kriterlerinin içerisinde en yüksek önem ağırlığına sahip olan kriterin güvenilirlik kriteri olduğunu belirtmiştir.

[10] çalışmasında, gerçek bir inşaat projesi üzerinde vaka analizi yapmıştır. Demiryolu sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın projesi için en uygun ray tedarikçisi seçimi problemini çözmüştür. En uygun ray tedarikçisi seçimi yapılırken ÇKKV tekniklerinden AHP, TOPSIS, ELECTRE III ve PROMETHEE yöntemlerini kullanmıştır. Elde edilen veriler ile çözüme ulaşıldığında kullanılan yöntemlerde farklı sonuçlar elde edilmiştir.

[11] çalışmasında, inşaat sektöründe faaliyet gösteren firmaların yatırım yapılacak ülke seçimini ÇKKV yöntemleri kullanarak karşılaştırmıştır. Elde edilen veriler sonucunda firmaların yeni yatırım yapılacak ülke seçimi yaparken en fazla ülkenin rekabetsel çekiciliğine önem verdiğini görmüştür. Bu kriteri kendine özgü kriterleri ve ülkedeki iş yapabilme kolaylığının takip ettiğini görmüştür. Yapılan çalışmada kullanılan ÇKKV

yöntemlerinin birbiri içerisinde fazla farklılık göstermediği görülmüştür.

Araştırılan çalışmaların sonucunda inşaat firmalarının yatırım yaparken hangi yapısal sistemin kendileri için daha avantajlı olması konusunda ÇKKV tekniklerinin yardımı olacağı görülmektedir. Endüstriyel yapılarda taşıyıcı sistemin seçimi yapılırken, ÇKKV tekniklerinde kullanılmak üzere belirlenen ana ve alt kriterler sektörde çalışan firmalar ile iletişim ve daha önce yapılmış çalışmalar sonucunda oluşturulmuştur. ÇKKV teknikleri kullanılarak endüstriyel yapılarda taşıyıcı sistemin seçimi yapılacak ve kullanılan yöntemlerin birbirleri içerisindeki karşılaştırılması da yapılacaktır.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. KARAR VERME KAVRAMI

Yaşayan tüm canlılar, yaşam sürecinde bir şekilde mecburiyetten karar verme durumuna gelebilir. Alacakları kararlar kendisinin veya çevresindeki canlıların hayatlarını, davranışlarını etkiler düzeyde olabilir [12]. Bu sebeple kararların doğruluğu her canlı için büyük önem taşımaktadır. Günümüzde her insanın karşılaştığı karar verme durumunda da bu durum görülmektedir.

Günümüzde karar verici tarafta bulunan yöneticilerde oldukça fazla karar verme sürecine maruz kalmaktadır. Bu karar verme sürecinde alternatifler arasında seçim yaparken uzun vadeli fayda sağlayacak ve en avantajlı alternatifin seçimi amaçlanmaktadır.

Karar verme durumunda yeni bir sorunun varlığı ya da yeni bir olaydan daha fazla fayda amaçlanması ile ortaya çıkabilir. Bu gibi durumlarda aşağıdaki adımlar takip edilir;

- Problemin tanımlanması veya karar gereksinimi hissedilmesi
- Analiz ve alternatiflerin oluşturulması
- Alternatifler arasından seçim yapma
- Kararların uygulanması
- Karar sonuçlarının takip edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi
- Sonuçların sağlanması [3].

2.2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ

Çok kriterli karar verme teknikleri, kriterlerin fazla bulunduğu ve belirlenen kriterlerin birbirileri ile çeliştiği zor kurumlarda karar verici taraftaki kişiye yardım sağlamaktadır. Çok kriterli karar verme süreci, problemi tanımlama ve yapılandırma, model oluşturma ve kullanma adımlarından oluşmaktadır. ÇKKV yöntemi oluştururken öncelikle alternatifler belirlenir, belirlenen alternatifler arasından seçim yapabilmek için kriterler

ve kriterlerin ağırlıkları belirlenir. Belirlenen kriterler değerlendirilerek alternatifler arasından en uygun seçim sağlanır [13].

ÇKKV yöntemleri kullanılırken tutarlılık hesabı yapılır ve bu hesap doğrultusunda elde edilen verilerin tutarlı olup olmadığı görülmektedir. Bu tutarlılık hesabı sayesinde yapılan çalışmanın güvenilirliği konusuna fayda sağlamaktadır.

ÇKKV kullanılarak karar verici tarafta bulunan kişilerin alternatifler arasında seçim yaparken duygu durumundan ve çevre faktörlerinden etkilenmeden sadece matematiksel programlama ile çözüme yaklaşması sayesinde günümüzde yaygın kullanılan problem çözücü yöntemler haline gelmiştir.

Aydın (2008)'e göre çok kriterli karar verme süreci aşamaları şu şekildedir [14]:

1- Amaçların belirlenmesi süreci

- Amaçlar, iyileştirmeyi, geliştirmeyi hedeflenen yönde olmalıdır.
- İyi kararlara, herkesçe anlaşılır amaçlarla ulaşılmalıdır.
- Amaçlar, belli, üzerinde anlaşılmış, gerçekçi, zamana bağlı ve ölçülebilir olmalıdır.
- Farklı zaman dilimleri için farklı amaçlar belirlenmelidir.
- Yakın, orta ve uzun süreçler arasında farklılıklar gözetilmeli, aynı konuda farklı problemler kurulmalıdır.

2- Kriterlerin oluşturulması süreci

- Her kriter kapsayıcı olmalı, kriterlerin düzeyi bilinirse sonuca ne kadar ulaşıldığı da öngörülebilir.
- Her kriter ölçülebilir olmalı, karar vericinin öncelikleri kriterlerin her düzeyi için ölçülebilmelidir.
- Her kriter yeterli olmalı, her kriterin birden fazla tekrar ederek sonucu etkilememesine dikkat edilmelidir.
- Her kriter minimal olmalı, karar problemi, olabildiğince basit şekilde ifade edilmelidir.

3- Alternatiflerin belirlenmesi süreci

- Alternatifler, amaca göre gelişmeye yönelebilir olmalıdır.

- Bazı alternatifler önceden bellidir.
- Elde edilmek istenen amaca ve kriterlere göre yeni alternatifler de belirlenmelidir.

4- Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi süreci

- Her alternatif her kriter üzerinden değerlendirilmelidir.
- Rakamsal olmayan tercihler de rakamsal değerlendirilmeye dönüştürülebilir.
- Bazı yöntemlerde de alternatifler kriterler üzerinden ikili karşılaştırma ile değerlendirilebilir.

5- Genel değerlendirme ve karar süreci

- Alternatiflerin birbirlerine göre ağırlıkları hesaplanır.
- Bir alternatifin toplam puanı, o alternatifin kriterler üzerinden aldığı puanların toplamıdır.
- Analizler sonucunda karar verici değerlendirme yapabilir.

6- Kararın incelenmesi ve geri dönüş süreci

- Karar verici değerlendirilme yaparak gerekli noktalarda değişikliğe gidebilir.
- Duyarlılık analizi özellikle yakın sonuç elde edildiğinde, hangi kriter puan değeri değişikliklerinde sonucun yani seçimin farklılaşacağını gösterir.

ÇKKV, karar verici veya karar vericilerin en az iki kriter kullanılarak yaptığı seçim olarak tanımlanabilir. ÇKKV’de kriterler arasındaki çelişkiler göz önüne alınarak en uygun kararların verilmesi amaçlanır. Her bir kriter sonuca pozitif katkı sağlayacak şekilde alternatifleri değerler ve ÇKKV yöntemleri alternatifleri sonuçlara göre sıralar [15]. Karar vericiler alternatifleri seçmek için kalitatif ve kantitatif değerlere ihtiyaç duyarlar [16].

Literatürde ÇKKV teknikleri olarak bilinen problemlerin çözülmesi için klasik veya bulanık mantık tabanlı birçok yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan birkaçı şunlardır; AHP (Anatilik Hiyerarşi Prosesi), ELECTRE, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), PROMETHEE, AAS (Analitik Ağ Süreci), MUAT, UTA.

2.2.1. AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi)

Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen AHP yöntemi karmaşık karar durumlarında, alternatifler arasında ve kriterlerin ikili kıyaslamaları sonucu kriter değerlerinin belirlenip alternatifler arasında göreceli önem değerleri hesaplanır. Bu hesaplanan değerlerden faydalanarak sıralamalar belirlenir ve en iyi alternatifin seçiminde çok sıklıkla kullanılır.

AHP yönteminin en önemli özelliklerinden biri karar vericinin hem objektif hem de sübjektif düşüncelerini karar sürecine dahil edebilmesidir [17]. AHP yönteminin bu kadar sıklıkla kullanılmasının diğer nedeni, hiyerarşik yapı oluştururken girilen problemlerin oldukça detaylı şekilde incelenip birbirinden ayrıştırılmasıdır. Literatürde AHP yöntemi, en iyi alternatifin seçimi, kaynak dağıtımı, değerlendirme, planlama ve geliştirme, sıralama, karar verme, tahmin etme gibi çeşitli amaçlarda kullanılmıştır [18].

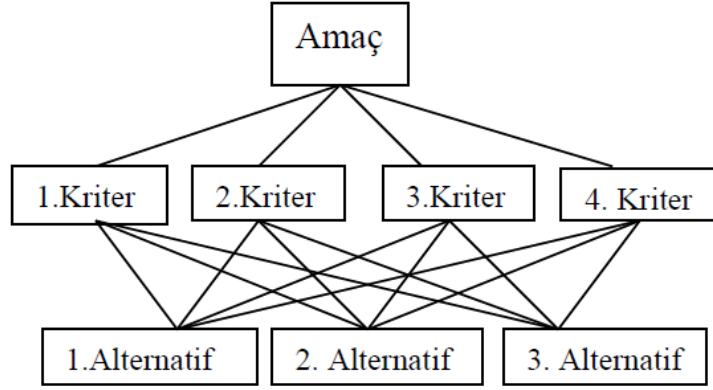
AHP yöntemi üç temel süreci aşağıdaki gibidir [19]:

- Hiyerarşilerin oluşturulması
- Üstünlük değerlerinin belirlenmesi
- Sonuç çıktılarının alınıp nihai değerlerin belirlenmesi

2.2.1.1. AHP Yöntemi ile Problemleri Çözerken İncelenecek Adımlar

1.Adım: İlk olarak karar verme problemi en iyi olacak şekilde tanımlanıp belirlenir.

2.Adım: Belirlenen problem, belirli kriterlerden, alt kaynaklardan ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik yapı oluşturulur. Hiyerarşi oluşturulurken aynı seviyedeki öğelerin birbirinden bağımsız oldukları varsayılır [20]. Şekil 2.1’de görülen üç seviyeli hiyerarşik yapıdır. Bu oluşturulan hiyerarşik yapının en baş noktasında problemi çözmekteki amaç yer almaktadır. Problemin karmaşıklığına göre hiyerarşik yapıya alt kriterlerde eklenebilir. Hiyerarşinin en alt seviyesinde ise alternatifler yer alır [12].



Şekil 2.1. Basit hiyerarşi modeli.

3.Adım: Hiyerarşik yapının belirlenmesinden sonra, tüm elemanların göreceli önemlerinin belirlenmesi için karar vericinin kriterleri ve her kriter altında alternatifleri ikili olarak karşılaştırması istenerek ikili karşılaştırma matrisleri Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi oluşturulur [21].

$$\begin{pmatrix} w_1/w_1 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & \ddots & w_2/w_n \\ w_n/w_1 & \cdots & w_n/w_n \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Karar vericiler, ikili karşılaştırma yaparken Saaty (1990) tarafından oluşturulan 1-9 ölçeğini kullanırlar. Bu karşılaştırma ölçeği Çizelge 2.1’de görüldüğü gibidir.

Çizelge 2.1. Karşılaştırma Ölçeği [22].

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Orta derecede önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ediyor.
5	Kuvvetli derecede önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettiriyor.
7	Çok kuvvetli derecede önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor.
9	Mutlak derecede önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar büyük güvenilirliğe sahip.
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler.

4.Adım: Bu adımda ise ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılıkları kontrol edilir. Öncelikle Eşitlik 2.2 kullanılarak tutarlılık indeksi hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.2)$$

Tutarlılık oranının hesaplanabilmesi için karar alternatiflerinin sayısına karşılık gelen RI değeri tespit edilir. RI değerleri Çizelge 2.2’de görülmektedir. Bu hesaplamalardan sonra, Eşitlik 2.3 yardımıyla tutarlılık oranı hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.3)$$

$CR < 0,10$ eşitliğini sağladığı durumda matrisin doğruluğunun geçerli olduğu anlaşılr. Eğer elde edilen değer 0,10 değerinden düşük olduğu durumda en başta oluşturulan matris tekrar kontrol edilmeli ve oluşturulan matrisin daha tutarlı hale getirilmek için düzenlemeler yapılmalıdır.

Çizelge 2.2. Rassallık Göstergeleri [23].

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

5.Adım: Oluşturulan hiyerarşideki tüm alternatiflerin öncelik vektörleri hesaplanır ve bu hesaptan sonra elde edilen değerlerin birleştirilmesi gerçekleştirilir. Birleştirme aşamasında birleştirilecek öncelik vektörlerin hesaplanabilmesi için, ikili karşılaştırma matrisindeki her satırın toplamı hesaplanır ve elde edilen her toplam, tüm satırların toplamına bölünür, bu işleme normalize denir. Negatif sonuçlar için normalizasyon işleminde yapılan işlemlerin çarpmaya göre tersleri kullanılarak hesaplama tekrarlanır.

6.Adım: İkili karşılaştırmalar sonunda elde edilen öncelik değerleri birleştirilerek alternatiflerin amaca ilişkin öncelikleri elde edilir. Bu işlemten sonra, değerlendirilen kriterlerden öncelik değerleri ile alternatiflerin öncelik değerleri çarpılıp toplanarak birleştirilir. Hesaplanan tüm sonuçlar içinde en yüksek değere sahip olan alternatif, tüm alternatifler arasında en iyisi olduğu belirlenir [24].

2.2.2. TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi 1980 yılında Yoon ve Hwang tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. Yöntemin asıl amacı pozitif ideal çözüme en yakın uzaklık, negatif ideal çözüme en uzak uzaklık en ideal alternatif olduğu belirtilmektedir. Pozitif ideal uzaklıkta kritere sağlanacak faydanın en yüksek, maliyet kıstasının ise en düşük olduğu değerlendirilir. Negatif ideal uzaklıkta ise kritere sağlanacak faydanın en düşük, maliyet kıstasının ise en yüksek olduğu değerlendirilir [25].

TOPSIS yönteminin fazlaca kullanılmasının en önemli ilk sebebi, pozitif ideal çözüme en yakın uzaklık ve negatif ideal çözüme en uzak uzaklığı en uygun sonuç olarak sonuca vardır. Mantıksal verilere dayanmasındandır. En önemli ikinci sebep, yöntemin anlaşılabilir olması ve işlem sıralamasının kolay olmasıdır. Üçüncü sebep ise önem ağırlıklarının hesabında kesin sayılar kullanılması, sıralama değişimi konusunda en önemli yöntem olması ve diğer yöntemlere kıyaslandığında çok fazla pozitif özelliklere sahip olmasıdır [26].

2.2.2.1. TOPSIS Yöntemi ile Problemleri Çözerken İncelenen Adımlar

TOPSIS yöntemini 6 adımdan oluşan çözüm prosesini içerir. Aşağıdaki adımlar takip edilerek uygulanır [27]:

1. Adım: Normalize karar matrisinin oluşturulmasıdır. Normalize edilmiş r_{ij} değeri vektör normalizasyonu yapılarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2.4)$$

Formül yardımıyla her elemanın bulunduğu sütunun tüm elemanlarının karelerinin toplamının kareköküne bölünmesi ile normalize edilmiş olur.

2. Adım: Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin hesaplanmasıdır. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi, normalize karar matrisinin her bir elemanının önem ağırlığı ile çarpılarak oluşturulur. Ağırlıklandırılmış normalize değer v_{ij} değeri $v_{ij} = w_j * r_{ij}$ denklemiyle hesaplanır.

3. Adım: Pozitif ideal çözüm Eşitlik 2.5 ile ve negatif ideal çözümlerin Eşitlik 2.6 ile hesaplanmasıdır. Pozitif ideal çözüm oluşturulabilmek için, V matrisinin her bir sütunu

için ilgili sütunda yer alan değerlerden maksimum ölçüt ise en büyüğü, minimum ölçüt ise en küçüğü seçilir. Aynı şekilde, negatif ideal çözümü hesaplayabilmek için her sütun için ilgili sütunda bulunan maksimum ölçütün en küçüğü, minimum ölçütün ise en büyüğü seçilir. Anlatılan 3.adımın hesabında kullanılacak formüller aşağıda belirtilmiştir.

$$A^+ = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_n^+\} = \{(max_j v_{ij} | i \in I'), (min_j v_{ij} | i \in I'')\} \quad (2.5)$$

$$A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\} = \{(min_j v_{ij} | i \in I'), (max_j v_{ij} | i \in I'')\} \quad (2.6)$$

4.Adım: TOPSIS yönteminde kullanılan her alternatifin pozitif ideal çözüme uzaklığı ve negatif ideal çözüme uzaklığı hesaplanır. Her alternatifin ideal çözüme uzaklığı pozitif ideal ayırım (S_i^+) olarak gösterilir ve Eşitlik 2.7 yardımıyla hesaplanır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.7)$$

Negatif ideal çözüm uzaklığı ideal ayırım (S_i^-) ise Eşitlik 2.8 yardımıyla hesaplanır.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.8)$$

5.Adım: İdeal çözüme göreli uzaklığın hesaplanmasıdır. Kullanılan her alternatifin ideal çözüme göreli uzaklığının (C_i^*) hesabında 4. Adımda bulunan pozitif ideal çözüme uzaklık ve negatif ideal çözüme uzaklık verileri kullanılır. İdeal çözüme göre uzaklık formülü Eşitlik 2.9'da belirtilmiştir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^- + S_i^+)} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad (2.9)$$

Elde edilen C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ arasında olmalıdır. $C_i^*=1$ alternatifin pozitif ideal çözüme yakınlığını, $C_i^*=0$ ise alternatifin negatif ideal çözüme yakınlığını ifade etmektedir.

6.Adım: 5. Adımda elde edilen ideal çözüme göre uzaklıkları verileri ile alternatiflerin sıralanmasıdır.

2.2.3. ELECTRE

ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality) yöntemi, 1960'ların sonunda Roy tarafından ortaya atılmıştır. Nijkamp, Van Delft ve H.Voogd tarafından geliştirilmiştir [28]. ELECTRE yöntemi diğer ÇKKV teknikleri gibi çeşitli alternatifler arasından, belirlenen kriterler değerlendirilerek en uygunu seçme yöntemlerinden biridir.

ELECTRE yönteminin diğer ÇKKV yöntemlerine göre bazı önemli üstün olduğu taraflar vardır. Kriter seçimini tamamladıktan ve alternatifleri belirledikten sonra kullanılacak ELECTRE yöntemi ile kullanılacak kriterlerin önem ağırlıkları az ise az olan kriteri çıkartarak işleme devam edilebilmektedir. ELECTRE yönteminin birçok versiyonu bulunmaktadır. En yaygın ve en kolay uygulanabilen ELECTRE I yöntemi tez aşamasında kullanılmıştır.

2.2.3.1. ELECTRE Yöntemi ile Problemleri Çözerken İncelenecek Adımlar

ELECTRE I yöntemi 8 adımda aşağıdaki sıralama yardımıyla çözülebilir:

1.Adım: Karar matrisi (A), Eşitlik 2.10'da belirtilen matris şeklinde oluşturulur. Karar matrisinin satırlarına alternatifler, sütunlarına ise kriterler yerleştirilir. Aşağıda gösterildiği gibi $m \times n$ boyutunda oluşturulan karar matrisinde m alternatif sayısını, n ise kriter sayısını ifade etmektedir [29].

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

2.Adım: Normalize karar matrisini oluşturabilmek için kriterlerin maksimum ve minimum özellikleri belirlenir. Normalize karar matrisi X_{ij} için maksimum (Eşitlik 2.11) ve minimum (Eşitlik 2.12) değerleri bulabilmek için aşağıdaki formüller yardımıyla matris oluşturulur.

$$x_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m b_{ij}^2}} \quad (2.11)$$

$$x_{ij} = \frac{1/b_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\frac{1}{b_{ij}})^2}} \quad (2.12)$$

3.Adım: Normalize karar matrisi elde edildikten sonra karar verici kişi tarafından değerlendirilen önem ağırlıkları (w_i) ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (Y_{ij}) elde edilir [29].

$$Y_{ij} = w_i * X_{ij} \quad (2.13)$$

4.Adım: Elde edilen ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (Y_{ij}) yardımıyla uyum ve uyumsuzluk setleri oluşturulur. Alternatifler birbiriyle değerlendirme kriterleri açısından karşılaştırılır. İkili kriterin kıyaslanması için iki ayrı uyum ve uyumsuzluk kümeleri oluşturulur (Eşitlik 2.14). Uyum kümesi için $C(a,b)$ ifadesi, uyumsuzluk kümesi için $D(a,b)$ ifadesi kullanılır.

$$\begin{aligned} C(a, b) &= \{j, y_{aj} \geq y_{bj}\} \\ D(a, b) &= \{j, y_{aj} < y_{bj}\} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Karar verme problemleri uyum setleri ($m \times m$)-m sayısında olmalıdır. Bunun sebebi uyum setlerinde $a \neq b$ durumlarında olmalıdır. ELECTRE yönteminde uyum seti sayısına eş değer sayıda uyumsuzluk seti vardır [30].

5.Adım: Elde edilen uyum ve uyumsuzluk setleri sayesinde uyum ve uyumsuzluk matrisleri oluşturulur (Eşitlik 2.15). Uyumluluk indeksi uyumluluk setinin içerisindeki kriter ile birleştirilmiş ağırlıkların toplamı ile ifade edilir.

$$c_{ab} = \sum_{j \in c_{ab}} w_j \quad (2.15)$$

Uyumsuzluk matrisi D, Eşitlik 2.16 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$d_{ab} = \frac{\max |y_{kj} - y_{lj}| (j \in D_{ab})}{\max |y_{kj} - y_{lj}|} \quad (2.16)$$

C ve D matrislerinde $k=1$ durumu yaşanırsa matris tanımlanmayan matrise dönüşmektedir. İki matris $m \times m$ matrisi (C ve D) simetrik olarak belirtilmelidir.

6.Adım: Baskın elemanları bulmak için üstünlük karşılaştırılması yapılmalıdır. Oluşturulan üstünlük matrisleri, uyum ve uyumsuzluk eşik değerleri yardımıyla, bu değerlerin uyum ve uyumsuzluk matris elemanlarının karşılaştırılması ile oluşturulur [31].

Uyum eşik değeri, Eşitlik 2.17’te belirtilen formül yardımıyla hesaplanır:

$$\underline{c} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^m c_{ab} \quad (2.17)$$

$f_{ab} = 1$ ise $c_{ab} \geq \underline{c}$

$f_{ab} = 0$ ise $c_{ab} < \underline{c}$ değerlerini almaktadır.

Uyumsuzluk eşik değeri Eşitlik 2.18’de formül yardımıyla hesaplanır:

$$\underline{d} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^m d_{ab} \quad (2.18)$$

$g_{ab} = 1$ ise $d_{ab} < \underline{d}$

$g_{ab} = 0$ ise $d_{ab} \geq \underline{d}$ değerlerini almaktadır.

7.Adım: Uyum üstünlük matrisi (F) ve uyumsuzlukluk üstünlük matrisi (G) elemanlarının birbirleriyle çarpılması sonucunda toplam üstünlük matrisi (E) elde edilir. Bu sebeple, toplam üstünlük matrisi de mxm boyutlarında ve 1 ya da 0 değerlerinden oluşmaktadır [32].

8.Adım: Karar noktalarının önem sırası elde edilir.

3. ENDÜSTRİYEL YAPILAR

Endüstriyel yapılar yıllar içinde büyük gelişmeler yaşamış ve her yeni yapısal sistemle kullanım amaçlarını geliştirmiştir. İlk kurulmaya başlanan endüstriyel yapılarda kullanılabilen açıklıklar ile bugün kullanılabilen açıklıklar arasında büyük farklar mevcuttur. İlk defa kurulan endüstriyel yapıların yeterli olmadığı görüldüğünden itibaren mühendislik çalışmalarına başlanmış ve endüstriyel yapıların hem statik analizinde hem de mimarisinde büyük değişiklikler yaşanmıştır.

Tarihler 20.yüzyılı gösterdiğinde artık endüstriyel yapılarda insan gücünden daha fazla makine gücünden yararlanılmak istenmeye başlanmıştır. Bu durumda yüksek katlı endüstriyel yapılar kullanılmak yerine yatay açıklıkta geniş olan endüstriyel yapılar kurulmanın daha fayda sağlanacağı kararlaştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda şehirlerin dışında endüstriyel kompleksler kurulma fikri öne çıkmıştır [33].

1960 tarihinden planlanan Organize Sanayi Bölgeleri, ülkemizin kalkınması açısından büyük öneme sahiptir. Şehir içerisinde bulunan ve dağınık şekilde inşa edilmiş endüstriyel yapıların bulunduğu şehir açısından zararlara yol açtığı anlaşılmıştır. Bu sebeple şehirlerin dışında kurulmuş olan OSB'lerin bulunduğu şehir açısından zararı minimuma indirerek düzenli bir planla oluşturulmuş. Şehirler dışında yerleşke elde eden OSB'ler, şehir merkezindeki hava kirliliğini, trafik oluşumunu ve gürültüyü şehir merkezinden uzaklaştırmıştır.

Günümüzde endüstriyel yapılar iki çeşit taşıyıcı sistemli inşa edilir düzeye gelmiştir. Betonarme ve çelik arasında seçim yapmak durumunda kalan yatırımcı, betonarme taşıyıcı sistemi tercih ettiğinde de iki seçenek arasında kalmaktadır. Betonarme taşıyıcı sisteme sahip iki türlü inşa metodu mevcuttur. Prefabrike sistemli betonarme ve yerinde döküm betonarme sistem arasında seçim yapmak durumunda kalınmaktadır. Her sistemin çeşitli avantajları bulunduğu için endüstriyel yapılar taşıyıcı sistem seçimi bir problem olarak değerlendirilmektedir. Bu sebeple, karar verici yöneticilerin seçim durumunda sadece maliyet konusunda değerlendirmeden, her sistemin avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmelidir.

Türkiye'de bulunan endüstriyel yapıların büyük çoğunluğu tek katlı olmakla birlikte büyük açıklıklara sahiptir. Betonarme ve çelik taşıyıcı sistemle inşa edilen endüstriyel

yapılarda dikkat edilmesi gereken hususların sıralanması gerekirse;

1. Yapı tasarımında depreme dayanıklı taşıyıcı sistem tasarımı
2. Endüstriyel yapının inşa edileceği arazinin zemin özelliklerine dikkat edilmesi
3. Deprem dayanımı sağlamak için taşıyıcı sistemin malzemelerinin seçimi ve kullanımı
4. Taşıyıcı sisteme dahil olmayan elemanların, taşıyıcı sisteme davranışını incelenmesi [34].

3.1. ENDÜSTRİYEL YAPILARDA MALİYET KONUSU

Her sektörde olduğu gibi inşaat sektöründe maliyet büyük önem taşımaktadır. Bir yapının inşasının asıl amacı hem yerel katkı hem de gelir kazanıp yapıyı kullanmaktır. Bu sebeple yapılacak maliyet analizleri inşası yapılacak yapının nasıl katkı sağlayabileceği konusunda bilgi sağlayacaktır. Yaklaşık maliyetin inşaat sektöründe sıklıkla kullanılan, gelecekte kar-zarar analizini sağlayan önemli bir ölçüttür. Endüstriyel yapılarda maliyeti, projenin büyüklüğü, yapının yapılacağı yer, kullanılan taşıyıcı sistem, kaliteli imalat vb. gibi konular etkilemektedir.

Maliyet tahmini, inşaat maliyet yönetimi konusunun ana başlıklarından biridir. Planlama, tasarım ve yapım süreçlerinde kullanılan bir araçtır. Yapılacak projelerin planlama, tasarım ve yapım süreçlerinde maliyet yönetimi konusu, üretilecek projenin bütçesi ve elde edilmek istenen kalite arasında önemli bir husustur. Maliyet yaklaşımı aşağıda belirtilen üç adet madde ile değerlendirilmelidir [35].

1. Projenin kapsamı, istenen kalite düzeyi ve projeye ayrılan bütçenin belirlenmesi
2. Projenin kapsamı, istenilen kalite düzeyi ve projeye ayrılan bütçenin birbirleri arasındaki bağlantının kurulması
3. Projenin yaşam döngüsü sürecinde belirtilen üç adet maddenin birbirleri arasındaki bağlantının sağlamlığı kontrolü ve yönetilmesinin sağlanması [35].

3.2. BETONARME SİSTEMLİ ENDÜSTRİYEL YAPILAR

Yerinde dökme endüstriyel yapıların diğer yapısal sistemlerden önemli farkı tüm imalatların şantiye sahasında ve insan gücüyle yapılmasıdır. Bu sebeple iş sağlığı ve

güvenliği açısından büyük dikkat edilmesi gereken bir sistemdir. Proje yönetiminin şantiye sahasında gerçekleşmesi gerekmektedir. Malzemelerin şantiye sahasına taşınması, insan eliyle kalıpların çakılması, demirler imalatının yapılması, beton dökümünün sağlanması, betonun bakım ve kürleme işlemleri, betonu dökülen kalıpların sökülmesi insan eliyle yapılmalıdır. Bu sebeple hava şartları ve insani durumlar projenin geç bitmesine sebep olabilir. Bu nedenle yerine dökme betonarme sanayi yapılarında dış etkilere diğer sistemlere göre oldukça bağlıdır.



Şekil 3.1. Örnek yerinde döküm betonarme sistem kolon imalatı [36].

Ülkemizde bulunan diğer sistemlere rağmen geçmişten günümüze insanların daha yatkın olduğu bir sistemdir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi endüstriyel yapılarda yüksek noktalarda beton dökümü için iskelelerin sağlamlığı, beton dökümü esnasındaki dikkat edilmesi gereken hususlar çevre şartlarına ve insan eline bağlıdır. Bu sebeple iş sağlığı ve güvenliği açısından yüksek dikkat edilmesi gereken bir yapısal sistem olarak ön plana çıkmaktadır.

Yerinde döküm betonarme sistemin endüstriyel yapılarda geniş açıklıklar kullanılmasından dolayı çatı kurulumu yaygın olarak çelik sistem olarak tasarlanmaktadır. Bu da yerinde döküm betonarme sistemin çatı kurulumuna kadar geçen süreçteki maliyet avantajını diğer sistemlere göre çatı maliyeti eklendiğinde büyük oranda azaltmaktadır.

3.3. PREFABRİKE SİSTEMLİ ENDÜSTRİYEL YAPILAR

Prefabrike endüstriyel yapılar, fabrika veya atölye içerisinde hazırlanarak, vinç veya başka iş makineleri yardımıyla şantiye sahasında montajı gerçekleştirilen bir sistemdir. Donatıları, kalıp aşamaları ve beton dökümü fabrika içerisinde şantiye sahasından uzak olduğu için çevre şartlarından en az etkilenecek şekilde imalat gerçekleştirilmektedir. Yapılan imalatlar mühendisler çerçevesinde kontrol edilip onaylandıktan sonra şantiye sahasına yapısal elemanlar taşınıp montajı sağlanmaktadır. Fakat nakliye mesafesine dikkat edilmelidir. Nakliye mesafesi uzadıkça prefabrike yapısal sistemin birim maliyeti artmaktadır.



Şekil 3.2. Örnek prefabrike kolon imalatı.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi tasarımı tamamlanmış projeye uygun hazır kalıplar kullanılarak kolon takımları hazırlanır. Yüksekliği ne olursa olsun zeminde betonu dökülen prefabrike kolonlar iş güvenliğini bu sayede yerinde döküm betonarme sisteme göre avantaj sağlamaktadır. Üretimi fabrika koşullarında sağlandığı için kullanılan beton kalitesi ve vibrasyon kullanım kalitesi yerinde dökme betonarme sisteme göre oldukça fazladır. Bu sebeple şantiye sahasında yapılan üretimden daha kaliteli bir iş çıkma olasılığı artmaktadır. Fabrika koşullarında teknolojinin yoğun kullanımı etkisi ile üretimin hızı artmaktadır. Bu sayede yapılmak istenen endüstriyel yapının şantiye süreci

hızlı ilerleyip hızlı teslimat koşullarına uygun olmaktadır.

Yerinde dökme betonarme sisteme göre dikkat edilmesi gereken hususlar ise tasarım ve montaj sürecinde büyük dikkat ve sorumluluk istemektedir. Hatalı montaj veya hatalı tasarım süreci yapının depreme karşı dayanımını oldukça fazla düşürmektedir. Bunun sonucunda deprem karşısında dayanıksız bir endüstriyel yapı ile karşılaşilmektedir.

Prefabrike endüstriyel yapılarda, yapıya etkileyen yatay ve düşey yükler temele ankastre olarak montajlanan kolonlar vasıtasıyla taşınır. Çatı makasları ve oluklar kolonlara masfallar ile bağlanmakta olup, aşıklar ise çatı makaslarına aynı şekilde masfallı olacak şekilde bağlanır. Çatının düzlemindeki bağlantıların tümü masfallı olduğu için yapıyı oluşturan çerçeve birbiri ile bağımsız şekilde çalışır. Bu nedenle prefabrike endüstriyel yapılarda tasarım durumunda büyük titizlik gösterilmelidir [37].

Prefabrike imalatlarda dikkat edilmesi gereken hususlar;

- En uygun tasarımı üretmek, detaylandırmak ve montajını sağlamak
- Aşamalı yüklemenin dikkate alınması
- Donatının normalden fazla karbon içermesi sebebiyle donatının kapasitesine ulaşmadan kopma riski
- Projeye uygun bir şekilde şantiyede kontrolü sağlanması
- Şantiyede yapılacak olan kaynak işlemlerinin projeye uygun yapıp yapılmadığı kontrolü [38].

3.4. ÇELİK SİSTEMLİ ENDÜSTRİYEL YAPILAR

Çelik sistemli endüstriyel yapıların diğer sistemlere göre önemli avantajları, kolon sayısını aza indirebilmek ve giriş en kesitlerini küçük tasarlayabilmektir. Bu sayede daha fazla alan kazanılabilir bir endüstriyel yapı oluşturulabilir.

Çelik sistemde de prefabrike sistemli yapılar gibi taşıyıcı sistemin tüm aşamaları fabrika ortamında üretilip şantiye alanına nakliye edilir. Nakliye edilmiş parçalar vinç ve diğer iş makineleri yardımıyla montajı sağlanır. Bu sayede çevre şartlarından en az şekilde etkilenerek endüstriyel yapının imalatı tamamlanmış olur.

Çelik yapısal sistemin diğer avantajı ise, kullanım süresinin sonuna gelmiş endüstriyel yapının geri dönüşümü sağlanması konusunda büyük faydası vardır. Kullanılan çeliğin

tamamı hurdaya döndürülebilir. Çelik yapının sökümü sağlandığında geriye atık madde bırakmadığı gibi çevreye inşaatın zararı minimum düzeyde olmuş olur.



Şekil 3.3. Örnek çelik yapısal sistemli tesis [39].

Çelik sistem ile üretilen endüstriyel yapılarda geniş açıklıklar kullanılabilir. Bu sayede konser alanları, tiyatrolar, fuarlar, spor salonları ve stadyumlar gibi projelerde yaygınlıkla kullanılır olmuştur.

Kirişler, kolonlar, kemer sistemler, çerçeve sistemler, uzay kafes sistemleri ile taşıyıcı sistemi oluşturulan çelik sistemli endüstriyel yapıların tasarım aşamasında montaj aşamasında prefabrike sistemli endüstriyel yapılarda olduğu gibi oldukça titiz davranılması gerekmektedir. Yapılan dikkatsizlik ve sorumsuzluğun deprem anında yapısal sistemin davranışını tamamen etkiler düzeydedir.

Çelik sistemli taşıyıcı sistem, diğer sistemlere göre yangına karşı mukavemeti daha düşüktür. Bu sebeple çelik yapıların sahip olduğu kötü yangın mukavemetini ortadan biraz kaldırabilmek için farklı yangın koruma yöntemleri mevcuttur.

[40] çalışmasında, tek katlı tek açıklıklı çelik endüstriyel yapının yangın dayanımını inceleyerek, çelik endüstriyel yapılarda yangına dayanıklılık konusunda belirleyici elemanların kolonlar olmasından dolayı çelik taşıyıcı sistem yerine betonarme taşıyıcı sistem veya yangın dayanımı yüksek olan duvar panellerin kullanılabileceğini önermektedir.

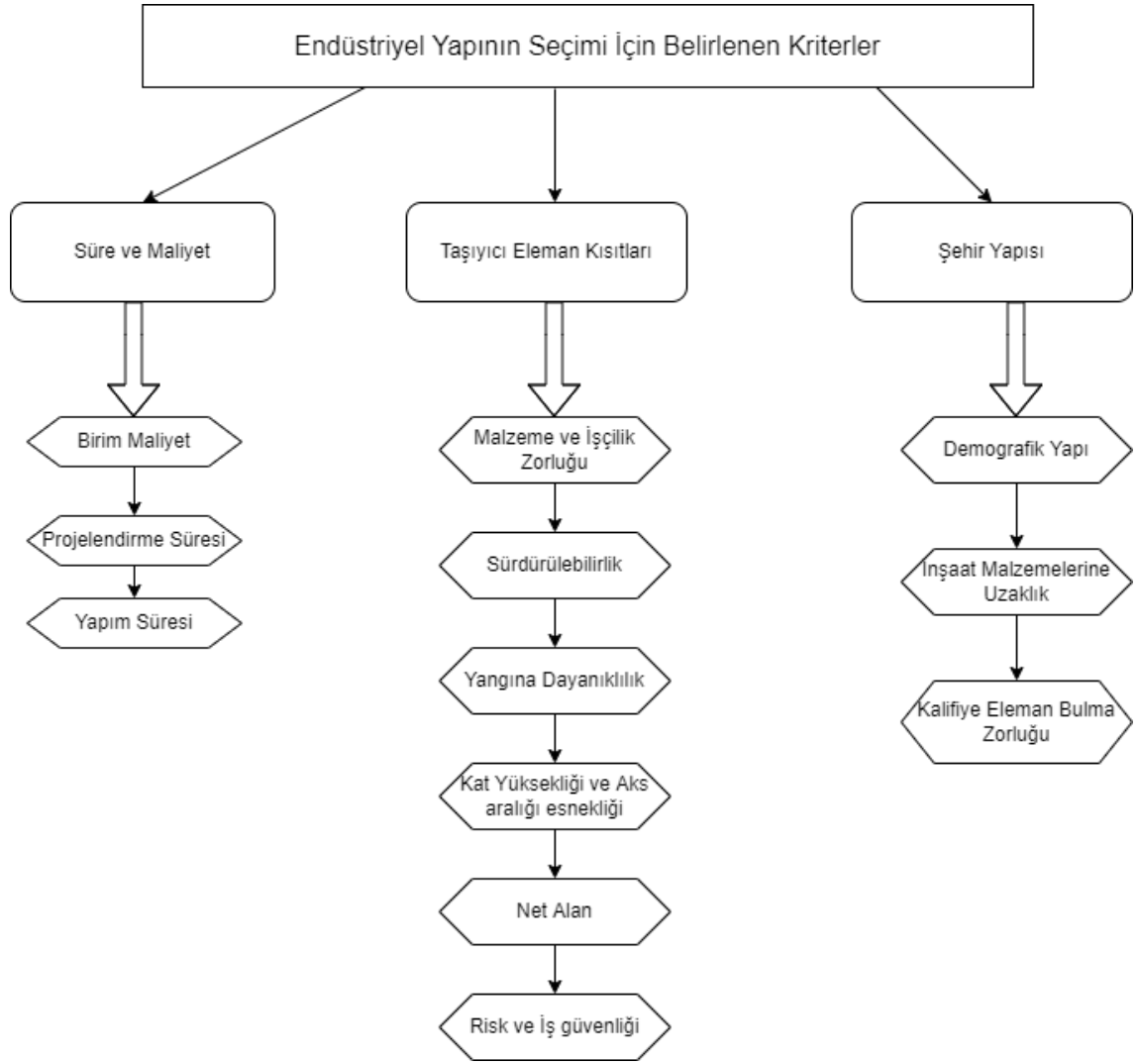
4. ENDÜSTRİYEL YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM SEÇİM KRİTERLERİ

Endüstriyel yapılarda yapısal sistemin seçimi birçok kriterler ile birlikte değerlendirilmesi gereken bir seçim problemidir. Çoğunlukla üretilecek olan endüstriyel yapının kullanım amacına göre ve en uygun maliyet ile üretilmesi istenmektedir. Bu sebeple karar verici yöneticilerin çelik yapı, betonarme yapı veya prefabrike yapı olacak şekilde 3 seçenek arasında karar vermesi gerekmektedir. Bu çalışmada, seçimi yapılması istenen yapının 3 seçenek arasında hangi kriterler arasında daha verimli bir seçim yapılabileceği çalışılmıştır. 3 seçeneğin imalatçısı olan 3'er firmadan alınan veriler ile değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen veriler 15 inşaat mühendisi ile değerlendirilmiş veriler oluşturulmuştur.

4.1. SEÇİM KRİTERLERİ

Endüstriyel yapılarda yapısal sistemin seçimi çalışmasında hedef belirlendikten sonra 3 adet ana kriter ve bu kriterlere bağlı olarak 12 alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler belirlenirken her sektörden firmanın yetkilileri ile görüşerek, elde edilen veriler doğrultusunda hazırlanmıştır.

Çalışmada kullanılan problemin asıl amacı endüstriyel yapılarda yapısal sistemin hangi kriterlere bağlı olarak seçilebileceği ve bu seçim yapılırken matematiksel ifadelerin neler ifade edebileceğidir. Ana kriterler olarak; süre ve maliyet, taşıyıcı eleman kısıtları ve şehir yapısı olarak belirlenmiştir. Süre ve maliyet ana kriterinin alt kriterleri; birim maliyet, projelendirme süresi ve yapım süresidir. Taşıyıcı eleman kısıtları ana maddesinin alt kriterleri; malzeme ve işçilik zorluğu, sürdürülebilirlik, yangına dayanıklılık, kat yüksekliği ve aks aralığı esnekliği, net alan, risk ve iş güvenliği olarak belirlenmiştir. Şehir yapısı ana kriterinin alt kriterleri ise demografik yapı, inşaat malzemelerine uzaklık ve kalifiye eleman bulma zorluğudur.



Şekil 4.1. Endüstriyel yapı seçiminde kullanılan kriterler.

4.1.1. Süre ve Maliyet ile İlgili Kriterler

Endüstriyel yapılarda yapısal sistemin seçiminde etkili olan süre ve maliyet ana maddesini oluşturan alt kriterler aşağıda açıklanmıştır.

4.1.1.1. Birim Maliyet

Sadece endüstriyel yapılarda değil bir inşaata başlanmadan önce maliyet hesabı yapılması gerekmektedir. Kullanılacak olan yapısal sistemin elemanlarının güncel fiyatları, işçilik fiyatları, malzemelerin nakliyesi, yapısal sistemde kullanılan birimlerin nakliyesi, şantiye kurulumu vb. gibi unsurların etkileyeceği yaklaşık maliyete göre bulunan birim maliyet, süre ve maliyet ana kriterinin alt kriteri olarak belirlenmiştir.

4.1.1.2. *Projelendirme Süresi*

Üretilmek istenen endüstriyel yapının projelendirme süresi gecikmeden tamamlanması gerekmektedir. Bu sebeple hazırlanan proje üzerinden çıkarılan maliyet ve kullanılacak endüstriyel yapının kullanıma başlama sürecini etkilemektedir. İşlem aşamasında gün olarak kullanılmıştır.

4.1.1.3. *Yapım Süresi*

İnşaatin tamamlanma süresi olarak belirlenmiştir. İçerisinde montaj için gereken süre, prefabrike ve çelik yapısal elemanların fabrikasyon olarak imalatı ve şantiye alanına nakliye süreci, şantiye kurulumu ve kaldırılması gibi süreçler yapım sürecini etkilemektedir. Yapım süreci endüstriyel yapının kullanıma başlama süresini etkilemektedir. İşlem aşamasında gün olarak kullanılmıştır.

Endüstriyel yapı yatırımı sağlayacak kişi, projenin zamanında ve belirlenen maliyet ile tamamlanmasını ister. Bunun asıl sebebi ise, inşa süresinin geç olması endüstriyel yapının kullanımını geciktirmektedir. Projenin yapım süresi, endüstriyel yapının faaliyete başlama ve yapılan yatırımın geri dönüşünü etkilemektedir [41].

4.1.2. **Taşıyıcı Eleman Kısıtları ile İlgili Kriterler**

Endüstriyel yapılarda yapısal sistemin seçiminde etkili olan taşıyıcı eleman kısıtları ana maddesini oluşturan alt kriterler aşağıda açıklanmıştır.

4.1.2.1. *Malzeme ve işçilik zorluğu*

İnşaat kurulum aşamasında ve imalat sürecinde kullanılacak malzemelerin bulunma zorluğu ve imalat sürecinde insan gücüne dayanan imalatların zorluğu şantiyenin tamamlanmasını etkilemektedir. Malzeme ve işçilik zorluğu puansal olarak değerlendirilmiş olup 1 ile 5 arasında puan verilmiştir. 5 en iyi değer, 3 orta değer, 1 ise en alt değer olarak belirlenmiştir.

4.1.2.2. *Sürdürülebilirlik*

Dünyada yaşanan iklimsel krizler artık insanlığın sürdürülebilirlik konusunda bilinçlenmeye itmiştir. Sadece endüstriyel yapılarda değil, konut inşaatlarında ve ağır mühendislik yapılarında da sürdürülebilirlik fazlasıyla önem kazanmıştır. Endüstriyel yapılarda yapısal sistemde imalat sürecinde kullanılan maddelerin yapının sürdürülebilirliğini etkilemektedir. Bu sebeple taşıyıcı eleman kısıtları ile ilgili ana

kriterin alt kriteri olarak bu çalışmada yer bulmuştur. Sürdürülebilirlik kriteri, puansal olarak değerlendirilmiş olup 1 ile 5 arasında puan verilmiştir. 5 en iyi değer, 3 orta değer, 1 ise en alt değer olarak belirlenmiştir.

4.1.2.3. *Yangına dayanıklılık*

Endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçilirken önemli kriterlerden biri de yangına dayanıklılıktır. Çelik yapısal sistemli, prefabrike yapısal sistemli ve yerinde döküm yapısal sistemlerin birbirleri karşısında yangına dayanıklılığı kıyası yapılmıştır. Çelik, ısı ile karşılaştığında enerjinin içerisinde hızla yayıldığı için mukavemetini kaybeden bir yapısal malzemedir. Bu nedenle yangın durumunda ortaya çıkan yüksek sıcaklık çelik malzemenin yapısında büyük değişikliklere sebebiyet vermektedir [42]. Yangına dayanıklılık kriteri, puansal olarak değerlendirilmiş olup 1 ile 5 arasında puan verilmiştir. 5 en iyi değer, 3 orta değer, 1 ise en alt değer olarak belirlenmiştir.

4.1.2.4. *Kat yüksekliği ve aks aralığı esnekliği*

Endüstriyel yapılarda farklı amaçlar doğrultusunda istenebilen kat yüksekliği ve aks aralığı esnekliği, yapısal sistemlere göre farklılaşmaktadır. Çelik sistemli endüstriyel yapıların, diğer yapısal sistemlere göre daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. Kat yüksekliği ve aks aralığı esnekliği kriteri, puansal olarak değerlendirilmiş olup 1 ile 5 arasında puan verilmiştir. 5 en iyi değer, 3 orta değer, 1 ise en alt değer olarak belirlenmiştir.

4.1.2.5. *Net Alan*

Endüstriyel yapılarda kullanılan yapısal sistemlerin sunduğu kolon ve kiriş düzeyleri farklılaşmaktadır. Kolonların sayısı ve boyutu, kirişlerin sayısı ve boyutu gibi etmenler endüstriyel yapının kullanım açısından net alanını etkilemektedir. Net alan kriteri, puansal olarak değerlendirilmiş olup 1 ile 5 arasında puan verilmiştir. 5 en iyi değer, 3 orta değer, 1 ise en alt değer olarak belirlenmiştir.

4.1.2.6. *Risk ve iş güvenliği*

Yapısal sistemlerin fabrikasyon imalatı veya yerinde dökme olarak farklılaşmasından dolayı birbirlerine göre risk ve iş güvenliği açısından değişmektedir. Bu sebeple değerlendirme yapılırken risk ve iş güvenliği alt kriterini kullanılması belirlenmiştir. Risk ve iş güvenliği kriteri, puansal olarak değerlendirilmiş olup 1 ile 5 arasında puan

verilmiştir. 5 en iyi değer, 3 orta değer, 1 ise en alt değer olarak belirlenmiştir.

4.1.3. Şehir Yapısı ile İlgili Kriterler

Endüstriyel yapılarda yapısal sistemin seçiminde etkili olan şehir yapısı ana maddesini oluşturan alt kriterler aşağıda açıklanmıştır.

4.1.3.1. Demografik yapı

Endüstriyel yapının yapılacağı şehrin demografik yapısı, yaptırılacak yapısal sistemin bilinirliği ve insanların yapısal sisteme bakış açısı farklılaşmaktadır. Bu sebeple yapısal sistem seçerken duygusal olarak insanların yatkınlığı fikirlerin değişimde önemli yer tutmaktadır. Demografik yapı kriteri, puansal olarak değerlendirilmiş olup 1 ile 5 arasında puan verilmiştir. 5 en iyi değer, 3 orta değer, 1 ise en alt değer olarak belirlenmiştir.

4.1.3.2. İnşaat malzemelerine uzaklık

Yaptırılacak olan endüstriyel yapının yapısal sisteminde kullanılan özel malzemelerin tedariki seçim kriterlerinde önemli yer tutmaktadır. Malzemelerin tedarikinde geç kalınması şantiyenin tamamlanmasında gecikmelere sebep olmaktadır. Bu nedenle endüstriyel yapının yapılacağı şehrin inşaat malzemelerine uzaklığı konusu seçim kriterlerinde yer almaktadır. İnşaat malzemelerine uzaklık kriteri, puansal olarak değerlendirilmiş olup 1 ile 5 arasında puan verilmiştir. 5 en iyi değer, 3 orta değer, 1 ise en alt değer olarak belirlenmiştir.

4.1.3.3. Kalifiye eleman bulma zorluğu

Projenin içerdiği özel üretimler, montaj aşamaları, tasarım aşamaları gibi özel teknikler isteyen konularda uzmanlaşmış eleman bulmanın zorluğu endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçilirken şehir yapısına ait kriterlerde bulunması gerektiği belirtilmiştir. Kalifiye eleman bulma zorluğu kriteri, puansal olarak değerlendirilmiş olup 1 ile 5 arasında puan verilmiştir. 5 en iyi değer, 3 orta değer, 1 ise en alt değer olarak belirlenmiştir.

4.2. TAŞIYICI SİSTEM ALTERNATİFLERİ

Taşıyıcı sistemleri alternatiflerin verileri farklı düzeyde firmalar ve konusunda uzman inşaat mühendisleri ile görüşülerek sağlanmıştır. Veriler Düzce ili içerisinde yapılabilecek endüstriyel yapılar için sağlanmıştır. Düzce ili gibi büyük şehirlere yakın, demografik yapısı ve zemin sınıfı benzer illere göre uygunluk sağlayabilir düzeydedir. Firmalardan alınan veriler üzerinden ortalama belirlenen birim fiyatlar, o anki kur üzerinden değerlendirilmesi yapıp fiyatlandırılmıştır. Yıllar içerisinde ekonomik düzeyde yaşanan değişiklikler birim fiyatlarda değişiklik yapılmasını gerektirmektedir. Elde edilen veriler 5000 m² inşaat alanına sahip bir endüstriyel yapı üzerinden oluşturulmuştur. Alternatiflerin tamamının yapı temelinin şantiye sahasında imalatı yapılacak şekilde betonarme sistem olarak kullanılmıştır. Yapının tipi dikdörtgen olarak tasarlanmış, çok özel istekler haricinde kullanılabilecek basit bir endüstriyel yapı olarak hesaba katılmıştır. Alternatifler arasında yapılan puansal olarak değerlendirmeler, konusunda uzman inşaat mühendisleri ile görüşme sağlanarak oluşturulmuştur.

4.2.1. Yerinde Döküm Betonarme Sistem Alternatifi

Çalışmada alternatif olarak belirlenmiş yerinde döküm betonarme taşıyıcı sistemli endüstriyel yapılarda, betonarme temel ve şantiye sahasında imalatı yapılacak betonarme taşıyıcı sistem olarak tanımlanmaktadır. 5000 m² alana sahip olacak şekilde oluşturulan betonarme sistemli tasarımda, kolon sayıları ve kolon çapları verilerin alındığı firmalara göre değişmektedir. Üretim hızı, üretim gücü farklı değerlere sahip 3 adet firmadan veriler alınmıştır. Bu sebeple ortalama birim maliyeti, 3 adet firmadan alınan birim maliyetlerin ortalaması olarak değerlendirilmiştir. Yerinde döküm betonarme sistemde, çatı tasarımı çelik sistem olarak değerlendirilmiş ve fiyatlandırılması ona göre oluşturulmuştur.

4.2.2. Prefabrike Betonarme Sistem Alternatifi

Çalışmada alternatif olarak belirlenmiş prefabrike betonarme taşıyıcı sistemli endüstriyel yapılarda, diğer alternatif sistemlerdeki gibi betonarme temel şantiye sahasında imalatı olacak şekilde tanımlanmıştır. Düzce ili ve çevresinde, prefabrike taşıyıcı sistem imalatı yapan firmalar ile görüşülerek veriler toplanmıştır. Elde edilen sayısal verilerin ortalaması kullanılmıştır.

4.2.3. Çelik Sistem Alternatifi

Çalışmada alternatif olarak belirlenmiş çelik taşıyıcı sistemli endüstriyel yapılarda, diğer alternatif sistemlerdeki gibi betonarme temel şantiye sahasında imalatı olacak şekilde tanımlanmıştır. Düzce ili ve çevresinde, çelik taşıyıcı sistem imalatı yapan firmalar ile görüşülerek veriler toplanmıştır. Elde edilen sayısal verilerin ortalaması kullanılmıştır.



5. UYGULAMA

Çalışmanın 5. Bölümünde endüstriyel yapının yapısal sistemi seçimini ÇKKV tekniklerinden AHP, TOPSIS ve ELECTREE yöntemlerini kullanarak uygulama yapılmıştır. Uzman görüşleri ve imalatları yapan müteahhit firmalar ile görüşerek elde edilen veriler sonucunda yöntemler kullanılmıştır.

Uzman kişiler ile irtibat sağlanarak 3 adet ana kriterler ve bu ana kriterlere bağlı 12 adet alt kriterler belirlenmiştir. Çalışmada kullanan sayısal veriler yetkililerden alınan verilerin ortalaması olarak kullanılmıştır. Sözel olarak kullanılan veriler ise uzman kişilerden alınan verileri puansal olarak çalışmada yer almıştır.

5.1. AHP YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Endüstriyel yapıların yapısal sistemi seçimi probleminde AHP yöntemi kullanarak işlemleri aşağıda yapılmıştır. İlk olarak ana kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş olup daha sonra alt kriterlerin birbirleri ile karşılaştırmaları yapılarak önem ağırlıkları belirlenmiştir. İşlem yoğunluğu olmaması amacıyla matris işlemleri çizelgeler ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Ana kriterler karşılaştırma matrisi.

Ana Kriterler	Süre ve Maliyet	Taşıyıcı Eleman Kısıtları	Şehir Yapısı
Süre ve Maliyet	1	3	9
Taşıyıcı Eleman Kısıtları	0,33	1	7
Şehir Yapısı	0,11	0,14	1
Toplam	1,44	4,14	17

Her sütunun değerleri ayrı ayrı sütun toplamlarına bölerek Çizelge 5.2’de normalize karar matrisi elde edilir.

Çizelge 5.2. Ana kriterler normalize karar matrisi.

Ana Kriterler	Süre ve Maliyet	Taşıyıcı Eleman Kısıtları	Şehir Yapısı	Önem Ağırlıkları
Süre ve Maliyet	0,69	0,72	0,53	0,649= %64,9
Taşıyıcı Eleman Kısıtları	0,23	0,24	0,41	0,295= %29,5
Şehir Yapısı	0,08	0,03	0,06	0,057= %5,7
Toplam	1	1	1	1= %100

Normalize karar matrisi hesabını tamamladıktan sonra matristeki her satır toplanarak ortalaması alınır. Daha sonra öncelik vektörleri elde edilir. İkili karşılaştırma matrisinde sayesinde elde edilen öncelik vektörleri çarparak tüm öncelikler matrisi sonucu elde edilir.

$$0,649 * \begin{bmatrix} 1 \\ 0,33 \\ 0,11 \end{bmatrix} + 0,295 * \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \\ 0,14 \end{bmatrix} + 0,057 * \begin{bmatrix} 9 \\ 7 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,047 \\ 0,908 \\ 0,170 \end{bmatrix}$$

Elde edilen veriler doğrultusunda tüm öncelikler matrisinde bulunan elemanları, öncelikler vektörü elemanlarına bölünmüştür. Elde edilen değerler aşağıda verilmektedir.

$$2,047 / 0,649 = 3,154$$

$$0,908 / 0,295 = 3,078$$

$$0,170 / 0,057 = 2,982$$

Yukarıda elde edilen verilerin ortalaması alınarak λ_{maks} (en büyük özdeğer) hesaplanmıştır. Elde edilen en büyük özdeğer ile Eşitlik 2.2 yardımıyla tutarlılık indeksi bulunmuştur.

$$\lambda_{maks} = (3,154 + 3,078 + 2,982) / 3 = 3,071$$

$$TI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} = \frac{3,071 - 3}{3 - 1} = 0,0355$$

Çizelge 2.2’den alınan rassallık göstergesi değerini kullanarak tutarlılık oranı (Eşitlik 2.3) hesaplanmıştır.

$$TO = \frac{TI}{RI} = \frac{0,0355}{0,58} = 0,061$$

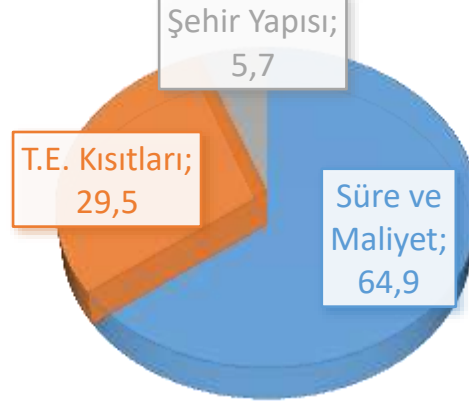
Yapılan hesaplar sonucu TO (Tutarlılık Oranı) = 0,061 bulunmuştur. AHP Yönteminde tutarlılık kontrolü $TO < 0,10$ olduğu için elde edilen 0,061 değeri tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5.3. Ana kriterler ikili karşılaştırma.

Ana Kriterler	Süre ve Maliyet	Taşıyıcı Eleman Kısıtları	Şehir Yapısı	Önem Ağırlıkları
Süre ve Maliyet	1	3	9	0,649= %64,9
Taşıyıcı Eleman Kısıtları	0,33	1	7	0,295= %29,5
Şehir Yapısı	0,11	0,14	1	0,057= %5,7
$\lambda_{maks} = 3,071$, $TI = 0,0355$, $RI = 0,58$, $TO = 0,061 < 0,100$				

Endüstriyel yapılarda yapısal sistem problemini çözmek için ana kriterlerin ikili karşılaştırmasında elde edilen veriler doğrultusunda, %64,9 önem ağırlığı süre ve maliyet kriteri ile diğer kriterler arasında en önemli kriter olarak görülmüştür. İkinci sırayı %29,5 önem ağırlığı ile taşıyıcı eleman kısıtları, üçüncü sırayı ise %5,7 önem ağırlığı ile şehir yapısı ana kriteri almıştır.

ANA KRİTERLER ÖNEM AĞIRLIKLARI



Şekil 5.1. Ana kriterler önem ağırlığı grafiği.

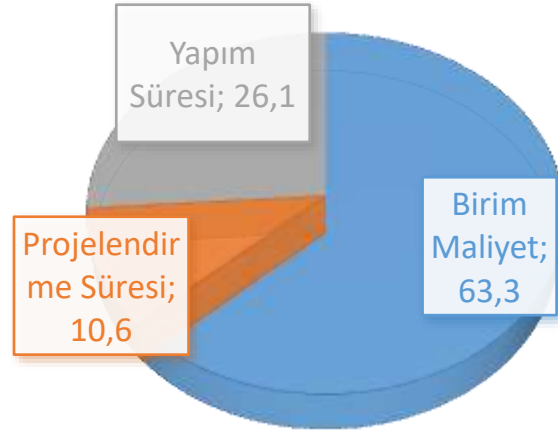
3 ana kritere ait belirlenen alt kriterlerin ikili karşılaştırmalarını yaparak, önem ağırlıklarının tutarlılığı kontrol edilmiştir.

Çizelge 5.4. Süre ve maliyet alt kriterlerinin ikili karşılaştırılması.

Süre ve Maliyet Alt Kriterleri	Birim Maliyet	Projelendirme Süresi	Yapım Süresi	Önem Ağırlıkları
Birim Maliyet	1	5	3	0,633
Projelendirme Süresi	0,20	1	0,33	0,106
Yapım Süresi	0,33	3,03	1	0,261
Toplam	1,53	9,03	4,33	%100
$\lambda_{maks} = 3,040, TI= 0,020, RI= 0,58, TO= 0,030 < 0,100$				

Süre ve maliyet ana kriterine bağlı olarak belirlenen alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılarak önem ağırlığı %63,3 ile birim maliyet alt kriteri en yüksek önem ağırlığı değerine sahip olduğu görülmüştür. İkinci sırayı %26,1 önem ağırlığı ile yapım süresi alırken, üçüncü sırayı ise %10,6 önem ağırlığı değeri ile projelendirme süresi alt kriteri almıştır. Tutarlılık oranı 0.1 değerinden küçük olduğu için hesabın tutarlı olduğu görülmüştür.

SÜRE VE MALİYET ALT KRİTERLERİ ÖNEM AĞIRLIKLARI



Şekil 5.2. Süre ve maliyet alt kriterleri önem ağırlığı grafiği.

Taşıyıcı eleman kısıtları ana kriterinin alt kriterlerinin hesabı aşağıda yapılmıştır.

Çizelge 5.5. Taşıyıcı elemanlar ana kriterine bağlı alt kriterler karşılaştırılması.

Taşıyıcı Eleman Kısıtları Alt Kriterleri	Malzeme ve işçilik zorluğu	Sürdürülebilirlik	Yangına dayanıklılık	Kat yüksekliği ve aks aralığı esnekliği	Net Alan	Risk ve iş güvenliği	Önem Ağırlıkları
Malzeme ve işçilik zorluğu	1	1	0,5	0,50	0,5	1	0,110
Sürdürülebilirlik	1	1	0,50	0,50	0,33	1	0,106
Yangına dayanıklılık	2	2	1	3	1	1	0,252
Kat yüksekliği ve aks aralığı esnekliği	2	2	0,33	1	2	0,33	0,163
Net Alan	2	3	0,5	0,5	1	1	0,175
Risk ve iş güvenliği	1	1	1	3	1	1	0,193
$\lambda_{maks} = 6,591$, $TI = 0,118$, $RI = 1,24$, $TO = 0,095 < 0,100$							

Taşıyıcı eleman kısıtları ana kriterine bağlı olarak belirlenen alt kriterlerin hesabı sonucunda %25,2 önem ağırlığı ile yangına dayanıklılık en yüksek önem ağırlığına sahipken, %19,3 önem ağırlığı ile risk ve iş güvenliği, %17,5 önem ağırlığı ile net alan

kriteri, %16,3 önem ağırlığı değeri ile kat yüksekliği ve aks aralığı esnekliği, %11 önem ağırlığı değeri ile malzeme ve işçilik zorluğu kriteri ve %10,6 önem ağırlığı değeri ile sürdürülebilirlik kriteri elde edilmiştir. Tutarlılık oranı $0,095 < 0.1$ değerini sağladığı için tutarlı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3. Taşıyıcı eleman kısıtları alt kriterleri önem ağırlığı grafiği.

Şehir yapısı ana kriterine bağlı alt kriterlerin karşılaştırılması aşağıda yapılmıştır.

Çizelge 5.6. Şehir yapısı ana kriterine bağlı alt kriterler karşılaştırılması.

Şehir Yapısı Alt Kriterleri	Birim Maliyet	Projelendirme Süresi	Yapım Süresi	Önem Ağırlıkları
Demografik Yapı	1	0,33	1	0,186
İnş. Malzemelerine Uzaklık	3	1	5	0,657
Kalifiye Eleman Bulma Zorluğu	1	0,20	1	0,157
Toplam	5	1,53	7	%100
$\lambda_{maks} = 3,028$, $TI = 0,014$, $RI = 0,58$, $TO = 0,024 < 0,100$				

Çizelge 5.6’da şehir yapısı ana kriterine bağlı olarak değerlendirilen alt kriterlerin ikili karşılaştırılması sonucunda %65,7 önem ağırlığı değeri ile inşaat malzemelerine uzaklık kriteri en önemli kriter olarak ön plana çıkmıştır. İkinci sırayı %18,6 önem ağırlığı değeri ile demografik yapı alırken, üçüncü sırayı ise %15,7 önem ağırlığı değeri ile kalifiye eleman bulma zorluğu kriteri almıştır. Tutarlılık oranı $0,024 < 0.1$ değerini sağladığı için hesabın tutarlı olduğu görülmüştür.



Şekil 5.4. Şehir yapısı ana kriterine bağlı alt kriterlerin önem ağırlığı grafiği.

Endüstriyel yapılarda yapısal sistemde kullanılabilen yapısal sistem alternatiflerinin alt kriterlerine ait ikili karşılaştırmaları yapılarak önem ağırlıkları ve tutarlılık oranları hesaplanmıştır.

Çizelge 5.7. Birim maliyet alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.

Alternatiflerin Karşılaştırılması	Yerinde Döküm Betonarme	Prefabrike Sistem	Çelik Sistem	Önem Ağırlıkları
Yerinde Döküm Betonarme	1	2	4	0,557
Prefabrike Sistem	0,5	1	3	0,320
Çelik Sistem	0,25	0,33	1	0,123
Toplam	1,75	3,33	8	%100
$\lambda_{maks} = 3,018$, TI= 0,009, RI= 0,58, TO= 0,02 <0,100				

Çizelge 5.7’de endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen birim maliyet alt kriterine göre belirlenen 3 çeşit alternatif için AHP yöntemi kullanılarak karşılaştırılma yapılmıştır. %55,7 önem ağırlığı değeri ile yerinde döküm betonarme sistemin ilk sırayı aldığı görülmüştür. %32,0 önem ağırlığı değeri ile prefabrike sistem ikinci sırayı alırken, %12,3 önem ağırlığı değeri ile çelik sistem üçüncü sırayı almıştır.

Çizelge 5.8. Projelendirme süresi alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.

Alternatiflerin Karşılaştırılması	Yerinde Döküm Betonarme	Prefabrike Sistem	Çelik Sistem	Önem Ağırlıkları
Yerinde Döküm Betonarme	1	2	5	0,581
Prefabrike Sistem	0,5	1	3	0,309
Çelik Sistem	0,20	0,33	1	0,110
Toplam	1,70	3,33	9	%100
$\lambda_{maks} = 3,004$, TI= 0,002, RI= 0,58, TO= 0,003 <0,100				

Çizelge 5.8’de endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen projelendirme süresi alt kriterine göre, %58,1 önem ağırlığı değeri ile yerinde döküm betonarme sistemin ilk sırayı aldığı görülmüştür. %30,9 önem ağırlığı değeri ile prefabrike sistem ikinci sırayı alırken, %11,0 önem ağırlığı değeri ile çelik sistem üçüncü sırayı almıştır.

Çizelge 5.9. Yapım süresi alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.

Alternatiflerin Karşılaştırılması	Yerinde Döküm Betonarme	Prefabrike Sistem	Çelik Sistem	Önem Ağırlıkları
Yerinde Döküm Betonarme	1	0,20	0,33	0,106
Prefabrike Sistem	5	1	3	0,633
Çelik Sistem	3	0,33	1	0,260
Toplam	9	1,53	4,33	%100
$\lambda_{maks} = 3,039$, TI= 0,019, RI= 0,58, TO= 0,033 <0,100				

Çizelge 5.9’da endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen yapım süresi alt kriterine göre, %63,3 önem ağırlığı değeri ile prefabrike sistemin ilk sırayı aldığı görülmüştür. %26,0 önem ağırlığı değeri ile çelik sistem ikinci sırayı alırken, %10,6 önem ağırlığı değeri ile yerinde döküm betonarme sistem üçüncü sırayı almıştır.

Çizelge 5.10. Malzeme ve işçilik zorluğu alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.

Alternatiflerin Karşılaştırılması	Yerinde Döküm Betonarme	Prefabrike Sistem	Çelik Sistem	Önem Ağırlıkları
Yerinde Döküm Betonarme	1	0,33	0,20	0,115
Prefabrike Sistem	3	1	1	0,405
Çelik Sistem	5	1	1	0,480
Toplam	9	2,33	2,20	%100
$\lambda_{maks} = 3,029$, TI= 0,015, RI= 0,58, TO= 0,025 <0,100				

Çizelge 5.10’da endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen malzeme ve işçilik zorluğu alt kriterine göre, %48,0 önem ağırlığı değeri ile çelik sistemin malzeme ve işçilik kriterinde daha kolaylık sağlayıp ilk sırayı aldığı görülmüştür. %40,5 önem ağırlığı değeri ile prefabrike sistem ikinci sırayı alırken, %11,5 önem ağırlığı değeri ile yerinde döküm betonarme sistem üçüncü sırayı almıştır.

Çizelge 5.11. Sürdürülebilirlik alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.

Alternatiflerin Karşılaştırılması	Yerinde Döküm Betonarme	Prefabrike Sistem	Çelik Sistem	Önem Ağırlıkları
Yerinde Döküm Betonarme	1	1	3	0,443
Prefabrike Sistem	1	1	2	0,387
Çelik Sistem	0,33	0,50	1	0,170
Toplam	2,33	2,50	6	%100
$\lambda_{maks} = 3,018, TI= 0,009, RI= 0,58, TO= 0,016 < 0,100$				

Çizelge 5.11’de endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen sürdürülebilirlik alt kriterine göre, %44,3 önem ağırlığı değeri ile yerinde döküm betonarme sistemin sırayı aldığı görülmüştür. %38,7 önem ağırlığı değeri ile prefabrike sistem ikinci sırayı alırken, %17,0 önem ağırlığı değeri ile çelik sistem üçüncü sırayı almıştır.

Çizelge 5.12. Yangına dayanıklılık alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.

Alternatiflerin Karşılaştırılması	Yerinde Döküm Betonarme	Prefabrike Sistem	Çelik Sistem	Önem Ağırlıkları
Yerinde Döküm Betonarme	1	2	5	0,568
Prefabrike Sistem	0,50	1	4	0,334
Çelik Sistem	0,20	0,25	1	0,098
Toplam	1,70	3,25	10	%100
$\lambda_{maks} = 3,025, TI= 0,012, RI= 0,58, TO= 0,021 < 0,100$				

Çizelge 5.12’de endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen yangına dayanıklılık alt kriterine göre, %56,8 önem ağırlığı değeri ile yerinde döküm betonarme sistemin sırayı aldığı görülmüştür. %33,4 önem ağırlığı değeri ile prefabrike sistem ikinci sırayı alırken, %9,8 önem ağırlığı değeri ile çelik sistem üçüncü sırayı almıştır.

Çizelge 5.13. Kat yüksekliği ve aks aralığı esnekliği alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.

Alternatiflerin Karşılaştırılması	Yerinde Döküm Betonarme	Prefabrike Sistem	Çelik Sistem	Önem Ağırlıkları
Yerinde Döküm Betonarme	1	0,50	0,20	0,129
Prefabrike Sistem	2	1	0,50	0,277
Çelik Sistem	4	2	1	0,595
Toplam	8	3,5	1,7	%100
$\lambda_{maks} = 3,006$, TI= 0,003, RI= 0,58, TO= 0,005 <0,100				

Çizelge 5.13'te endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen kat yüksekliği ve aks aralığı esnekliği alt kriterine göre, %59,5 önem ağırlığı değeri ile çelik sistemin sırayı aldığı görülmüştür. %27,7 önem ağırlığı değeri ile prefabrike sistem ikinci sırayı alırken, %12,9 önem ağırlığı değeri ile yerinde döküm betonarme sistem üçüncü sırayı almıştır.

Çizelge 5.14. Net alan alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.

Alternatiflerin Karşılaştırılması	Yerinde Döküm Betonarme	Prefabrike Sistem	Çelik Sistem	Önem Ağırlıkları
Yerinde Döküm Betonarme	1	0,33	0,20	0,110
Prefabrike Sistem	3	1	0,50	0,309
Çelik Sistem	5	2	1	0,581
Toplam	9	3,3	1,7	%100
$\lambda_{maks} = 3,004$, TI= 0,002, RI= 0,58, TO= 0,003 <0,100				

Çizelge 5.14'te endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen net alan alt kriterine göre, %58,1 önem ağırlığı değeri ile çelik sistemin sırayı aldığı görülmüştür. %30,9 önem ağırlığı değeri ile prefabrike sistem ikinci sırayı alırken, %11,0 önem ağırlığı değeri ile yerinde döküm betonarme sistem üçüncü sırayı almıştır.

Çizelge 5.15. Risk ve iş güvenliği alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.

Alternatiflerin Karşılaştırılması	Yerinde Döküm Betonarme	Prefabrike Sistem	Çelik Sistem	Önem Ağırlıkları
Yerinde Döküm Betonarme	1	0,25	0,33	0,123
Prefabrike Sistem	4	1	2	0,557
Çelik Sistem	3	0,50	1	0,320
Toplam	8	1,75	3,33	%100
$\lambda_{maks} = 3,018$, TI= 0,009, RI= 0,58, TO= 0,016 <0,100				

Çizelge 5.15'te endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen risk ve iş güvenliği alt kriterine göre, %55,7 önem ağırlığı değeri ile prefabrike sistemin sırayı aldığı görülmüştür. %32,0 önem ağırlığı değeri ile çelik sistem ikinci sırayı alırken, %12,3 önem ağırlığı değeri ile yerinde döküm betonarme sistem üçüncü sırayı almıştır.

Çizelge 5.16. Demografik yapı alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.

Alternatiflerin Karşılaştırılması	Yerinde Döküm Betonarme	Prefabrike Sistem	Çelik Sistem	Önem Ağırlıkları
Yerinde Döküm Betonarme	1	3	5	0,648
Prefabrike Sistem	0,33	1	2	0,230
Çelik Sistem	0,20	0,50	1	0,122
Toplam	1,53	4,50	8	%100
$\lambda_{maks} = 3,004$, TI= 0,002, RI= 0,58, TO= 0,003 <0,100				

Çizelge 5.16'da endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen demografik yapı alt kriterine göre, %64,8 önem ağırlığı değeri ile yerinde döküm betonarme ilk sırayı aldığı görülmüştür. %23,0 önem ağırlığı değeri ile prefabrike sistem ikinci sırayı alırken, %12,2 önem ağırlığı değeri ile çelik sistem üçüncü sırayı almıştır.

Çizelge 5.17. İnşaat malzemelerine uzaklık alt kriterine ait alternatiflerin karşılaştırılması.

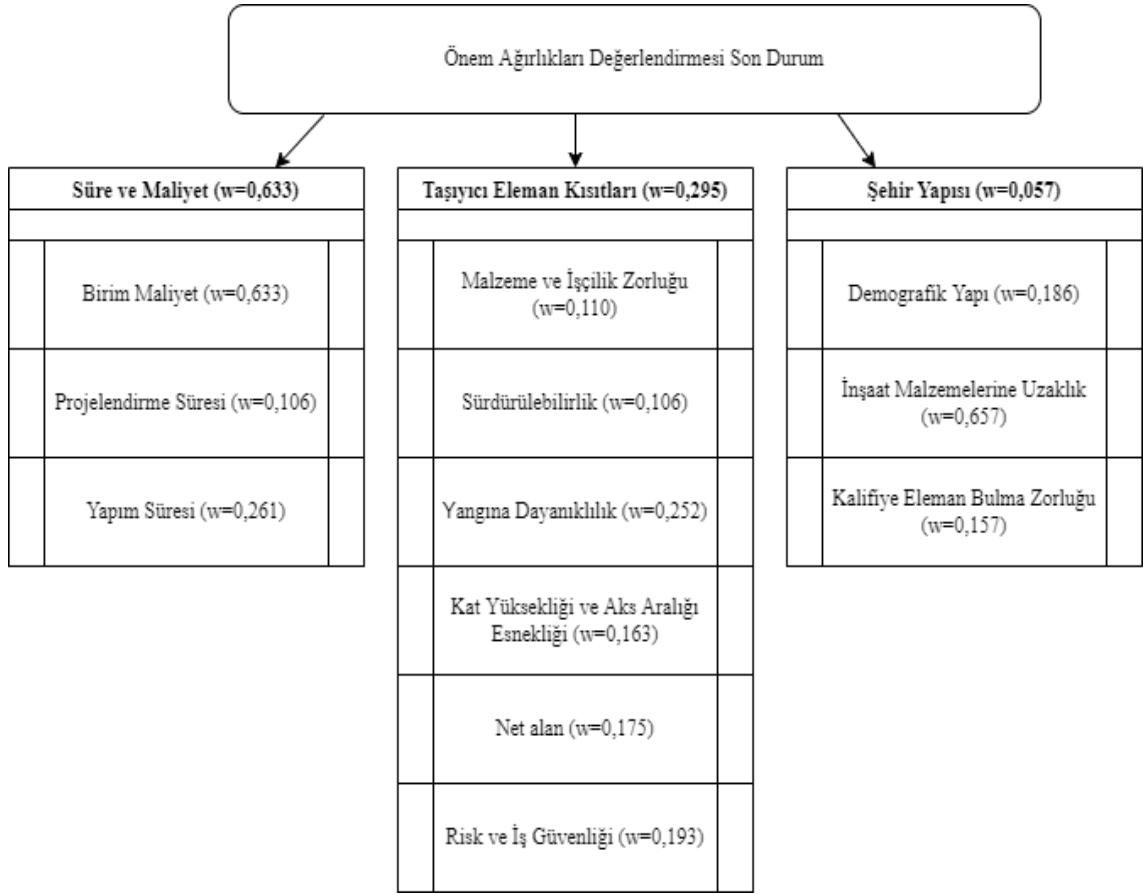
Alternatiflerin Karşılaştırılması	Yerinde Döküm Betonarme	Prefabrike Sistem	Çelik Sistem	Önem Ağırlıkları
Yerinde Döküm Betonarme	1	1	5	0,466
Prefabrike Sistem	1	1	4	0,433
Çelik Sistem	0,20	0,25	1	0,101
Toplam	2,20	2,25	10	%100
$\lambda_{maks} = 3,006$, TI= 0,003, RI= 0,58, TO= 0,005 <0,100				

Çizelge 5.17’de endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen inşaat malzemelerine uzaklık alt kriterine göre, %46,6 önem ağırlığı değeri ile yerinde döküm betonarme ilk sırayı aldığı görülmüştür. %43,3 önem ağırlığı değeri ile prefabrike sistem ikinci sırayı alırken, %10,1 önem ağırlığı değeri ile çelik sistem üçüncü sırayı almıştır.

Çizelge 5.18. Kalifiye eleman bulma zorluğu.

Alternatiflerin Karşılaştırılması	Yerinde Döküm Betonarme	Prefabrike Sistem	Çelik Sistem	Önem Ağırlıkları
Yerinde Döküm Betonarme	1	3	5	0,619
Prefabrike Sistem	0,33	1	4	0,284
Çelik Sistem	0,20	0,25	1	0,096
Toplam	1,53	4,25	10	%100
$\lambda_{maks} = 3,087$, TI= 0,043, RI= 0,58, TO= 0,075 <0,100				

Çizelge 5.18’de endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen kalifiye eleman bulma zorluğu alt kriterine göre, %61,9 önem ağırlığı değeri ile yerinde döküm betonarme ilk sırayı alarak en kolay şekilde kalifiye eleman bulunduğu görülmüştür. %28,4 önem ağırlığı değeri ile prefabrike sistem ikinci sırayı alırken, %9,6 önem ağırlığı değeri ile çelik sistem üçüncü sırayı almıştır.



Şekil 5.5. Kriterler önem ağırlıkları genel durumu.

Ana kriterlerin ve alt kriterlerin önem ağırlık değerlerini kullanarak alternatifler arasında seçim yapılacaktır. Şekil 5.5'te verilen önem ağırlıkları sonuç değerleri kullanılmıştır. Ana kriterlerin belirlenen her bir alt kriter önem ağırlığı değeri ile alternatifinin önem ağırlığı değeri çarpılır ve toplanır. Elde edilen sonuç ile ana kriterler için hesaplanan önem ağırlığı değeri ile çarpılarak alternatifler için önem ağırlık değerleri elde edilmiştir. Yapılan tüm işlemler aşağıda verilmiştir.

Yerinde döküm betonarme yapısal sistem alternatifi için işlemler:

$$(((0,557 \times 0,633) + (0,581 \times 0,106) + (0,106 \times 0,261)) \times 0,649) + (((0,155 \times 0,110) + (0,433 \times 0,106) + (0,568 \times 0,252) + (0,129 \times 0,163) + (0,110 \times 0,175) + (0,123 \times 0,193)) \times 0,295) + (((0,648 \times 0,186) + (0,466 \times 0,657) + (0,619 \times 0,157)) \times 0,057) = \mathbf{0.39335}$$

Prefabrikte yapısal sistem alternatifi için işlemler:

$$(((0,320 \times 0,633) + (0,309 \times 0,106) + (0,633 \times 0,261)) \times 0,649) + (((0,405 \times 0,110) + (0,387 \times 0,106) + (0,334 \times 0,252) + (0,277 \times 0,163) + (0,309 \times 0,175) + (0,557 \times 0,193)) \times 0,295) + (((0,230 \times 0,186) + (0,433 \times 0,657) + (0,284 \times 0,157)) \times 0,057) = \mathbf{0.39219}$$

Çelik yapısal sistem alternatifi için işlemler:

$$(((0,123 \times 0,633) + (0,110 \times 0,106) + (0,260 \times 0,261)) \times 0,649) + (((0,480 \times 0,110) + (0,170 \times 0,106) + (0,098 \times 0,252) + (0,595 \times 0,163) + (0,581 \times 0,175) + (0,320 \times 0,193)) \times 0,295) + (((0,122 \times 0,186) + (0,101 \times 0,657) + (0,096 \times 0,157)) \times 0,057) = \mathbf{0.20775}$$

Elde edilen veriler sonucunda %39,3 değeri ile yerinde döküm betonarme sistem en iyi değer olarak ön plana çıkmıştır. Yerinde döküm betonarme sisteme çok yakın %39,2 önem ağırlığı değeri ile prefabrike yapısal sistem alternatifi ikinci sırayı almıştır. Üçüncü sırayı ise %20,8 önem ağırlığı ile çelik yapısal sistemi olmuştur. Sıralama Çizelge 5.19’da belirtilmiştir.

Çizelge 5.19. Önem ağırlık değerleri ve alternatiflerin sıralanması.

Alternatifler	Önem Ağırlıkları	Sıralama
Yerinde Döküm Betonarme	0.39335	1
Prefabrike Sistem	0.39219	2
Çelik Sistem	0.20775	3

5.2. TOPSIS YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi için belirlenen 3 adet alternatifin değerlendirilmesi TOPSIS yöntemi ile hesaplanmıştır. Kriterlerin özellikleri sayısal ve sözel veriler doğrultusunda önem ağırlıkları hesaplanarak karar matrisi oluşturulur. Çizelge 8.1’de oluşturulan karar matrisi gösterilmiştir. Karar matrisi oluşturduktan sonra kullanılmak üzere gereken önem ağırlıkları değerleri AHP yönteminin sonucunda elde edilen önem ağırlıkları kullanılmıştır.

Karar matrisi oluşturulduktan sonra, normalize karar matrisi Çizelge 8.2’de görüldüğü gibi oluşturulur. Elde edilen normalize karar matris değerleri ile kendi kriter önem ağırlıkları çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi Çizelge 8.3’te gösterildiği gibi oluşturulur. Tez aşamasının önceki bölümünde anlatıldığı gibi pozitif ve negatif ideal uzaklığın belirlenmesi için maksimum ve minimum istenen değerler belirlenir.

TOPSIS yöntemi sonuçları EK.1’de belirtilen çizelgelerde işlemleri yapılarak sonuca ulaşılmıştır. Yerinde döküm betonarme alternatifi için pozitif ideal çözüme uzaklık (Eşitlik 2.7) ve negatif ideal çözüme uzaklık (Eşitlik 2.8) değerleri detaylı bir şekilde aşağıda hesaplanmıştır. Prefabrike sistem ve çelik sistemin pozitif ideal çözüme uzaklık ve negatif ideal çözüme uzaklık değerleri Çizelge 8.4 ve Çizelge 8.5’te gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
Si^+ &= \sqrt{(0,3242992 - 0,3242992)^2 + (0,0285052 - 0,0285052)^2} \\
&+ (0,1737321 - 0,1302991)^2 + (0,0408530 - 0,0817059)^2 \\
&+ (0,0727154 - 0,0727154)^2 + (0,2129789 - 0,2129789)^2 \\
&+ (0,0275520 - 0,1377601)^2 + (0,0295804 - 0,1479020)^2 \\
&+ (0,0378504 - 0,1514017)^2 + (0,1418237 - 0,1418237)^2 \\
&+ (0,4896989 - 0,4896989)^2 + (0,1170209 - 0,1170209)^2 \\
Si^+ &= 0,2063858
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Si^- &= \sqrt{(0,3242992 - 0,4127445)^2 + (0,0285052 - 0,0890788)^2} \\
&+ (0,1737321 - 0,1737321)^2 + (0,0408530 - 0,0408530)^2 \\
&+ (0,0727154 - 0,0545366)^2 + (0,2129789 - 0,0425958)^2 \\
&+ (0,0275520 - 0,0275520)^2 + (0,0295804 - 0,0295804)^2 \\
&+ (0,0378504 - 0,0378504)^2 + (0,1418237 - 0,0850942)^2 \\
&+ (0,4896989 - 0,1958796)^2 + (0,1170209 - 0,0468084)^2 \\
Si^- &= 0,3678728
\end{aligned}$$

Çizelge 5.20. TOPSIS pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri kıyası.

	Si^+	Si^-
Yerinde Döküm Betonarme Sistem	0,2063858	0,3678728
Prefabrike B. Sistem	0,1709567	0,2730647
Çelik Sistem	0,3700982	0,1854288

Elde edilen pozitif ve negatif ideal çözüm değerlerini kullanarak ideal çözüme göreceli

uzaklık hesabı bulunmuştur. Yerinde döküm betonarme alternatifinin ideal çözüme göreceli uzaklık değeri Eşitlik 2.9 ile hesaplanmış olup diğer alternatiflerin ideal çözüme göreceli uzaklık değerleri Çizelge 5.21’de gösterilmiştir.

$$C_1^* = \frac{S_1^-}{S_1^- + S_1^+} = \frac{0,3678728}{0,3678728 + 0,2063858} = 0,6406048$$

Çizelge 5.21. TOPSIS ideal çözüme göreceli uzaklık değerleri.

İdeal çözüme göreceli uzaklık değeri	C_i^*
Yerinde Döküm Betonarme Sistem	0,6406048
Prefabrike Betonarme Sistem	0,6149810
Çelik Sistem	0,3337889

İdeal çözüme göreceli uzaklık değerleri kullanılarak alternatifler arasında endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi konusunda seçim sıralaması oluşturulur. Elde edilen verilere göre yerinde döküm betonarme sistem en yüksek ideal çözüme göreceli uzaklık değeri ile en iyi tercih olarak ön plana çıkmaktadır. İkinci sırayı prefabrike sistem alırken, son sırayı çelik sistem almıştır.

Çizelge 5.22. TOPSIS yöntemi sonuç sıralaması.

Alternatifler	S_i^+	S_i^-	C_i^*	Sıralama sonuçları
Yerinde Döküm Betonarme Sistem	0,2063858	0,3678728	0,6406048	1
Prefabrike Sistem	0,1709567	0,2730647	0,6149810	2
Çelik Sistem	0,3700982	0,1854288	0,3337889	3

5.3. ELECTRE YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Endüstriyel yapılarda yapısal sistemin alternatifler arasında seçimi için ELECTRE I yöntemi kullanılmıştır. TOPSIS yönteminde olduğu gibi karar matrisi oluşturularak başlanılmıştır. Önem ağırlık değerleri AHP yönteminde bulunan veriler üzerinden değerlendirilmiştir.

Elde edilen normalize karar matrisi değerleri Çizelge 8.7’de belirtilmektedir. Normalize karar matrisi değerleri ile AHP yönteminde elde edilen önem ağırlık değerleri çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (Eşitlik 2.13) oluşturulmuştur. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi Çizelge 8.8’de belirtilmektedir.

Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinde elde edilen veriler ile tezin daha önceki bölümlerinde verilen Eşitlik 2.14 ile uyum ve uyumsuzluk seti kümeleri bulma formülü ile tüm elemanlar için uyum ve uyumsuzluk seti kümeleri oluşturulmuştur.

Örnek olması için C(1,2) uyum seti ve D(1,2) uyumsuzluk seti kümelerinin çözümü aşağıda yapılmış olup, diğer uyum ve uyumsuzluk seti için Çizelge 5.23 oluşturularak çözümü sağlanmıştır.

J=1 için $y_{11} = 0,4037810 > y_{21} = 0,3701326$ olduğu için uyum seti C(1,2) elemanıdır.

J=2 için $y_{12} = 0,0886748 > y_{22} = 0,0506713$ olduğu için uyum seti C(1,2) elemanıdır.

J=3 için $y_{13} = 0,1270869 < y_{23} = 0,1694484$ olduğu için uyumsuzluk seti D(1,2) elemanıdır.

J=4 için $y_{14} = 0,0408530 < y_{24} = 0,0612795$ olduğu için uyumsuzluk seti D(1,2) elemanıdır.

J=5 için $y_{15} = 0,0727154 > y_{25} = 0,0545366$ olduğu için uyum seti C(1,2) elemanıdır.

J=6 için $y_{16} = 0,2129789 > y_{26} = 0,1277873$ olduğu için uyum seti C(1,2) elemanıdır.

J=7 için $y_{17} = 0,0275520 < y_{27} = 0,0826561$ olduğu için uyumsuzluk seti D(1,2) elemanıdır.

J=8 için $y_{18} = 0,0295804 < y_{28} = 0,0887412$ olduğu için uyumsuzluk seti D(1,2) elemanıdır.

J=9 için $y_{19} = 0,0378504 < y_{29} = 0,1514017$ olduğu için uyumsuzluk seti D(1,2) elemanıdır.

J=10 için $y_{110} = 0,1418237 > y_{210} = 0,0850942$ olduğu için uyum seti C(1,2) elemanıdır.

J=11 için $y_{111} = 0,4896989 > y_{211} = 0,3917591$ olduğu için uyum seti C(1,2) elemanıdır.

J=12 için $y_{112} = 0,1170209 > y_{212} = 0,0936167$ olduğu için uyum seti C(1,2) elemanıdır.

Çizelge 5.23. Uyum ve uyumsuzluk seti hesaplama.

C12 D12	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1
C13 D13	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1
C21 D21	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0
C23 D23	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
C31 D31	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0
C32 D32	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0

Çizelge 5.24. ELECTRE uyum ve uyumsuzluk seti.

	Uyum Seti (C)		Uyumsuzluk Seti (D)
C(1,2)	{1,2,5,6,10,11,12}	D(1,2)	{3,4,7,8,9}
C(1,3)	{1,2,5,6,10,11,12}	D(1,3)	{3,4,7,8,9}
C(2,1)	{3,4,7,8,9}	D(2,1)	{1,2,5,6,10,11,12}
C(2,3)	{1,2,3,5,6,9,10,11}	D(2,3)	{4,7,8}
C(3,1)	{3,4,7,8,9}	D(3,1)	{1,2,5,6,10,11,12}
C(3,2)	{4,5,7,8,10}	D(3,2)	{1,2,3,6,9,11,12}

Uyum ve uyumsuzluk setleri kullanılarak uyum matrisi elde edilir. C uyum matrisi elemanlarından c_{12} değeri hesaplaması örnek olması amacıyla aşağıda yapılmış. Diğer

uyum matrisi değerleri izelge 5.25'te belirtilmiştir.

$$C_{12} = w_1 + w_2 + w_5 + w_6 + w_{10} + w_{11} + w_{12}$$

$$C_{12} = 0,633 + 0,106 + 0,106 + 0,252 + 0,186 + 0,657 + 0,157 = 2,097$$

Çizelge 5.25. ELECTRE uyum matrisi.

C (Uyum matrisi)	A	B	C	TOPLAM
A	0	2,097	2,097	4,194
B	0,902	0	2,551	3,453
C	0,902	0,740	0	1,642
TOPLAM	1,804	2,837	4,648	9,289

Uyum ve uyumsuzluk seti kümeleri verilerini kullanarak uyumsuzluk matris değerleri elde edilir. Uyumsuzluk seti kümesi için bulunan veriler izelge 8.9'da gösterilmiştir.

Uyumsuzluk matrisi hesabı için d_{12} değeri Eşitlik 2.16 yardımıyla örnek olması için aşağıda hesaplanmıştır.

$$d_{12} = \frac{|0,0423621; 0,0,0204265; 0,05510406; 0,0591608; 0,11355124|}{|0,0336484; 0,0380035; 0,0423621; 0,0204265; 0,01817885; 0,08519155; 0,05510406; 0,0591608; 0,11355124; 0,05672947; 0,09793978; 0,02340418|}$$

$$d_{12} = 1$$

Çizelge 5.26. ELECTRE uyumsuzluk matrisi.

D (Uyumsuzluk matrisi)	A	B	C	TOPLAM
A	0	1	0,402702	1,402702
B	0,862516	0	0,302026	1,164543
C	1	1	0	2
TOPLAM	1,8625161	2	0,704728	4,567224

Elde edilen uyum ve uyumsuzluk matrisleri kullanılarak uyum eşik değeri ($\underline{c}$) Eşitlik 2.17 ile ve uyumsuzluk eşik değeri ($\underline{d}$) ise Eşitlik 2.18 yardımıyla aşağıda hesaplanmıştır.

$$\underline{c} = \frac{(2,097 + 2,097 + 0,902, 2,551 + 0,902 + 0,740)}{3 * (3 - 1)} = 1,548167$$

$$\underline{d} = \frac{(1 + 0,402702 + 0,862516 + 0,302026 + 1 + 1)}{3 * (3 - 1)} = 0,761207$$

Uyum eşik değeri ve uyumsuzluk eşik değerleri hesaplandıktan sonra elde edilen uyum ve uyumsuzluk matris değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma yapılırken, uyum matrisindeki değer uyum eşik değerinden büyük değere sahip ise matriste 1 değerini alır. Eğer eşik değerinden düşük bir değere sahip ise 0 değerini almaktadır. Örnek vermek amacıyla $c_{12}=2,097 > \underline{c}=1,548167$ olduğu için 0 değerini almaktadır. Elde edilen uyum ve uyumsuzluk matris değerleri Çizelge 5.27 ve Çizelge 5.28’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.27. ELECTRE uyum üstünlük matrisi.

Uyum Üstünlük Matrisi	A	B	C
A	0	1	1
B	0	0	1
C	0	0	0

Çizelge 5.28. ELECTRE uyumsuzluk üstünlük matrisi.

Uyumsuzluk Üstünlük Matrisi	A	B	C
A	1	0	1
B	0	1	1
C	0	0	1

ELECTRE I yönteminin son işlem sıralamasında uyum ve uyumsuzluk matrisleri ve toplam üstünlük matrislerini oluşturulup, alternatifler arasında kıyaslama yapabilmek için C_p ve D_p değerleri hesaplanarak alternatiflerin sıralaması bulunmuştur. Hesaplanan C_p ve D_p değerleri Çizelge 5.29 ve Çizelge 5.30’da belirtilmiştir.

Çizelge 5.29. ELECTRE C_p değerleri.

	Uyum matrisi satır toplamı	Uyum matrisi sütun toplamı	C_p	Sıralama
A	4,194	1,804	2,39	1
B	3,453	2,837	0,616	2
C	1,642	4,648	-3,006	3

Çizelge 5.30. ELECTRE D_p değerleri.

	Uyumsuzluk matrisi satır toplamı	Uyumsuzluk matrisi sütun toplamı	D_p	Sıralama
A	1,403	1,863	-0,460	2
B	1,166	2	-0,834	1
C	2	0,705	1,295	3

ELECTRE I yöntemi ile C_p ve D_p ortalamaları alınarak bir sıralama elde edilmiştir. Elde edilen verilerde kesin sıra elde edilememektedir. İlk sıra aynı görünse de ikinci ve üçüncü sıralarda değişiklik yaşanmaktadır. Bu sebeple toplam üstünlük matrisi oluşturularak uyum ve uyumsuzluk matrisleri ile hesabı tamamlanamayan sıralamanın ortalaması alınarak kesin sıralama elde edilmek istenmiştir.

Çizelge 5.31. Toplam üstünlük matrisi(E).

	Toplam Üstünlük Matrisi (E)			Toplam	Sıralama
A	0	0	1	1	1
B	0	0	0	0	2
C	0	0	0	0	2

Çizelge 5.32. Endüstriyel yapılarda alternatiflerin nihai sıralamaları.

	C _P	D _P	(E)	Sıralama
1	A	B	A	A
2	B	A	B=C	B
3	C	C	B=C	C

ELECTRE I yöntemi kullanılarak A alternatifi yani yerinde döküm betonarme sistemin birinci sırayı elde ettiği görülmektedir. İkinci sırayı nihai sıralama sonucunda B alternatifi yani prefabrike sistem, üçüncü ve son sırayı C alternatifi yani çelik sistem almıştır. Nihai sıralama sonuçları Çizelge 5.32’de görülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında ÇKKV tekniklerinden yararlanılarak Düzce ili gibi büyük şehirlere yakın olan şehirlerde endüstriyel yapıların yapısal sistemlerinin hangi kriterlere bağlı olarak seçim yapılabileceği değerlendirilmiştir. Kurulan analiz sisteminde endüstriyel yapılarda kullanılan 3 adet alternatif belirlenmiştir. Maliyet, yapım süresi, projelendirme süresi gibi süre ve maliyet ana kriterine bağlı olan alt kriterlerin analizde en yüksek önem ağırlığına sahip olduğu ölçülmüştür. Bu alternatifler arasında en uygun seçimi yapabilmek için 3 adet ana kriter ve bu ana kriterlere bağlı olacak şekilde 12 adet alt kriter belirlenmiştir.

Uzman kişilerin görüşleri ve müteahhit firmalardan alınan veriler kullanılarak ÇKKV tekniklerinden sırasıyla AHP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri kullanılarak seçim değerlendirilmesi yapılmıştır. Yöntemler seçilirken kullanım sıklıkları ve doğru sonuçlar verdiği konusunda araştırmalar yapılmıştır.

Elde edilen veriler sonucunda kullanılan yöntemlerin tamamında ilk sırayı yerinde döküm betonarme sistem almıştır. Yapılan analizler sonucunda AHP yöntemi ve TOPSIS yönteminin verdiği sonuçların aynı olduğu görülmektedir. Sıralamada yerinde döküm betonarme sistemin alternatifler arasında ilk sırayı almasından dolayı, endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçerken değerlendirme konusunda ilk sırayı alabileceği görülmüştür.

Çalışmada kullanılan AHP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerin aslında günlük hayatta karar verici yöneticilerin sıklıkla kullanabileceği ve kolay yöntemler olduğu anlaşılmıştır. AHP yönteminin diğer yöntemlere oranla tutarlılık kontrolleri sağlandığı için seçim kriterlerinin ve alternatiflerin tutarlılığı konusunda güven sağlamaktadır.

AHP yönteminde, 3 ana kriter ve 12 alt kriterin ikili karşılaştırması ve 3 adet alternatifi ikili karşılaştırmaları hesaplanmıştır. Yapılan analizlerin tutarlılık kontrolleri tamamlandıktan sonra analizlere devam edilmiştir. Tüm analizler tamamlandıktan sonra elde edilen verilerde Çizelge 5.19'da görüldüğü gibi alternatifler arasında en iyi değeri %39,335 ile yerinde döküm betonarme sistem almıştır. İkinci sırayı yerinde döküm betonarme sisteme çok yakın %39,219 oranla prefabrike sistem alırken, son sırayı

%20,775 oranla elik sistem almıştır.

TOPSIS yönteminde, karar matrisindeki değeri normalize ettikten sonra normalize karar matrisi oluşturulmuştur. Normalize matrisi, ağırlıklandırılmış normalize matrise dönüştürdükten sonra alternatiflerin pozitif ideal çözüme uzaklığını ve negatif ideal çözüme uzaklığı hesabı yapılmıştır. Elde edilen değeri ile göreceli uzaklık hesabı yapılarak sıralama sonucu elde edilmiştir. AHP yönteminde elde edilen sıralama, TOPSIS yönteminde de görülmüştür. Çizelge 5.22’de belirtildiği gibi ilk sırayı yerinde döküm betonarme sistem aldığı sonucuna ulaşılmıştır. İkinci sırayı prefabrike sistem alırken, üçüncü sırayı elik sistem almıştır.

ELECTRE I yönteminde, AHP yönteminde elde edilen verilerle oluşturulan karar matrisi kullanılmıştır. İşlem sırası TOPSIS yöntemine çok benzeyen ELECTRE yönteminde sırasıyla karar matrisi, normalize matris ve ağırlıklandırılmış karar matrisleri elde edilmiştir. Maksimum ve minimum istenen verilere göre hesaplanan ağırlıklandırılmış normalize karar matrisindeki her bir alternatifin tüm kriterlere göre karşılaştırılmaları yapılarak uyum ve uyumsuzluk setleri bulunmuştur. Bulunan değeri yardımcı alternatifler arasında sıralama gerçekleştirilmiştir. İşlemleri yaparken MS Excel programından faydalanılmıştır. Yapılan sıralama sonucunda elde edilen verilerde Çizelge 5.32’de görüldüğü gibi ilk sırayı diğeri yöntemlerde elde edilen sıralama gibi yerinde döküm betonarme sistem almıştır. Tez çalışmasında kullanılan diğeri yöntemler gibi ikinci sırayı prefabrike sistem ve son sırayı elik sistem almıştır.

Tez çalışmasından yararlanacak kişiler için, endüstriyel yapılarda yapısal sistem seçimi yaparken hangi kriterlere ve kriterlerin değeriendirme yapılırken ne kadar öneme sahip olduğı görülmektedir. En büyük öneme sahip olan kriterlerin maliyet ve yapım süresi olduğı AHP yöntemi ile hesaplanan önem ağırlık değeri ile anlaşılmıştır. Elde edilen sonuçların birbirlerine çok yakın sonuçlar vermesinden dolayı yapısal sistem seçimi yapılırken çok kriterleri karar verme tekniklerinin bu seçim probleminde kullanılabilir olduğı anlaşılmaktadır. Prefabrike taşıyıcı sistem ve yerinde döküm betonarme taşıyıcı sistem Türkiye’de en yaygın olarak kullanılan sistemler olduğı için bilinirliği ve güvenilirliği yüksek olarak görülmektedir. Yaşanabilen kur değerişikliklerinden elik taşıyıcı sistem elemanının malzemeleri, diğeri sistemlere oranla daha fazla etkilendiği sebebiyle betonarme taşıyıcı sistemin sektördeki insanlara daha uygun geldiği yapılan görüşmelerde yardımcı anlaşılmıştır.

7. KAYNAKLAR

- [1] J. İstemi, “Personel seçiminde analitik hiyerarşi metodunun kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [2] S. Uzun ve H. Kazan, “Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve PROMETHEE karşılaştırılması: Gemi inşada ana makine seçim uygulaması”, *Journal of Transportation and Logistics*, c. 1, sayı 1, ss 99-113, 2016.
- [3] B. Onursal, “Proje seçiminde bulanık TOPSIS yöntemi ile model önerisi: İnşaat sektörü uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, İşletme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [4] N. Ömürbek, M. Karaatlı ve H. G. Cömert, “AHP-SAW ve AHP-ELECTRE ile yapı denetim firmalarının değerlendirilmesi”, *Yönetim Bilimleri Dergisi*, c. 14, sayı 27, ss. 171-199, 2016.
- [5] K. Üke, “AHP yöntemi ile Çorum şehrinde AVM kuruluş yeri seçimi”, Yüksek Lisans Tezi, İşletme, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Hitit Üniversitesi, Çorum, Türkiye, 2016.
- [6] O. Erdoğan ve Y. Topraklı, “Türkiye inşaat endüstrisinde risk tabanlı alt yüklenici seçiminde TOPSIS metodolojisi ve değerlendirmesi”, *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, sayı 1, 2019.
- [7] Z. Yılmaz, F. Çankaya ve A. Karakaya, “Yıkım ve yeniden yapım maliyetlerini etkileyen faktörlerin bina maliyet oranı açısından önemi”, *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, c. 7, sayı 2, ss. 395-412, 2017.
- [8] İ. Temiz, “Yapı makinesi seçim optimizasyonu üzerine bir çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2017.
- [9] N. Özden, “Turizm sektöründe aile işletmelerinin hizmet kalitesinin TOPSIS ve AHP yöntemleri ile değerlendirilmesi: Beş yıldızlı otel işletmeleri örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Turizm İşletmeciliği, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2019.
- [10] E. Ekin, “İnşaat sektöründe tedarikçi seçiminde kullanılan çok amaçlı karar Destek yöntemlerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [11] G. Fidan, “Yüklenici inşaat firmalarının ülke seçimi için geliştirilen çok ölçütlü karar verme modellerinin karşılaştırılması: Vaka çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2016.
- [12] B. E. Hacıköylü, “Analitik hiyerarşi karar verme süreci ile Anadolu Üniversitesi'nde beslene ve barınma yardımı alacak öğrencilerin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2006.
- [13] P. Thokala ve A. Duenas, “Multiple criteria decision analysis for health technology assessment”, *Value in Health*, c. 15, sayı 8, ss 1172-1181, 2012.

- [14] G. Aydın, “Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ve bir sanayi işletmesinde uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Üretim Yönetimi ve Pazarlama, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2008
- [15] Z. S. Stern, A. Mehrez ve Y. Hadad, “An AHP/DEA methodology for ranking decision making units”, *International Transactions in Operational Research.*, sayı 7, ss 109-124, 2000.
- [16] I. Mahdavi, N. M. Amiri, A. Heidarzade ve R. Nourifar, “Designing a model of fuzzy TOPSIS in multiple criteria decision making”, *Applied Mathematics and Computation*, sayı 206, ss 607-617, 2008.
- [17] A. Kuruüzüm ve N. Atsan, “Analitik hiyerarşi yöntemi ve işletmecilik alanındaki uygulamaları”, *Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, sayı 1, ss 84-105, 2001.
- [18] O. S. Validya ve S. Kumar, “Analytic hierarchy process: An overview of applications”, *European Journal of Operational Research*, c. 1 sayı 169, ss 56-82, 2006.
- [19] M. J. Sharma, L. Moon ve H. Bae, “Analytic hierarchy process to assess and optimize distribution network”, *Applied Mathematics and Computation*, sayı 202, ss 256-265, 2008.
- [20] L. Erikan, “HV. K.K.LİĞİ'nde aday seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ile etkin karar verme”, Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2002.
- [21] E. Özgül, “Bir işletme için TOPSIS ve AHP yöntemleri ile ERP yazılımının seçimi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2006.
- [22] T. L. Saaty, “How to make a decision: The analytic hierarchy process”, *European Journal of Operational Research*, c. 48, s. 15, 1990.
- [23] T. L. Saaty, “Relative Measurement and Its generalization in decision making why pairwise comparison are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process”, *Review of the Royal Spanish Academy of Sciences Series a Mathematics*, c. 102, sayı. 2, ss 264, 2008.
- [24] G. Sarıçalı ve N. Kundakçı, “AHP ve COPRAS yöntemleri ile otel alternatiflerinin değerlendirilmesi”, *International Review of Economics and Management*, c. 4 sayı 1, ss. 45-66, 2016.
- [25] H. Özçelik ve B. Kandemir, “BİST'de işlem gören turizm işletmelerinin TOPSIS yöntemi ile finansal performanslarının değerlendirilmesi”, *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 18 sayı 33, 2015.
- [26] K. Vatansever, “Tedarikçi seçim kararlarında bulanık TOPSIS yönteminin kullanımı ve bir uygulama”, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 3 sayı 13, ss 155-168, 2013.
- [27] K. Yurdakul ve Y. T. İç, “Türk otomotiv firmalarının performans ölçümü ve analizine yönelik TOPSIS yöntemini kullanarak bir örnek çalışma”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 18, sayı 1, ss 1-18, 2003.
- [28] G. Çağıl, “2008 küresel kriz sürecinde Türk bankacılık sektörünün finansal performansının ELECTRE ile analizi”, *Maliye Finans Yazıları*, c. 25 sayı 93, ss.

70, 2008.

- [29] S. Soner ve S. Önüt, “Multi-Criteria supplier selection: An ELECTRE-AHP application”, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, sayı 4, ss. 110-120, 2006.
- [30] İ. Ertuğrul ve N. Karakaşoğlu, “ELECTRE ve bulanık AHP yöntemleri ile bir işletme için bilgisayar seçimi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 25 sayı 2, ss. 23-41, 2010.
- [31] H. Künkçü, “Mekanik laboratuvarlarında kullanılacak sarsma tablası deney modeli seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2019.
- [32] H. M. Arslan, “ELECTRE ve maksimum kapsama modeli yöntemleri ile bilim merkezlerinin optimum tesis yeri seçimi”, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 17, sayı 65, ss. 337-355, 2018.
- [33] S. Taner, “İstanbul endüstri yapılarının Loft kavramı çerçevesinde yeniden işlevlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [34] M. Taş, “Türkiye’de endüstri yapılarında deprem sorunu”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1995.
- [35] R. Akbıyıklı, İnşaat mühendisliği yapıları yaklaşık maliyet tahmini ve fiyatlandırma, *İnşaat Yönetimi Metraj ve Maliyet Hesapları*, 3. baskı. İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 2017, böl. 3, ss. 119-120.
- [36] Mosos İnşaat. (2021, 15 Eylül). Erişim: <http://www.mososinsaat.com.tr/yerinde-dokme-betonarme-kolon>
- [37] H. Sezen ve A.S. Whittaker, “Seismic performance of industrial facilities affected by the 1999 Turkey earthquake”, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, c. 20 sayı 1, 2006.
- [38] E. H. Bayar. (2018, 11 Kasım). *Prefabrik yapılar*. İnşaat Mühendisleri Odası Bursa Şubesi. Erişim: https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/9ce07e214f4e49e_ek.pdf?tipi=79&tuuru=X&sube=7
- [39] APEC Çelik Yapı Sistemleri San. ve Tic. A.Ş. (2020, 20 Aralık). Erişim: <http://www.apec.com.tr/endüstri-yapilari-nedir/>
- [40] N. Işık, “Çelik endüstri yapıların yangın güvenliği”, Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2020.
- [41] L. O. Uğur, “İnşaat firmalarının maliyet ve süre belirleme yöntemleri üzerine bir alan çalışması”, 4. *İnşaat Yönetimi Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 2007, ss. 241-250.
- [42] Ö. Eren ve S. Güzelçoban Mayuk, “Çelik yapıların yangına karşı korunma yöntemlerinin değerlendirilmesi”, *NWSA- Engineering Sciences*, c. 8 sayı 3, ss. 157-170, 2013.

8. EKLER

8.1. EK 1: TOPSIS YÖNTEMİ ÇÖZÜM AŞAMALARI

Yöntemde kullanılan veriler uzman görüşleri ve müteahhit firmaların değerlendirmeleri sonucunda oluşturulmuştur.

TOPSIS yönteminde ilk etapta karar matrisi oluşturulur. Oluşturulan karar matrisini formülü tezin daha önceki aşamalarında verilen formül yardımıyla normalize karar matrisi oluşturulur. AHP yöntemi kullanılarak elde edilen kriterlerin önem ağırlık değerleri kullanılmıştır. Elde edilen normalize karar matrisi değerleri önem ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalize karar matrisi elde edilmiştir.

Ağırlıklı normalize karar matrisi elde edildikten sonra pozitif ideal çözüme uzaklık ve negatif ideal çözüme uzaklık değerleri bulunmuştur. Kriterlerin maksimum veya minimum istenen değerler belirtilmiştir. Tablolar oluşturulurken A ile gösterilen alternatif yerinde döküm betonarme sistemi, B ile gösterilen alternatif prefabrike sistem, C ile gösterilen alternatif çelik sistemli alternatif olarak gösterilmiştir.

Çizelge 8.1. TOPSIS Karar matrisi.

Ana Kriterler	Süre ve Maliyet			Taşıyıcı Sistem Kısıtları						Şehir Yapısı		
Maks/Min	Minimum	Minimum	Minimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum
Önem Ağırlıkları	0,633	0,106	0,261	0,110	0,106	0,252	0,163	0,175	0,193	0,633	0,106	0,261
Kriterler	Birim Maliyet (TL)	Projelendirme Süresi (Gün)	Yapım Süresi (Gün)	Malzeme ve İşçilik Zorluğu	Sürdürülebilirlik	Yangına Dayanıklılık	Kat Y.ve Aks Esnekliği	Net Alan	Risk ve İş Güvenliği	Demografik Yapı	İnşaat Malzemelerine Uzaklık	Kalifiye Eleman Bulma Zorluğu
A	1.100	8	120	2	4	5	1	1	1	5	5	5
B	1.120	14	90	3	3	3	3	3	4	3	4	4
C	1.400	25	100	4	3	1	5	5	3	2	2	2

Çizelge 8.2. TOPSIS normalize karar matrisi.

Ana Kriterler	Süre ve Maliyet			Taşıyıcı Sistem Kısıtları						Şehir Yapısı		
Maks/Min	Minimum	Minimum	Minimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum
Önem Ağırlıkları	0,633	0,106	0,261	0,110	0,106	0,252	0,163	0,175	0,193	0,633	0,106	0,261
Kriterler	Birim Maliyet (TL)	Projelendirme Süresi (Gün)	Yapım Süresi (Gün)	Malzeme ve İşçilik Zorluğu	Sürdürülebilirlik	Yangına Dayanıklılık	Kat Y.ve Aks Esnekliği	Net Alan	Risk ve İş Güvenliği	Demografik Yapı	İnşaat Malzemeleri ne Uzaklık	Kalifiye Eleman Bulma Zorluğu
A	0,512321	0,268917	0,665640	0,3713907	0,6859943	0,8451543	0,1690309	0,1690309	0,1961161	0,7624929	0,7453560	0,7453560
B	0,558895	0,470604	0,499230	0,5570860	0,5144958	0,5070926	0,5070926	0,5070926	0,7844645	0,4574957	0,5962848	0,5962848
C	0,652045	0,840365	0,554700	0,7427814	0,5144958	0,1690309	0,8451543	0,8451543	0,5883484	0,4574957	0,2981424	0,2981424

Çizelge 8.3. TOPSIS ağırlıklı normalize karar matrisi.

Ana Kriterler	Süre ve Maliyet			Taşıyıcı Sistem Kısıtları						Şehir Yapısı		
Maks/Min	Minimum	Minimum	Minimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum
Önem Ağırlıkları	0,633	0,106	0,261	0,110	0,106	0,252	0,163	0,175	0,193	0,633	0,106	0,261
Kriterler	Birim Maliyet (TL)	Projelendirme Süresi (Gün)	Yapım Süresi (Gün)	Malzeme ve İşçilik Zorluğu	Sürdürülebilirlik	Yangına Dayanıklılık	Kat Y.ve Aks Esnekliği	Net Alan	Risk ve İş Güvenliği	Demografik Yapı	İnşaat Malzemeleme Uzaklık	Kalifiye Eleman Bulma Zorluğu
A	0,324299	0,028505	0,173732	0,0408530	0,0727154	0,2129789	0,0275520	0,0295804	0,0378504	0,1418237	0,4896989	0,1170209
B	0,353781	0,049884	0,130299	0,0612795	0,0545366	0,1277873	0,0826561	0,0887412	0,1514017	0,0850942	0,3917591	0,0936167
C	0,412744	0,089078	0,144776	0,0817059	0,0545366	0,0425958	0,1377601	0,1479020	0,1135512	0,0850942	0,1958796	0,0468084
Pozitif İ. Ç	0,324299	0,028505	0,130299	0,0817059	0,0727154	0,2129789	0,1377601	0,1479020	0,1514017	0,1418237	0,4896989	0,1170209
Negatif İ.Ç	0,412744	0,089078	0,173732	0,0408530	0,0545366	0,0425958	0,0275520	0,0295804	0,0378504	0,0850942	0,1958796	0,0468084

Çizelge 8.4. TOPSIS pozitif ideal çözüme uzaklık hesabı.

Ana Kriterler	Süre ve Maliyet			Taşıyıcı Sistem Kısıtları					
Kriterler	Birim Maliyet (TL)	Projelendirme Süresi (Gün)	Yapım Süresi (Gün)	Malzeme ve İşçilik Zorluğu	Sürdürülebilirlik	Yangına Dayanıklılık	Kat Y.ve Aks Esnekliği	Net Alan	Risk ve İş Güvenliği
A	0,0000000	0,0000000	0,0018864	0,0016690	0,0000000	0,0000000	0,0121458	0,0140000	0,0128939
B	0,0008692	0,0004571	0,0000000	0,0004172	0,0003305	0,0072576	0,0030365	0,0035000	0,0000000
C	0,0078226	0,0036692	0,0002096	0,0000000	0,0003305	0,0290304	0,0000000	0,0000000	0,0014327

Çizelge 8.4. TOPSIS pozitif ideal çözüme uzaklık hesabı (devam).

Ana Kriterler	Şehir Yapısı			TOPLAM	Si(+)
Alt Kriterler	Demografik Yapı	İnşaat Malzemelerine Uzaklık	Kalifiye Eleman Bulma Zorluğu		
A	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0425951	0,2063858
B	0,0032182	0,0095922	0,0005478	0,0292262	0,1709567
C	0,0032182	0,0863298	0,0049298	0,1369727	0,3700982

Çizelge 8.5. TOPSIS negatif ideal çözüme uzaklık hesabı.

Ana Kriterler	Süre ve Maliyet			Taşıyıcı Sistem Kısıtları					
Kriterler	Birim Maliyet (TL)	Projelendirme Süresi (Gün)	Yapım Süresi (Gün)	Malzeme ve İşçilik Zorluğu	Sürdürülebilirlik	Yangına Dayanıklılık	Kat Y.ve Aks Esnekliği	Net Alan	Risk ve İş Güvenliği
A	0,0078226	0,0036692	0,0000000	0,0000000	0,0003305	0,0290304	0,0000000	0,0000000	0,0000000
B	0,0034767	0,0015362	0,0018864	0,0004172	0,0000000	0,0072576	0,0030365	0,0035000	0,0128939
C	0,0000000	0,0000000	0,0008384	0,0016690	0,0000000	0,0000000	0,0121458	0,0140000	0,0057306

Çizelge 8.5. TOPSIS negatif ideal çözüme uzaklık hesabı (devam).

Ana Kriterler	Şehir Yapısı			TOPLAM	Si(-)
Alt Kriterler	Demografik Yapı	İnşaat Malzemelerine Uzaklık	Kalifiye Eleman Bulma Zorluğu		
A	0,0032182	0,0863298	0,0049298	0,1353304	0,3678728
B	0,0000000	0,0383688	0,0021910	0,0745643	0,2730647
C	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0343838	0,1854288

8.2. EK 2: ELECTRE Yöntemi Çözüm Aşamaları

ELECTRE yöntemi başlangıcında, TOPSIS yönteminde olduğu gibi karar matrisi oluşturularak başlanır. Karar matrisindeki değerleri kullanarak normalize matrisi elde edilmiştir. AHP yönteminde elde edilen önem ağırlık değerleri ELECTRE yönteminde kullanılmıştır. Normalize karar matrisi değerlerini önem ağırlık değerleri ile çarpıp ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi bulunmuştur.

Uyumsuzluk kümeleri çalışmada üzerinde durulan 12 adet alt kriterle ilgili olarak 12x12 matrisi şeklinde oluşturulur. Kurulan matris kullanılarak uyumsuzluk matrisleri elde edilerek sonuca ulaşılır.

Çözüm yönteminde ELECTRE I tekniği kullanılmıştır. İşlem aşamaları yapılırken MS Excel programından yararlanılmıştır.



Çizelge 8.6. ELECTRE I karar matrisi.

Ana Kriterler	Süre ve Maliyet			Taşıyıcı Sistem Kısıtları						Şehir Yapısı		
Maks/Min	Minimum	Minimum	Minimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum
Önem Ağırlıkları	0,633	0,106	0,261	0,110	0,106	0,252	0,163	0,175	0,193	0,633	0,106	0,261
Kriterler	Birim Maliyet (TL)	Projelendirme Süresi (Gün)	Yapım Süresi (Gün)	Malzeme ve İşçilik Zorluğu	Sürdürülebilirlik	Yangına Dayanıklılık	Kat Y.ve Aks Esnekliği	Net Alan	Risk ve İş Güvenliği	Demografik Yapı	İnşaat Malzemelerine Uzaklık	Kalifiye Eleman Bulma Zorluğu
A	1.100	8	120	2	4	5	1	1	1	5	5	5
B	1.120	14	90	3	3	3	3	3	4	3	4	4
C	1.400	25	100	4	3	1	5	5	3	2	2	2

Çizelge 8.7. ELECTRE I normalize karar matrisi.

Ana Kriterler	Süre ve Maliyet			Taşıyıcı Sistem Kısıtları						Şehir Yapısı		
Maks/Min	Minimum	Minimum	Minimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum
Önem Ağırlıkları	0,633	0,106	0,261	0,110	0,106	0,252	0,163	0,175	0,193	0,633	0,106	0,261
Kriterler	Birim Maliyet (TL)	Projelendirme Süresi (Gün)	Yapım Süresi (Gün)	Malzeme ve İşçilik Zorluğu	Sürdürülebilirlik	Yangına Dayanıklılık	Kat Y.ve Aks Esnekliği	Net Alan	Risk ve İş Güvenliği	Demografik Yapı	İnşaat Malzemeleri ne Uzaklık	Kalifiye Eleman Bulma Zorluğu
A	0,637884	0,836554	0,486920	0,3713907	0,6859943	0,8451543	0,1690309	0,1690309	0,1961161	0,7624929	0,7453560	0,7453560
B	0,584727	0,478031	0,649227	0,5570860	0,5144958	0,5070926	0,5070926	0,5070926	0,7844645	0,4574957	0,5962848	0,5962848
C	0,501195	0,267697	0,584304	0,7427814	0,5144958	0,1690309	0,8451543	0,8451543	0,5883484	0,4574957	0,2981424	0,2981424

Çizelge 8.8. ELECTRE I ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi.

Ana Kriterler	Süre ve Maliyet			Taşıyıcı Sistem Kısıtları						Şehir Yapısı		
Maks/Min	Minimum	Minimum	Minimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum	Maksimum
Önem Ağırlıkları	0,633	0,106	0,261	0,110	0,106	0,252	0,163	0,175	0,193	0,633	0,106	0,261
Kriterler	Birim Maliyet (TL)	Projelendirme Süresi (Gün)	Yapım Süresi (Gün)	Malzeme ve İşçilik Zorluğu	Sürdürülebilirlik	Yangına Dayanıklılık	Kat Y.ve Aks Esnekliği	Net Alan	Risk ve İş Güvenliği	Demografik Yapı	İnşaat Malzemeleri ne Uzaklık	Kalifiye Eleman Bulma Zorluğu
A	0,403781	0,088674	0,127086	0,0408530	0,0727154	0,2129789	0,0275520	0,0295804	0,0378504	0,1418237	0,4896989	0,1170209
B	0,370132	0,050671	0,169448	0,0612795	0,0545366	0,1277873	0,0826561	0,0887412	0,1514017	0,0850942	0,3917591	0,0936167
C	0,317256	0,028375	0,152503	0,0817059	0,0545366	0,0425958	0,1377601	0,1479020	0,1135512	0,0850942	0,1958796	0,0468084

Çizelge 8.9. ELECTRE uyumsuzluk seti kümesi.

Kriterler	Birim Maliyet	Projelendirme Süresi	Yapım Süresi	M.ve İşçilik Zorluğu	Sürdürülebilirlik	Yangına dayanıklılık	Kat Y. ve Aks E.	Net Alan	Risk ve iş güvenliği
D(1,2)	0,0336484	0,0380035	0,0423621	0,0204265	0,01817885	0,08519155	0,05510406	0,0591608	0,11355124
D(1,3)	0,0865245	0,0602989	0,0254173	0,0408530	0,0181789	0,1703831	0,1102081	0,1183216	0,0757008
D(2,1)	0,0336484	0,0380035	0,0423621	0,0204265	0,0181789	0,0851915	0,0551041	0,0591608	0,1135512
D(2,3)	0,0528761	0,0222954	0,0169448	0,0204265	0	0,08519155	0,05510406	0,0591608	0,03785041
D(3,1)	0,0865245	0,0602989	0,0254173	0,040853	0,01817885	0,1703831	0,11020811	0,1183216	0,07570083
D(3,2)	0,0528761	0,0222954	0,0169448	0,0204265	0	0,08519155	0,05510406	0,0591608	0,03785041

Çizelge 8.9. ELECTRE uyumsuzluk seti kümesi (devam).

	Demografik yapı	İnşaat malzemelerine uzaklık	Kalifiye eleman bulma	Uyumsuzluk matris elemanı
D(1,2)	0,05672947	0,09793978	0,02340418	1
D(1,3)	0,0567295	0,2938193	0,0702125	0,4027019
D(2,1)	0,0567295	0,0979398	0,0234042	0,8625161
D(2,3)	0	0,19587955	0,04680836	0,3020264
D(3,1)	0,05672947	0,29381933	0,07021253	1
D(3,2)	0	0,19587955	0,04680836	1

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gökalp KARAÇAM

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Karabük Üniversitesi	2018
Lise	Sayısal	Arsal Anadolu Lisesi	2013

YAYINLAR

R. Akbıyıklı, G. Karaçam, (2021), “İnşaat Sektöründe AHP ve TOPSIS Kullanarak İş Güvenliği ve Sağlığı Açısından En Güvenilir Şirketin Seçimi”. *Uluslararası Antalya Bilimsel Araştırmalar ve Yenilikçi Çalışmalar Kongresi – Tam Metin Bildiri Kitabı*, s. 1 ss. 664 – 680, 2021.

G. Karaçam, (2020), “İnşaat Sektöründe AHP ve TOPSIS Uygulaması ile Taşeron Seçimi”. *Anadolu V. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi – Tam Metin Bildiri Kitabı*, s.5 ss. 330 – 345, 2020.