

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YAPI PROJELERİNİN YAKLAŞIK MALİYET HESAPLANMASINA YÖNELİK
YAZILIM DESTEKLİ BÜTÜNLEŞİK BİR OPTİMİZASYON MODELİ ÖNERİSİ

DOKTORA TEZİ

Semi Emrah ASLAY

TEMMUZ 2023
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

**YAPI PROJELERİNİN YAKLAŞIK MALİYET HESAPLANMASINA YÖNELİK
YAZILIM DESTEKLİ BÜTÜNLEŞİK BİR OPTİMİZASYON MODELİ ÖNERİSİ**

Semi Emrah ASLAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 / 06 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 17 / 07 / 2023

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tayfun DEDE

Trabzon 2023

ÖNSÖZ

“Yapı Projelerinin Yaklaşık Maliyet Hesaplanmasına Yönelik Yazılım Destekli Bütünleşik Bir Optimizasyon Modeli Önerisi ” konulu tez çalışmamda beni yönlendirerek maddi ve manevi her türlü desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Tayfun DEDE’ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez jürisinde yer alarak, bana çalışmam sırasında değerli zamanlarını ayırıp, görüş ve önerileriyle yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Vedat TOĞAN’a ve Doç. Dr. Gökhan ÖZÇELİK’e teşekkür ederim.

Tez jürisinde yer almayı kabul eden ve tezimi değerlendirmek için değerli zamanlarını esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Rıfat AKBIYIKLI ve Doç. Dr. Savaş BAYRAM’a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan başta annem, babam ve abim olmak üzere, tez çalışmam sırasında yeterli zaman ayıramadığım eşim ve çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın teorik uygulamalarda sınırlı kalmayıp, pratik uygulamalarda da kullanılarak ülkeme faydalı olması ümidiyle, saygılarımı arz ederim..

Semi Emrah ASLAY

Trabzon 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Yapı Projelerinin Yaklaşık Maliyet Hesaplanmasına Yönelik Yazılım Destekli Bütünleşik Bir Optimizasyon Modeli Önerisi ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanı Prof. Dr. Tayfun DEDE’nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deney/analizleri ilgili laboratuvarında yaptığımı/yaptırdığımı başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17 / 07 / 2023

Semi Emrah ASLAY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. İnşaat Mühendisliğinde Açık Kodlu Yazılımlar ve Yaklaşık Maliyet Kavramı	2
1.3. Yapı Maliyeti ve Optimizasyon.....	4
1.4. Tasarım Optimizasyonu	5
1.5. Optimizasyon Yöntemleri.....	7
1.6. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	9
1.7. Literatür Taraması	10
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	24
2.1. Maliyet ve Tasarım	24
2.2. Metraj Verileri.....	25
2.3. Kullanılan Birim Fiyatlar ve Rayiç Bedelleri	27
2.4. Oluşturulan Yazılım Programı ve Arayüz kullanımı.....	32
2.4.1. Meta-Sezgisel Yöntemler.....	37
2.4.2. TLBO Algoritması	38
2.4.3. Jaya Algoritması	41
2.4.4. Rao Algoritmaları.....	43
2.5. Oapi İle Optimizasyon.....	47
2.5.1. Amaç Fonksiyonu	49
2.5.2. Tasarım Değişkenleri	51
2.5.3. Sınırlayıcılar	55
3. BULGULAR VE İRDELEME	56

3.1. Örnek Çalışmalar	56
3.2. 3 Katlı Bina (Müstakil Konut)	57
3.2.1. 3 Katlı Binanın Jaya Algoritması ile Çözümü.....	62
3.2.2. 3 Katlı Binanın TLBO Algoritması ile Çözümü	67
3.2.3. 3 Katlı Binanın Rao-1 Algoritması ile Çözümü	71
3.2.4. 3 Katlı Binanın Rao-2 Algoritması ile Çözümü	75
3.3. 500 Kişilik Yurt (7Katlı)	80
3.3.1. 500 Kişilik Yurt Binasının Jaya Algoritması ile Çözümü	84
3.3.2. 500 Kişilik Yurt Binasının TLBO Algoritması ile Çözümü	89
3.3.3. 500 Kişilik Yurt Binasının Rao-1 Algoritması ile Çözümü.....	93
3.3.4. 500 Kişilik Yurt Binasının Rao-2 Algoritması ile Çözümü.....	97
3.4. 4 Katlı Konut Binası.....	102
3.4.1. 4 Katlı Konut Binasının Jaya Algoritması ile Çözümü.....	108
3.4.2. 4 Katlı Konut Binasının TLBO Algoritması ile Çözümü	112
3.4.3. 4 Katlı Konut Binasının Rao-1 Algoritması ile Çözümü	116
3.4.4. 4 Katlı Konut Binasının Rao-2 Algoritması ile Çözümü.....	120
3.5. 10 Yataklı Hastane Binası	125
3.5.1. 10 Yataklı Hastane Binasının Jaya Algoritması ile Çözümü	130
3.5.2. 10 Yataklı Hastane Binasının TLBO Algoritması ile Çözümü	135
3.5.3. 10 Yataklı Hastane Binasının Rao-1 Algoritması ile Çözümü.....	140
3.5.4. 10 Yataklı Hastane Binasının Rao-2 Algoritması ile Çözümü.....	145
3.6. 12 Derslikli Okul.....	151
3.6.1. 12 Derslikli Okul.Binasının Jaya Algoritması ile Çözümü.....	156
3.6.2. 12 Derslikli Okul.Binasının TLBO Algoritması ile Çözümü.....	161
3.6.3. 12 Derslikli Okul.Binasının Rao-1 Algoritması ile Çözümü	165
3.6.4. 12 Derslikli Okul.Binasının Rao-2 Algoritması ile Çözümü	170
3.7. Sayısal Verilerin Değerlendirilmesi	176
3.8. Oluşturulan Yazılım Programı ve Arayüz Kullanımın Sayısal Verilere Katkısı	180
4. SONUÇ	182
5. ÖNERİLER.....	184
6. KAYNAKLAR	185
7. EKLER	192
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Doktora Tezi

YAPI PROJELERİNİN YAKLAŞIK MALİYET HESAPLANMASINA YÖNELİK YAZILIM DESTEKLİ BÜTÜNLEŞİK BİR OPTİMİZASYON MODELİ ÖNERİSİ

Semi Emrah ASLAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Tayfun DEDE
2023, 207 Sayfa, 17 sayfa ek

Piyasa şartlarında inşaat projeleri, yaklaşık maliyet bedeline bakılmaksızın mühendis-mimar öngörüsüyle ve statik kaygı ile tamamlanır. Ancak yüklenici veya harcama yetkilisi için inşaat maliyeti en önemli karar vericidir. Bu çalışmada; optimum inşaat maliyetini oluşturmaya yönelik, yaklaşık maliyet-hakediş programları ile statik paket programlara entegre olabilen bir yazılım oluşturulmuştur. ACDOS (Automated cost-design optimization of structures-Yapıların otomatik maliyet-tasarım optimizasyonu) adı verilen yazılım kullanılarak; gerçek bir inşaat projesinde optimizasyon algoritmaları ile inşaat yaklaşık maliyetini her tasarım aşamasında minimize etmek için iterasyon yapılarak, optimum yaklaşık maliyet bedeli elde edilmiştir. Betonarme yapıların maliyet-tasarım optimizasyon süreçleri otonom bir şekilde yürütülmüştür. Toplam yapı alanları 500-5580 m² arasında değişen beş adet farklı gerçekte var olan ve inşaatı tamamlanarak verileri elde edilmiş olan betonarme yapılar üzerinde dört farklı optimizasyon algoritması uygulanmıştır. Yapılara ve algoritmalara göre farklılık gösteren inşaat yaklaşık maliyetleri %5,32-%14,42 oranında azaltılarak başarı elde edilmiştir. Bu tez çalışması tüm bu yönleriyle hem inşaat piyasa uygulamalarına hem de teorik yaklaşık maliyet çalışmalarına katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tasarım-Maliyet Optimizasyonu, TLBO, Jaya, Rao Algoritmaları, 3D maliyet optimizasyonu, ACDOS, ETABS-OAPI.

SUMMARY

PhD. Thesis

PROPOSAL OF AN INTEGRATED OPTIMIZATION MODEL WITH SOFTWARE SUPPORT TO CALCULATE THE APPROXIMATE COST OF BUILDING PROJECTS

Semi Emrah ASLAY

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Tayfun DEDE
2023, 207 Pages, 17 Pages Appendix

In market conditions, construction projects are completed with the foresight of the engineer-architect and with static concern, regardless of the approximate cost. But for the contractor or spending authority, the cost of construction is the most significant decision maker. In this study, a software was created that can be integrated with approximate cost-progress programs and static package programs to create the optimum construction cost. By utilizing ACDOS (Automated cost design optimization of structures) software, the optimum approximate cost value was obtained by iterating with optimization algorithms in a real construction project to minimize the approximate cost of construction at each design stage. Cost-design optimization processes of reinforced concrete structures were carried out autonomously. Four different optimization algorithms were applied on five different real-life buildings with a total building area of 500-5580 m². Success was achieved by reducing the approximate construction costs, which differ according to structures and algorithms, by 5.32%-14.42%. With all these aspects, this thesis study contributes to both construction market practices and theoretical approximate cost studies.

Key Words: Cost-Design Optimization, TLBO, Jaya, Rao Algorithm, 3D cost optimization, ACDOS, ETABS-OAPI.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Yaklaşık maliyete ait iş kalemleri	3
Şekil 2. Maliyet-Tasarım optimizasyon süreçlerine ait özet anlatım	25
Şekil 3. Maliyet Şablonu.....	26
Şekil 4. ACDOS Programına Ait İçerik Görseli	33
Şekil 5. ACDOS Programına Ait Program Çalıştırma Görseli.....	34
Şekil 6. ACDOS Programına Ait Grup Seçilmesi Görseli	35
Şekil 7. ACDOS Programına Ait Kullanıcı Girdileri Görseli.....	36
Şekil 8. ACDOS Programına Ait Optimizasyon Algoritmaları Görseli.....	37
Şekil 9. TLBO Akış Diyagramı	41
Şekil 10. Jaya İş Akış Diyagramı.....	43
Şekil 11. Rao Algoritmalarına ait akış diyagramı.....	45
Şekil 12. ACDOS Programına Ait Metraj Verileri Görseli.....	46
Şekil 13. Etabs-Matlab Excell Döngüsü.....	47
Şekil 14. ACDOS Programın Piyasa Şartlarındaki Uygulamaları	49
Şekil 15. Amaç Fonksiyonları Tasarım Döngüleri.....	51
Şekil 16. 3 Katlı Yapı (Müstakil Konut) Görseli	57
Şekil 17. Etabs Modeli, 3 Katlı Yapı (Müstakil Konut).....	58
Şekil 18. Sta4Cad Modeli, 3 Katlı Yapı (Müstakil Konut)	59
Şekil 19. Yapı Elemanlarının Renkli Gruplandırılması (3 Katlı Bina)	61
Şekil 20. 3 Katlı Binanın En İyi Çözümüne Ait Grafik (Jaya)	65
Şekil 21. 3 Katlı Bina 10 Adet Koşum Tamamı (Jaya).....	66
Şekil 22. 3 Katlı Binanın 10 Adet Koşum Sonucu (Jaya)	66
Şekil 23. 3 Katlı Binanın En İyi Çözümüne Ait Grafik (TLBO).....	69
Şekil 24. 3 Katlı Binanın 10 Adet Koşum Tamamı (TLBO).....	70
Şekil 25. 3 Katlı Binanın 10 Adet Koşum Sonucu (TLBO)	70
Şekil 26. 3 Katlı binanın en iyi çözüme ait grafik (Rao-1).....	73
Şekil 27. 3 Katlı binanın 10 adet koşum tamamı (Rao-1)	74
Şekil 28. 3 Katlı Binanın 10 adet koşum sonucu (Rao-1)	74
Şekil 29. 3 Katlı Binanın En İyi Çözümüne Ait Grafik (Rao-2).....	77
Şekil 30. 3 Katlı Binanın 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-2)	78

Şekil 31.	3 Katlı Binanın 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-2).....	78
Şekil 32.	3 Katlı Binada Farklı Algoritmalara Ait Yakınsama Grafiklerinin Karşılaştırılması.....	79
Şekil 33.	500 Kişilik Yurt Kaba İnşaat Fotoğrafı	80
Şekil 34.	500 Kişilik Yurt Yapının Son Hali	80
Şekil 35.	500 Kişilik Yurt Etabs Modeli	81
Şekil 36.	500 Kişilik Yurt Sta4Cad Modeli	82
Şekil 37.	Gruplama Yapılan Elemanların Gösterimi (500 Kişilik yurt).....	84
Şekil 38.	500 Kişilik Yurt En İyi Çözüme Ait Grafik (Jaya)	87
Şekil 39.	500 Kişilik Yurt Binası 5 Adet Koşum Tamamı (Jaya).....	88
Şekil 40.	500 Kişilik Yurt Binası 5 Adet Koşum Sonucu (Jaya).....	88
Şekil 41.	500 Kişilik Yurt Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (TLBO)	91
Şekil 42.	500 Kişilik Yurt Tüm Koşturma Değerleri (TLBO).....	92
Şekil 43.	500 Kişilik Yurt Binasının 5 Adet Koşum Sonucu (TLBO).....	92
Şekil 44.	500 Kişilik Yurt Binasının En İyi Çözüme Ait Grafiği (Rao-1)	95
Şekil 45.	500 Kişilik Yurt Binası 5 Adet Koşturma Değerleri (Rao-1)	96
Şekil 46.	500 Kişilik Yurt Binası 5 Adet Koşum Sonucu (Rao-1)	96
Şekil 47.	500 Kişilik Yurt Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Rao-2)	99
Şekil 48.	500 Kişilik Yurt Binası 5 Adet Koşum Tamamı (Rao-2)	100
Şekil 49.	500 Kişilik Yurt Binası 5 Adet Koşum Sonucu (Rao-2)	100
Şekil 50.	500 Kişilik Yurt Binası Farklı Algoritmalara Ait Koşum Sonuçlarını Karşılaştırılması.....	101
Şekil 51.	4 Katlı Konut Binası Kaba İnşaat Fotoğrafı.....	102
Şekil 52.	4 Katlı Konut Binası Son Hali.....	103
Şekil 53.	4 Katlı Konut Binası Etabs Modeli.....	104
Şekil 54.	4 Katlı Konut Binası Sta4Cad Modeli	104
Şekil 55.	Yapı Elemanlarının Renkli Gruplandırılması (4 Katlı Konut Binası).....	107
Şekil 56.	4 Katlı Konut Binasın En İyi Çözüme Ait Grafik (Jaya).....	110
Şekil 57.	4 Katlı Konut Tüm Koşturma Değerleri (Jaya).....	111
Şekil 58.	4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Jaya)	111
Şekil 59.	4 Katlı Konut Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (TLBO).....	114
Şekil 60.	4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (TLBO).....	115
Şekil 61.	4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (TLBO).....	115
Şekil 62.	4 Katlı Konut Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Rao-1)	118

Şekil 63.	4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-1)	119
Şekil 64.	4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-1).....	119
Şekil 65.	4 Katlı Konut Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Rao-2)	122
Şekil 66.	4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-2)	123
Şekil 67.	4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-2).....	123
Şekil 68.	4 Katlı Konut Binasında Farklı Algoritmalara Ait Koşum Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	124
Şekil 69.	10 Yataklı Hastane Binası.....	125
Şekil 70.	Etabs Modeli, 10 Yataklı Hastane	126
Şekil 71.	Sta4Cad Modeli, 10 Yataklı Hastane.....	127
Şekil 72.	Yapı Elemanlarının Renkli Gruplandırılması (10 Yataklı Hastane).....	129
Şekil 73.	10 Yataklı Hastane Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Jaya)	133
Şekil 74.	10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Jaya).....	134
Şekil 75.	10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Jaya).....	134
Şekil 76.	10 Yataklı Hastane Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Jaya)	138
Şekil 77.	10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (TLBO)	139
Şekil 78.	10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Jaya).....	139
Şekil 79.	10 Yataklı Hastane Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Rao-1).....	143
Şekil 80.	10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-1).....	144
Şekil 81.	10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-1)	144
Şekil 82.	10 Yataklı Hastane Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Rao-2).....	148
Şekil 83.	10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-2).....	149
Şekil 84.	10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-2)	149
Şekil 85.	10 yataklı Hastane Farklı Algoritmalara Ait Koşum Değerlerinin Karşılaştırılması.....	150
Şekil 86.	12 Derslikli Okul Görseli.....	151
Şekil 87.	Etabs Modeli, 12 Derslikli Okul.....	152
Şekil 88.	Sta4Cad Modeli, 12 Derslikli Okul	152
Şekil 89.	Yapı Elemanlarının Renkli Gruplandırılması (12 Derslikli Okul)	155
Şekil 90.	12 Derslikli Okul Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Jaya)	159
Şekil 91.	12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Jaya)	160
Şekil 92.	12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Jaya)	160
Şekil 93.	12 Derslikli Okul Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (TLBO).....	163
Şekil 94.	12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (TLBO).....	164

Şekil 95.	12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (TLBO)	165
Şekil 96.	12 Derslikli Okul Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Rao-1)	168
Şekil 97.	12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-1).....	169
Şekil 98.	12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-1).....	169
Şekil 99.	12 Derslikli Okul Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Rao-2)	173
Şekil 100.	12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-2).....	174
Şekil 101.	12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-2).....	174
Şekil 102.	12 Derslikli Okul Farklı Algoritmalara Ait Koşum Değerlerinin Karşılaştırılması.....	175



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Optimizasyon yöntemlerinin sınıflandırılması	8
Tablo 2. Optimizasyon algoritmalarının tarihsel süreci.	10
Tablo 3. Nervürlü Demir Birim Fiyat Analizi	29
Tablo 4. C30/37 Beton Birim Fiyat Analizi.....	30
Tablo 5. Betonarme Kalıp Birim Fiyat Analizi.....	31
Tablo 6. Kirişlere ait tasarım değişkenleri.....	52
Tablo 7. Kolonlara ait tasarım değişkenleri.....	53
Tablo 8. Sayısal Örneklerle Ait Özet Bilgiler.....	56
Tablo 9. Yapıların Periyot Karşılaştırması 3 Katlı Bina (Müstakil Konut).....	60
Tablo 10. Jaya Algoritmasına Ait Veriler (3katlı Bina)	63
Tablo 11. 3 Katlı Binaya Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Jaya)	64
Tablo 12. TLBO Algoritmasına Ait Veriler (3katlı Bina).....	68
Tablo 13. 3 Katlı Binaya Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (TLBO)	68
Tablo 14. Rao-1 Algoritmasına Ait Veriler (3katlı Bina).....	72
Tablo 15. 3 Katlı Binaya Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-1).....	72
Tablo 16. Rao-2 Algoritmasına Ait Veriler (3katlı Bina).....	76
Tablo 17. 3 Katlı Binaya Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-2).....	76
Tablo 18. 3 Katlı Binada Farklı Algoritmalara Ait Maliyet Azaltım Oranlarının Karşılaştırılması.....	79
Tablo 19. Yapıların Modal Frekanslarının Karşılaştırması 500 Kişilik Yurt (7 Katlı)	83
Tablo 20. Jaya Algoritmasına Ait Veriler (500 Kişilik Yurt).....	85
Tablo 21. 7 Katlı Binaya Ait (500 kişilik yurt) İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Jaya).....	86
Tablo 22. TLBO Algoritmasına Ait Veriler (500 Kişilik Yurt).....	90
Tablo 23. 500 Kişilik Yurt İlk ve Optimum Kesit Değerleri (TLBO)	90
Tablo 24. Rao-1 Algoritmasına Ait Veriler (500 Kişilik Yurt)	94
Tablo 25. 500 Kişilik Yurt İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-1)	94
Tablo 26. Rao-2 Algoritmasına Ait Veriler (500 Kişilik Yurt)	98
Tablo 27. 500 Kişilik Yurt İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-2).....	98

Tablo 28.	500 Kişilik Yurt Binasında Farklı Algoritmalara Ait Maliyet Azaltım Oranlarının Karşılaştırılması	101
Tablo 29.	Yapıların Modal Frekanslarının Karşılaştırması 4 Katlı Konut Binası	106
Tablo 30.	Jaya Algoritmasına Ait Veriler (4 Katlı Konut Binası)	109
Tablo 31.	4 Katlı Konuta Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Jaya)	109
Tablo 32.	TLBO Algoritmasına Ait Veriler (4Katlı Konut Binası)	113
Tablo 33.	4 Katlı Konut Binasına Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Jaya)	113
Tablo 34.	Rao-1 Algoritmasına Ait Veriler (4Katlı Konut Binası)	117
Tablo 35.	4 Katlı Konut Binasına Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-1)	117
Tablo 36.	Rao-2 Algoritmasına Ait Veriler (4 Katlı Konut Binası)	121
Tablo 37.	4 Katlı Konut Binasına Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-2)	121
Tablo 38.	4 Katlı Konut Binasındada Farklı Algoritmalara Ait Maliyet Azaltım Oranlarının Karşılaştırılması	124
Tablo 39.	Yapıların Periyot Karşılaştırması 3 Katlı Bina (10 Yataklı Hastane)	129
Tablo 40.	Jaya Algoritmasına Ait Veriler (10 yataklı Hastane)	131
Tablo 41.	10 yataklı Hastaneye Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Jaya)	131
Tablo 42.	TLBO Algoritmasına Ait Veriler (10 yataklı Hastane)	136
Tablo 43.	10 yataklı Hastaneye Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (TLBO)	136
Tablo 44.	Rao-1 Algoritmasına Ait Veriler (10 yataklı Hastane)	141
Tablo 45.	10 yataklı Hastaneye Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-1)	141
Tablo 46.	Rao-2 Algoritmasına Ait Veriler (10 yataklı Hastane)	146
Tablo 47.	10 yataklı Hastaneye Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-2)	146
Tablo 48.	10 yataklı Hastane Farklı Algoritmalara Ait Maliyet Azaltım Oranlarının Karşılaştırılması	150
Tablo 49.	Yapıların Periyot Karşılaştırması 12 Derslikli Okul	154
Tablo 50.	Jaya Algoritmasına Ait Veriler (12 Derslikli Okul)	157
Tablo 51.	12 Derslikli Okul İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Jaya)	157
Tablo 52.	TLBO Algoritmasına Ait Veriler (12 Derslikli Okul)	161
Tablo 53.	12 Derslikli Okul İlk ve Optimum Kesit Değerleri (TLBO)	162
Tablo 54.	Rao-1 Algoritmasına Ait Veriler (12 Derslikli Okul)	166
Tablo 55.	12 Derslikli Okul İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-1)	166
Tablo 56.	Rao-2 Algoritmasına Ait Veriler (12 Derslik Okul)	171
Tablo 57.	12 Derslikli Okul İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-2)	171
Tablo 58.	12 Derslikli Okul Farklı Algoritmalara Ait Maliyet Azaltım Oranlarının Karşılaştırılması	175

Tablo 59. Tüm Binaların ve Algoritmaların Karşılaştırmalı Yaklaşık Maliyet Değerleri.....	176
Tablo 60. Tüm Bina ve Algoritmaların Karşılaştırmalı Azaltım Oranları	178
Tablo 61. Sayısal Örneklerle Ait Sonuç ve Görseller	179



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Geçmişten günümüze kadar insanlığın yapılara olan ihtiyacı hep var olmuştur. Konut edinme, eğitim, ibadet, sağlık hizmeti başta olmak üzere, alınacak hizmetin türüne göre inşaat süreçleri gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında su temini ve iletimi, elektrik temini gibi altyapı gerektiren konularda da gerekli olan inşaat çalışmaları yüzyıllardır yapılmaktadır. Sayılan bu temel ihtiyaçlardan haricinde, ileri inşaat teknolojisi gerektiren yapılar da günümüz koşullarında rahatlıkla üretilabilmektedirler. Yüksek katlı yapılar, köprüler, nükleer santraller, geniş açıklıklı fabrika binaları, geniş kapasiteli stadyumlar ve daha birçok özel yapılar, gelişen bilgisayar teknolojisi ile hesap tasarımları ve gelişen malzeme-işçilik teknolojileriyle de yapım işinin gerçekleştirilmesi, olağan inşaat işleri olarak yapılmaktadır.

Yapıların tasarım aşamasında kullanılan bilgisayar yazılımları, gereken mühendislik hesaplamalarını kolaylaştırarak tasarımcının yapıların uygun yönetmelik ve standartlara bağlı güvenli binalar oluşturmaya yardımcı olmaktadır. Ancak bilgisayar programlarının sağladığı yardım seviyesi, elle yapılması gereken karmaşık hesaplamaların azaltılması yönünde olmaktadır. İnşaat sektöründe bilgisayar destekli tasarımlar aktif rol oynasa da hâlihazırda tasarımın optimum şekilde olması ve yapıların minimum maliyet ile yapılması konularında eksikliklerin olduğu ve bu konular üzerinde her geçen gün artan araştırmaların devam ettiği bilinmektedir.

İnşaat sektöründe yapıların en iyi tasarımı problemi veya optimum olarak tasarlanan binalardan amaçlanan; ilgili yönetmelik ve standartları sağlayan, minimum yaklaşık maliyet ile yapım işini gerçekleştirecek, işlevsel yapı formları olarak nitelendirilebilir.

Bu çalışmada inşaat maliyetlerinin minimize edilmesi konusunda, son dönemde sıklıkla mühendislik problemlerinin çözümünde de etkin yeri olan optimizasyon yöntem ve teknikleri ile inşaat sektöründe yazılımsal destek elemanları kullanılarak, yapıların optimum tasarım süreçlerinin yönetilmesi gerçekleştirilecektir.

1.2. İnşaat Mühendisliğinde Açık Kodlu Yazılımlar ve Yaklaşık Maliyet Kavramı

İnşaat sektöründe, son 50 yıldan beri gelişen bilgisayar ve yazılım teknolojileri ile birlikte ivmeli bir yükseliş süreci devam etmektedir. Özellikle son 10-20 yılda geliştirilen yazılımlar, inşa edilecek yapıların, yapılmadan evvel üç boyutlu olarak görselini kullanıcılara detaylı şekilde sunmaktadır. Bu görsellik kullanıcıların elle yaptıkları projelerde hata olasılıklarını en aza indirme konusunda oldukça yararlı olmaktadır. Yapıların tasarımsal süreciyle ilgili görsellerin son dönemlerde daha da iyileştirilmesinin haricinde yapı bilgi modellemeleri (YBM) gibi konularda da bina görselleri zenginleştirilmiştir. Hatta planlamaların programlara tanımlanması ve zamansal üç boyutlu gösterimlerinin kullanıcılara yardımcı olduğu bir inşaat-yazılım seviyesinde bulunmaktayız.

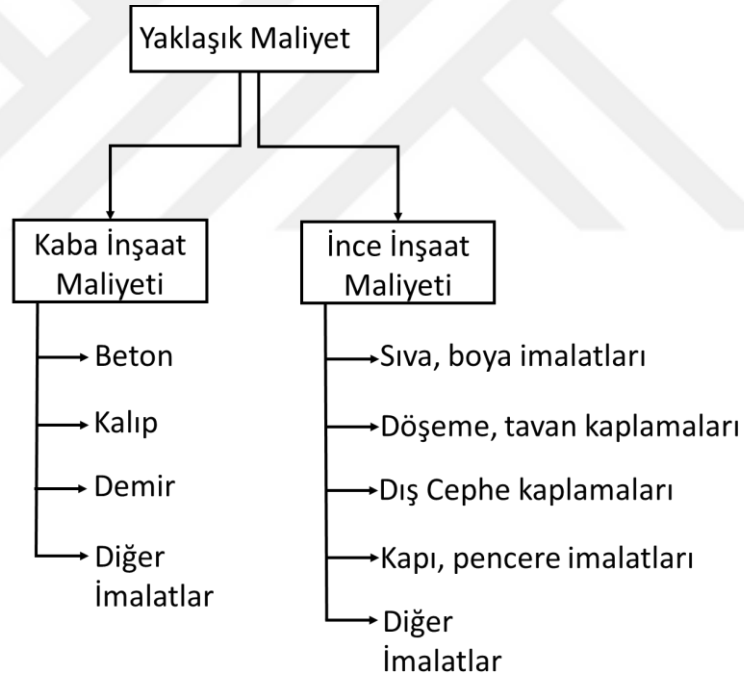
İnşaat-yazılım konusunda, her geçen gün geline bu noktadan daha ileriye doğru gidildiği aşikârdır. Öyle ki inşaat piyasalarında tasarımsal programların daha da geliştirilebilir olması adına şirket sahipleri, yazılımlara müdahale edebilecek uzaktan yönlendirmeye olanak sağlayan açık kodlu yazılımları müsaade etmektedirler. Açık kodlu yazılımlar ile programlara müdahale edilmesi ve geliştirilmesi, daha kolay bir süreci de beraberinde getirmektedir. Yazılım programına daha önce herhangi bir katkısı olmayan araştırmacıların, bu özellik sayesinde bilimsel ve teknik oluşumlarda inşaat piyasasında kullanılan ticari programları aktif olarak kullanabilmesi ve nitelikli, işlem kalabalığına neden olmayacak şekilde çalışmalarda bulunmasına olanak sağlayacaktır.

Ticari paket program sahiplerinin, bu şekilde kendi yazılımlarına kullanıcıların kendi yapmış oldukları yazılımlarla müdahale edebilmeye veya yönlendirmeye olanak sağlaması açık kodlu yazılımlar olarak ifade edilmektedir. Bu sayede, hem şirket sahipleri 3. kişilerle programlarını geliştirebilmekte, hem de 3. kişiler kendi ihtiyaç ve özellikleri açısından bilgi paylaşımını gerçekleştirmektedirler. Açık kodlu yazılımların oluşturulması ve ticari inşaat programlarıyla entegre çalışabilmesi, verilerin çok hızlı bir şekilde elde edilmesi ve değerlendirilmesi konusunda bir yöntem sunmaktadır.

Bu çalışmada ise piyasada ve literatürde geçerliliği olan ETABS programlarının açık uygulama programlama arayüzü olarak Türkçe tercüme edilmiş olan, OAPI (The Open Application Programming Interface Açık Programlama Arayüz Uygulaması) özelliği kullanılmıştır. Bu özellikle yapıların modellenmesi yapıldıktan sonra analiz ve değerlendirme kısmı uzaktan entegre olabilen açık kodlu yazılım ile sağlanmıştır. Açık

kodlu yazılım MATLAB programında yapılarak aynı zamanda otomatik çoklu optimizasyon yapabilen bir sistem oluşturulmuştur.

Yaklaşık maliyetin basit tarifi, metraj ile birim fiyatların ayrı ayrı çarpılıp toplanarak yekûn bedelin elde edilmesidir. Bu kavram aynı zamanda bir inşaatın anahtar teslimi götürü bedel olarak, yani ilk imalatlardan kullanıcının yaşam alanı olarak kullanabileceği son aşamasının tamamlanması için gerekli parasal değeri ifade etmektedir. Bir inşaatın ait iş kalemlerinin sayısı yaklaşık 50 ile 120 adet arasında olabilmektedir. Bunun birlikte inşaat iş kalemleri, iş kırılım yapısı (WBS) bağlamında, temel olarak kaba ve ince imalatlar olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Kaba inşaat kalemlerinde ana iş kalemleri kalıp-demir-beton olmak üzere, ince inşaat kalemlerinde ana iş kalemleri sıva, boya, tavan kaplamaları, döşeme kaplamaları ve dış cephe kaplamaları olmaktadır. Şekil 1’de detaylı inşaat kalemleri gösterilmiştir. Bu çalışmada, kaba inşaat kalemleri üzerinden yapının yaklaşık maliyet değerleri incelenmiştir.



Şekil 1. Yaklaşık maliyete ait iş kalemleri

1.3. Yapı Maliyeti ve Optimizasyon

İnşaat mühendisliğinde yapıların en uygun şekilde yapılması kavramı, ilk inşa edilen binalarda dahi ortaya çıkan bir terim olmuştur. Zira çok eski zamanlarda bile inşaat malzemelerinin doğru ve yeteri kadar kullanılması, sınırlı kaynakların en az miktarda kullanılmasını içeriyordu. Bu durum işçiliğin de azalması anlamına geliyordu. İnsanlar yeterli güvenlikle en az malzeme ve yeterli işçilik birim-zamanıyla en az emek harcayarak inşa süreçlerini tamamlamaya çalışmışlardır. Kısacası insanoğlunun en az inşaat maliyeti ile en nitelikli bina yapma serüveni geçmişten günümüze var olmuştur. İnşaat yapımındaki bu düşünce yapısı, maliyet optimizasyonu veya yapısal optimizasyon olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapıların optimizasyonu açısından yapılan önceki çalışmalara tezin ilgili kısmında detaylı şekilde yer verilmiş olmakla birlikte; yapılan optimizasyon çalışmalarında çelik yapıların sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir. Betonarme yapılara göre tek bir malzemeden oluşan çelik yapıların nispeten daha çok optimize edilebilirliği yadsınamaz bir gerçektir. Ancak özellikle son yıllarda betonarme yapıların optimize edilmesi ile ilgili çalışmalar da yapılabilirliği arttırmıştır. Eleman bazında, 2 boyutlu çerçeve bazında başta olmak üzere, sayıları her geçen gün artan çalışmalar bulunmaktadır. Betonarme yapıların 3 boyutlu olarak optimize edilmesi daha da zorlanan çalışmalar olmasına karşılık, son yıllarda bu tarz çalışmalara da rastlamak mümkün olmuştur. Araştırmacılar gerçek bir yapıda olması gereken optimizasyon üzerinde çalışmalarını sürdürmektedirler. Bununla birlikte, gerçek dünya yapıları alanında; çok sayıda tasarım değişkeni, çok büyük araştırma alanı ve çok sayıda kısıtlamanın mevcudiyeti nedeniyle optimum tasarımı bulmak zor ve zaman alıcı olmaktadır (Esfandiari vd., 2018). Bunun nedenlerinden bazıları ise ilgili standart ve yönetmeliklere ait sınır şartların elle girilmesi, yapıların tasarımı için kullanılan programların veri alışverişinin çoğunlukla elle yapılması, özgün yazılımlar yapılsa bile verilerin elle girilmesi ve sonuçların belli bir netice verse bile gerekli kazanımın yeterli olup olmadığının anlaşılamaması olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada ise sayılan problemleri gidermek adına, inşaat mühendisliğinde kullanılan programlara açık kodlu yazılım ile entegre olabilen, veri giriş-çıkışlarını otomatik olarak aktaran ve sınır şartları kullanarak çoklu optimizasyona izin veren maliyet optimizasyonu yapılmaktadır.

1.4. Tasarım Optimizasyonu

Amaç fonksiyonları, tüm optimizasyon problemlerinde çözümün matematiksel olarak ifadesidir. Problemin çeşidine göre minimum veya maksimum olabilir. Bu durum optimize edilen problemin neyin sonucuna varmak istediğiyle ilgili bir durumdur.

İnşaat mühendisliğindeki optimum tasarım problemleri çoğunlukla minimizasyon problemleri olarak karşımıza çıkar ve amaç fonksiyonu genellikle yapının ağırlığı, yapının maliyeti veya diğer kriterler olarak ifade edilir (Atabay, 2004), (Esfandiari vd., 2018). Bu problemlerde de amaç fonksiyonunun parametreleri genellikle beton-demir, beton-demir-kalıp, beton-demir-kalıp-işçilik veya beton-demir-işçilik şeklinde farklı şekillerde matematiksel olarak ifade edilir.

Optimizasyon problemlerinde genel olarak amaç fonksiyonu, tasarım değişkeni ve kısıtların sayısal ifadesi şu şekilde oluşmaktadır.

Minimum yapan amaç fonksiyonu;

$$\min f(x) \quad x = [x_1, \dots, x_n] \quad [x_1, \dots, x_n]^T \quad (1)$$

Kısıtlar kümesi;

$$g_i(x) \leq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad x^l \leq x \leq x^u \quad (2)$$

x tasarımda değişkenleri, x^l ve x^u tasarım değişkenlerinin üst ve alt sınır değerleridir. Denklem (1) ve (2)'de amaç fonksiyonu, kısıtlamalar ve tasarım değişkenlerini göstermektedir. Bu denklemlerde optimizasyon problemlerinin gerçekleştirmek istediği çözüm kümesinin matematiksel olarak ifadesi olan amaç fonksiyonun belirlenmesi, optimizasyon işleminin ana ögesidir. Bu nedenle, yapıların maliyet optimizasyonunda kullanılan ve maliyet fonksiyonu olarak da nitelendirilen amaç fonksiyonu hangi imalat birimlerinin finansal değeri hesaplanacaksa onların üzerlerinden denkleme yerleştirilmelidir. Denklem (1) ve (2)'de x parametresi gösterilmektedir. Burada x , hem amaç fonksiyonun hem de kısıtlamaların formülünde kullanılan parametredir. En uygun tasarımın sağlanması için kullanılmakla birlikte, kullanıcı ihtiyaç olan veya ihtimal olan durumlara göre tasarım değişkenlerini belirler.

Tasarım değişkenleri, sürekli tasarım değişkenleri ve ayrık tasarım değişkenleri olmak üzere ikiye ayrılır. Sürekli tasarım değişkenleri, problemin çözümü için kullanılan değerlerin

alt ve üst sınır içindeki her bir değeri alması olarak ifade edilir. Ayırık tasarım değişkeninde ise bir yapıda donatı alanı, çapı, ağırlığı, yapı elemanlarının en kesit boyutları ve alanları ayırık değer alırlar ve sürekli değişken değildir (Atabay, 2004).

Genellikle kullanılan tasarım değişkenleri; malzeme özellikleri, yapıdaki eleman sayılarının veya elemanların birleşim noktalarının düzeni olan topoloji, yapının geometrisi ve eleman en kesit boyutları olabilmektedir (Atabay, 2004; Akın, 2010).

Tasarım değişkenleri; aynı zamanda optimizasyon problemlerine belirli şartlar dahilinde bir nevi yönlendirme yapabilmeleri nedeniyle, değişken sayıları ve uygun değişkenlerin kullanılması, optimizasyon problemlerinde özellikle minimum maliyet elde edilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında verilen tasarım değişkenleri, piyasa koşulları ve binaların kullanım amacı doğrultusunda oluşturulan eleman kesit değerleridir. Bu kapsamda 300'e yakın kesit değerlerinden yararlanılmıştır. Tasarım değişkenleri belirlenirken projelerin hazırlanmasından başlamak üzere, yüklenici firmaların ön gördüğü, mühendis ve mimarların tasarım yaparken göz önünde kriterler başta olmak üzere saha teknik ekibi mühendis ve mimarların görüş ve önerileri alınmıştır. Bunun yanı sıra, hakediş departmanı teknik görüşü ile kalıp-demir işçilikleri için pratik uygulama koşulları göz önüne alınmıştır. Oluşturulan kesitler, inşaat piyasasına uygun ve yapıların kullanım amacı göz önüne alınarak oluşturulmuşlardır. Örneğin kullanım amacı konut olan bir binanın kolon ve kiriş kesitleri, hastane olan bir yapıya göre farklı olabilmektedir. Çünkü hastane vb. kamu yapılarının depremde sonra hemen kullanılması istendiği için yapı elemanlarına ait kesit büyüklüklerinde cömert davranılması istenir ancak konut tarzındaki yapıların asgari güvenlik şartlarını sağlamaları yeterlidir. ACDOS, tasarım değişkenlerinin belirlenmesinde kullanıcıya istediği kesitleri seçme imkânı sunmaktadır. Tasarım değişkeni olarak kullanılan tüm kesit değerleri sayısal örnekler için detaylı olarak verilmiştir.

Denklem (2)'de $g_i(x)$ olarak ifade edilen parametre, kısıtlayıcı veya diğer bir ifadeyle problemin sınırlayıcıları olarak formüle edilmiştir. Optimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonu belirlenirken tasarım değişkenlerinin denklemlere dahil olmaları ve farklı iterasyonların gerçekleşmesi, belirli şartlar altında gerçekleşir. Bu şartlar aynı zamanda problem çözülürken oluşturulan sınır hatlarının ifadesidir. Problem çözümü yapılırken sınırlayıcıların belirlediği alanda olmak üzere çözüm kümesi aranmaktadır. Çözümün elde edilebilmesi için sınır şartlarının tamamının sağlanması gerekmektedir.

Yapıların maliyet optimizasyonunda genel olarak kullanılan sınırlayıcı parametreler; dayanım, gerilme, şekil değiştirme, davranışsal, boyutsal, mimari detaylar, malzeme kesitleri veya standartlar, şartname ve yönetmeliklerde belirtilen koşullar olarak kullanılmaktadır.

1.5. Optimizasyon Yöntemleri

Optimizasyon, en uygun veya en iyi sonucun bulunması kavramıdır (Dede et al., 2019). En uygun ve en iyi terimlerinin gerçekleştirilebilmesi için ise nasıl bir problemin çözülmesi gerektiği, hangi şartlar altında değerlendirildiği ve neyin amaçlandığı çok iyi bilinmelidir. Esasen optimizasyon problemlerinde de bu durum her zaman nümerik olarak değerlendirilir. Denklem takımı amaç fonksiyonu ile başlar, kısıtlar kümesi ile sınırlar belirlenir ve tasarım değişkenleri ile optimizasyon döngüsü başlar. Amaç fonksiyonun sonucunda çözümün en uygun şeklinin elde edilmesi beklenir.

Optimizasyon kavramının ortaya çıkışının, yakın tarihte 1940'lı yıllara denk geldiği bilinmektedir. George Dantzig tarafından askeri uygulamalarda eğitim programları ve zaman çizelgesi, matematiksel teknikleri kullanmıştır ve bu tarihten sonra günümüze artan bir alanda genişlemektedir. Esasen optimizasyonun daha da eski tarihlerde başlamak üzere bölgesel ve global optimumların bulunması için çalışan optimizasyon yöntemleri tek boyutta minimizasyon yapan, çok boyutta arama yapan türevelere dayalı olmayan, birinci türevelere dayalı teknikler, ikinci türevelere dayalı teknikler ve global optimizasyon teknikleri olarak da adlandırılan modern sezgisel metotlar örnek verilebilir (Akay, 2009).

Optimizasyon yöntemleri, klasik ve modern sezgisel teknikler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır (Tunay, 2019). Klasik metotlar da analitik ve çözüm yapılandıran metotlar olmak üzere iki alt bölümden oluşmaktadır. Analitik metotlarda doğrusal programlama; bölgesel arama ve türevelere dayalı metotlardan oluşurken, çözüm yapılandıran metotlar ise; dinamik programlama, ayır-bağla metodu ve böl-keşfet metotlarından oluşmaktadır.

Modern sezgisel tekniklere bakıldığında da ise deterministik metotlar ve olasılık temelli metotlar olmak üzere iki başlıkta toplanmaktadır. Olasılık temelli yöntemler ise yine kendi arasında ikiye ayrılır. Bunlar tek çözümün geliştirdiği metotlar ve popülasyon tabanlı yaklaşımlardır. Tek çözümün geliştirildiği yöntemler, ısı işlem ve stokastik hill climber'dır. Popülasyon tabanlı yöntemler, evrimsel algoritmalar ve sürü zekâsı temelli algoritmalarından oluşmaktadır. Evrimsel algoritmalar; genetik algoritma, genetik programlama, evrimsel

programlama ve diferansiyel gelişim algoritması başta olmak üzere diğer benzer algoritmalarından oluşurken, sürü zekâsı algoritmaları; karınca koloni algoritması, parçacık sürü algoritması, yapay arı algoritması ve diğer benzeri algoritmalar örnek olarak verilebilmektedir. Sayılan optimizasyon yöntem ve metotlarının özet olarak sunumu Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Optimizasyon yöntemlerinin sınıflandırılması (Mustafa Alpay Tunay, 2019),(Akay, 2009).

Optimizasyon Metotları						
Klasik Metotlar		Modern Sezgisel Teknikler				
Analitik Metotlar	Çözüm Yapılandırıcı Metotlar	Deterministik Metotlar	Olasılık Temelli Metotlar			
	Doğrusal Programlama		Dinamik Programlama	Tek Çözümün Geliştirildiği Metotlar	Popülasyon tabanlı Metotlar (Evrimsel hesaplamalı yaklaşımlar)	
Bölgesel Arama	Ayrır ve Bağla Metodu	Tabu Araştırma	Isıl İşlem		Evrimsel Algoritmalar	Sürü Zekâsı Temelli Algoritmalar
Türeve Dayalı Metotlar	Böl ve Keşfet Metodu		Stokastik Hill Climber	Genetik Algoritmalar	Karınca Koloni Algo	
					Genetik Programlama	Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması
					Evrimsel Programlama	Yapar Arı Kolonisi Algoritması
					Diferansiyel Gelişim Algoritması	

1.6. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Betonarme yapıların proje tasarımı gerçekleştirilirken bazı eksiklikler ve hatalar bulunmaktadır. Tasarımcı inşaat mühendisleri ya tecrübesizliğin verdiği kaygı ile bol kesitli ve maliyetli yapılar oluşturur ya da deneyimli mühendislerin geçmiş yargıları tasarım kararlarında etkili olur. Piyasa şartlarındaki bu iki durumda da proje tasarımında bilimsel bir yol izlenmez. İnşaat projelerinin tasarımında izlenebilecek bilimsel yollardan biri de optimizasyon yöntemleridir. Yeni optimizasyon yöntemlerini, günümüzde otonom teknolojilerin ve otonom veri alışverişinin yaygınlaşmasıyla inşaat sahalarında görmeye başlamamız kaçınılmazdır. Optimizasyon işlemlerinin yapı projelerinde hem maliyeti hem de tasarımı ön plana alarak yapılması beklenir. Gerçek dünyada var olan betonarme yapıların otomatik veri alışverişi kullanılarak maliyet-tasarım optimizasyonunun yapılmasına hem literatürde hem de piyasa koşullarında ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez çalışmasında, gerçekte var olan betonarme yapıların, düzenli ya da düzensiz olduğuna bakılmaksızın, otomatik veri transferleriyle 3 boyutlu maliyet-tasarım optimizasyonu yapılmıştır. Tüm bu işlemler için MATLABde ACDOS adı verilen yazılım oluşturulmuştur. Bu yazılım Etabs programına entegre olarak analiz verilerini ve tüm bilgi süreçlerini yönetmektedir. Aynı zamanda Excel ile etkileşim halindedir ve çıktıları Excel üzerinden almaktadır. Bu yazılım ile herhangi bir betonarme yapıda tüm katlardaki, tüm kolonlar ve tüm kirişler için kullanıcıyı istediği sayıda kolon ve kiriş (tasarım değişkeni) kesitinin uygulanması olasılığı hesaplanmaya başlar. Normal koşullarda tüm katlardaki tüm yapı elemanlarının her birine ayrı ayrı kesit atama işlemi ve her biri için analiz sonucunu alarak minimum maliyeti bulmaya çalışmak çok uzun ve karmaşık işlemler gerektirdiğinden optimizasyon yöntemleri kullanılır. Bu işlemlerde her yapı elemanı için en uygun beton kesiti ve bu kesite karşılık donatı tasarımı yapılır. Betonarme yapının minimum maliyeti elde edilmeye çalışılır. Minimum maliyet ve optimum tasarımı ulaşılmaya çalışılır. Maliyet bedeli olarak beton, demir ve kalıp miktarları, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı birim fiyatları ile çarpılarak hesaplanır. Bu iş kalemlerine işçilik ve malzeme bedelleri dahildir. Beton, demir ve kalıp maliyetlerinin minimum yapılması, aynı zamanda amaç fonksiyonunu oluşturur. Kısıt olarak ise TBDY 2018 ve TS500 kullanılmaktadır. Ancak bu kısıtlar da yazılım sayesinde Etabs programına otomatik olarak uygulanır. En son metraj verileri ve yaklaşık maliyet tabloları Excel üzerinden kullanıcıya sunulur. 3D model üzerinden, otonom maliyet-tasarım optimizasyonu döngüsü tamamlanır.

1.7. Literatür Taraması

Mühendislik çözümlerinin belirli bir metodoloji izlediği bilinmesine karşılık, elde edilen sonuçlar büyük çoğunlukla daha önceki tecrübeler ve yaşanmışlıkla ilgilidir. Daha önce yapılan çözümlemeler temel model olur ve bunun üzerine yeni çözümler inşa edilmeye çalışılır. Bu durum sürekli olarak belirli kalıplarda sonuç elde edilmesine neden olur. Aslında amaç bellidir; ihtiyacı karşılayan en güvenilir olan şeyi, en ucuza yapmak. Bu ise problemin çözümü için, en iyi seçilimi aramaktır, diğer bir ifade ile problemi optimize edebilmektir.

Optimizasyon konusu ise birçok mühendislik alanında olduğu gibi İnşaat Mühendisliğinde de, bütün alt bilim dallarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kullanımı ise, boyut, şekil, topoloji, sürekli, tek veya çok amaçlı optimizasyon şeklinde sınıflandırılabilir (Dede vd., 2019). Bununla birlikte optimizasyon çok eskiye dayanmasına karşılık, belirli bir algoritma ile yapılması, yaklaşık olarak son 50 yılın hikayesidir. 1975 yılında genetik algoritma (Holland, 1975), 1983 yılında tavlama benzetimi algoritması (Kirkpatrick, 1983) ve 1989 yılında tabu arama algoritması (Glover, 1989) ile optimizasyonda algoritmalar uygulanmaya başlamıştır. Optimizasyon algoritmalarının tarihsel süreci ve başlangıç tarihleri ile günümüze kadar uzanan süreç Tablo 2’de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2. Optimizasyon algoritmalarının tarihsel süreci (Dede et al., 2019).

Algoritma İsimleri	Yazar İsimleri	Algoritmalar	Yılları
GA	JH Holland	Genetik Algoritmalar	1975
SA	Kirkpatrick S, Gelatt CD, Vecchi MP	Tavlama benzetimi,	1983
TS	Fred Glover	Tabu Arama	1989
ACO	Marco Dorigo	Karınca Kolonisi Optimizasyonu	1992

Tablo-2'nin devamı

A	Robert G Reynolds	Kültürel Algoritma	1994
PSO	J Kennedy, R Eberhart	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	1995
DE	Rainer Storn, Kenneth Price	Diferansiyel Evrim	1997
HS	Zong Woo Geem, joong Hoon Kim, GV Loganathan	Uyum arama	2001
BBBC	K Erol Osman, İbrahim Eksin	Büyük Patlama Büyük Çöküş Optimizasyon Algoritması	2006
ABC	Derviş Karaboğa, Bahriye Başturk	Yapay Arı Kolonisi	2007
CSA	Xin-She Yang, Suash Deb	Guguk kuşu arama algoritması	2009
LCA	Ali Husseinzadeh Kashan	Lig şampiyonası algoritması	2009
GSO	KN Krishnanand, D Ghose	Ateşböceği Sürüsü Optimizasyonu	2009
CSS	A Kahev, STalatahri	Yüklü Sistem Arama	2010
FA	Xin-She Yang	Ateşböceği algoritması	2010

Tablo-2'nin devamı

TLBO	R Venkata Rao, Vimal J Savsani, D P Vakharia	Öğretme - Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon	2011
BSA	Pınar Civecivoğlu	Geriye Dönük Arama Algoritması	2013
Jaya	R. Venkata Rao	Jaya	2016
Rao	R. Venkata Rao	Rao Algoritmaları	2020

Burada; SA: Tavlama benzetimi, GA: Genetik Algoritmalar, TS: Tabu Arama, ACO: Karınca Kolonisi Optimizasyonu ,CA: Kültürel Algoritma PSO: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu DE: Diferansiyel Evrim, HS: Uyum arama, BBBC: Büyük Patlama Büyük Çöküş Optimizasyon Algoritması ABC: Yapay Arı Kolonisi, CSA: Guguk kuşu arama algoritması LCA: Lig şampiyonası algoritması GSO: Ateşböceği Sürüsü Optimizasyonu CSS: Yüklü Sistem Arama, FA: Ateşböceği algoritması TLBO: Öğretme - Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon, BSA: Geriye Dönük Arama Algoritması ve Jaya'dır. Bu süreç 1975 yıllarında günümüze kadar gelmektedir ve hala geliştirilebilir olduğu öngörülerek yeni arayışlar devam etmektedir. Aynı zamanda şu husus bilinmelidir ki; bu algoritmaların birbirine kesin bir dil ile üstünlüğü bulunmamaktadır. Sadece problemin türüne, amaç fonksiyonu veya kısıtlarına göre nispi farkların olduğunu söylemek mümkündür.

İnşaat Mühendisliğinde optimizasyon konusuyla ilgili son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında;

Bekdas & Nigdeli (2013) tarafından yapılan çalışmada, farklı basınç dayanımları için eğilme etkisi altındaki T-şekilli betonarme (RC) kirişlerin maliyet optimizasyonu araştırılmıştır. Yöntem olarak meta-sezgisel algoritmalarından uyum arama algoritması kullanılmıştır. Çeşitli eğilme momentleri altında, betonun farklı basınç dayanımları ile farklı kesit aralıkları için minimum maliyetlerle optimum değerlere ulaşılmıştır.

Amir (2013) tarafından yapılan çalışmada, yeni bir topoloji optimizasyon prosedürü sunulmuştur. Çimento üretiminin olumsuz çevresel etkisi nedeniyle beton yapıların ağırlığını azaltmak amaçlanmıştır. Duyarlılık analizine dayanan topoloji prosedürleriyle, beton yapıların ağırlığında azalma elde edilmiştir.

Azeez & Alsaffar (2014), iki karmaşık hedef olan zaman ve maliyet parametreleri üzerinde karınca kolonisi optimizasyonu uygulamışlardır. Yapılan optimizasyonda, zamanda %54 ve maliyette %15 azalmaya ulaşmışlardır.

Jalili & Hosseinzadeh (2015), minimum kafes giriş ağırlığının azaltılmasında kültür algoritması kullanmışlardır. Gerilme ve dönmeler kısıt olarak kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlar algoritma için başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bazı klasik yöntemlerle de karşılaştırılmıştır ve daha az yapısal analiz ile daha az ağırlığın elde edilebildiği görülmüştür.

Akin & Saka (2015), ACI 318-05 tasarım koduna dayanan deprem yükleri altında özel sismik moment donatılı betonarme çerçevelerin optimum tasarımını uyum arama tabanlı algoritmanın uygulanması ile sunmuşlardır.

Aminbakhsh & Sonmez (2016), orta ve büyük ölçekli inşaatlarında ayırık zaman maliyet ödünleşim problemlerinin çözümü için yeni bir parçacık sürü optimizasyonunu kullanmışlardır. Farklı inşaat projeleri üzerinde 18-630 faaliyet için uygulama yapmışlar ve yeni tip yöntemin iyi bir performans gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Arroyo vd. (2017), 10 katlı binada çerçeve sistemi için öz frekans optimizasyonu kullanmışlardır. Üst katlarda donatı sayısının azaltılması ve kesit alanı azaltılması olarak optimizasyon yapılmıştır.

Bettemir & Birgönül (2017), optimizasyonda kullanılan sezgisel ve meta-sezgisel algoritmaların avantaj ve dezavantajları ile ilgili çalışmada bulunmuşlardır. Bunun için zaman-maliyet ödünleşim problemleri üzerinden değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Meta-sezgisel algoritmaların daha iyi bir hesaplama talebinde bulunduğu sonucu oluşmuştur.

Mangal & Cheng (2018), betonarme çerçevelerinde donatıların otomatik optimizasyonu için geliştirilmiş üç aşamalı hibrid genetik algoritmayı (GA) kullanan YBM tabanlı bir çerçeve sunmaktadır. Sadece düzenli çerçeveli sistemlerde boyuna ve enine donatı çapları, seçimi, hizalaması hızlı bir şekilde yapılabilir. Aynı zamanda çalışmada endüstri temel sınıfı (IFC) kavramından da yararlanılmıştır.

Dede vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise, inşaat mühendisliğinin bütün ana bilim dallarında son 20 yılda yapılmış optimizasyon çalışmaları detaylı bir şekilde özetlenmiştir.

Papavasileiou & Charmpis (2020), sadece çelikten veya çelik beton kompozit kolonlara sahip depreme dayanıklı olarak tasarlanan yapıların optimizasyonu ve maliyet etkinliğini araştırmışlardır. Çeşitli sismik yoğunluklar, bina yükseklikleri ve plan konfigürasyonları için kapsamlı değerlendirmeler ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Kiss & Szalay (2020), binalarda enerji hesapları için tek ve çok amaçlı çevresel optimizasyonu birleştiren modüler bir parametrik optimizasyon çerçevesi geliştirilmiştir ve Macaristan'daki çok dairesel bir binaya uygulanmıştır. Sonuçta pencere yön ve şekilleri, bina doğrultuları yalıtım için tasarruf edilmesine yönelik olarak optimize edilmiştir.

Afzal vd. (2020) tarafından yazılan makalede, betonarme yapılarda optimizasyon çalışmaları ele alınmıştır. Uygulanan metodolojileri malzeme verimliliği, malzeme-maliyet verimliliği, çevresel performans ve sürdürülebilir tasarım olarak sınıflandırmıştır. Ayrıca yapı analizinde kullanılan ETABS, SAP2000, STAAD PRO, MATLAB gibi programlarla yapılan optimizasyonları da ayrı bir başlık olarak kategorize etmiştir. Bu makalenin en önemli diğer bir yanı ise gelecek çalışmalarda yapıların optimizasyonu konusunda çalışılması gereken alanları belirtmesidir. Bu alanlar; çelik donatıların optimizasyonun detaylandırılmasında tüm çerçeve yapısının dikkate alınması, düğüm noktalarının analizi, düzensiz yapıya sahip betonarme binaların optimize edilmesi şeklinde sıralanmışlardır.

Rajput & Datta (2020) tarafından yapılan diğer çalışmada, inşaat mühendisliğinde malzeme ve yapı tasarımında kullanılan optimizasyon teknikleri üzerinde incelemelerde bulunmaktadır. Aynı zamanda yapıların optimizasyonu hakkında detaylı bilgiler verilerek, gelişimi kronojik olarak sıralanmaktadır.

İnşaat mühendisliği alanında yapılan optimizasyon kullanımı ile ilgili çalışmalar ise özellikle boyut, şekil ve topoloji temelli olarak yapılmaktadırlar. Literatürde bununla ilgili olarak yapılan bazı çalışmalar şu şekilde özetlenmektedir;

Tomás & Martí (2010) tarafından yapılan çalışmada, beton kabukların şekil ve topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Sonuçta yapısal davranışını iyileşmesi adına hafif geometrik değişikliklerin yeterli olabileceği doğrulanmıştır ve elde edilen optimizasyon sayesinde kabuk üzerindeki deformasyonlar önemli ölçüde azalmıştır.

Díaz vd. (2011), briket ve benzeri elemanların tasarımında ve yeterli dayanımda ağırlığı en aza indirmek için topoloji ve şekil optimizasyonu yapmışlardır. Klasik beton bloğa nazaran bloklarda %44,5'lik oranda azalma elde edilmiştir.

Miguel & Fadel Miguel (2012), çoklu frekans kısıtlamaları ile kafes kirişlerin şeklini ve boyutlarını, uyum arama ve ateş böceği algoritmaları ile optimize etmişlerdir. Örnekleri

dört çalışma üzerinde yapmışlardır. Bu örneklerden üç tanesinin literatürde elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Stromberg vd. (2012), yüksek katlı binalarda diyagonal yanal sistem elemanlarına ait topoloji optimizasyonu yapmışlardır. Sunulan modelde en uygun çapraz düzen hızlı ve verimli bir şekilde yapılmıştır, sayısal olarak doğrulanmıştır.

Houšt' vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, beton kemerlerin şekil optimizasyonu yapılmıştır. Çeşitli açıklık ve yükseklik oranları için en uygun şekilleri belirlenmesi amaçlanmıştır. En iyi şekil betondaki maksimum gerilmelerin en aza indirilmesi ile bulunmuştur.

Bruggi & Taliencio (2013), binaların yalıtımında önemli olan dış duvar bloklarının topolojisi üzerinde durulmuştur. Bunun için duvar blokları yapılırken oluşan boşluklar üzerinde optimizasyon uygulanmıştır. İstenen yoğunluğa göre boşluklar büyük ya da küçük olarak değerlendirilmiştir.

Frans & Arfiadi (2014); çatı makaslarının boyutlandırma, şekil ve topoloji optimizasyonunu hibrit genetik algoritma kullanılarak yapmışlardır. Burada şekil ve topolojiye bağlı en az ağırlığın elde edilmesi için üretilen kesit alanı ile boyut optimizasyonu, optimum yapıları elde etmek için düğüm koordinatlarında şekil optimizasyonu ve düğüm sayısı, bunların nasıl bağlandığı ile ilgili olarak da topoloji optimizasyonu yapılmıştır.

Beghini vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, yapısal topolojinin, mühendislik ve mimarlık ilişkisi içerisinde irdelemiştir. “İşlev” ve “form” arasındaki olması gereken dengeler üzerinde durulmuştur.

Dede & Ayvaz (2015), iki ve üç boyutlu yapıların şekil ve boyutlandırma optimizasyonu için meta-sezgisel algoritmalarından biri olan öğretme-öğrenme tabanlı yöntem (TLBO) kullanmışlardır. Çubuk elemanlarının enine kesit alanları boyut optimizasyonunda, yapısal sistemin düğüm koordinatları ise şekil optimizasyonunda tasarım değişkenleri olarak kullanılmıştır. Optimum değerlerin elde edilmesinde kullanılan algoritmanın etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Dede & Toğan (2015), öğretme-öğrenme tabanlı algoritma ile doğal frekans kısıtlaması altında uzay kafes ve kubbe yapıların şekil ve boyut optimizasyonunu yapmışlardır. Çalışma literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır ve sonuçta öğretme-öğrenme tabanlı algoritmanın, frekans kısıtlı yapıların optimum tasarımı için etkili bir araç olabileceği sonucuna varılmıştır.

Christiansen vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada ise, 3 boyutlu yapıların şekil ve topoloji optimizasyonu üzerinde durulmuştur. Dört yüzlü şekil olarak adlandırılan dihedral ağ üzerinde durulmuştur. Yer değiştirme ve rijitlik değerlerine bağlı optimizasyonlar bu ağ örgüsü içinde değerlendirilerek optimize edilmiştir.

Mortazavi & Toğan (2016), parçacık sürü algoritmasına entegre olan algoritma ile kafes yapılar için, şekil, topoloji ve boyut optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan analizlerde de kabul edilebilir performans gösterilmiştir.

de Souza vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, çelik yapı olarak inşa edilmiş olan iletim hattı kuleleri olarak adlandırılan yapılar için boyut, şekil ve topoloji optimizasyonu yapılmıştır.

Fabeane vd. (2017); çelik kirişlerin boyutları optimize edilerek, köprü kesitinin maliyetinin azaltılmasını amaçlamışlardır. Neticede kompozit köprülerin tasarımı optimize edilerek maliyetinde önemli azalma elde edilmiştir.

Kazakis vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, bilgisayar destekli mimariye olan ihtiyaca yönelik olarak, topoloji optimizasyonu uygulanmıştır. Aynı zamanda 3D baskı ve CAD modelleri ve oluşturulan yazılıma bağlı bir metodoloji sunmaktadır.

Kaveh & Ilchi Ghazaan (2018), sismik yükler altında çelik çerçevelerin optimum tasarımını 4 meta-sezgisel algoritma ile yapmışlardır. Kısıt olarak gerilme, yer değiştirme ve geometriyi kullanmışlardır. Yapılan optimizasyonda yapı ağırlığı azaltılmıştır ve hangi optimizasyon algoritmalarının daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

Grzywiński vd. (2019), düzlemsel ve mekânsal kafes yapılarının TLBO (öğretme – öğrenme tabanlı optimizasyon) ile boyut ve şekil optimizasyonu yapmışlardır. Boyut optimizasyonu için kafes elemanların kesit alanı ve şekil optimizasyonu için ise düğüm noktalarının değiştirilebilir koordinatları tasarım değişkenleri olarak belirlenmiştir. Yapıların nihai ağırlıkları diğer çalışmalara karşılaştırılmıştır ve nispeten daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Tunay (2019), yüzeysel temellerin optimizasyonu için program yazmıştır. Yapay arı kolonisi, bio-coğrafya ve arama grup algoritmaları kullanılarak temel boyutları ve donatılarının optimizasyonu yapılmıştır. Neticede en uygun kesit alanları yazılım programıyla belirlenen optimizasyon teknikleri ile başarılı bir şekilde yapılmıştır.

Grzywiński vd. (2019) tarafından, çelik kubbe yapılarının frekans kısıt olmak üzere, Jaya algoritması kullanılarak minimum kütlesi elde edilmeye çalışılmıştır. 3 farklı kubbe 52-

120-600 çelik eleman değerlendirilmiştir. Jaya algoritmasının kubbe tarzı yapıların kütlelerinin azaltılması için uygun bir optimizasyon metodu olduğu sonucuna varılmıştır.

Atmaca vd. (2020), Jaya algoritması kullanılarak asma köprü için kablo boyutuna ilişkin olarak optimizasyon yapmışlardır. Kablo gerilmesi ve tabliyesi kısıt olarak kabul edilmiştir. Köprünün dayanma kabloları ilk durumda 409,32 kN olmasına karşın, optimizasyondan sonra 242,67 kN olarak elde edilmiştir.

Baghdadi vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, prefabrik duvar katı bina sistemlerinin tasarımında yapay zekâ ve parçacık sürü optimizasyonu kullanılmıştır. Duvarlar ve kolonlar hareket ettirilerek ve topoloji optimizasyonu yapılarak, mimar ve mühendislerin ortak çalışması amaçlanmıştır. Ayrıca gelecek çalışmalar için çoklu optimizasyon algoritmaları kullanılması ve/veya yarı denetimli sistemlerin uygulanmasının, önerilen yaklaşımın performansını arttıracakı öngörüsünde bulunulmuştur.

Mühendislik alanlarında optimizasyon uygulamaları çoğunlukla ilgili alanlarda kullanılan ticari paket programlar ve yazılım programları ile birlikte veya ayrı olarak kullanılmaktadır. İnşaat mühendisliğinde üst yapılarda genellikle diğer programlarla birlikte çalışma özellikleri olan ETABS-OAPI, SAP2000-OAPI ve MATLAB uygulamaları kullanılmaktadır. Bu programlar birbirleriyle entegre oldukları çalışmalar olabildiği gibi münferit çalışmalara da rastlamak mümkündür. Üst yapılarda kullanılan bu programların diğer programlarla entegre olarak yapılan çalışmalarla ilgili olarak literatürdeki araştırmalar şu şekilde özetlenmektedir

Sextos & Balafas (2011) tarafından yapılan çalışmada, köprülerin itme analizinde SAP2000-OAPI'den yararlanılmıştır. Programın modern yazılımlarla etkileşimi sağlanmıştır. Hızlı tekrarlı analiz yapabilen etkili bir çözüm yöntemi sunulmuştur.

Hussien & Taysi (2013), uzay çatılarda genetik algoritma kullanımı için MATLAB kodlarını SAP2000'e bağlamıştır. Yazılan kodlar direkt olarak sonlu elemanlar metodu (SEM) ile non-lineer çözüm yapan programı yönlendirerek optimizasyon yapabilmektedir.

Oliva (2014), yüksek yapıların sanal çalışmalarının otomatik optimizasyonu için SAP2000 API, SQL database ve Excel ile entegrasyonunu yapmıştır. Çalışmada yüksek binaların maliyetlerinin optimize edilmesi değil, aynı zamanda yüksek binaların tasarımındaki iş akışı da iyileştirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca bundan sonraki çalışmalarda gerçek zamanlı analizler ve düşey yükler altında tasarım sürecini otomatikleştiren optimizasyon işlemleri yapılabilir.

Hu vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, mimari ve statik programların aralarında dönüşüm yapabilen bir sistem oluşturulmuştur. Mimari için REVİT-OAPİden yararlanılmıştır, Statik olarak ise dört yapısal program olan ETABS, SAP200, ANSYS ve MIDAS programlarından yararlanılmıştır. Statik programların birbirlerine dönüşümü de sağlanmıştır. Bu için doğal mod şekilleri ve doğal titreşim periyotlarının ilk dört aşaması hesaplanmış ve dönüştürülmüş modellerle karşılaştırılmıştır. Neticede |BIM mimari-BIM yapısal analiz| ve |BIM yapısal analiz-BIM diğer yapısal analiz| arasında veri dönüştürme zorlukları üzerinde durulmuştur. Bunun içi IFC tabanlı bilgi modeli oluşturulmuştur ve çeşitli algoritmalar önerilmiştir.

Kamari (2016), tek katlı ve tek açıklı betonarme çelik çerçeve üzerinde dolgu duvarlı, dolgu duvarsız olmak üzere doğrusal yüklemeler yapmıştır. MATLAB-SAP2000 birlikte kullanılarak deney sonuçları ile sayısal sonuçlar genetik algoritma ile uyumsuzluklar azaltılmıştır.

Debraj Bhattacharyya (2017) tarafından, yüksek katlı yapılarda yanal yüklerdeki avantajı nedeniyle kullanılan diagridlerle ilgili, ETABS-OAPI ve MATLAB programları ile diferansiyel evrim kullanılarak, yapıların topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Tasarım parametreleri olarak, diagrid açısı, kalınlığı ve genişliği kullanılmıştır. Diagrid yapısının minimum ağırlığı için optimum diagrid eğimi elde edilmiştir.

Mangal & Cheng (2018), betonarme yapılar için BIM tabanlı bir çerçeve sunmaktadırlar. Üç aşamalı hibrit genetik algoritma kullanılarak çelik donatıların otomatik optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada IFC ve ETABS kullanımı olmakla birlikte, oluşturulan sistem sadece düzenli betonarme yapılardaki kolon ve kirişlere uygulanabilmektedir.

Behmanesh, (2018), betonarme perdelerle sahip yüksek binaların tasarım optimizasyonu yapmıştır. Monte carlo simülasyonu ve duyarlılık analizi kullanılmıştır. Yapısal analiz ve değerlendirme için OAPI-ETABS kullanımı vardır. Amaç fonksiyonu olarak toplam malzeme ağırlığı ve nihai malzeme maliyeti yerine beta olasılık dağılımı ile modellenen talep-kapasite oranı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Vatandoust vd. (2018), sürekli yükleme metodu ile perde duvarların açıklık optimizasyonunu yapmışlardır. ETABS programında en uygun boyutlar ve en uygun olmayan boyutlara göre analiz yapılmıştır. ETABS'dan bağımsız olarak MATLAB kullanılmıştır. Neticede; açıklığı optimum boyutlara sahip duvar, tavan yüksekliğinde yer değiştirme elde edilmiştir.

Kaveh & Ghafari (2019), endüstri yapılarında sıklıkla kullanılan konik biçimli çelik çatılar üzerinde, araç olarak 9 farklı meta-sezgisel kullanılarak geometri ve boyutlandırma optimizasyonu yapmışlardır. Örneklerde SAP2000 ve MATLAB kullanılmıştır. Tasarım değişkenleri olarak tepe noktasının yüksekliği ve konik uzunlukları belirlenerek, çelik çerçevenin nihai ağırlığının %10'a kadar değişebileceği sonucuna varılmıştır.

Baghdadi vd. (2019) yarı denetimli meta-sezgisel algoritma kullanarak, kabuk forma sahip elemanların optimum tasarımı için bir yöntem sunmaktadırlar. Seçilen problem MATLAB'da parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması için kullanılmıştır. Optimizasyonun yapısal aşamasında SAP2000 OAPI kullanılmıştır. Sonuçta düşük yükler altında oluşan gerilmelere bağlı olarak en uygun değere sahip kabuk formları elde edilmeye çalışılmıştır.

Shoieb vd. (2020), yapısal ticari programlardan SAP2000, ETABS, ROBOT, STAADPRO ve RFEM'in birlikte çalışması ile ilgili araştırmalarda bulunarak hataları rapor etmişlerdir. Bu programların geçişinde BIM teknolojisi ile IFC kullanılmıştır ve bunun içinde web tabanlı bir platform oluşturmuştur.

Liao & Biton (2019), SAP2000 OAPI ve MATLAB birlikte kullanılarak, meta-sezgisel optimizasyon algoritması ile 3 katlı çelik çerçeve için en uygun tasarımı bulmak üzere çalışma yapmışlardır.

Tahsin Öztürk vd. (2020), TLBO ve Jaya algoritmaları kullanılarak betonarme payandalı istinat duvarlarının optimum tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada SAP2000-OAPI kullanılmıştır ve MATLAB dilinde yazılım programın oluşturulmuştur. TLBO'nun nispeten daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

Aslay & Dede (2020), Türk Deprem Yönetmelikleri arasında kolon-perde ve kirişlerin çıkarılma senaryolarını SAP2000-OAPI özelliğini kullanarak yapmışlardır. MATLAB programında SAP2000'de kullanılmak üzere kodlar yazmışlardır. Çalışmada esasen 2007-2018 yıllarında yayımlanan yönetmelikler dikkate alınarak modellenmiş olan betonarme bir yapının tüm elemanlarının ayrı ayrı sistemden çıkarılması durumunda, yapı periyodunun hesaplanması ve değerlendirilmesi otomatik olarak yapılmıştır. Normal şartlar altında manuel olarak uzun zaman alan iterasyon tekniği ile koşturulan 440 modal analiz başarılı sonuçlar vermiştir.

Yapıların maliyet optimizasyonu ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda genellikle yapı ağırlığının azaltılması, sınır şartlar içerisinde minimum malzeme ve işçilik yapılabilmesi şeklinde olmaktadır. Maliyet optimizasyonu ile ilgili çelik yapılarda oldukça fazla araştırma

bulunmasına karşılık, betonarme yapılarda kısmen, 2 veya 3 boyutlu çalışmaların sayısı da her geçen gün artmaktadır. İnşaat mühendisliğinde maliyet optimizasyonu ile ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Atabay (2004) tarafından yapılan çalışma, Türkiye’de betonarme yapıların optimize edilmesi konusunda önemli örnekler sunmaktadır. Çalışmada yapıldığı tarihte betonarme perdelerin sistem içerisindeki kesitsel değişimi ile optimizasyon yapılmıştır. Amaç fonksiyonu beton ve demir miktarı olarak belirlenmiştir. Kısıt olarak TS 500 ve ilgili deprem yönetmeliği belirlenmiştir. Betonarme yapıların maliyet optimizasyon yöntemi için genetik algoritma (GA) kullanılmıştır. Yapılan işlemler için yazılım geliştirilmiştir ve maliyet optimizasyonu yapılarak sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Akın (2010) tarafından yapılan çalışmada, süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler için harmoni arama algoritması ile optimum tasarım elde edilmeye çalışılmıştır. Amaç fonksiyonu olarak beton, demir donatı ve kalıp maliyetlerini içeren maliyet belirlenmiştir. Tasarım sınırlayıcıları için ACI 318-05’den yararlanılmıştır. Kullanılan harmoni algoritması ile çeşitli tasarım örnekleri sunulmuştur.

Dedekargınoğlu (2012), çelik yapıların kesit optimizasyonu yapılarak maliyet azaltılmaya çalışılmıştır. SAP2000 programına entegre yazılımlar oluşturularak diferansiyel evrim metodu kullanımı ile yapı optimize edilerek çelik çerçeve ağırlığı %41,7 kadar azaltılmıştır.

Eser (2014), meta-sezgisel yöntemlerden yapar arı koloni algoritması kullanarak çelik kafes yapıların optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Açık uygulama programlama ara yüzü (OAPI) kullanılarak açık kodlu yazılım oluşturulmuştur. Çelik yapı bu yazılım ile optimize edilerek ağırlık azaltılmıştır.

Tuna (2014), statik paket programları kullanarak okul binalarında, optimum beton basınç dayanımına göre minimum maliyet hesabı yapmıştır. Minimum maliyet değerleri beton, düz yüzeyli betonarme kalıbı ve her çapta betonarme demirlerinin toplamı ile hesaplanmıştır.

Artar (2015), genetik algoritma yöntemi kullanarak farklı çelik çerçeve sistemlerinin optimum boyutlandırmalarını gerçekleştirmiştir. Optimizasyon işlemleri çelik kirişler üzerindeki beton plağın etkisinin sonlu eleman analizlerinde dikkate alınması durumu için tekrarlanmıştır ve MATLAB programında entegre yazılım oluşturulmuştur.

Esfandiary vd. (2016), betonarme çerçevelerde parçacık sürü optimizasyonunu ve karar verme yöntemlerini kullanmışlardır. Amaç fonksiyonu beton, demir ve kalıp

maliyetlerinden oluşmaktadır. Sınırlandırıcı olarak ACI kodları kullanılmıştır. Çalışmada betonarme elemanların boyutlarının yanı sıra kombinasyonlar ve yerleşim detaylandırılması doğrudan inşa edilebilir şekilde tasarım yapılmıştır.

Akin & Saka (2015), ACI 318-05 hükümlerine göre, betonarme çerçeve üzerinde uyum arama algoritması kullanarak optimizasyon yapmışlardır. Amaç fonksiyonu olarak beton, demir ve kalıp maliyetlerinin toplamı kullanılmıştır. Çalışmada betonarme yapıların tasarım optimizasyonu donatı tasarımıyla ilişkili karmaşıklık nedeniyle çelik yapılara göre zorluğu vurgulanmıştır. Neticede kaba inşaat iş kalemlerine göre optimize edilmiş maliyet sunulmuştur.

Niaki vd. (2016), 2 boyutlu betonarme çerçeve sisteminde ACI kodları sınırlayıcı olarak kullanarak optimizasyon yapmışlardır. Optimizasyon algoritması olarak genetik algoritma kullanılmıştır ve amaç fonksiyonu olarak beton-kalıp-demir miktarları ile eleman boy ve kesit alanları da dâhil edilmiştir. Amaç fonksiyonu minimize edilmiştir.

Aldwaik & Adeli (2016), gerçek hayattaki 36 katlı bir binada döşeme tasarımı ile ilgili optimizasyon sunmaktadırlar. Rasgele belirlenen döşeme levhaları için genel bir maliyet fonksiyonu formüle edilmiştir. Çalışma neticesinde %6-9 oranında maliyet tasarrufu sağlanmıştır.

Chutani & Singh (2017), betonarme kirişlerin optimum tasarımını Hindistan kodları kullanarak yapmıştır. Optimizasyon için parçacık sürü algoritmasını kullanan çalışmada, prosedürün etkinliğini göstermek için iki tasarım örneği sunulmuştur. Hem çelik alandaki hem de beton hacmindeki azalmanın, betonarme kirişlerin optimizasyonuna katkıda bulunduğu ve maliyet optimizasyonunun, bir kirişin derinliğinin genişliğine oranıyla doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir.

Regupathi (2017), hibrit genetik algoritma kullanarak betonarme kiriş ve kolonların optimizasyonunu yapmıştır. MATLAB programında algoritmayı kullanabilen yazılım oluşturularak kolon ve kirişlerin ayrı ayrı optimizasyonu yapılarak, minimum kaba inşaat maliyet değerleri elde edilmeye çalışılmıştır.

Tapao & Cheerarot (2017), betonarme çerçevelerin minimum maliyetli tasarımı için yapay arı kolonisini performansını araştırmaktadırlar. Yapı elemanlarının kesiti, donatıların çapı ve sayısı tasarım değişkeni olarak kabul edilmiştir. ACI kodu ve 2 boyutta çalışılmıştır. Kaba inşaat maliyetleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Yapay arı kolonisi (ABC) algoritmasını durdurma koşulu, deneme sınırlarının sayısı, arıların sayısı ve besin

kaynaklarının sayısı olmak üzere dört parametre ile kontrol edilmiştir. Aynı zamanda bu algoritmanın betonarme çerçevelerde başarılı sonuç verdiği anlaşılmıştır.

Kayabekir (2018), betonarme istinat duvarı için geometrik değişkenlere ve donatı çeliği tasarımına bağlı olarak maliyet minimizasyonu yapmıştır. Algoritma olarak öğretme-öğrenme tabanlı, çiçek toplama ve harmoni arama algoritmaları kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu beton ve demir miktarları ile birim fiyatların çarpımı olarak belirlenmiştir.

Esfandiari vd. (2018) tarafından, çok kriterli karar verme ve parçacık sürü optimizasyonu beraber kullanılarak gerçek bir 3 boyutlu betonarme yapı ağırlık ve maliyet olarak optimize edilmiştir. 3 katlı betonarme yapının maliyeti ve 7 katlı yapının ağırlığı optimize edilmiştir. Çalışmada 371 adet tasarım değişkeni tanımlanmıştır. Çok kriterli karar verme ve parçacık sürü algoritmasının beraber kullanımının betonarme yapıların optimizasyonu için başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Kamal & Inel (2019) tarafından, orta yükseklikteki betonarme yapılarda yaygın olarak kullanılan sürekli temellerin optimizasyonu diferansiyel evrim algoritması kullanılarak yapılmıştır. Kısıt olarak TS 500 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği kullanılmıştır. Kullanılan algoritma ile sürekli temellerin optimum tasarımı yapılmıştır.

Rakıcı (2019) tarafından, betonarme çerçevelerin optimizasyonu Jaya algoritması kullanılarak yapılmıştır. ACI 318-05 tasarım kodun göre kısıtlar oluşturulmuştur. Kiriş ve kolonların en ve boy değerlerine göre sadece çerçeve malzeme maliyetleri ayrı ayrı olarak hesaplanarak, çalışma kapsamında sunulmuştur.

Triches vd. (2019), Brezilya inşaat standartlarına göre, kirişlerin-kolonların boyutlandırılması yapılarak, betonarme düzlem çerçevelerin maliyet optimizasyonunu harmoni aram algoritmasıyla uygulamıştır ve elemanların otomatik gruplandırılma oluşturularak sunulmuştur. Çalışmada kolonların otomatik gruplandırılması dikkate alınmıştır. Kesit boyutları, donatıların alanı ve kiriş-kolonların beton dayanımları tasarım değişkenleri olarak alınmıştır. 20 katlı bina çerçevesi örneğinde otomatik gruplamayla maliyet düşüşü %5,53-7,35 arasında değişmiştir. Aynı çalışmada beton dayanımları 40 MPa ve en kötü 20 MPa olmak üzere %9,74 oranında maliyet düşüşü elde edilmiştir.

Abed (2020), çelik kafes sistemlerinin optimizasyonu ASD 89 kriterlerine göre yapmıştır. Optimizasyon algoritması olarak ağaç tohumu optimizasyonu, karga arama optimizasyonu ve simbiyotik organizmalar arama optimizasyonu kullanılmıştır. SAP2000 programına visual yazılımı entegre edilmek suretiyle, kiriş ve kafes sistemlere uygulanarak algoritmaların performansları incelenmiştir.

Literatürde optimizasyon yöntemlerinde gerçek dünyada var olan, düzenli veya düzensiz olması fark etmeksizin, betonarme yapıların gerçek zamanlı yükler altında (düşey ve yatay), 3 boyutlu model üzerinden otomatik veri alışverişlerine izin veren maliyet-tasarım optimizasyonlarında eksiklikler olduğu görülmektedir. Yeni optimizasyon algoritmalarının bu şekilde minimum maliyet ve optimum tasarım yapılması beklenirken sürecin otonom bir şekilde yönetilmesi de beklenmektedir. Bu durum proje tasarım uygulamalarında kullanıcı odaklı olmaktan çok yazılım odaklı olmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada gerçek betonarme yapıların, gerçek zamanlı yükler altında bilgi işlem platformu (yazılım) kullanarak 3 boyutlu model üzerinden otomatik maliyet-tasarım optimizasyonu yapılarak literatüre katkıda bulunulmaya çalışılmıştır.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Maliyet ve Tasarım

Tez çalışması kapsamında, sayısal örneklerin tamamı için gerçekte var olan binalar seçilmiştir. Aynı zamanda binaların yapım aşamasında bulunularak gerçekleşen maliyet verileri elde edilmiştir. Bütün örneklerde kaba inşaat kalemlerinden kalıp-demir ve beton kullanılmıştır. Bu iş kalemlerine ait metraj verileri birim fiyatlarla çarpılarak yaklaşık maliyet hesaplanmıştır. Birim fiyatların belirlenmesi için kamu ihalelerinde kullanımı esas olan 2022 yılı eylül ayına ait birim fiyatları kullanılmıştır. Hem gerçek metraj verileri hem de optimum metraj verileri, karşılaştırma yapılabilmesi için aynı birim fiyatlarla çarpılarak bulunmuştur. Çalışma kapsamında maliyet verileri için taşıyıcı sistem elemanlarının farklı tasarım durumlarından yararlanılmıştır. Tasarım değerleri olarak tüm kolon ve kirişlerin kesit değerleri ve bunlara karşılık oluşan donatı konfigürasyon ve adeti uygulanmıştır. Binaların kullanım amacına göre ve inşaat saha uygulamalarına uygun taşıyıcı eleman kesitleri arasından kullanıcı istediği kesitleri kombinasyon içinde kullanabilmektedir. Seçilen kesit değerlerine göre programa otomatik analiz yaptırılarak TBDY 2018'e ve TS 500'e uyması istenmiştir. Tüm bu olasılıklar dahilinde en uygun maliyet ile optimum tasarım yapılmaya çalışılmıştır ve maliyet-tasarım optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmada 2022 yılına ait birim fiyatların kullanılması ve sadece kalıp-demir-beton fiyatlarının kullanılması çalışmaya ait sınırlılığın olduğu söylenebilmektedir. Tüm süreç detaylı olarak Şekil 2'de verilmiştir. Ayrıca kolon ve kirişlerin köşelerde olması, x-x doğrultusunda olması, y-y doğrultusunda olması plan içinde veya plan kenarlarında olması durumları için gruptama işlemleri de yapılmaktadır. Optimizasyon işlemleri için TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 algoritmalarından yararlanılmıştır. Bu algoritmalar hem kendi içlerinde hem de gerçek inşaat maliyeti ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen maliyet ve tasarım değerleri tutarlı olarak bulunmuştur. Tüm bu işlemler için yazarlar tarafından entegre bir yazılım programı yapılmıştır. Bu programa ait detaylar diğer bölümlerde verilmiştir.

birim fiyat ve miktar çarpımı olarak tutar ve toplam tutarı vermektedir. Son sütun ise toplam porsantaj değeri ile her imalata ait porsantaj değerlerini vermektedir.

YAKLAŞIK MALİYET (Miktar + Tutar + Porsantajlar)							
01-İnşaat							
N o	Poz No	Tanımı	Biri m	Mikta r	Birim Fiyat	Tutar	Toplam Porsantaj
1	15.150 .1006	Beton santralinde üretilen ve satın alınan ve beton pompasıyla basılan C30/37 basınç dayanım sınıfında, gri, renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	M3	100	982,73 TL	982.27 TL	31,17
2	15.160 .1004	Ø14- Ø28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	TON	10	188.588, 80TL	188.588,8 0TL	59,81
3	15.180 .1003	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	M2	200	142,14 TL	28.428,00 TL	9,02
					Toplam	315.289,8 0TL	100

Şekil 3. Maliyet Şablonu

2.3. Kullanılan Birim Fiyatlar ve Rayiç Bedelleri

Tez çalışması kapsamında hazırlanan inşaat yaklaşık maliyeti işçilik, malzeme, nakliye ve yüklenici karı (poz gereği) dahi olmak üzere, demir, beton ve kalıp iş kalemlerinden oluşmaktadır. Bunlardan inşaat demiri için güncel inşaat pozlarından ÇŞB.15.160.1004 “Ø 8- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması” pozunu kullanılmıştır. Pozun uzun tanımı “Ø 8- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması” şeklindedir. Birimi ton ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2019 ve sonrası kitabında yer almaktadır. Pozun tarifi, yapım şartları ve ölçüsü şu şekildedir; Nervürlü beton çelik çubuğunun detay projesine göre kesilip bükülerek hazırlanması yerine konması, bağlanması için demir, bağlama teli ve gerekli her türlü malzeme ve zayıyatı, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, işçilik, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 ton fiyatı: ÖLÇÜ: 1) Betonarme proje demir donatı detaylarına göre kroşeler ile birlikte demirin boyu ölçülür. 2) Çelik çubukların ağırlıkları aşağıdaki cetveldan alınır. 3) Projede gösterilmeyen çelik çubuklar ve ekler hesaba katılmaz. 4) Cetveldeki (m) ağırlıkları hesaba esastır. Bağlama teli, çelik çubuk sıraları arasında kullanılacak çelikler ve zayıyat analizde dikkate alındığından, ayrıca ödeme yapılmaz. Çap (Ø) Birim Ağırlığı mm Kg/m 14 1,208 16 1,578 18 1,998 20 2,466 22 2,984 24 3,551 26 4,168 28 4,834

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2022 yılı Eylül ayına ait pozundan ÇŞB.15.150.1006 beton için kullanılmıştır. Pozun tanımı “Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)” şeklindedir. Birimi m³tür ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2019 ve sonrası kitabında yer almaktadır. Pozun tarifi, yapım şartları ve ölçüsü şu şekildedir; "Beton üretimine uygun komple beton tesisinde (asgari 60m³/sa kapasiteli, dört gözlü agrega bunkerli kompresörlü ve kumanda kabini ile birlikte bilgisayar kontrollü, min. 50 ton kapasiteli çimento silosu bulunan konveyör bant sistemli, geri kazanım ünitesi, agrega ve beton deneylerini yapabilecek kapasitede laboratuvar, jeneratör, yeteri kadar transmikser ve mobil beton pompası ile en az bir adet yükleyici, katkı tankı ve katkı tartı bunkerli, nem ölçer ve benzeri her türlü ekip ve ekipmana sahip periyodik kalibrasyonu yapılmış beton üretim tesisi) standardına ve projesine uygun, yıkanmış, elenmiş granülometrik kum-çakıl ve/veya kırmataş, çimento, su ve gerektiğinde katkı malzemesi ile C 30/37 sınıfında üretilen veya bu niteliklere sahip beton tesisinden satın

alınan hazır beton harcının; beton kalite kontrollerinin yapılması, transmikserlere yüklenmesi, işyerine kadar nakli, döküm yerine beton pompası ile basılması, yerleştirilmesi, vibratör ile sıkıştırılması, sulanması, soğuktan, sıcaktan ve diğer dış tesirlerden oluşması ve bakımının yapılması, gerekli ve yeter sayıda deney için numune alınması ve gerekli deneylerin yapılması, için gerekli her türlü işçilik, malzeme ve zayıatı, makine araç, gereç ve laboratuvar giderleri, işyerindeki her türlü yatay ve düşey taşımalar, yükleme ve boşaltmalar, beton bünyesine giren granülometrik kum çakıl veya kırmataşın ve çimentonun temin edildiği, üretildiği veya satın alındığı yerden taşıtlara yüklenmesi, beton tesisine nakli, taşıtlardan boşaltılması, istifi, beton tesisine konulması, beton bünyesinde ve sulama için kullanılan suyun temini ve nakli, beton tesisi ve diğer tüm ekipmanların temini ve amortisman giderleri ile her türlü diğer giderler ve müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, yerinde dökülmüş ve basınç dayanımı C 30/37 olan gri renkte, normal hazır betonun 1 m³ fiyatı: Ölçü; projedeki boyutlar üzerinden hesaplanır. NOT: 1) Üretilen veya satın alınan betonun üretildiği tesisin, TSE ve mevzuatının gerektirdiği diğer belgelere sahip olması ve bu belgeleri imalata başlamadan önce idareye vermesi zorunludur. İbraz edilen belgelerin uygun olduğunun tespit ve kullanılmasına müsaade edilmesi kaydıyla ancak, bu tesiste üretilen veya satın alınan ve yürürlükteki mevzuatına göre piyasa arz koşullarını da taşıyan uygunluk belgeli betonun imalatı kullanılması mümkün olacaktır. 2) Betonun satın alınarak temin edilmesi halinde, üzerinde işin adı belirtilmiş olan faturaların birer suretinin ödeme belgelerine eklenmesi zorunludur. 3) Beton bünyesine ilave olarak konulacak katkı malzemesinin bedeli ayrıca ödenecektir. 4) Pompa kullanılmaması halinde analizden pompa bedeli düşülür.

Kalıp imalatı için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının güncel 2022 yılına ait ÇŞB.15.180.1003 pozu kullanılmıştır. Pozun tanımı “Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması” şeklindedir. Birimi m²’dir ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2019 ve sonrası kitabında yer almaktadır. Pozun tarifi, yapım şartları ve ölçüsü şu şekildedir; Proje ve şartnamesine göre; iç yüzeyi yağlanmış 21 mm kalınlığında plywood (film kaplı) suni tahtalardan düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı yapılması, gerekli görülen vibrasyona dayanacak şekilde takviye edilmesi, kalıbın sökülmesi, bu işler için gerekli her türlü malzeme ve zayıatı ile işçilik, iş yerinde yatay-düşey taşıma, yükleme-boşaltma, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı: ÖLÇÜ : Kalıp gören yüzler projesinden veya yerinde ölçülerek hesaplanır. Boşluk hacmi çıkarılmayan imalat deliklerinin çevre kalıpları ölçüye dâhil edilmez. Deliğin kalıp tarafındaki yüzünden delik

boşluğu çıkarılmaz. NOT: 1) Kalıp iskelesi ayrıca ödenir. 2) Kalıptan çıkan malzeme müteahhide aittir.

Yaklaşık maliyetin hesaplanmasında kullanılan iş kalemlerinden olan betonarme demirine ait poz ÇŞB 15.160.1004 nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması olarak adlandırılmaktadır. Poz detayı malzeme ve işçilik olarak ikiye ayrılmaktadır. Rayiç bedellerine bakıldığında malzeme olarak nervürlü beton çelik çubuk, işçilik bedellerine bakıldığında, demir kesme-bükme makinası, soğuk demirci ustası, soğuk demirci usta yardımcısı düz inşaat işçi saatlik ücretleri olmak üzere Tablo 3’de tüm rayiç bedelleri ve birim fiyat oluşumu verilmiştir.

Tablo 3. Nervürlü Demir Birim Fiyat Analizi

15.160.1004	ø 14-32 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması				Ton
Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
	Malzeme				
10.130.1705	Beton çelik çubuğunervürlü Zaiyatı ve bağlantı teli dahil	Kg	1070	13	13910
	İşçilik: Kesilmesi,bükülmesi, yerine konulması				
19.100.1111	Demir kesme ve bükme makinası	Saat	2	20,55	41
10.100.1019	Soğuk demirci ustası	Saat	8	34,50	276
10.100.1047	Soğuk demirci usta yardımcısı	Saat	12	25,50	306
10.100.1062	Düz işçi (inşaat işçisi)	Saat	12	25	300

Tablo3'ün devamı

10.100.1062	Düz işçi (inşaat işçisi) (İnşaat yerindeki yükleme, boşaltma, yatay ve düşey taşıma)	Saat	10	25	250
	Malzeme + İşçilik Tutarı				15.083
	%25 Yüklenici karı ve genel giderler				3.770
	1 Ton fiyatı				18.858,88

Çalışma kapsamında kullanılan C30/37 betonu için ÇŞB.15.150.1006 poz numarası kullanılmıştır. Rayiç bedellerinden malzeme için beton harcı ve su, işçilik için mobil beton pompası, betoncu ustası, düz işçi ve vibratör saatlik ücreti verilmiştir. İlgili birim fiyata ait detaylar ve rayiç bedelleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. C30/37 Beton Birim Fiyat Analizi

15.150.1006	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)				M3
Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
	Malzeme				
10.130.1506	C30/37 beton harcı (Nakliye dahil)	M3	1	745	745
10.130.9991	Su	M3	0,4	14	5,60
	İşçilik Beton pompası ile basılması, yerine dökülmesi, sıkıştırılması ve konulması karşılığı				

Tablo 4'ün devamı

19.100.1101	Mobil Beton Pompasının Bir Saatlik Ücreti (420 HP)	Saat	0,01	2.109,71	21,00
10.100.1015	Betoncu ustası	Saat	0,15	34,50	5,175
10.100.1062	Düz işçi (inşaat işçisi)	Saat	0,3	25	7,50
19.100.1033	Beton vibratörü 'nün 1 saatlik ücreti	Saat	0,05	74,60	3,73
	Malzeme + İşçilik Tutarı				785,66
	%25 Yüklenici karı ve genel giderler				196,27
	1m3 fiyatı				982,73

Çalışmada betonarme kalıp olarak piyasa şartlarında sıklıkla kullanılan plywood malzeme kullanılmıştır. Malzemenin ilgili pozu ÇŞB.15.180.1003'tür. Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması pozuna ait rayiç bedellerden malzeme film kaplı 21 mm plywood kalıp malzemesi ve bağlantı malzemeleri vb. karşılığı %10, yağ bazlı kalıp ayırıcı (ahşap için) Plywood kalıp malzeme I kesitli ahşap kiriş (alt ve üst başlıklar min.40x80 mm) (ts 46), çatal çivi (ts 155), çiviler (ts 155), işçilik rayiç bedelleri olarak panel kalıpcı (Betonarme), kalıp işleri usta yardımcısı, düz işçi (inşaat işçisi) kullanılmıştır. Poz detayları ve rayiç bedelleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Betonarme Kalıp Birim Fiyat Analizi

15.180.1003	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması				M2
Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
	Malzeme				
10.130.4606	Film kaplı 21 mm plywood kalıp malzemesi	M2	0,04	260,00	10,40

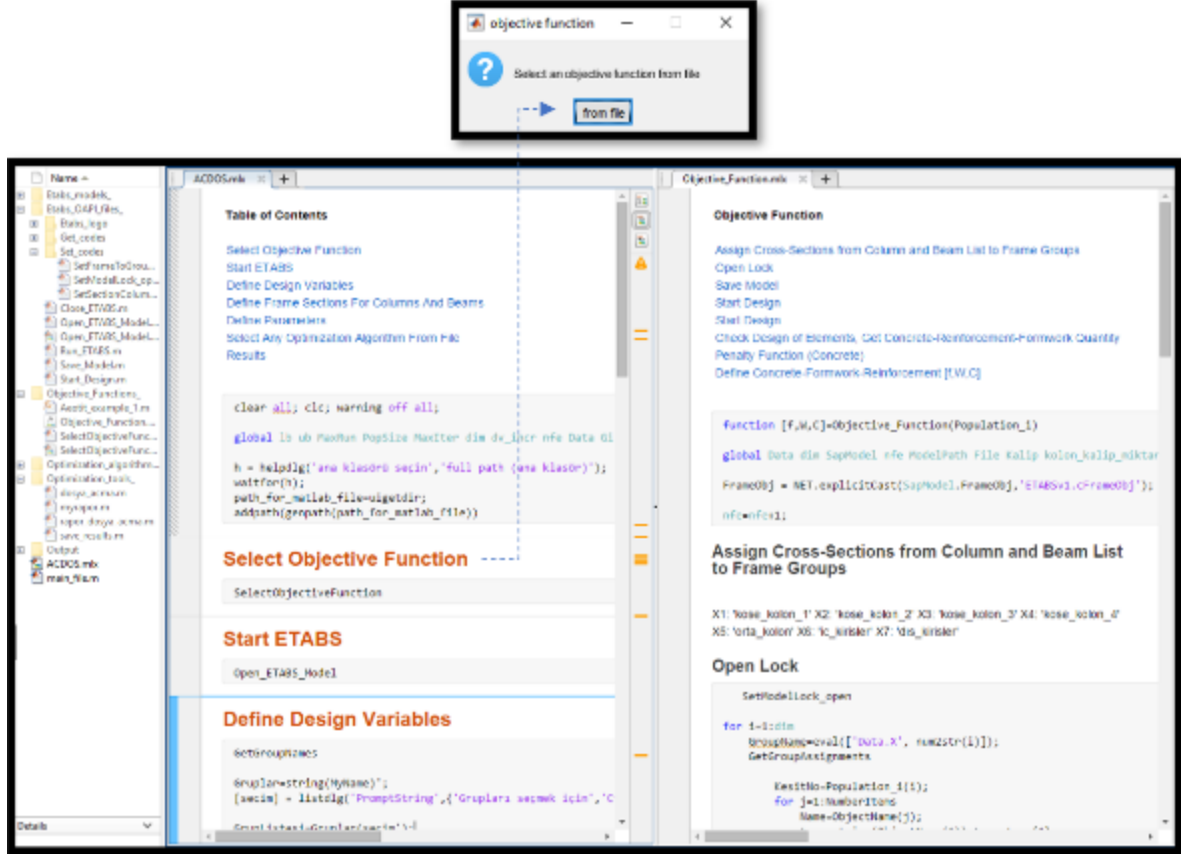
Tablo 5'in devamı

10.130.4606	Film kaplı 21 mm plywood kalıp malzemesi Bağlantı malzemeleri vb. karşılığı %10	M2	0,004	260,00	1,04
10.300.2191	Yağ bazlı kalıp ayırıcı (ahşap için)	Kg	0,1	11,00	1,1
10.130.4607	Plywood kalıp malzeme ı kesitli ahşap kiriş (alt ve üst başlıklar min.40x80 mm) (TS 46)	M	0,11	120,00	13,20
10.420.1009	Çatal çivi (TS 155)	Kg	0,1	16,60	1,66
10.420.1006	Çiviler (TS 155)	Kg	0,2	7,80	1,56
	İşçilik Yapılması ve sökülmesi				
10.100.1088	Panel Kalıpçı (Betonarme)	Saat	1,1	34,50	37,95
10.100.1090	Kalıp İşleri Usta Yardımcısı	Saat	1,1	25,50	28,05
10.100.1062	Düz işçi (inşaat işçisi)	Saat	0,75	25,00	18,75
	Malzeme + İşçilik Tutarı				113,71
	%25 Yüklenici karı ve genel giderler				28,42
	1m2 fiyatı				142,14

2.4. Oluşturulan Yazılım Programı ve Arayüz kullanımı

Tez çalışması kapsamında oluşturulan entegre yazılım hem optimum proje tasarımı hem optimum maliyet değerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bununla birlikte gerçek yapılara uygulanması ve otomatik proje tasarımı ile gerçek saha uygulamalarında kullanılabilir olması, çalışmada üretilen yazılımın inşaat sektörü içinde pratikte karşılığının

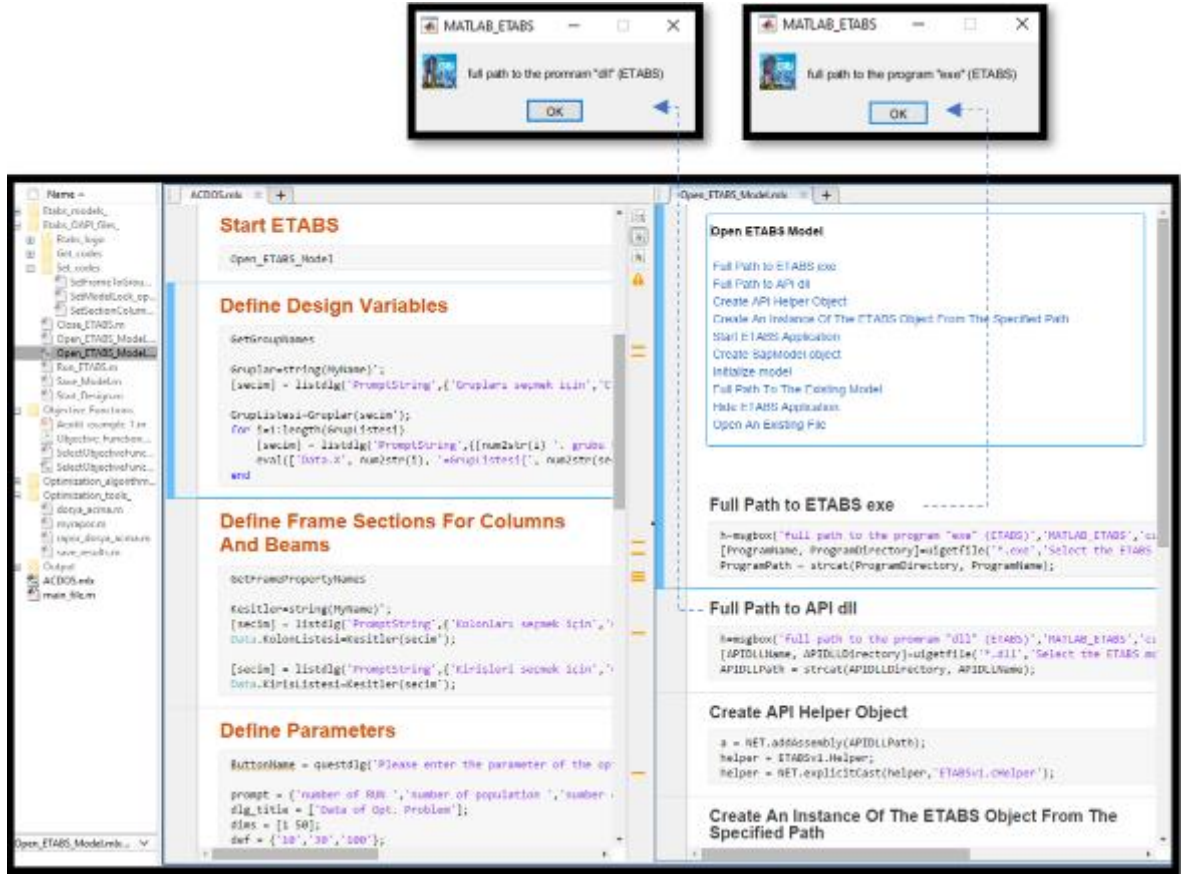
bulunduğunu göstermektedir. Yazılım genel olarak dosya yolunun belirlenmesi, amaç fonksiyonun seçilmesi, yapı modelinin işlenmesi, grup isimlerinin alınması, eleman seçimleri, optimizasyon algoritma ve değerlerinin seçilmesini kapsamaktadır.



Şekil 4. ACDOS Programına Ait İçerik Görseli

ACDOS programına ait içerik görseli Şekil 4’de paylaşılmaktadır. Üç farklı bölümde tanıtılan programda sol sütun dosyaların içerisindeki bölümlere ayrılmış kodları göstermektedir. Tüm süreçlerde ETABS programına ait OAPI özelliği kullanılarak, yönlendirmeler yapılmıştır. Orta sütunda içerikler verilmiştir. İçerik aynı zamanda programın ana başlıklarını oluşturmaktadır. Bu başlıklar şu şekildedir; Amaç fonksiyonunun seçilmesi (Objective Function), ETABS’ı çalıştırma (Start ETABS), tasarım değişkenlerinin tanımlanması (Define Design Variables), kolon-kiriş kesitlerinin tanımlanması (Define Frame Sections For Columns and Beams), parametrelerin tanımlanması (Define Parameters), optimizasyon algoritmasının seçilmesi (Select Ant Optimization Algorithm From File), Sonuçların alınması (Results). Herbir başlık ayrı ayrı tanıtılmıştır. ACDOS programına ait program çalıştırma görüntüsü görsel-1’de verilmektedir. Program ana

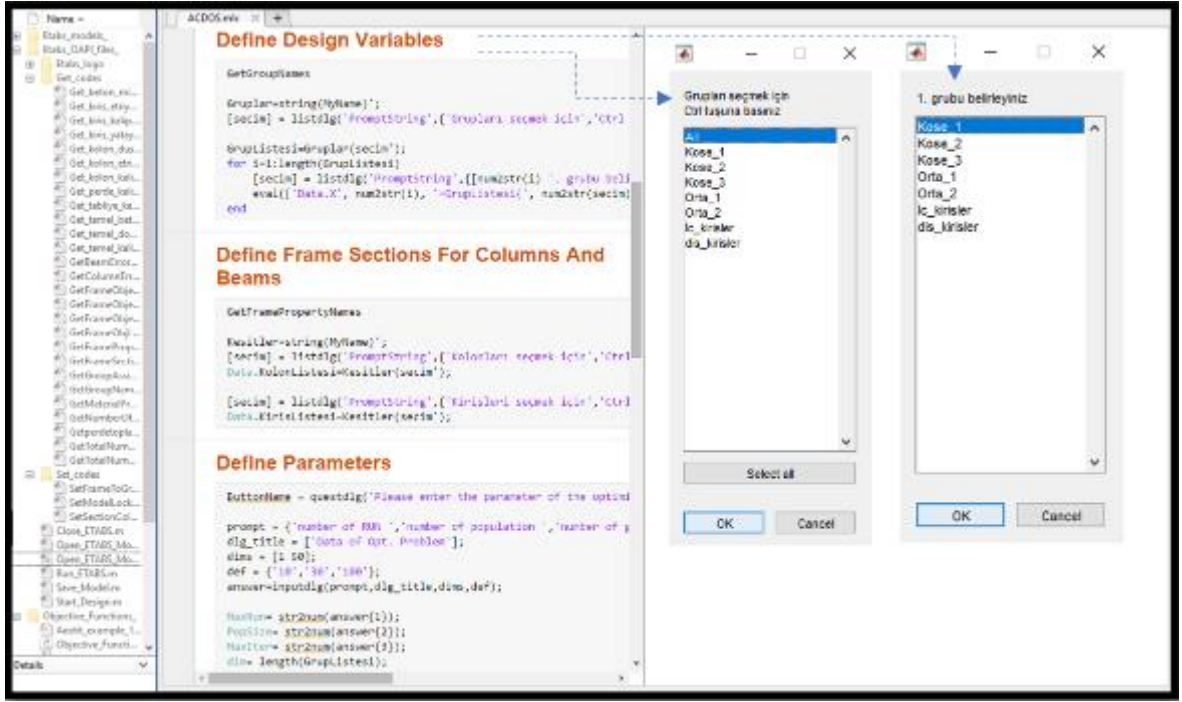
klasörün belirlenmesinin ardından amaç fonksiyonun seçilmesi ile başlamaktadır. Amaç fonksiyonu ACDOS programının temelidir ve kod dizilimi gruplara kolon ve kesit değerleri atanmasıyla başlar. Kolon ve kirişler ETABS programında daha önce gruplandırılmıştır. Örneğin dış x doğrultundaki kolonlar, dış y doğrultusundaki kolonlar, iç kirişler ve dış kirişler vb. şekilde. Gruplandırılan kesitlere boyutlar atanır. ETABS model kiliti kaldırılır ve yapı elemanlarına ait model tasarımı yapılır. Gruplandırılmış bir şekilde yapı elemanları ile analiz gerçekleştirilir.



Şekil 5. ACDOS Programına Ait Program Çalıştırma Görseli

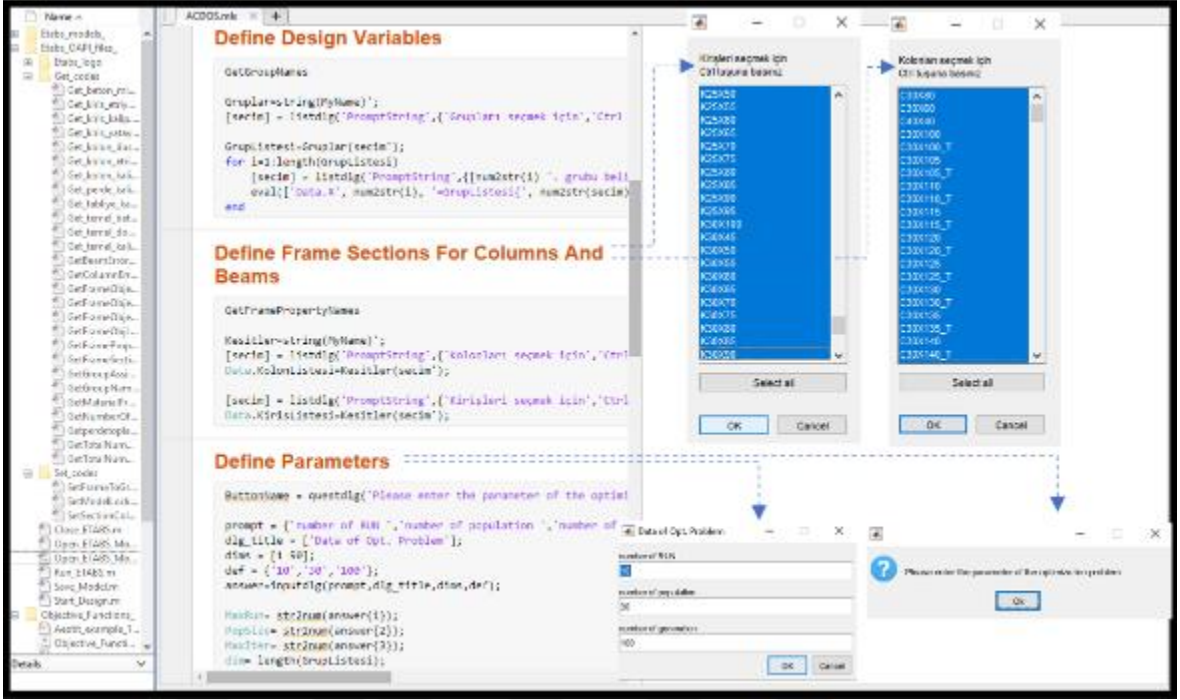
Gerekli kontroller yapılarak elemanlar test edilir. Beton-kalıp-demirlerin metrajları elde edilir. Eğer programa yaptırılan kontrolde elemanlar yeterli gözükmezse ceza fonksiyonu devreye girer ve beton miktarı 10^9 olarak artırılır. Çok fazla elde edilen beton miktarı, bize ETABS'a yaptırılan statik ve dinamik analizler neticesinde eleman ya da elemanların yeterli kapasiteye sahip olmadığını göstermektedir. Bundan sonra kesitler değiştirilerek analizler tekrarlanır ve tüm elemanlar deprem yönetmeliği ve standartlara uygun olarak elde edilinceye kadar devam edilir. Son olarak amaç fonksiyonunda beton-

demir-kalıp metrajlarının elde edilmesi ve birim fiyatlarla çarpılarak yaklaşık maliyet bedelinin elde edilmesi istenir. Amaç fonksiyonun belirlenmesinin ardından, Şekil 5’de gösterildiği gibi ETABS programının açılması ve çalıştırılabilmesi için gereken işlemler yapılır. ETABS başlatılması bölümünde kullanıcıdan Api exe ve dll dosyalarının seçmesi istenir. Bunun nedeni ise ACDOS programını istenen bilgisayarda sorunsuz bir şekilde çalıştırılmasıdır.



Şekil 6. ACDOS Programına Ait Grup Seçilmesi Görseli

Exe ve dll işlemlerinden sonra API Helper Object ve ETABS Object dosyaları oluşturulur. ETABS uygulaması başlatılır, her döngünün iç döngüsünde kullanılan SapModel Object yapısı bütün ETABS-API kodları için oluşturulur. Model başlar, mevcut model için yol oluşturulur, ETABS programı gizlenir ve mevcut dosyalar açılarak işlenmeye başlar. ‘Open ETABS Model’ dosyasının haricinde ACDOS programına ait grup seçimi ile ilgili görselde sol sütununda yer alan dosyalar ‘start design’, ‘save model’, ‘koşum etabs’, ‘close etabs’ ana komutlara yardımcı olması için kullanılır. Tasarım aşamalarına ilişkin ACDOS arayüzü Şekil 6’da verilmiştir. Burada tüm yapı elemanlarına ait daha önce model üzerinden oluşturulan gruplar listelenir. Açılan liste menüsünden hangi grupların kullanılmasının isteniyorsa onlar seçilir.



Şekil 7. ACDOS Programına Ait Kullanıcı Girdileri Görseli

Her bir grup elemanının seçimi ayrı ayrı sorulmaktadır. Her bir grup seçilerek 'ok' tuşuna basılır. ACDOS Programına ait görsel -3 solunda yer alan yardımcı dosyalardan 'Get' başlığı altında verilmiş olan klasörlerde ETABS-OAPI'den çekilen bilgilerin her biri için kodlar yazılmıştır. Her bir kod uzun ve detaylı araştırmalar sonucunda bulunmuştur, MATLAB dilinde karşılıkları verilmiştir. Verilen MATLAB kod karşılıklarının her biri ACDOS ana dosyası altında çalışabilecek şekilde düzenlenmiştir. Ana kod şemasında çağrılan her bir alt kod yazılımı birbirine bağlanmıştır. Yardımcı kodlardan 'Get Codes' dosyasındaki bazı alt kodlar şu şekilde isimlendirilmiştir; 'Get Frame Object Group', 'Get Frame Object Name', 'Get Frame Object Name On Story', 'Get Frame Obj Label Name List', 'Get Frame Property Names', 'Get Frame Section Property', 'Get Group Assignments', 'Get Group Names', 'Get Material Property Names'. Sayılan bazı 'Get' ifadeleri ile programdan bilgilerin alınması şeklinde yararlanılmıştır. 'Set' ifadeleri ile de program üzerinde bazı atamlar yapılarak işlenmiştir. Yine bu dosyalardan bazıları şu şekildedir; 'Set Section Column And Beam', 'Set Model Lock', 'Set Frame To Group' şeklindedir. Yapılan grup atamaları istenilen kolon grupları ve kiriş grupları üzerine yazılarak, atama işlemleri yapılmıştır. Tasarım değişkenlerinin atanmasına ilişkin olarak program arayüzü verilen Şekil 7'de verilmiştir. Şeklin sağ sütununda pencere listesinde piyasa şartlarında (gerçek saha uygulamalarında) kolon ve kiriş kesitleri verilmektedir.

olmamaktadır. Problemin çözümünün klasik metotlarla yapılmasında ısrar edildiğinde lokal minimum bölgesine takılarak gerçek bir çözüm elde edilemeyecektir. Aynı zamanda klasik algoritmalar probleme özgü çözüm sunmaktadır. Buna karşılık meta-sezgisel algoritmalar genel amaçlı kullanıma uygundur, bununla birlikte bir problem için tasarlanmış olan yöntem o problem için iyi sonuç vermeyebilir. Neticede meta-sezgisel algoritmalar daha geniş problem türü üzerinde iyi performans göstermektedir (Akay, 2009).

İteratif araştırma yapan meta-sezgisel algoritmalarından ikisi ısıtma işlem ve tabu araştırma algoritmalarıdır. Isıtma işlem algoritması bölgesel arama metodunun olasılık sal varyantıdır. Buna karşılık ısıtma işlem algoritmasının lokal optimuma takılmama özelliği vardır. Tabu araştırma algoritmasında ise tabu listesi tutulması şeklinde farklılık vardır ve bu listedeki çözümlerin dışında araştırma yapıldığında tabu listesi araştırma uzayının yeni bölgelerinin araştırılmasını sağlar. Tabu araştırma algoritması deterministik olarak çalışır. Meta-sezgisel algoritmaların diğer grupları popülasyon tabanlı ve sürü zekâsı olarak ayrılırlar. Sürü zekâsında belirli bir topluluktan yararlanılırken, popülasyon tabanlı algoritmalarda, probleme ait aday çözümlerden oluşan popülasyonu çeşitli operatörlerle geliştirerek yaklaşık çözümler üretirler (Akay, 2009).

İnşaat mühendisliği alanında gerek popülasyon tabanlı gerekse de sürü zekâsı meta-sezgisel algoritmalar problemin türüne göre yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapı alanında son yıllarda kullanılan optimizasyon algoritmaları; tavlama benzetimi, genetik algoritma, tabu arama, karınca koloni optimizasyonu, parçacık sürü optimizasyonu, uyum arama, yapay arı kolonisi vb. olmak üzere birçok algoritma kullanılmaktadır (Dede vd., 2019).

Bu çalışmada ise 3 boyutlu gerçek bir betonarme yapıda uygulanan maliyet optimizasyonunda TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 algoritmaları kullanılmıştır. Bahsedilen optimizasyon algoritmaları ilgili detaylı olarak bilgi verilecektir

2.4.2. TLBO Algoritması

TLBO optimizasyon algoritması öğretim ve öğrenme olmak üzere 2 aşamalı bir metottur. Öğretim aşamasında öğrenciler verileri öğrenir ve öğretmen kendi kabiliyeti ile bilen öğrencilerin ortalamasını yükseltmeye çalışır. Herhangi bir yinelemede, 'm' sayıda konu (yani tasarım değişkenleri), 'n' öğrenci sayısı (yani nüfus büyüklüğü, $k=1,2,\dots,n$) olduğunu ve ortalama sonuç $M_{j,i}$, belirli bir dersteki öğrencilerin sayısı 'j' ($j=1,2,\dots,m$) olduğu kabul edilsin. En iyi genel sonuç öğrenci k_{best} olmasına karşılık, öğretmen genellikle

öğrencileri daha iyi sonuçlar elde etmeleri için eğiten çok bilgili bir kişi olarak kabul edildiğinden, belirlenen en iyi öğrenci, algoritma tarafından öğretmen olarak kabul edilir. Her dersin mevcut ortalama sonucu ile öğretmenin her ders için karşılık gelen sonucu arasındaki fark denklem -3'te verilmiştir.

$$Ortalama_fark_{j,k,i} = r_i (X_{j,keniyi,i} - T_F M_{j,i}) \quad (3)$$

Bu denklemde $X_{j,keniyi,i}$ j dersindeki en iyi öğrenci, T_F değiştirilecek ortalamanın değerine karar veren öğretme faktörüdür. r_i [0,1] aralığında rastgele sayıdır. T_F 'nin değeri 1 veya 2 olabilir. T_F 'nin değeri şu şekilde eşit olasılıkla denklem-3'de rastgele belirlenir. T_F değeri TLBO algoritmasının bir parametresi olmayıp, girdi olarak da verilmez. Denklem-4'deki dataalar rastgele olarak verilir.

$$T_F = round[1 + rand(0,1)\{2-1\}] \quad (4)$$

Birçok karşılaştırmalı uygulama üzerinde elde edilen sonuçlara göre T_F değeri 1 veya 2 olması durumunda algoritmanın daha iyi performans sergilediği ortaya koyulmuştur. Bu nedenle denklem denklem-4de verilen yuvarlama kriterlerine bağlı olarak öğretim faktörünün 1 veya 2 alınması önerilir. $Ortalama_fark_{j,k,i}$ 'ya göre mevcut çözüm, öğretmen aşamasında denklem-5'deki ifadeye göre güncellenir.

$$X'_{j,k,i} = X_{j,k,i} + Ortalama_fark_{j,k,i} \quad (5)$$

Bu denklemde $X'_{j,k,i}$ güncellenmiş değerdir. $X'_{j,k,i}$ daha iyi fonksiyon değeri verirse kabul edilir. Öğretme aşamasının sonunda Kabul edilen fonksiyon değerleri oluşur ve bu değerler öğrenme aşamasının girdisi olur. Öğretme aşaması da öğrenme aşamasına bağlıdır. Öğretme kısmı algoritmanın 2.aşamasını oluşturur. Bu kısım öğrencilerin kendi aralarında etkileşim kurarak bilgilerini aktardıkları kısımdır. Bir öğrenci bilgisini geliştirmek için diğer öğrencilerle rastgele iletişime geçer ve diğer öğrenci kendisinden daha fazla bilgiye sahipse bilgi transferi olur. 'n' popülasyon büyüklüğünü göz önünde bulundurarak

$X'_{toplaml-P,i} \neq X'_{toplaml-Q,i}$ olmak üzere P ve Q rastgele öğrenen 2 kişi olsun. ($X'_{toplaml-P,i}$ ve $X'_{toplaml-Q,i}$ öğretme aşamasında P ve Q 'ya bağlı olan $X_{toplaml-P,i}$ ve $X_{toplaml-Q,i}$ fonksiyonlarının güncellenmiş halidir.

$$X''_{j,P,i} = X'_{j,P,i} + r_i(X'_{j,P,i} - X'_{j,Q,i}), \text{If } X'_{total-P,i} < X'_{total-Q,i} \quad (6)$$

$$X''_{j,P,i} = X'_{j,P,i} + r_i(X'_{j,Q,i} - X'_{j,P,i}), \text{If } X'_{total-Q,i} < X'_{total-P,i} \quad (7)$$

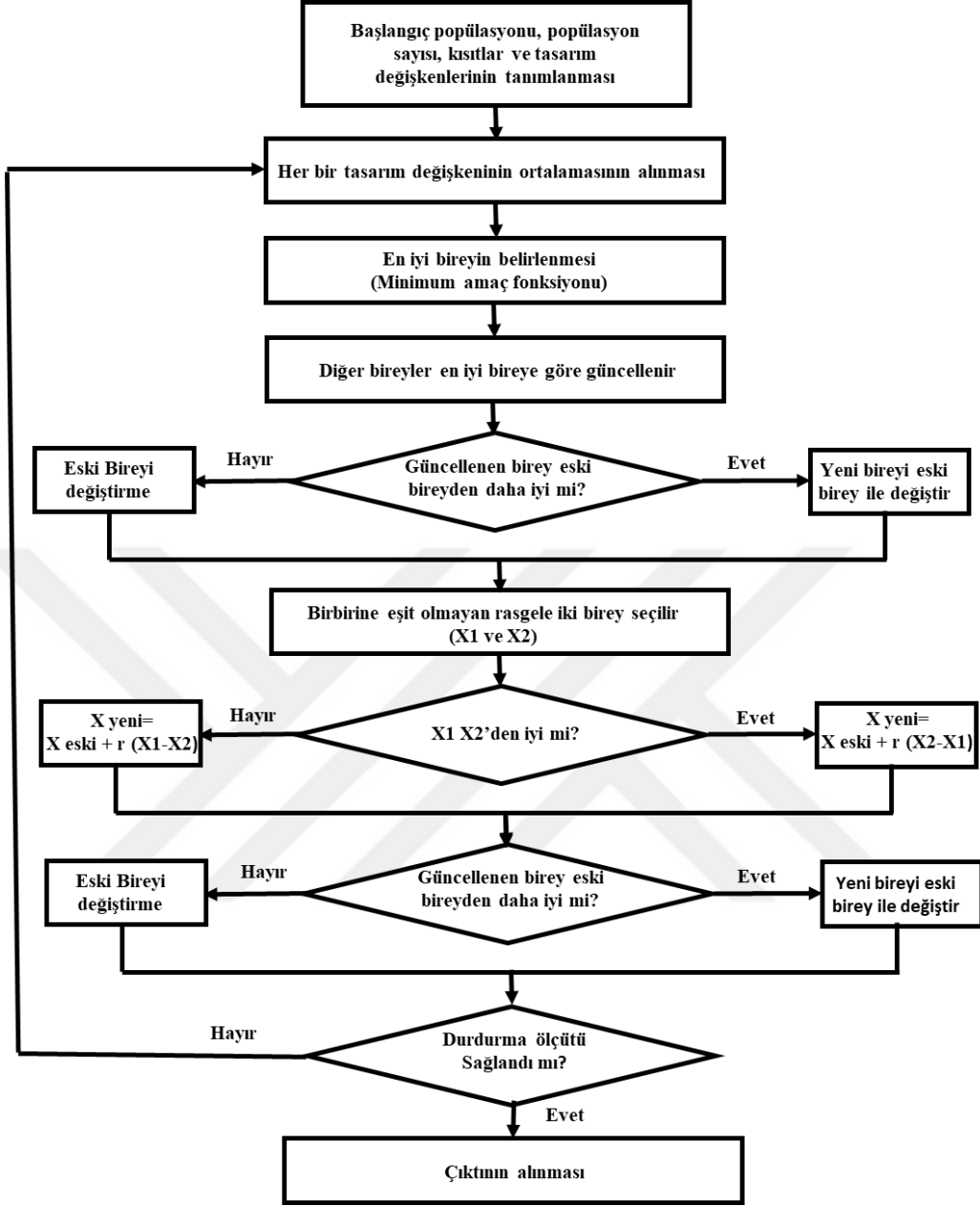
Denklem 6 ve 7 minimizasyon problemleri için geçerlidir. Denklem 8 ve 9 ise maksimizasyon problemleri için geçerlidir. De $X''_{j,P,i}$ daha iyi bir fonksiyon değeri veriyorsa nihai değer olarak kabul edilir. TLBO algoritmasına ait akış diyagramı şekil 8 de verilmektedir.(Venkata Rao, 2016b)

$$X''_{j,P,i} = X'_{j,P,i} + r_i(X'_{j,P,i} - X'_{j,Q,i}), \text{If } X'_{total-P,i} < X'_{total-Q,i} \quad (8)$$

$$X''_{j,P,i} = X'_{j,P,i} + r_i(X'_{j,Q,i} - X'_{j,P,i}), \text{If } X'_{total-Q,i} < X'_{total-P,i} \quad (9)$$

$$X''_{j,P,i} = X'_{j,P,i} + r_i(X'_{j,P,i} - X'_{j,Q,i}), \text{If } X'_{total-Q,i} < X'_{total-P,i} \quad (10)$$

$$X''_{j,P,i} = X'_{j,P,i} + r_i(X'_{j,Q,i} - X'_{j,P,i}), \text{If } X'_{total-P,i} < X'_{total-Q,i} \quad (11)$$



Şekil 9. TLBO Akış Diyagramı

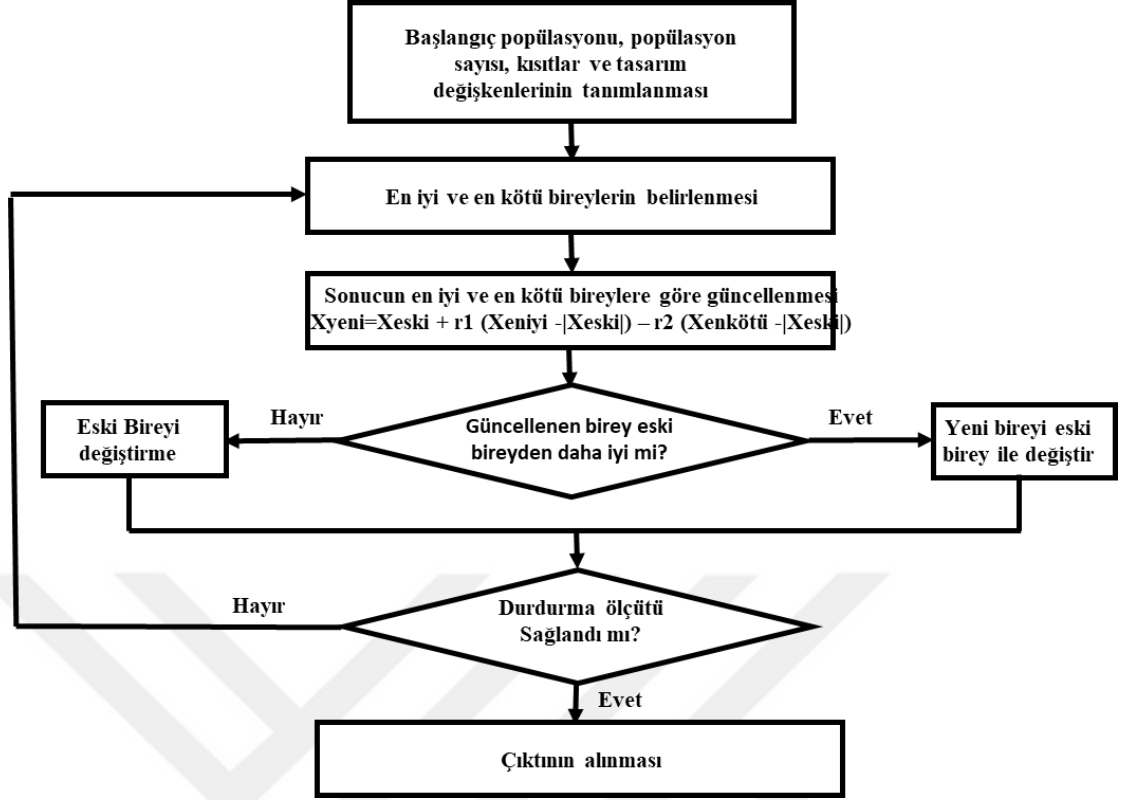
2.4.3. Jaya Algoritması

Jaya algoritması TLBO algoritmasından farklı olarak tek aşamada gerçekleşen bir algoritmadır ve uygulanması daha basittir. $f(x)$ problem minimize veya maksimize edecek amaç fonksiyonu olmak üzere, herhangi bir 'i' yenilemesinde, 'm' sayıda tasarım değişkeni ($j=1,2,\dots,m$), 'n' sayıda aday çözüm (yani popülasyon büyüklüğü $k=1,2,\dots,n$) olduğu varsayılın) Tüm aday çözümlerde en iyi adayın $f(x)$ (yani $f(x)$ en iyi) değerini almasına ve

en kötü adayın en kötü $f(x)$ (yani $f(x)$ en kötü) değerini almasına izin verilir. Tüm aday çözümleri. $X_{j,k,i}$ i. iterasyon sırasında k. aday için j. değişkenin değeri olmak üzere, $X_{j,k,i}$ değeri aşağıdaki denklem-10 'daki gibi göre değiştirilir.

$$X'_{j,k,i} = X_{j,k,i} + r_{1,j,i}(X_{j,eniye,i} - |X_{j,k,i}|) - r_{2,j,i}(X_{j,enkötü,i} - |X_{j,k,i}|) \quad (12)$$

Bu denklemde $X_{j,eniye,i}$ i. en iyi aday için j değişkenin değeridir ve $X_{j,enkötü,i}$ i. en kötü aday için j değişkenin değeridir. $X'_{j,k,i}$ değeri $X_{j,k,i}$ değerinin güncellenmiş değeridir. $r_{1,j,i}$ ve $r_{2,j,i}$ $[0,1]$ aralığındaki i. yineleme sırasında j. değişken için rastgele sayılardır. $r_{1,j,i}(X_{j,eniye,i} - |X_{j,k,i}|)$ ifadesi çözümün en iyi çözüme yaklaşma eğilimini gösterir. Buna karşılık $r_{2,j,i}(X_{j,enkötü,i} - |X_{j,k,i}|)$ ifadesi ise çözümün en kötü çözümden kaçma eğilimini gösterir. $X'_{j,k,i}$ ifadesi daha iyi fonksiyon değeri veriyorsa kabul edilir ve yineleme süreci oluşur ve bu değerler bir sonraki yinelemenin girdisi olur. Böylelikle en iyi çözümün bulunması için, istenilen değere yakınlaşmak amaçlanır. Zira Jaya algoritması algoritma mantığı olarak en iyi çözüm yaklaş ve en kötü çözümde uzaklaş olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda zafer anlamına gelen Jaya kelimesinin en iyi çözümün galip gelmesi olarak sembolize edilmiştir. Algoritmaya ait akış şeması Şekil 9'da verilmiştir (Venkata Rao, 2016a).



Şekil 10. Jaya İş Akış Diyagramı

2.4.4. Rao Algoritmaları

Rao serileri veya Rao algoritmaları olarak da bilinen bu algoritmalar karmaşık problemlere etkin çözümler sunabilecek basit optimizasyon teknikleri geliştirmeye odaklanarak çözüm aramaktadırlar. $f(x)$ minimize edilecek (veya maksimize edilecek) amaç fonksiyonu olmak üzere, herhangi bir i yinemesinde, 'm' sayıda tasarım değişkeni, 'n' sayıda aday çözüm (yani popülasyon büyüklüğü, $k=1,2,\dots,n$) olduğunu varsayılır. Tüm aday çözümlerde en iyi adayın en iyi $f(x)$ (yani $f(x)$ en iyi) değerini almasına ve en kötü adayın en kötü $f(x)$ (yani $f(x)$ en kötü) değerini almasına izin verilir ve tüm aday çözümleri. $X_{j,k,i}$ i . iterasyon sırasında k . aday için j . değişkenin değerleri ise denklem 11'deki gibi değiştirilir.

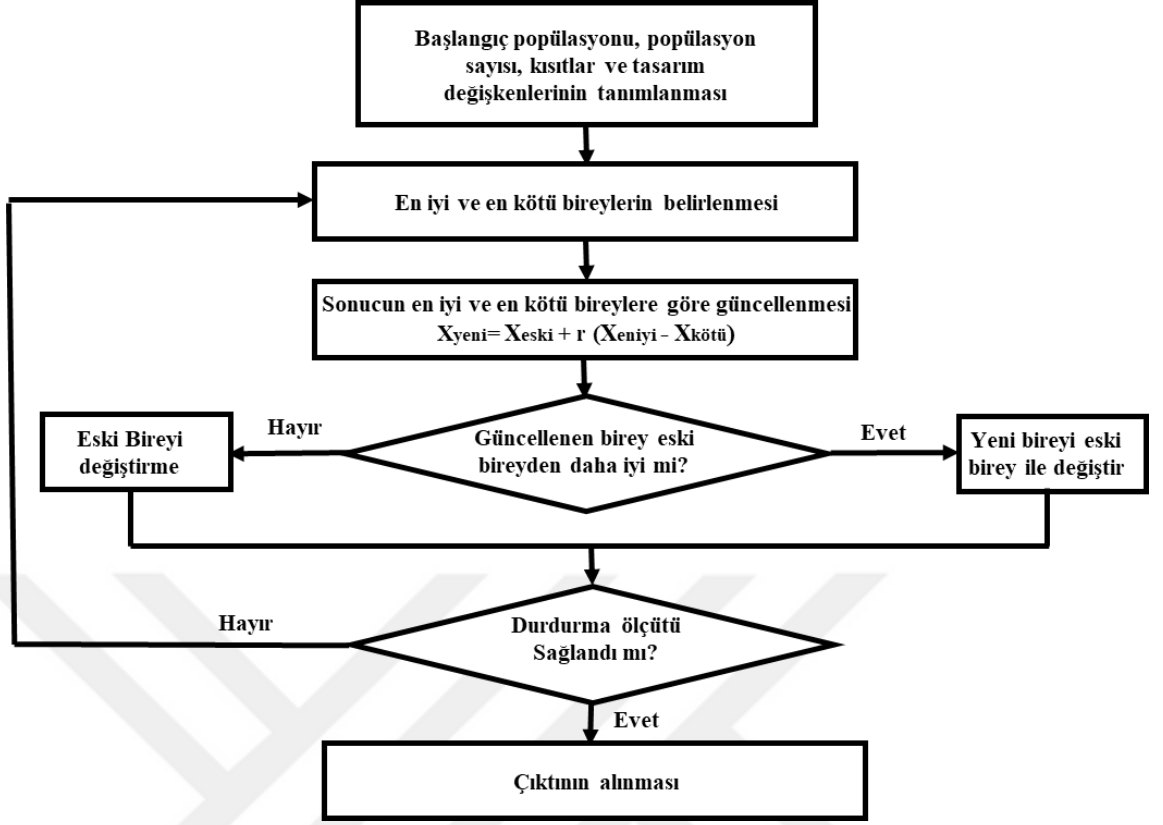
$$X'_{j,k,i} = X_{j,k,i} + r_{1,j,i}(X_{j,eniye,i} - X_{j,enkötü,i}) \quad (13)$$

$$X'_{j,k,i} = X_{j,k,i} + r_{1,j,i}(X_{j,eniye,i} - X_{j,enkötü,i}) + r_{2,j,i}(|X_{j,k,i} \text{ or } X_{j,l,i}| - |X_{j,l,i} \text{ or } X_{j,k,i}|) \quad (14)$$

$$X'_{j,k,i} = X_{j,k,i} + r_{1,j,i} (X_{j,eniye,i} - |X_{j,enkotu,i}|) + r_{2,j,i} (|X_{j,k,i} \text{ or } X_{j,l,i}| - (X_{j,l,i} \text{ or } X_{j,k,i})) \quad (15)$$

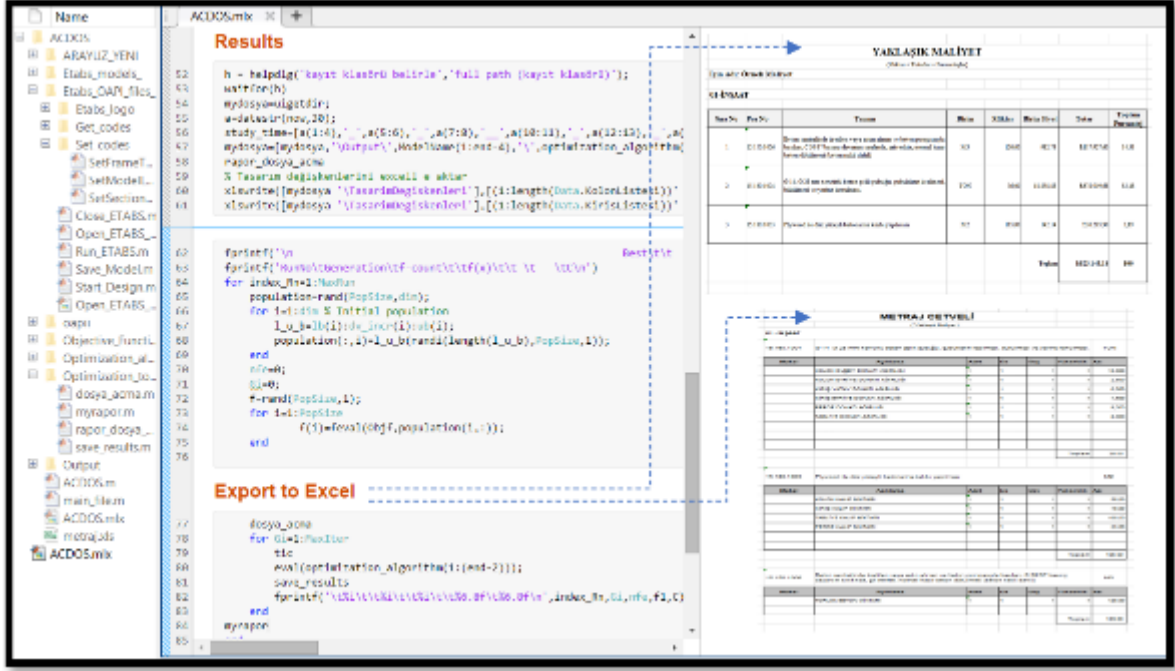
Yukarıda verilen denklem takımında, $X_{j,eniye,i}$ en iyi aday için j değişkeninin değeridir ve $X_{j,enkotu,i}$ i. iterasyon sırasında en kötü aday için j değişkeninin değeridir. $X'_{j,k,i}$ $X_{j,k,i}$ 'nin güncellenmiş değeridir ve $r_{1,j,i}$ ve $r_{2,j,i}$ [0, 1] aralığındaki i. yineleme sırasında j. değişken için iki rastgele sayıdır. Denklem (11) ve (12) de, $X_{j,k,i}$ veya $X_{j,l,i}$ terimleri, k aday çözümünün rastgele seçilen herhangi bir aday çözüm l ile karşılaştırıldığını ve uygunluk değerlerine dayalı olarak bilgi aktarımının yapıldığını belirtir. k. çözümün uygunluk değeri l. çözümün uygunluk değerinden daha iyiye, o zaman " $X_{j,k,i}$ veya $X_{j,l,i}$ " terimi $X_{j,k,i}$ olur. Bununla birlikte l. çözümün uygunluk değeri k. çözümün uygunluk değerinden daha iyiye, " $X_{j,k,i}$ veya $X_{j,l,i}$ " değeri $X_{j,l,i}$ şeklinde güncellenir. Benzer şekilde, k. çözümün uygunluk değeri l. çözümün uygunluk değerinden daha iyiye, o zaman " $X_{j,k,i}$ veya $X_{j,l,i}$ " değeri $X_{j,l,i}$ olur. Eğer l. çözümün uygunluk değeri, k. çözümün uygunluk değerinden daha iyiye, o zaman " $X_{j,k,i}$ veya $X_{j,l,i}$ " terimi $X_{j,k,i}$ olarak güncellenir.

Bu üç algoritma, popülasyondaki en iyi ve en kötü çözümlere ve aday çözümler arasındaki rastgele etkileşimlere dayanmaktadır. Bu yöntemlerde algoritmaya özgü herhangi bir parametre gerektirmez ve bu nedenle tasarımcının en iyi sonuçları elde etmek için algoritmaya özgü parametreleri ayarlama yükünü ortadan kaldırılmış olur. Bu algoritmalar sırasıyla Rao-1 ve Rao-2 olarak adlandırılmıştır. Şekil 10, Rao algoritmalarına ait akış şemasını göstermektedir. Rao-2 algoritmaları için akış şemasında sadece Denklem (11) akış şemasında gösterilen Denklem ile sırasıyla denklem (12) ve denklem (13) değiştirilecektir. Önerilen algoritmalar, küre işlevi olarak bilinen kısıtlanmamış bir kıyaslama işlevi aracılığıyla da gösterilmiştir (Rao, 2020).



Şekil 11. Rao Algoritmalarına ait akış diyagramı

Optimizasyon algoritmasının seçilmesi ile ilgili olarak verilen görsel Şekil 11’de paylaşılmıştır. Optimizasyon algoritmasının seçilmesi öncekilere benzer şekilde gömülü olarak yazılmamıştır. ACDOS programının genel prensibi olan hareketli kod yazım tarzı ya da diğer bir ifade ile kullanıcı seçimini esas alan kod tasarımı optimizasyon algoritmasının seçilmesinde de kullanılmıştır. ACDOS Programına ait optimizasyon algoritmaları görselinde sağ sütununda algoritmalara ait kodlar ve içeriğe yer verilmiştir. Kullanılan algoritmalar güncel meta-sezgisel algoritmalarlardır. Aynı zamanda genel olarak öğrenme-öğretme ve en kötüden uzaklaşarak en iyiye yaklaşma şeklindedir. Algoritmalara ait detaylı bilgiler diğer bölümlerde verilmiştir. Optimizasyon parametrelerinin ardından açılan sekmede kullanıcıdan hangi algoritmayı kullanacağı sorulmaktadır. Kullanıcı yazılım içerisinde istediği algoritmayı seçebilmektedir. Bununla birlikte ACDOS yazılımı istenilen başka bir algoritma seçeneğine açık olarak yazılmıştır. Program içinde olmayan veya yeni nesil sonraki yıllara çıkması beklenen algoritmalarının yazılım bünyesinde kullanılabilmesine olanak sağlanmıştır.

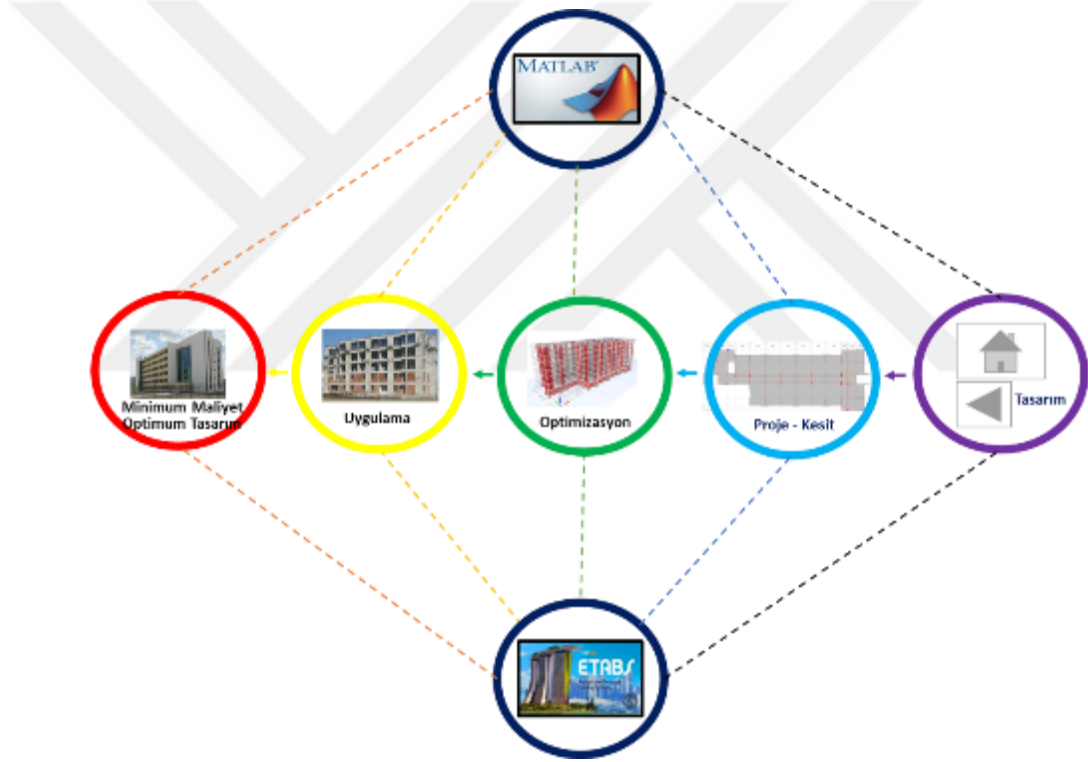


Şekil 12. ACDOS Programına Ait Metraj Verileri Görseli

Şekil 12’de verilen ACDOS programına ait sonuç bölümü yer almaktadır. Bu bölümde daha önce kullanıcıdan istenilen verilere göre ETABS-OAPI-MATLAB entegrasyonu ile tekrarlı analizler ve en kısa zamanda en iyi sonucun bulunması için algoritma etkileşimleri kullanılarak, nihai veriler elde edilmiştir. Verilerin elde edilmesinde ‘Get Beam Error And Warning Message’, ‘Get Beam Error And Warning Message’, ‘Get Design Shear Wall’, ‘Get Warning Message’, ‘Get Material Property Names’, ‘Get Number of Defined Frame Section Properties’ vb. ETABS-OAPI kodlarından yararlanılmıştır. ETABS-help dosyalarından ham şekilde alınan komutlar önce MATLAB kullanılabilir şekilde revize edilmiştir ve ACDOS’da kullanılabilecek şekilde güncellenmiştir. Sonuçlar kaydedilerek, excell formatında yaklaşık maliyet-metraj düzeninde doğrudan oluşturulmuştur. MATLAB-Excell etkileşimi ile Excell formatında sıra no, poz no (Ç.Ş.B), pozların tanımı (Beton-Kalıp-Demir), imalatların cinsi, miktarı, birim fiyatı ve bunlarla çarpılarak toplam tutarı ve bu tutarların kendi içerisinde yüzde değerleri elde edilmiştir. ACDOS Programına Ait Görsel - 6’nin sol sütununda yer alan ‘Get’ ifadelerinden yararlanılarak ve bu api komutlarına ilave kodlar yazılmak suretiyle ‘Get Concrete’ beton metrajının alınması, ‘Get Reinforcement’ demir metrajının alınması, ‘Get Framework’ kalıp metrajının alınması şeklinde ifade edilir. Aynı zamanda ‘Get’ ifadeleri her bir eleman grubu içinde özelleştirilmiştir. Her bir kod kendi içerisinde özel olarak yazılmıştır ve ACDOS içinde kullanım öngörülmüştür.

2.5. Oapi ile Optimizasyon

Bu çalışmada Etabs programının, yazılım programlarıyla (Matlab, Pyhton, Visual vb.) uzaktan yönlendirme özelliği olan OAPI (Open Application Programming Interface-Açık Uygulama programlama arayüzü) kullanılmıştır. OAPI özelliği Matlab aracılığıyla Etabs kodlarını kullanımını mümkün kılmıştır ve programı Matlab yazılımı ile yönetilmiştir (şekil 13). Matlab-Etabs-Excell veri transferlerini kapsayan bu yazılım ile betonarme bir yapının maliyet-tasarım optimizasyonu otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan bu yazılım ACDOS (Automated Cost Design Optimization of Structures - Yapıların otomatik maliyet tasarım optimizasyonu) olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 13. Etabs-Matlab Excell Döngüsü

Bir yapının inşa süreci yüklenici veya harcama yetkilisinin iradesi ile başlar. Harcama yetkilisi inşaat mühendisi-mimar ile isteklerini belirterek anlaşır. Mimar genel bir taslak plan oluşturarak yapının taşıyıcı sistemi durumu için inşaat mühendisi ile gerekli istişareleri gerçekleştirir. İnşaat mühendisi de aynı proje için kolon-perde-kiriş taslağını oluşturur ve mimari proje ile uyumlu olacak şekilde, mimar görüşleri de alınarak, gerekli düzenlemeleri yapar. Avan projelerin ve ön değerlendirmeler tamamlandıktan sonra inşaat mühendisi

tarafından statik uygulama projesi ve mimar tarafından mimari uygulama projesi hazırlanır. Ancak piyasa koşullarında uygulama projeleri hazırlanırken yaklaşık maliyet dikkate alınarak hazırlanmaz. Sadece mühendis-mimar öngörüsü-tecrübesiyle hareket edilir. Aslında bunun temel nedeni mühendis-mimarın marifetiyle en ideal yaklaşık maliyete sahip inşaat projesinin oluşturulması hem aşırı zaman alacaktır hem de istenilen optimum yaklaşık maliyetin elde edilememesi çok olasıdır. Tüm bu nedenlerden ötürü, yaklaşık maliyeti göz önünde bulundurarak inşaat projelerin oluşturulmasını sağlayacak yarı otomatik veya tam otomatik yazılımsal sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı gidermek adına bu tez çalışmasında ACDOS programı geliştirilmiştir. Bu program piyasadaki yapı projelerinin hazırlanması döngüsünde inşaat mühendisi tarafından oluşturulan statik projeleri her tasarım aşamasında demir-kalıp-beton maliyetini itere ederek optimum yaklaşık maliyet bedelini elde etmektedir. Aynı zamanda TBDY 2018 ve TS 500’de yer alan tüm koşulları otomatik olarak değerlendirmektedir. Yazılım gerçek piyasa koşullarında yapılmış olan yapılar üzerinde uygulanmıştır ve başarılı yaklaşık maliyet tasarrufları elde edilmiştir. OAPI özelliği ile açık kodlu yazılım olarak oluşturulan ACDOS programının inşaat sektöründe hangi aşamalarda dahil olduğu Şekil 14’de özetlenmiştir.

Bu denklemde $f_{maliyet}$ yapının kaba inşaatına ait yaklaşık maliyet bedelidir, D_{bf} inşaat demirine ait Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞB) 2022 yılına ait birim fiyat bedelidir, D_m inşaat demirinin metrajı, B_{bf} ÇŞB 2022 yılına ait beton birim fiyat bedelidir, B_m inşaatatta kullanılan beton metrajıdır, K_{bf} ÇŞB 2022 yılına ait kalıp birim fiyat bedelidir, K_m ise kalıp metrajıdır. İnşaat Demiri için ÇŞB.15.160.1004, Beton için ÇŞB.15.150.1006 ve kalıp için ÇŞB.15.180.1003 poz numaralı imalatların fiyat listelerinden yararlanılmıştır. Tüm demir-beton-kalıp değerlerinde işçilik ve malzeme bedelleri birlikte verilmiş olup, verilen pozlara ait detaylı anlatım diğer bölümlerde verilmiştir. Demir (TL/ton), beton (TL/m³) ve kalıp (TL/m²) olarak verilmiştir. Denkleme ait $f(x)$ değeri yaklaşık maliyetin minimuma indirilmesi olarak verilmiştir ve yaklaşık maliyet değeri, inşaat iş kalemlerine ait birim maliyet ve nihai miktarların çarpılarak elde edilmiştir.

Uygulamada TBDY 2018 ve TS500 koşulları kısıt olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında tasarım değişkeni olarak 232 farklı kolon ve 40 farklı kiriş kesitinden yararlanılmıştır. Uygulamada kullanılacak olan kolonlara ait tasarım değişkenleri Tablo 7’de ve kirişlere ait tasarım değişkenleri Tablo 8’de verilmektedir. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu ise denklem 15’de verilmektedir.

$$Q_{(X)} = f_{(X)} \cdot (1 + C_K) \text{ (TL)} \quad (17)$$

Burada amaç fonksiyon değeri olan $f_{(X)}$, eleman sınırlayıcılara uymadığı takdirde $(1 + C_K)$ değeri çarpılmaktadır. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu $Q_{(X)}$ ile gösterilmiştir. Ceza değeri beton metrajının 10^9 gibi büyük bir sayı ile çarpılarak elde edilmiştir. Amaç fonksiyonu, cezalandırılmış amaç fonksiyonu ilişkisi ve döngü işlemleri şekil 15’de verilmektedir.

Taşıyıcı yapı elemanı sayısı : TYES

Eleman tasarım raporu: ETR

Döngü 1, $i=1 \longrightarrow$ TYES

Eğer $ETR(i) = \text{'Başarılı'}$

$C(i) = 0$

Değilse $C(i) = 1$

Döngü 1'i sonlandır

Ceza=0

Döngü 2, $i=1 \longrightarrow$ TYES

$Ceza = Ceza + C(i)$

Döngü 2'yi sonlandır

$f_{ceza} = f_{maç} \times (1 + Ceza)$

Şekil 15. Amaç Fonksiyonları Tasarım Döngüleri

2.5.2 Tasarım Değişkenleri

Tez çalışması kapsamında yapılan tasarım-maliyet optimizasyonu ACDOS programı tarafından yapılmış olmakla birlikte kolon ve kirişlere ait inşaat programının içinden otomatik olarak alınan boyutlara bu bölümde yer verilmiştir. Çalışma kapsamında 232 farklı kolon ve 40 farklı kiriş kesitinden yararlanılmıştır. Optimum değerlerin bulunması için diğer çalışmalardan farklı olarak, TBDY 2018 ve TS500 koşulları kısıt olarak belirlenmiştir ve bu kısıtların belirlenmesi işlemlerinin tamamı yine Etabs programına yazılımsal olarak yaptırılmıştır. Bu süreç içerisinde manuel olarak herhangi bir data transferi yapılmamıştır ve otomatik data yönetimi gerçekleştirilmiştir. Uygulamada kullanılacak olan kolonlara tasarım değişkenleri Tablo 8’de ve kirişlere ait tasarım değişkenleri Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 6. Kirişlere ait tasarım değişkenleri

No	Yapı Elemanı Kesiti (cm)	No	Yapı Elemanı Kesiti (cm)
1	25X50	21	30X70
2	40X36	22	30X75
3	25X100	23	30X80
4	25X45	24	30X85
5	25X50	25	30X90
6	25X55	26	30X95
7	25X60	27	40X100
8	25X65	28	40X36
9	25X70	29	40X40
10	25X75	30	40X45
11	25X80	31	40X50
12	25X85	32	40X55
13	25X90	33	40X60
14	25X95	34	40X65
15	30X100	35	40X70
16	30X45	36	40X75
17	30X50	37	40X80
18	30X55	38	40X85
19	30X60	39	40X90
20	30X65	40	40X95

Tablo 7. Kolonlara ait tasarım değişkenleri

No	Yapı Elemanı Kesiti (cm)	No	Yapı Elemanı Kesiti (cm)	No	Yapı Elemanı Kesiti (cm)	No	Yapı Elemanı Kesiti (cm)
1	30X80	59	115X35	117	40X145	175	65X45
2	30X60	60	35X120	118	145X40	176	45X70
3	40X40	61	120X35	119	40X150	177	70X45
4	30X135	62	35X125	120	150X40	178	45X75
5	100X100	63	125X35	121	40X35	179	75X45
6	30X100	64	35X130	122	35X40	180	45X80
7	100X30	65	130X35	123	40X45	181	80X45
8	30X105	66	35X135	124	45X40	182	45X85
9	105X30	67	135X35	125	40X50	183	85X45
10	30X110	68	35X140	126	50X40	184	45X90
11	110X30	69	140X35	127	40X55	185	90X45
12	30X115	70	35X145	128	55X40	186	45X95
13	115X30	71	145X35	129	40X60	187	95X45
14	30X120	72	35X150	130	60X40	188	50X100
15	120X30	73	150X35	131	40X65	189	100X50
16	30X125	74	35X35	132	65X40	190	50X105
17	25X30	75	35X40	133	40X70	191	105X50
18	30X130	76	40X35	134	70X40	192	50X110
19	130X30	77	35X45	135	40X75	193	110X50
20	135X30	78	45X35	136	75X40	194	50X115
21	30X140	79	35X50	137	40X80	195	115X50
22	40X30	80	50X35	138	80X40	196	50X120
23	30X145	81	35X55	139	40X85	197	120X50
24	145X30	82	55X35	140	85X40	198	50X125
25	30X150	83	35X60	141	40X90	199	125X50
26	150X30	84	60X35	142	90X40	200	50X130
27	30X30	85	35X65	143	40X95	201	130X50

Tablo 7'nin devamı

28	30X35	86	65X35	144	95X40	202	50X135
29	35X30	87	35X70	145	45X100	203	135X50
30	30X40	88	70X35	146	100X45	204	50X140
31	40X30	89	35X75	147	45X105	205	140X50
32	30X45	90	75X35	148	105X45	206	50X145
33	45X30	91	35X80	149	45X110	207	145X50
34	30X50	92	80X35	150	110X45	208	50X150
35	50X30	93	35X85	151	45X115	209	150X50
36	30X55	94	85X35	152	115X45	210	50X50
37	55X30	95	35X90	153	45X120	211	50X55
38	60X30	96	90X35	154	120X45	212	55X50
39	30X65	97	35X95	155	45X125	213	50X60
40	65X30	98	95X35	156	125X45	214	60X50
41	30X70	99	40X100	157	45X130	215	50X65
42	70X30	100	100X40	158	130X45	216	65X50
43	30X75	101	40X105	159	45X135	217	50X70
44	75X30	102	105X40	160	135X45	218	70X50
45	80X30	103	40X110	161	45X140	219	50X75
46	30X85	104	110X40	162	140X45	220	75X50
47	85X30	105	40X115	163	45X145	221	50X80
48	30X90	106	115X40	164	145X45	222	80X50
49	90X30	107	40X120	165	45X150	223	50X85
50	30X95	108	120X40	166	150X45	224	85X50
51	95X30	109	40X125	167	45X45	225	50X90
52	35X100	110	125X40	168	45X50	226	90X50
53	100X35	111	40X130	169	50X45	227	50X95
54	35X105	112	130X40	170	45X55	228	95X50
55	105X40	113	40X135	171	55X45	229	60X60
56	35X110	114	135X40	172	45X60	230	70X70
57	110X35	115	40X140	173	60X45	231	80X80
58	35X115	116	140X40	174	45X65	232	90X90

2.5.3. Sınırlayıcılar

Bu tez çalışması diğer optimizasyon çalışmalarından sınırlayıcı kullanım şekli ve sınırlayıcıların fonksiyonu nedeniyle ayrılır. Sınırlayıcı olarak Türk Deprem Yönetmeliği 2018 (Turkish Building Seismic Code 2018, 2018) ve TS 500 (TS 500, 2000) kullanılmıştır. Ancak bu yönetmelik içerisindeki koşullar tek tek denklem olarak oluşturulmamış olup, paket programdan yazılım döngüsünün bir sonucu olarak verilerin elde edilmesi yoluna gidilmiştir. TS 500’ de malzeme katsayıları, sınır durum koşulları, taşıma gücü hesapları, yük katsayıları, yük birleşimleri, hareketli yük birleşimleri, hesap açıklıkları, etkili tabla genişlikleri, rijitlik hesapları, minimum dış merkezlik koşulu, mesnet momenti düzenlemeleri, kesit hesapları, eğilme elemanlarının boyutları ve donatılar ile ilgili koşullar, narinlik etkisi, kesme-burulma hesapları, zımbalama hesapları, kısa kolon etkisi, donatı ekleri, döşeme hesapları, sehim kontrolü gibi yapı güvenliği hesapları ile TDBY 2018’de deprem yer hareketleri spektrum hesapları, tasarım spektrum hesapları, bina kullanım sınıfları, bina önem katsayıları, bina yükseklik sınıfları, bina performans düzeyleri, göreceli kat ötelemelerinin sınırlandırılması, ikinci mertebe etkileri hesapları, modal hesap yöntemleri, süneklik düzeyi hesapları, en kesit koşulları, boyuna donatı koşulları kirişlerin kesme güvenliği, kuşatılmış-kuşatılmamış birleşimler, tasarım eğilme momentleri, kesme kuvvetleri hesapları, perdelerin kesme güvenliği hesapları gibi tüm deprem hesaplarının yapılması otonom bir şekilde yapılmıştır. Burada sınırlayıcı olarak kullanılan parametreler genel hatlarıyla verilmiş olup, yönetmeliğe ait koşulların tamamı ETABS programına ACDOS tarafından otomatik olarak yaptırılmaktadır. En iyi sonuca ulaşmak için tasarımı yapılan mimari-statik plan, yeni ve daha ideal olan güncel mimari-statik planla değiştirilmeden önce standartlarda belirtilen koşullara uygun olup olmadığı kontrol edilir. Eğer koşullara uygunsa ve daha ekonomik bir tasarıma sahip ise yeni tasarım, mevcut tasarımın yerine geçerek en iyi sonuç bulunmaya çalışılır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Örnek Çalışmalar

Tez çalışması kapsamında 5 adet farklı özelliklere sahi, kamu yapısı ve özel yapılar olmak üzere gerçek betonarme yapılar ele alınmıştır. Sayısal örneklere ait saha ve ofis verileri detaylı bir şekilde elde edilmiştir. Kesin hesap tutarları 600.000 TL-8.600.00 TL

Tablo 8. Sayısal Örneklere Ait Özet Bilgiler

Yapı Fotoğrafları	Kullanım Amacı	Toplam İnşaat Alanı	Yılı	Statik Prog.	Yaklaşık Maliyet ve Hak. Pro.	Gerçek Yaklaşık Maliyeti	Optimi zasyon Algo.
	Konut Müstakil	554 m2	2020	Sta4cad	Excel	633.518 TL	TLBO Jaya Rao1 Rao2
	500 Kızılık Yurt (Kamu)	5580 m2	2014	Sta4cad	Excel Amp	8.545.75 5 TL	TLBO Jaya Rao1 Rao2
	Konut (8Daire)	1318 m2	2019	Sta4cad	Excel	1.557.99 3 TL	TLBO Jaya Rao1 Rao2
	10 Yataklı Hastane (Kamu)	2405 m2	2013	Sta4cad	Excel Amp	2.476.80 9 TL	TLBO Jaya Rao1 Rao2
	12 Derslikli Okul (Kamu)	2405 m2	2011	Sta4cad	Excel Amp	3.149.63 1 TL	TLBO Jaya Rao1 Rao2

Binalar 3-7 kat aralığında, toplam inşaat alanları 550-2500 m² aralığında, eleman sayıları 100-900 aralığında ve yapım yılları 2011-2020 aralığında değişmektedir. Yapılar statik program olarak Sta4CAD programında tasarlanmıştır. Yaklaşık maliyet hesabı için kullanılan programlar ise Excel ve AMP'dir. Tüm projelerde optimizasyon algoritması olarak TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 kullanılmıştır. Bu algoritmalar ile yaklaşık maliyet bedelleri azaltılmıştır ve tüm yapı-algoritmalar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sayısal örneklere ait özet bilgiler Tablo 6'da verilmektedir.

3.2. 3 Katlı Bina (Müstakil Konut)

Tez çalışmasında kullanılan yapı 3 katlı konut binasıdır. Betonarme olarak inşa edilen yapı bodrum, zemin 1 olmak üzere toplam 3 kattan oluşmaktadır. Taban oturum alanı 173 m²'dir. Toplam inşaat alanı 554m² olmakla birlikte kolon adeti 45, kiriş adet 70, perde adeti 12'dir. Betonarme yapının kullanım amacı konuttur ve 2020 yılında yapılmıştır. Yapı görseli Şekil 16'da verilmektedir. Çalışmada gerçek dünyaya ait betonarme yapı kullanılmıştır. Optimizasyon sonucu kullanılan tasarım ve maliyet mevcut durumdaki ile karşılaştırılmıştır.



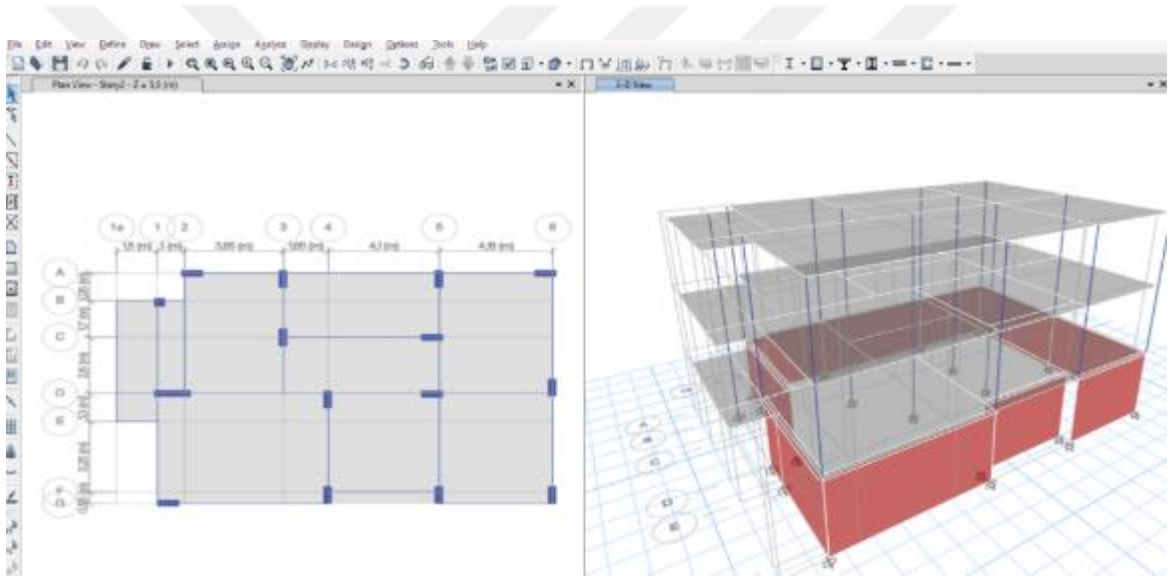
Şekil 16. 3 Katlı Yapı (Müstakil Konut) Görseli

Sayısal örnekte kullanılan yapının beton + demir + kalıp iş kalemleri olmak üzere toplam maliyet rakamları piyasa koşulları altında değerlendirilmiştir. Elde edilen değerler gerçek piyasa şartlarında belirlenmiştir. Beton, demir ve kalıp değerleri işçilik + maliyet birlikte olmak üzere hesaplanmıştır. Gerçek metraj verileri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2022 birim fiyatları ile çarpılarak toplam yaklaşık maliyet değerleri olarak elde edilmiştir. Bu değerler, tez çalışması kapsamında oluşturulan entegre yazılım ile optimizasyon algoritmaları kullanılarak azaltılan değerler ile karşılaştırılmış. Çalışma

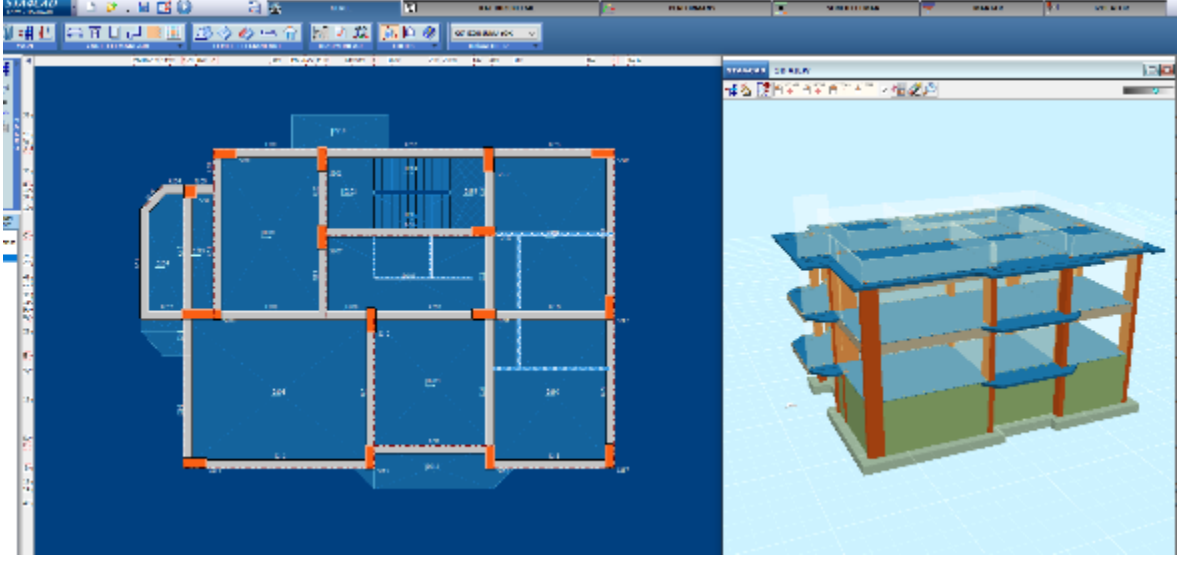
kapsamında gerçek dünyaya ait bir betonarme yapının inşaat yaklaşık maliyetine ait verileri her defasında itere edilerek optimum değerlere ulaşılmaya çalışılmıştır.

Bu bölümde örnek yapının tasarım-maliyet optimizasyonu için 4 farklı algoritma kullanılmıştır. Bunlar TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 algoritmalarıdır. Aynı zamanda bu algoritmalar hem kendi içlerinde hem de yapının gerçek yaklaşık maliyet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Beş farklı yapı maliyeti için yapılan karşılaştırmalar hem çeşitli grafiklerle hem de sayısal veriler kullanılarak detaylı olarak yapılmıştır.

Çalışmada ilk olarak yüklenici (müteahhit) bilgilerinden başlanılmak üzere hangi paket programlarda ne gibi işlemlerin yapıldığı toplanmıştır. Yapı metraj değerleri ile statik programlara ait veriler toplanmıştır.



Şekil 17. Etabs Modeli, 3 Katlı Yapı (Müstakil Konut)



Şekil 18. Sta4Cad Modeli, 3 Katlı Yapı (Müstakil Konut)

Amaç fonksiyonu denklem 14’de verilmektedir. Bu denklemde $f_{maliyet}$ yapının kaba inşaatına ait yaklaşık maliyet bedelidir. D_{bf} İnşaat demirine ait Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞB) 2022 yılına ait birim fiyat bedelidir, D_m inşaat demirinin metrajı, B_{bf} ÇŞB 2022 yılına ait beton birim fiyat bedelidir, B_m inşaatta kullanılan beton metrajıdır, K_{bf} ÇŞB 2022 yılına ait kalıp birim fiyat bedelidir, K_m ise kalıp metrajıdır. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu ise denklem 15’de verilmektedir. Amaç fonksiyon değeri olan $f_{(X)}$, eleman sınırlayıcılara uymadığı takdirde $(1+C_K)$ değeri çarpılmaktadır. Ceza değeri beton metrajının 10^9 gibi büyük bir sayı ile çarpılarak elde edilmektedir.

Yapının yaklaşık maliyet ve hakediş değerleri excel programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 633.518,61 TL olarak hesaplanmıştır. Gerçek piyasa koşullarında oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = dm \times dbf \quad (18)$$

$$idm = 16,50 \times 18.858,88 = 311.171,52 \text{ TL} \quad (19)$$

$$bm = bmi \times bbf \quad (20)$$

$$bm = 153 \times 982,73 = 150.357,69 \text{ TL} \quad (21)$$

$$km = kmi \times kbf \quad (22)$$

$$km = 1210 \times 142,14 = 171.989,40 \text{ TL} \quad (23)$$

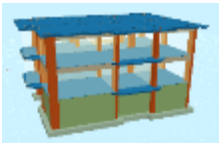
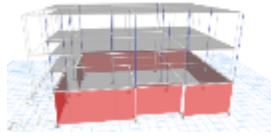
$$ykm = idm + bm + km \quad (24)$$

$$ykm = 311.171,52 + 150.357,69 + 171.989,40 = 633.518,61 \text{ TL} \quad (25)$$

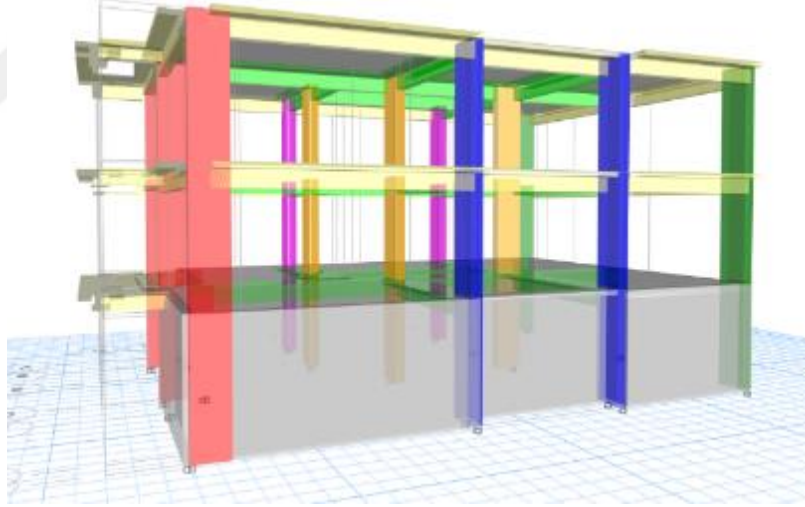
Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

Bina yapım aşamasında Sta4cad (STA4-CAD, 2020) programında tasarlanmıştır. İnşaat projesi hazırlanarak yapımı tamamlanmıştır. Tez çalışması kapsamında da yapı projeleri Sta4Cad ve Etabs programlarında modellenerek periyot ve mod şekilleri doğrulanmıştır. Bu şekilde bilgisayarda tasarlanan modellerin gerçeğe uygun olduğu kontrol edilmiştir. Etabs programında hazırlanan yapı modeli şekil 17’de verilmektedir. Şekil 18 ‘de bina modelinin Sta4cad görseli verilmektedir. Etabs programında betonarme yapı hazırlanmıştır ve yapı elemanlarına ait kesitler aynen uygulanmıştır. Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve TS 500 ‘deki koşullara göre tasarım yapılması istenmiştir.

Tablo 9. Yapıların Periyot Karşılaştırması 3 Katlı Bina (Müstakil Konut)

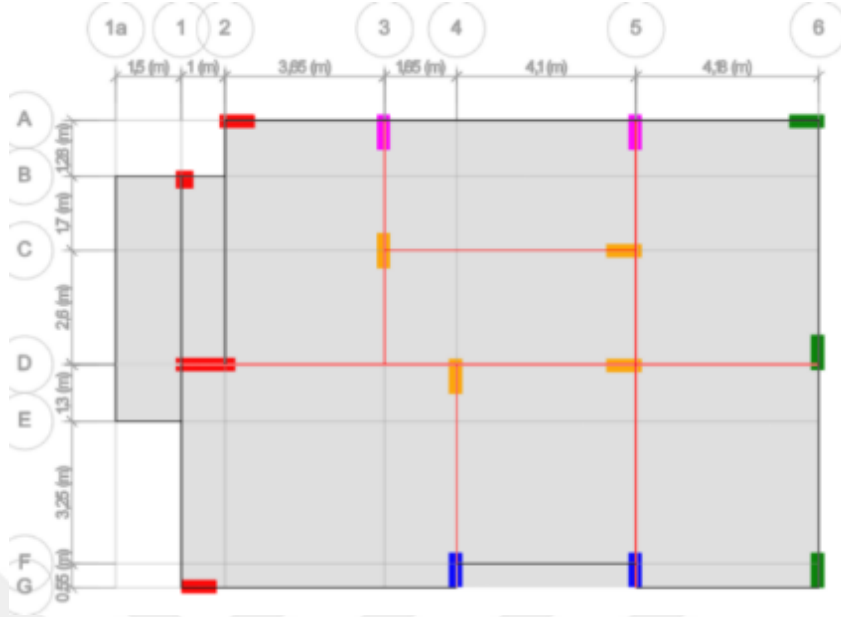
Mod	Sta4cad Model	Modal Period	ETABS Model	Modal Period
1		0,2934 sn		0,2612 sn

Mühendislik yapılarında bilgisayar programlarında yapıların doğru olarak modellenmesinde binanın karakteristik özelliğini yansıtan modal periyot değerlerinin karşılaştırılması gerekmektedir (Aslay & Okuyucu, 2020). Bu çalışmada saha uygulaması Sta4CAD programında hesaplanmış ve uygulanmış olan yapım projesindeki periyot değeri, Etabs programında karşılaştırılarak modelin doğrulaması yapılmıştır. Etabs programında modellemede yapılan küçük bir hata, hesaplarda ciddi yanlışlara neden olabilmektedir. Her iki modele ait periyot değerleri karşılaştırılarak örneklerin doğrulaması yapılmıştır, karşılaştırma yapılan modeller Tablo 7’de verilmektedir. Betonarme yapıların dijital ortamda doğrulanmasından sonra statik plan üzerinde kesitler belirlenmiştir. Bunun için gruplama yöntemi tercih edilmiştir. Bu sayede plan üzerinde istenilen simetri elde edilebilmektedir. Bu işlemle statik planda benzer konumdaki kolonlar ve kirişler aynı kesit özelliklerinin atanması sağlanmıştır. Kesitlerin belirli gruplar içinde aynı olması saha uygulamalarını ciddi anlamda kolaylaştırmaktadır. Şekil 19’da gruplaması yapılan yapı elemanları farklı renklerle gösterilmiştir.



Şekil 19. Yapı Elemanlarının Renkli Gruplandırılması (3 Katlı Bina)

Şekil 19'un devamı



Yapı elemanlarının gruplandırılmasından sonra MATLAB ortamında hazırlanan ACDOS programı çalıştırılmaktadır. Matlab-Etabs entegrasyonu sağlanarak program döngüsü başlatılır ve hangi kolon ve kiriş kesitlerinin kullanılacağı kullanıcıdan istenmektedir. Çalışma kapsamında 232 farklı kolon ve 40 farklı kiriş kesitinden yararlanılmıştır. Optimum değerlerin bulunması için diğer çalışmalardan farklı olarak TBDY 2018 ve TS500 koşulları kısıt olarak belirlenmiştir ve bu kısıtların belirlenmesi işlemlerinin tamamı Etabs programına yaptırılmıştır. Bu süreç içerisinde manuel olarak herhangi bir data transferi yapılmamıştır ve otomatik data yönetimi gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. 3 Katlı Binanın Jaya Algoritması ile Çözümü

Yapının Jaya algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 595.135,09TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm , denklem 18'de bm , denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Jaya algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 14 \times 18.858,88 = 264.024,32 \text{ TL} \quad (26)$$

$$bm = 157 \times 982,73 = 154.288,61 \text{ TL} \quad (27)$$

$$km = 1244 \times 142,14 = 176.822,16 \text{ TL} \quad (28)$$

$$ykm = 264.024,32 + 154.288,61 + 176.822,16 = 595.135,09 \text{ TL} \quad (29)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. Km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

Jaya algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 3 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 633.518,61 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 595.135,09 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Jaya algoritması ile %6,0587 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 8’de Jaya algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

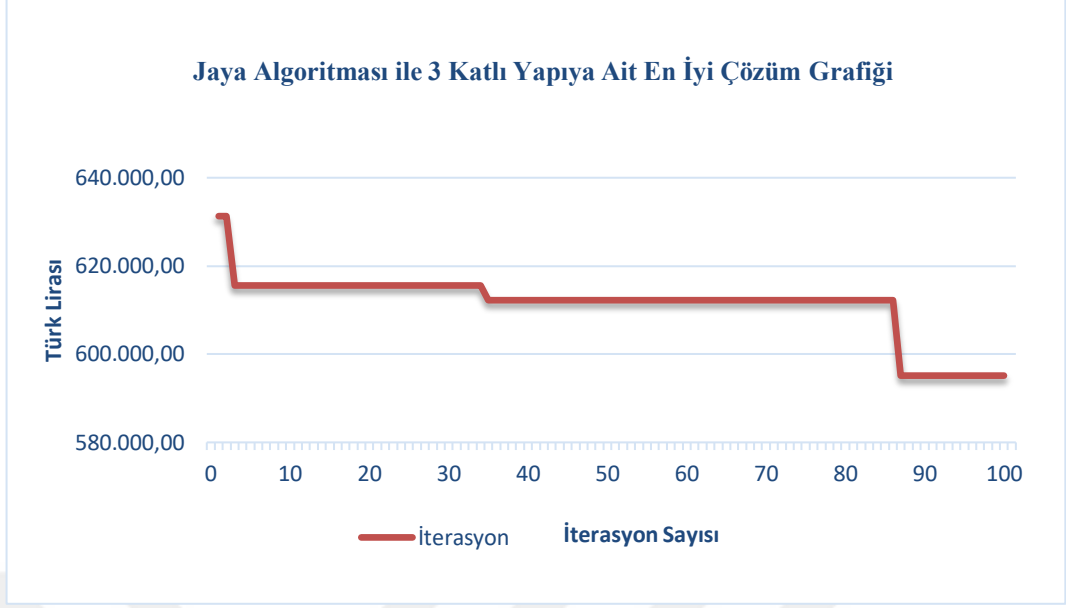
Tablo 10. Jaya Algoritmasına Ait Veriler (3katlı Bina)

Algoritma	Koşum	Popülasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti (TL)*	Optimum Maliyet (TL)	Başarı Oranı
Jaya	10	30	100	633.518,61 TL	595.135,09 TL	% 6,0587

Jaya algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri Tablo 9’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

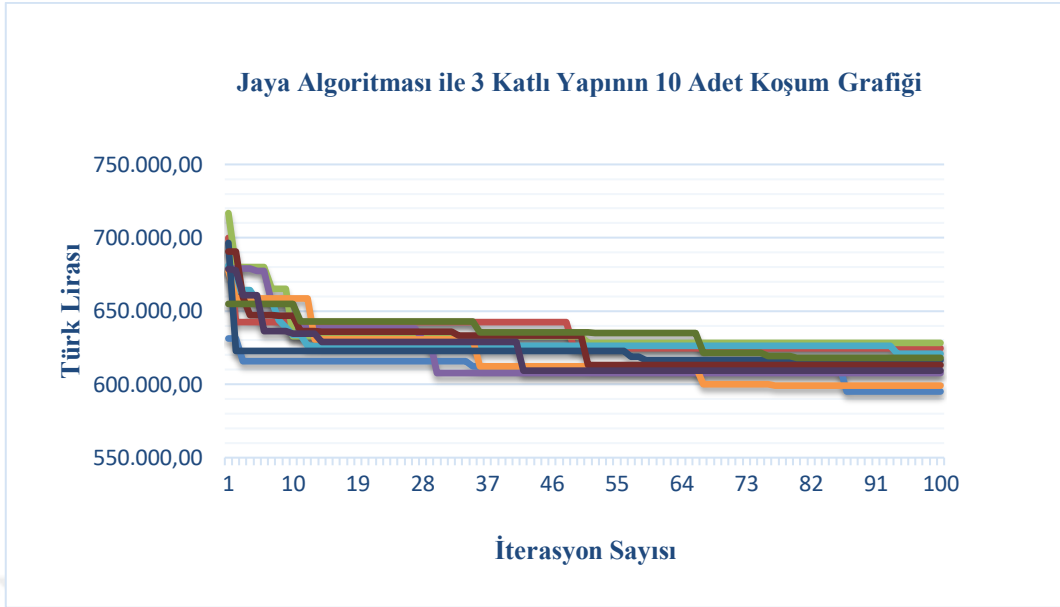
Tablo 11. 3 Katlı Binaya Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Jaya)

Grup	Başlangıç	Grup	Optimum
Üyeleri	Kesit (m)	Üyeleri	Kesit (m)
C101	0.80 x 0.30	Çevre Kolonlar 1	0.30 x 0.40
C102	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 4	0.40 x 0.35
C103	0.80 x 0.80	Çevre Kolonlar 4	0.40 x 0.35
C104	0.40 x 0.40	Çevre Kolonlar 3	0.30 x 0.30
C105	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 1	0.30 x 0.40
C106	0.30 x 0.80	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C107	0.80 x 0.30	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C108	1.35 x 0.30	Çevre Kolonlar 1	0.30 x 0.40
C109	0.30 x 0.80	Orta Kolonlar	0.30 x 0.80
C110	0.80 x 0.30	Orta Kolonlar	0.30 x 0.80
C111	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 3	0.30 x 0.30
C112	0.80 x 0.30	Çevre Kolonlar 1	0.30 x 0.40
C113	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 2	0.40 x 0.30
C114	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 2	0.40 x 0.30
C115	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 3	0.30 x 0.30
Dış Kirişler	0.25 x 0.50	Dış Kiriler	0.25 x 0.90
İç Kirişler	0.25 x 0.50	İç Kirişler	0.30 x 0.70

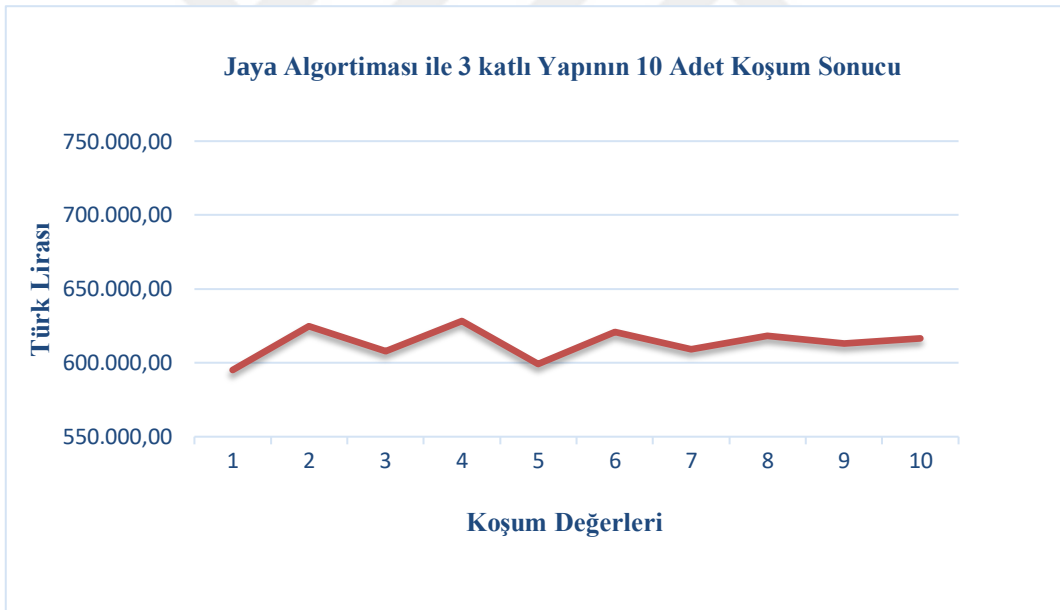


Şekil 20. 3 Katlı Binanın En İyi Çözümüne Ait Grafik (Jaya)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 20’de verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil 21’de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan Şekil 22’de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 21. 3 Katlı Bina 10 Adet Koşum Tamamı (Jaya)



Şekil 22. 3 Katlı Binanı 10 Adet Koşum Sonucu (Jaya)

3.2.2. 3 Katlı Binanın TLBO Algoritması ile Çözümü

Yapının TLBO algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 579.171,85 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm, denklem 18'de bm, denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. TLBO algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmektedir.

$$idm = 13,679 \times 18.858,88 = 257.972,50TL \quad (30)$$

$$bm = 154 \times 982,73 = 151.340,40 TL \quad (31)$$

$$km = 1195 \times 142,14 = 169.857,30 TL \quad (32)$$

$$ykm = 257.972,50 + 151.340,40 + 169.857,30 = 579.171,85 TL \quad (33)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

TLBO algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 50 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. TLBO algoritması yapısı gereği çift üretim gerçekleştirilmesi nedeniyle diğer algoritmalar ile karşılaştırmak için jenerasyon değeri yarıya düşürülerek 50 olarak alınmıştır. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 3 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 633.518,61 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 579.171,85 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti TLBO algoritması ile %8,5785 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 10'de TLBO algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir..

Tablo 12. TLBO Algoritmasına Ait Veriler (3katlı Bina)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti (TL)*	Optimum Maliyet (TL)	Başarı Oranı
TLBO	10	30	50	633.518,61 TL	579.171,85 TL	% 8,5785

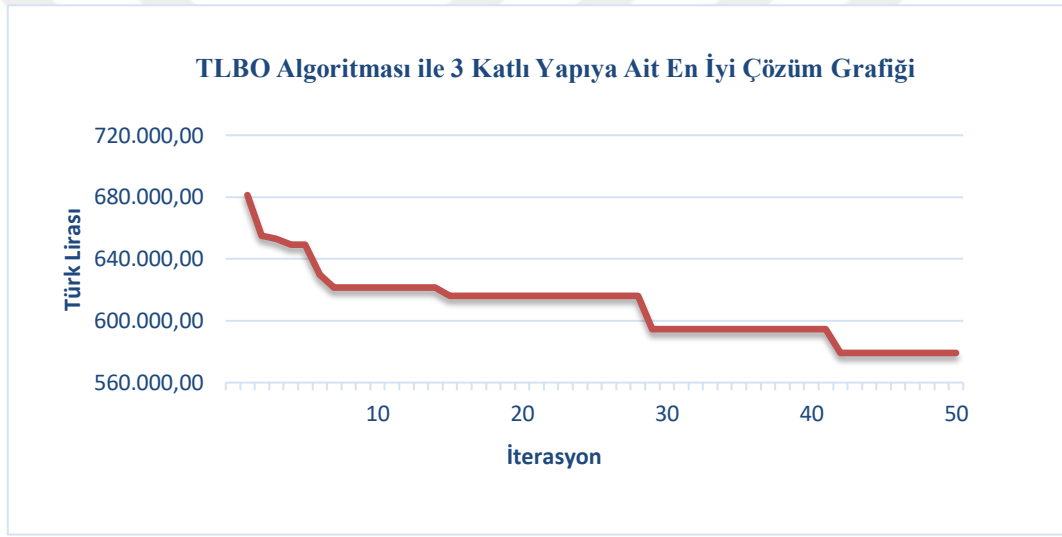
TLBO algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri Tablo 11’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 13. 3 Katlı Binaya Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (TLBO)

Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	0.80 x 0.30	Çevre Kolonlar 1	0.30 x 0.45
C102	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 4	0.35 x 0.35
C103	0.80 x 0.80	Çevre Kolonlar 4	0.35 x 0.35
C104	0.40 x 0.40	Çevre Kolonlar 3	0.30 x 0.80
C105	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 1	0.30 x 0.45
C106	0.30 x 0.80	Orta kolonlar	0.45 x 0.30
C107	0.80 x 0.30	Orta kolonlar	0.45 x 0.30
C108	1.35 x 0.30	Çevre Kolonlar 1	0.30 x 0.45
C109	0.30 x 0.80	Orta kolonlar	0.45 x 0.30
C110	0.80 x 0.30	Orta kolonlar	0.45 x 0.30
C111	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 3	0.30 x 0.80

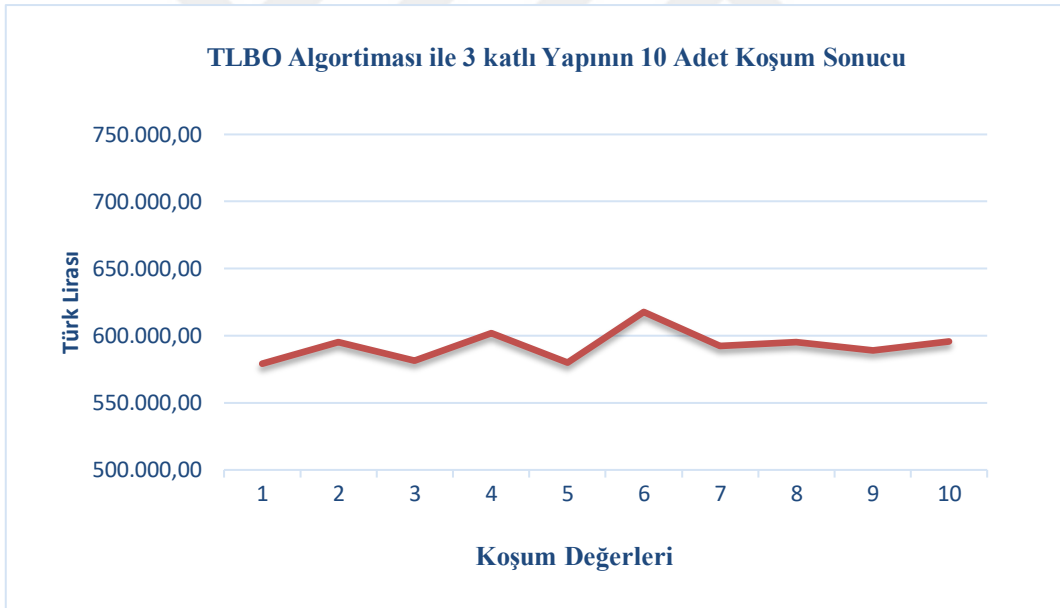
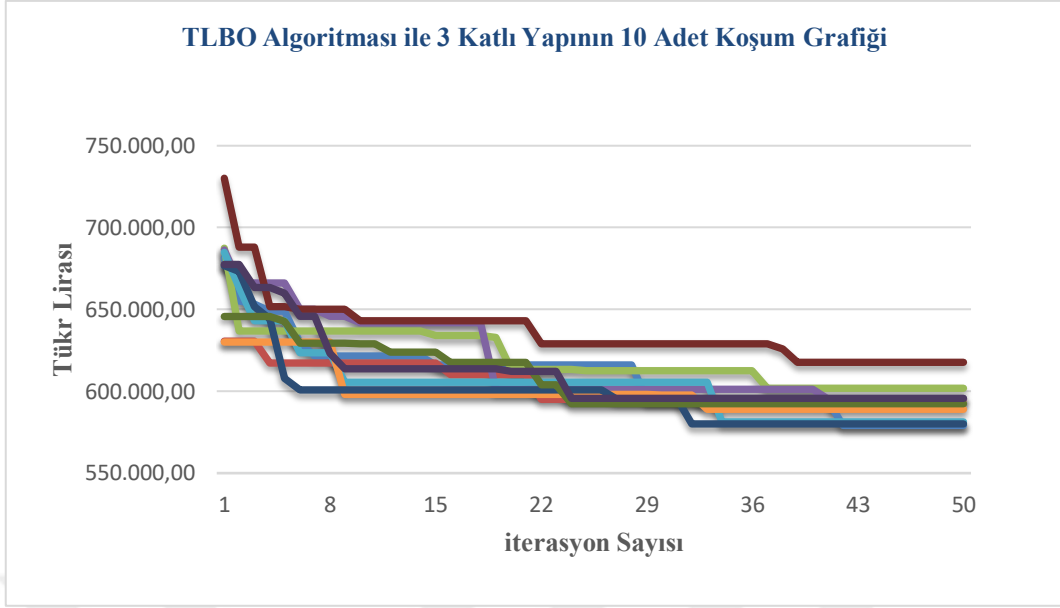
Tablo 13'ün devamı

C112	0.80 x 0.30	Çevre Kolonlar 1	0.30 x 0.45
C113	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 2	0.30 x 0.30
C114	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 2	0.30 x 0.30
C115	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 3	0.30 x 0.80
Dış Kirişler	0.25 x 0.50	Dış Kirişler	0.25 x 0.45
İç Kirişler	0.25 x 0.50	İç Kirişler	0.25 x 0.95



Şekil 23. 3 Katlı Binanın En İyi Çözümüne Ait Grafik (TLBO)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik Şekil 23'de verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte Şekil 24'de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan Şekil 25'de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 50 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



3.2.3. 3 Katlı Binanın Rao-1 Algoritması ile Çözümü

Yapının Rao-1 algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 590.732,99 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm , denklem 18'de bm , denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Rao-1 algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 14,014 \times 18.858,88 = 264.288,34TL \quad (34)$$

$$idm = 14,014 \times 18.858,88 = 264.288,34TL \quad (35)$$

$$bm = 155 \times 982,73 = 152.323,15 TL \quad (36)$$

$$ykm = 264.288,34 + 152.323,15 + 174.121,50 = 590.732,99 TL \quad (37)$$

Verilen denklemlerde idm : İnşaat demir maliyeti, dm : Ton cinsinden demir miktarı, dbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm : beton maliyeti, bmi : m3 olarak beton miktarı, bbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km : Kalıp maliyeti, kmi : Kalıp miktarı, kbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm : Yaklaşık maliyet bedelidir.

Rao-1 algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 50 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 3 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 633.518,61 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 590.732,99 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Rao-1 algoritması ile %6,7536 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 12'de Rao-1 algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 14. Rao-1 Algoritmasına Ait Veriler (3katlı Bina)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Rao-1	10	30	50	633.518,61TL	590.732,99TL	% 6,75

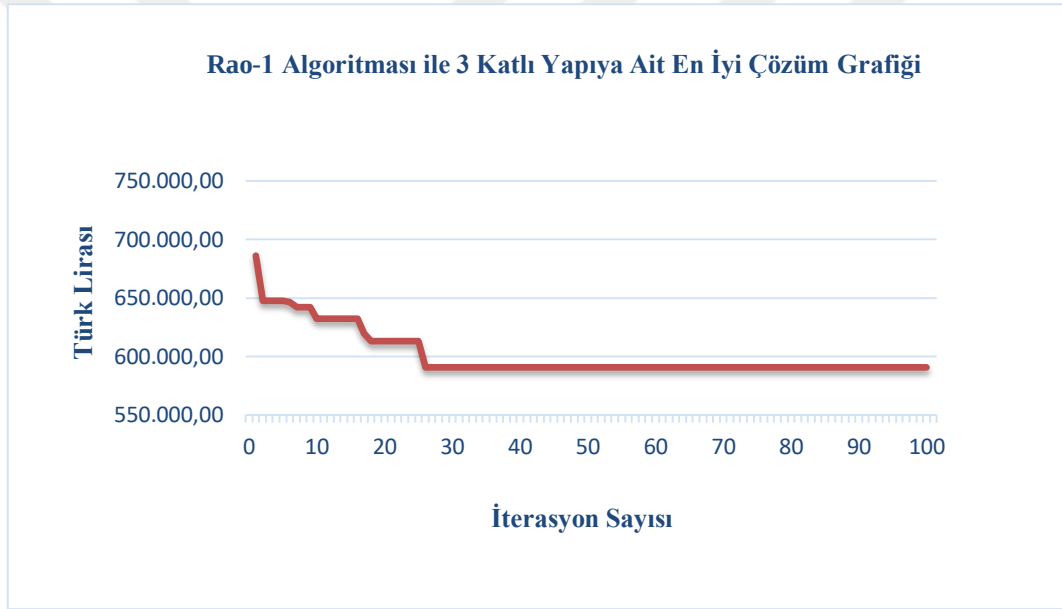
Rao-1 algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri Tablo 13’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 15. 3 Katlı Binaya Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-1)

Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	0.80 x 0.30	Çevre Kolonlar 1	0.30 x 0.30
C102	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 4	0.70 x 0.30
C103	0.80 x 0.80	Çevre Kolonlar 4	0.70 x 0.30
C104	0.40 x 0.40	Çevre Kolonlar 3	0.35 x 0.30
C105	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 1	0.30 x 0.30
C106	0.30 x 0.80	Orta kolonlar	0.30 x 0.50
C107	0.80 x 0.30	Orta kolonlar	0.30 x 0.50
C108	1.35 x 0.30	Çevre Kolonlar 1	0.30 x 0.30
C109	0.30 x 0.80	Orta kolonlar	0.30 x 0.50
C110	0.80 x 0.30	Orta kolonlar	0.30 x 0.50
C111	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 3	0.35 x 0.30

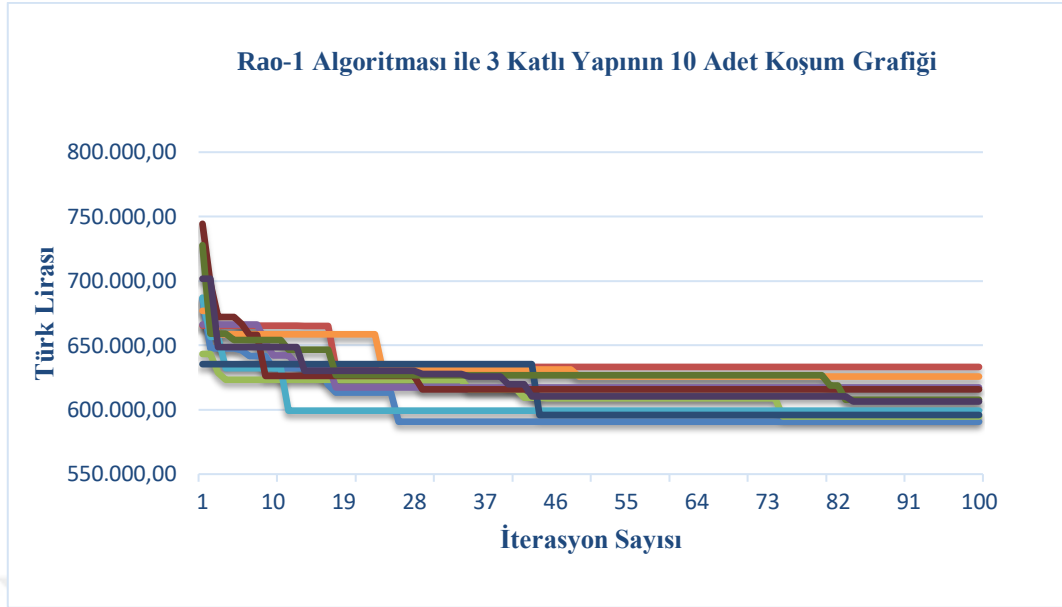
Tablo 15'in devamı

C112	0.80 x 0.30	Çevre Kolonlar 1	0.30 x 0.30
C113	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 2	0.30 x 0.80
C114	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 2	0.30 x 0.80
C115	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 3	0.35 x 0.30
Dış Kirişler	0.25 x 0.50	Dış Kirişler	0.30 x 0.45
İç Kirişler	0.25 x 0.50	İç Kirişler	0.25 x 1.00

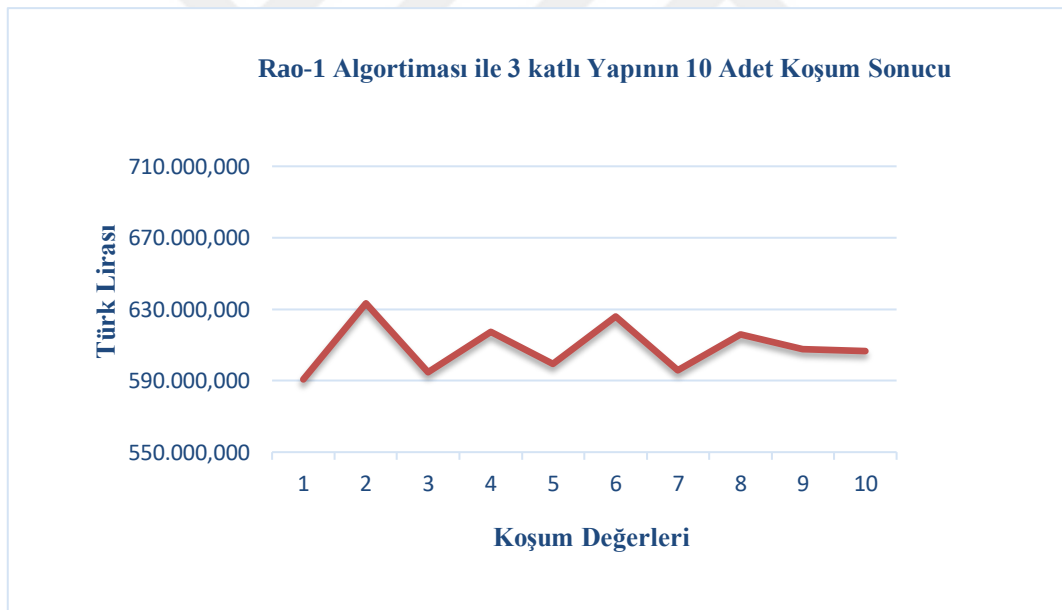


Şekil 26. 3 Katlı binanın en iyi çözümü ait grafik (Rao-1)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüm'e ait grafik şekil 26'da verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil- 27'da verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 28 'de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda olduğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 27. 3 Katlı binanın 10 adet koşum tamamı (Rao-1)



Şekil 28. 3 Katlı Binaının 10 adet koşum sonucu (Rao-1)

3.2.4. 3 Katlı Binanın Rao-2 Algoritması ile Çözümü

Yapının Rao-2 algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 599.830,60 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm, denklem 18'de bm, denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Rao-2 algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları için aşağıdaki denklemlerde verilmektedir.

$$idm = 14,384 \times 18.858,88 = 271.266,10 \text{ TL} \quad (38)$$

$$bm = 156 \times 982,73 = 153.305,90 \text{ TL} \quad (39)$$

$$km = 1233 \times 142,14 = 175.258,60 \text{ TL} \quad (40)$$

$$ykm = 271.266,10 + 153.305,90 + 175.258,60 = 599.830,60 \text{ TL} \quad (41)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

Rao-2 algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 50 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 3 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 633.518,61 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 599.830,60 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Rao-2 algoritması ile %5,3176 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 14'da Rao-2 algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 16. Rao-2 Algoritmasına Ait Veriler (3katlı Bina)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Rao-2	10	30	50	633.518,61 TL	599.830,60 TL	% 5,3176

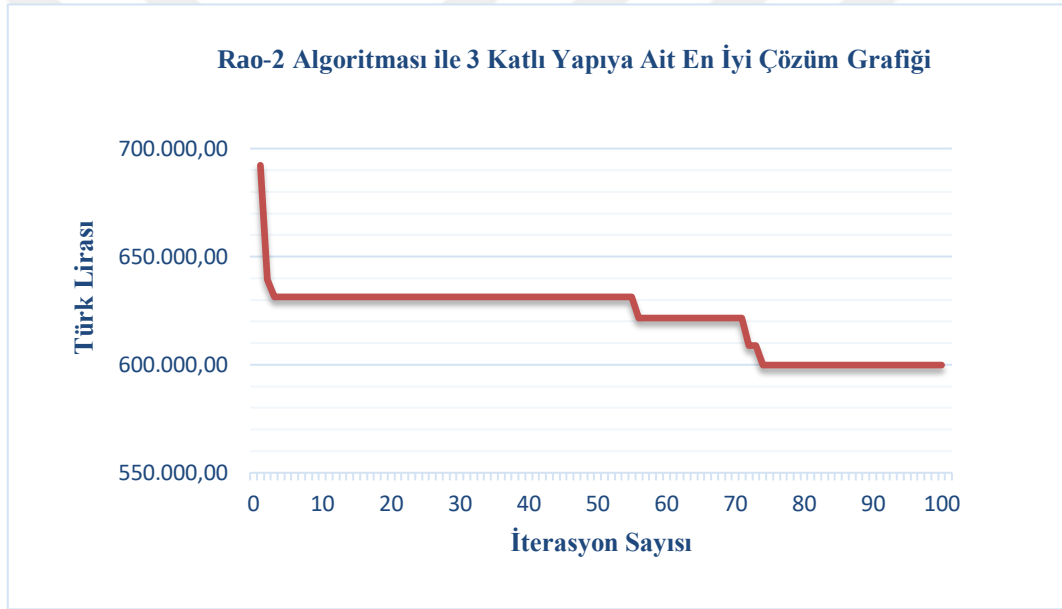
Rao-2 algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri Tablo 15’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 17. 3 Katlı Binaya Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-2)

Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	0.80 x 0.30	Çevre Kolonlar 1	0.45 x 0.30
C102	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 4	0.30 x 0.45
C103	0.80 x 0.80	Çevre Kolonlar 4	0.30 x 0.45
C104	0.40 x 0.40	Çevre Kolonlar 3	0.50 x 0.40
C105	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 1	0.45 x 0.30
C106	0.30 x 0.80	Orta kolonlar	0.40 x 0.40
C107	0.80 x 0.30	Orta kolonlar	0.40 x 0.40
C108	1.35 x 0.30	Çevre Kolonlar 1	0.45 x 0.30
C109	0.30 x 0.80	Orta kolonlar	0.40 x 0.40
C110	0.80 x 0.30	Orta kolonlar	0.40 x 0.40
C111	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 3	0.50 x 0.40

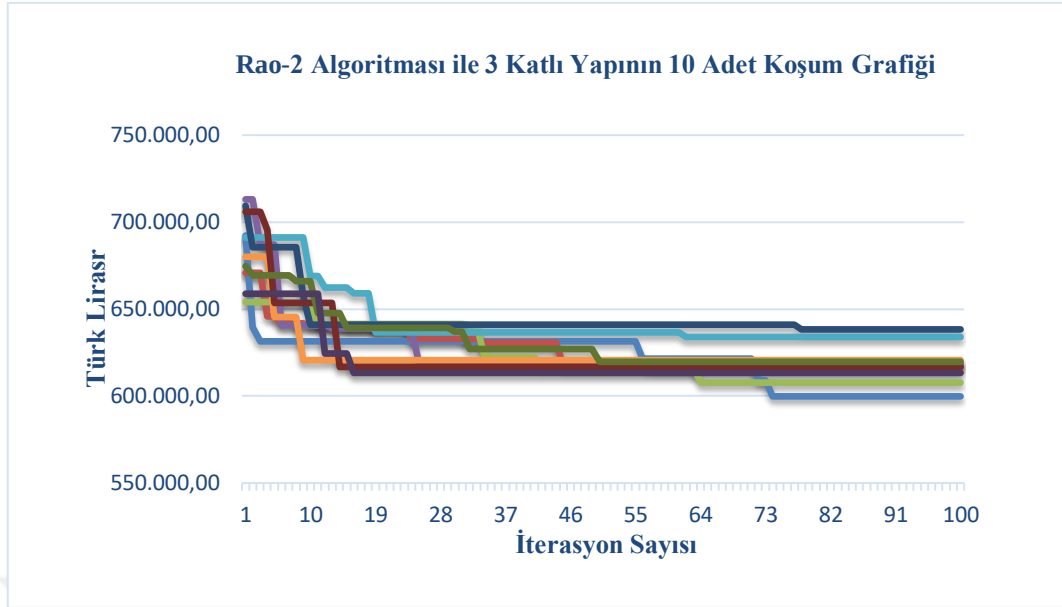
Tablo 17'nin devamı

C112	0.80 x 0.30	Çevre Kolonlar 1	0.45 x 0.30
C113	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 2	0.30 x 0.80
C114	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 2	0.30 x 0.80
C115	0.30 x 0.80	Çevre Kolonlar 3	0.50 x 0.40
Dış Kirişler	0.25 x 0.50	Dış Kirişler	0.25 x 0.50
İç Kirişler	0.25 x 0.50	İç Kirişler	0.25 x 0.95

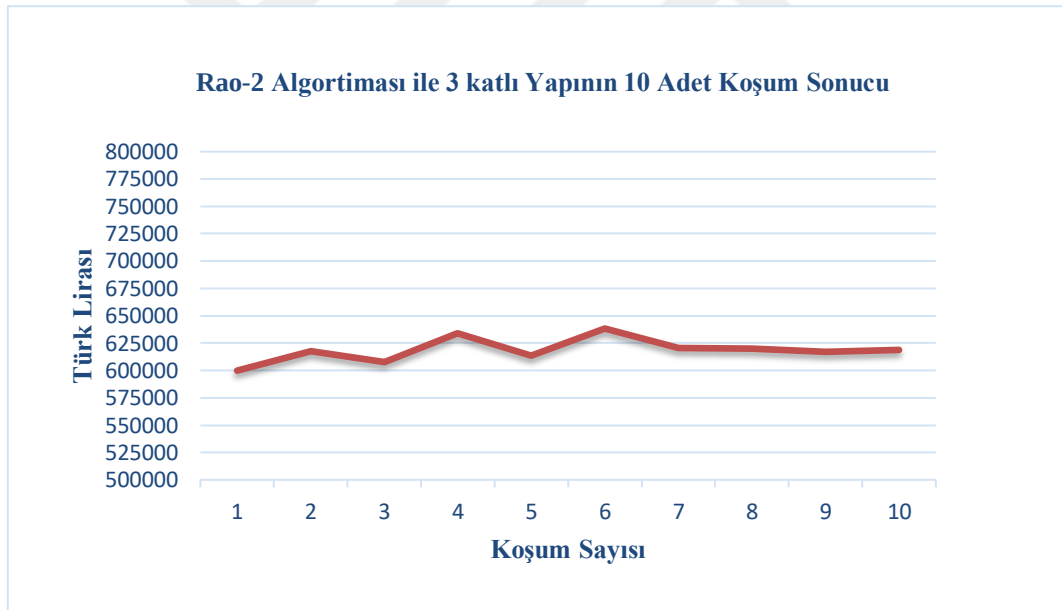


Şekil 29. 3 Katlı Binanın En İyi Çözümüne Ait Grafik (Rao-2)

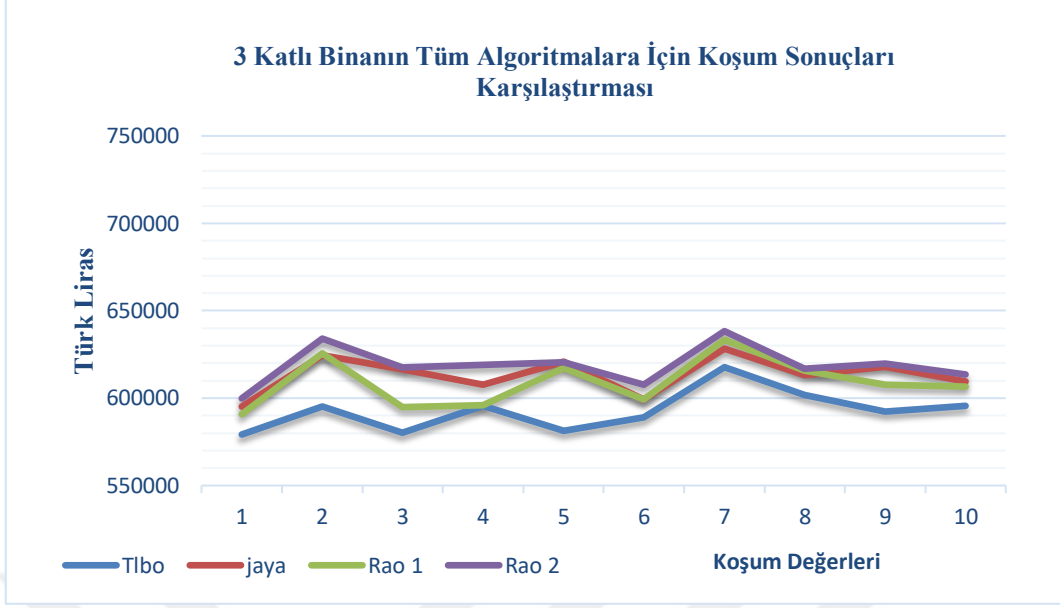
Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüm'e ait grafik şekil 29'de verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil 30'de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 31'de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 30. 3 Katlı Binanın 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-2)



Şekil 31. 3 Katlı Binanın 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-2)



Şekil 32. 3 Katlı Binada Farklı Algoritmalar Ait Yakınsama Grafiklerinin Karşılaştırılması

3 Katlı Binada (Müstakil Konut) TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 optimizasyon algoritmalarının yakınsama grafikleri şekil 32’de verilmiştir. Aynı şekilde farklı algoritmalar a ait maliyet değerleri ve azaltım oranları Tablo 16’de verilmiştir. 3 Katlı müstakil konut ‘da TLBO algoritmasının en iyi sonuç verdiği, diğer algoritmalar dan Rao-1, Jaya ve Rao-2 algoritmalarını sırasıyla en iyi azaltım oranına sahip olduğu söylene bilmektedir.

Tablo 18. 3 Katlı Binada Farklı Algoritmalar Ait Maliyet Azaltım Oranlarının Karşılaştırılması

Algoritmalar	TLBO	JAYA	RAO-1	RAO-2
Uygulamadaki Yaklaşık Maliyeti	633.518,61 TL	633.518,61 TL	633.518,61 TL	633.518,61 TL
Algoritma ile Bulunan Yaklaşık Maliyet	579.171,85 TL	595.135,09 TL	590.732,99 TL	599.830,60 TL
Azaltma Oranı %	% 8,5785	% 6,0587	%6,7536	% 5,3176

3.3. 500 Kişilik Yurt (7 Katlı)

Tez Çalışmasında kullanılan betonarme yapı bodrum + zemin + 5 normal kat olmak üzere toplam 7 kattan oluşmaktadır. Taban oturum alanı 798 m^2 ve toplam inşaat alanı 5580 m^2 'dir. Bina 112 adet kolon, 224 adet perde, 565 adet kiriş'e sahiptir. Bodrum çevresinde perde bulunmaktadır. Devlete ait kamu binasıdır ve öğrenci yurdu olarak kullanılmaktadır. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yaptırılmıştır. Yapım yılı 2014 olup, Şekil 33'te kaba inşaat hali, Şekil 34'de tüm inşaat işlerinin bittikten sonraki durumu verilmektedir. Çalışmada gerçek dünyaya ait betonarme yapı kullanılmıştır.



Şekil 33. 500 Kişilik Yurt Kaba İnşaat Fotoğrafı

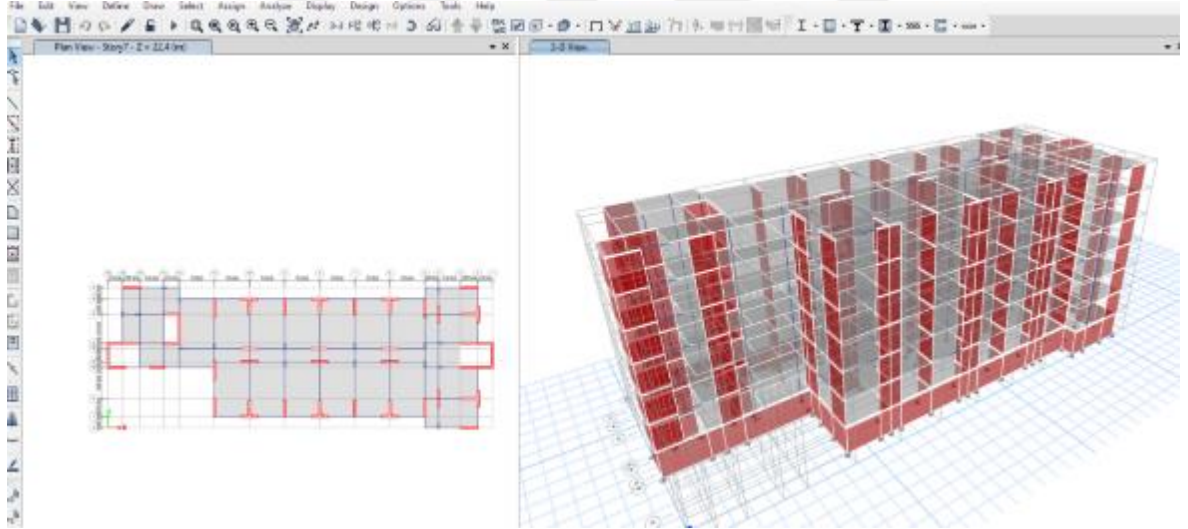


Şekil 34. 500 Kişilik Yurt Yapımın Son Hali

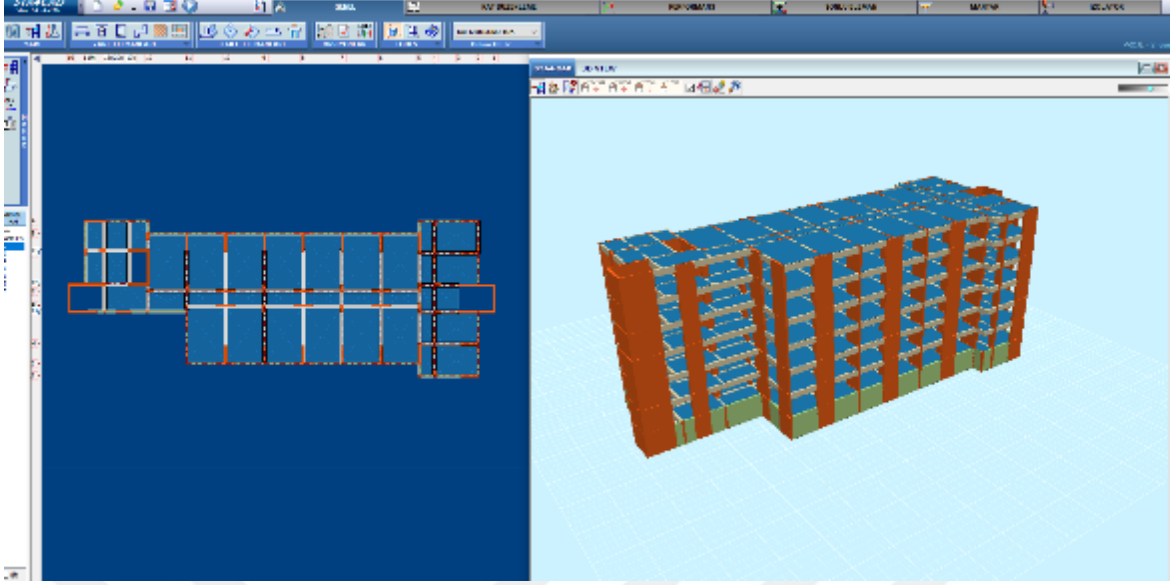
Sayısal örnekte kullanılan yapının beton + demir + kalıp iş kalemleri olmak üzere toplam maliyet rakamları piyasa koşulları altında değerlendirilmiştir. Elde edilen değerler gerçek piyasa şartlarında belirlenmiştir. Beton, demir ve kalıp değerleri işçilik+maliyet birlikte olmak üzere hesaplanmıştır. Gerçek metraj verileri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2022 birim fiyatları ile çarpılarak toplam yaklaşık maliyet değerleri olarak elde edilmiştir.

Bu bölümde örnek yapının tasarım-maliyet optimizasyonu için 4 farklı algoritma kullanılmıştır. Bunlar TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 algoritmalarıdır. Aynı zamanda bu algoritmalar hem kendi içlerinde hem de yapının gerçek yaklaşık maliyet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Beş farklı yapı maliyeti için yapılan karşılaştırmalar hem çeşitli grafiklerle hem de sayısal veriler kullanılarak detaylı olarak yapılmıştır.

Çalışmada ilk olarak yüklenici (müteahhit) bilgilerinden başlanılmak üzere hangi paket programlarda ne gibi işlemlerin yapıldığı toplanmıştır. Yapı metraj değerleri ile statik programlara ait veriler toplanmıştır.



Şekil 35. 500 Kişilik Yurt Etabs Modeli



Şekil 36. 500 Kişilik Yurt Sta4Cad Modeli

Amaç fonksiyonu denklem 14’de verilmektedir. Bu denklemde $f_{maliyet}$ yapının kaba inşaatına ait yaklaşık maliyet bedelidir. D_{bf} İnşaat demirine ait Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞB) 2022 yılına ait birim fiyat bedelidir, D_m inşaat demirinin metrajı, B_{bf} ÇŞB 2022 yılına ait beton birim fiyat bedelidir, B_m inşaatta kullanılan beton metrajıdır, K_{bf} ÇŞB 2022 yılına ait kalıp birim fiyat bedelidir, K_m ise kalıp metrajıdır. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu ise denklem 15’de verilmektedir. Amaç fonksiyon değeri olan $f_{(x)}$, eleman sınırlayıcılara uymadığı takdirde $(1+C_K)$ değeri çarpılmaktadır. Ceza değeri beton metrajının 10^9 gibi büyük bir sayı ile çarpılarak elde edilmektedir.

Yapının yaklaşık maliyet ve hakediş değerleri excel programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 8.545.755,87 olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16’da idm, denklem 18’de bm, denklem 20’de km ve denklem 22’de ykm formülleri verilmiştir. Gerçek piyasa koşullarında oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 222,242 \times 18.858,88 = 4.195.006,98 \text{ TL} \quad (42)$$

$$bm = 2084 \times 982,73 = 2.190.505,17 \text{ TL} \quad (43)$$

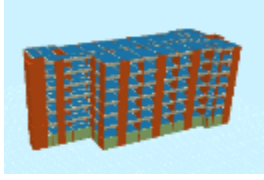
$$km = 14350 \times 142,14 = 2.160.243,72 \text{ TL} \quad (44)$$

$$ykm = 4.195.006,98 + 2.190.505,17 + 2.160.243,72 = 8.545.755,87 \text{ TL} \quad (45)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

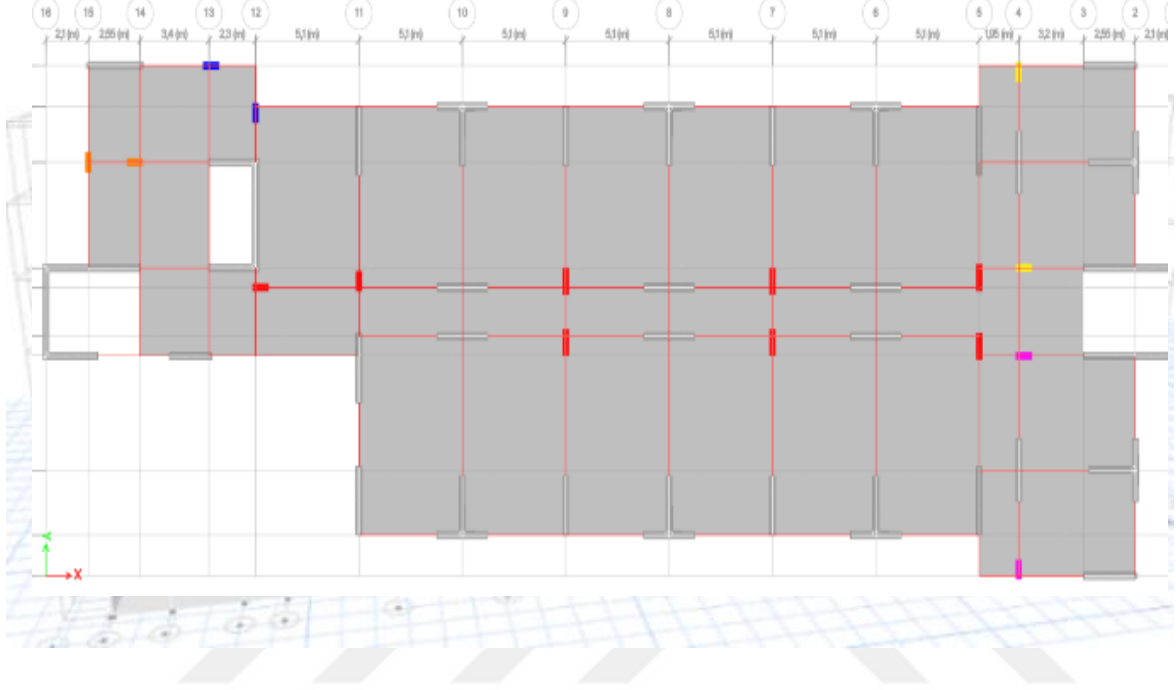
Bina yapım aşamasında Sta4cad (STA4-CAD, 2020) programında tasarlanmıştır. İnşaat projesi hazırlanarak yapımı tamamlanmıştır. Tez çalışması kapsamında da yapı projeleri Sta4Cad ve Etabs programlarında modellenerek periyot ve mod şekilleri doğrulanmıştır. Bu şekilde bilgisayarda tasarlanan modellerin gerçeğe uygun olduğu kontrol edilmiştir. Etabs programında hazırlanan yapı modeli Şekil 35'te verilmektedir Şekil 36'da bina modelinin Sta4cad görseli verilmektedir. Etabs programında betonarme yapı hazırlanmıştır ve yapı elemanlarına ait kesitler aynen uygulanmıştır. Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve TS 500 'deki koşullara göre tasarım yapılması istenmiştir.

Tablo 19. Yapıların Modal Frekanslarının Karşılaştırması 500 Kişilik Yurt (7 Katlı)

Mod	Sta4cad Model	Modal Frekans (Hz)	Etabs Model	Modal Frekans (Hz)
1		0,4712		0,4564

Her iki modele ait periyot değerleri karşılaştırılarak örneklerin doğrulanması yapılmıştır, karşılaştırma yapılan modeller tablo 17'de verilmektedir. Betonarme yapıların dijital ortamda doğrulanmasından sonra statik plan üzerinde kesitler belirlenmiştir. Bunun için gruplama yöntemi tercih edilmiştir. Bu sayede plan üzerinde istenilen simetri elde edilebilmektedir. Bu işlemle statik planda benzer konumdaki kolonlar ve kirişler aynı kesit

özelliklerinin atanması sağlanmıştır. Kesitlerin belirli gruplar içinde aynı olması saha uygulamalarını ciddi anlamda kolaylaştırmaktadır. Şekil 37’de gruplaması yapılan yapı elemanları farklı renklerle gösterilmiştir.



Şekil 37. Gruplama Yapılan Elemanların Gösterimi (500 Kişilik yurt)

Yapı elemanlarının gruplandırılmasından sonra MATLAB ortamında hazırlanan ACDOS programı çalıştırılmaktadır. Matlab-Etabs entegrasyonu sağlanarak program döngüsü başlatılır ve hangi kolon ve kiriş kesitlerinin kullanılacağı kullanıcıdan istenmektedir. Çalışma kapsamında 232 farklı kolon ve 40 farklı kiriş kesitinden yararlanılmıştır. Uygulamada kullanılacak olan kolonlara tasarım değişkenleri tablo 8 ve kirişlere ait tasarım değişkenleri tablo 7’de verilmektedir.

3.3.1. 500 Kişilik Yurt Binasının Jaya Algoritması ile Çözümü

Yapının Jaya algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 7.773.309,24TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16’da idm, denklem 18’de bm, denklem 20’de km ve denklem 22’de ykm formülleri verilmiştir. Jaya algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 195,43 \times 18.858,88 = 3.685.590,92 \text{ TL} \quad (46)$$

$$bm = 2084 \times 982,73 = 2.048.009,32 \text{ TL} \quad (47)$$

$$km = 14350 \times 142,14 = 2.039.709,00 \text{ TL} \quad (48)$$

$$ykm = 3.685.590 + 2.048.009 + 2.039.709 = 7.773.309,24 \text{ TL} \quad (49)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

Jaya algoritması ile yapılan analizlerde 5 koşum 20 popülasyon ve 50 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 1000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 7 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 8.545.755,87 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 7.773.309,24 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Jaya algoritması ile %9,0389 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 18’de Jaya algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

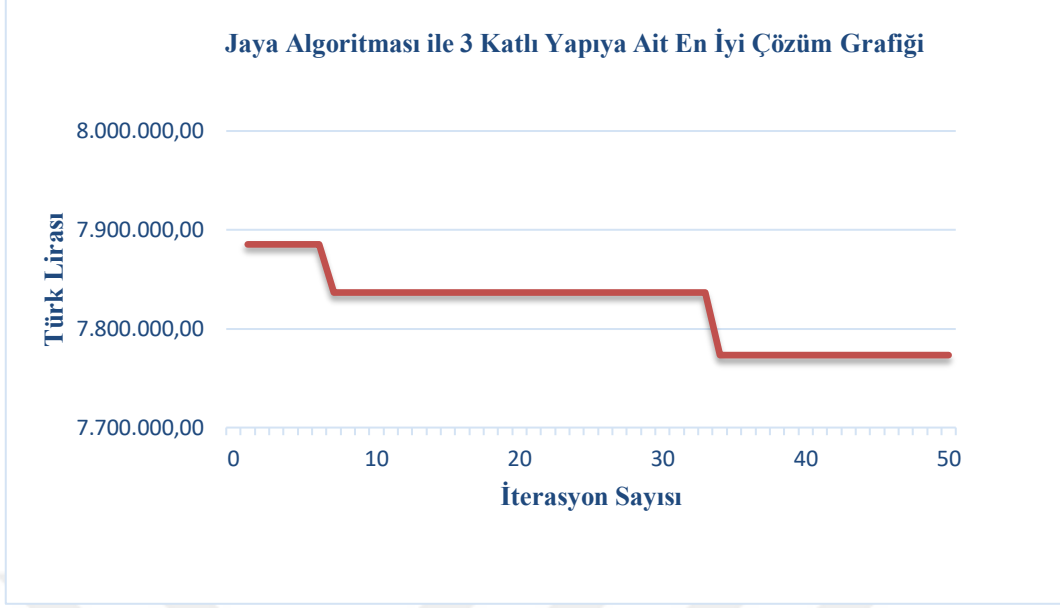
Tablo 20. Jaya Algoritmasına Ait Veriler (500 Kişilik Yurt)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Jaya	5	20	50	8.545.755,87TL	7.773.309,24TL	% 9,0389

Jaya algoriyması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri tablo 19’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

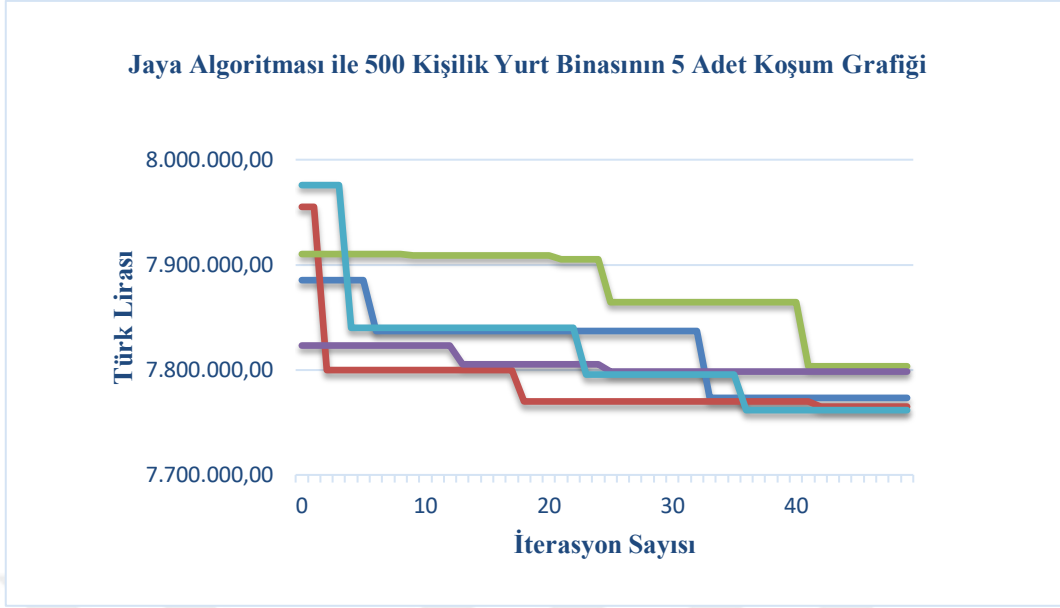
Tablo 21. 7 Katlı Binaya Ait (500 kişilik yurt) İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Jaya)

Grup	Başlangış	Grup	Optimum
Üyeleri	Kesit (m)	Üyeleri	Kesit (m)
C101	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 1	0.65 x 0.30
C102	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 1	0.65 x 0.30
C103	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 2	0.40 x 0.30
C104	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 2	0.40 x 0.30
C105	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 3	0.40 x 0.45
C106	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 3	0.40 x 0.45
C107	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 4	0.30 x 0.60
C108	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 4	0.30 x 0.60
C109	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.85 x 0.35
C110	0.90 x 0.40	Orta kolonlar	0.85 x 0.35
C111	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.85 x 0.35
C112	0.90 x 0.40	Orta kolonlar	0.85 x 0.35
C113	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.85 x 0.35
C114	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.85 x 0.35
C115	0.30 x 1.20	Orta kolonlar	0.85 x 0.35
C116	0.30 x 1.20	Orta kolonlar	0.85 x 0.35
Dış kirişler	0.30 x 0.75	Dış kirişler	0.30 x 0.50
İç kirişler	0.30 x 0.75	İç kirişler	0.25 x 0.45

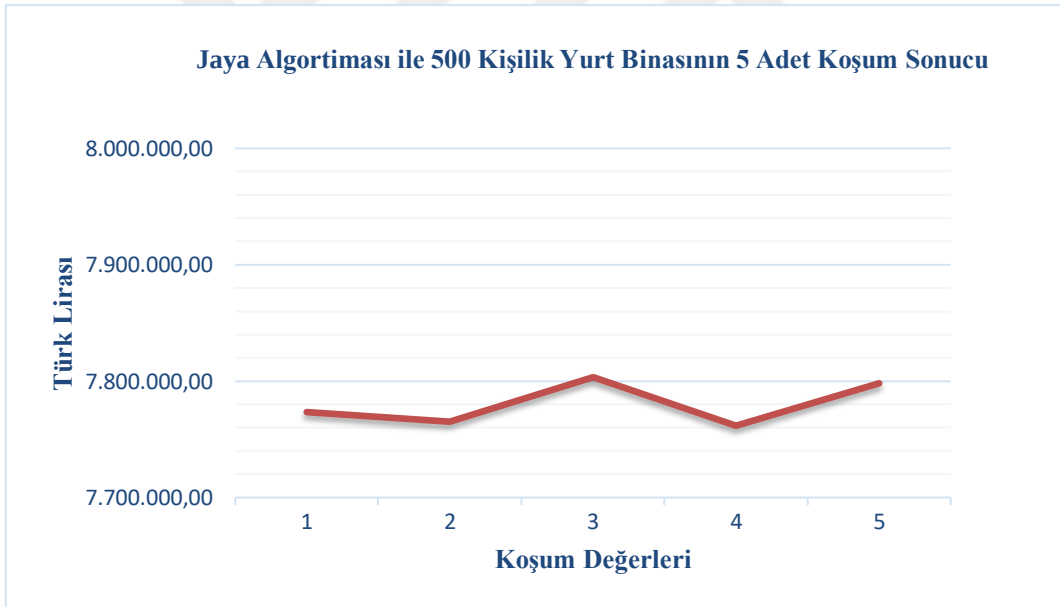


Şekil 38. 500 Kişilik Yurt En İyi Çözüme Ait Grafik (Jaya)

Yapılan analizlerde 5 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 38 verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 5 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil- 39’de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 40’da 5 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 5 koşum 20 popülasyon ve 50 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 39. 500 Kişilik Yurt Binası 5 Adet Koşum Tamamı (Jaya)



Şekil 40. 500 Kişilik Yurt Binası 5 Adet Koşum Sonucu (Jaya)

3.3.2. 500 Kişilik Yurt Binasının TLBO Algoritması ile Çözümü

Yapının TLBO algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 7.729.511,41 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm , denklem 18'de bm , denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. TLBO algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 194,792 \times 18.858,88 = 3.673.558,95 \text{ TL} \quad (50)$$

$$bm = 2078 \times 982,73 = 2.042.112,94 \text{ TL} \quad (51)$$

$$km = 14168 \times 142,14 = 2.013.839,52 \text{ TL} \quad (52)$$

$$ykm = 3.673.558 + 2.042.112 + 2.013.839 = 7.729.511,41 \text{ TL} \quad (53)$$

Verilen denklemlerde idm : İnşaat demir maliyeti, dm : Ton cinsinden demir miktarı, dbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm : beton maliyeti, bmi : m3 olarak beton miktarı, bbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km : Kalıp maliyeti, kmi : Kalıp miktarı, kbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm : Yaklaşık maliyet bedelidir.

TLBO algoritması ile yapılan analizlerde 5 koşum 20 popülasyon ve 25 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 500 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 7 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 8.545.755,87 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 7.729.511,41 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti TLBO algoritması ile %9,5514 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 20'de TLBO algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 22. TLBO Algoritmasına Ait Veriler (500 Kişilik Yurt)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
TLBO	5	20	25	8.545.755,87TL	7.729.511,41 TL	% 9,55

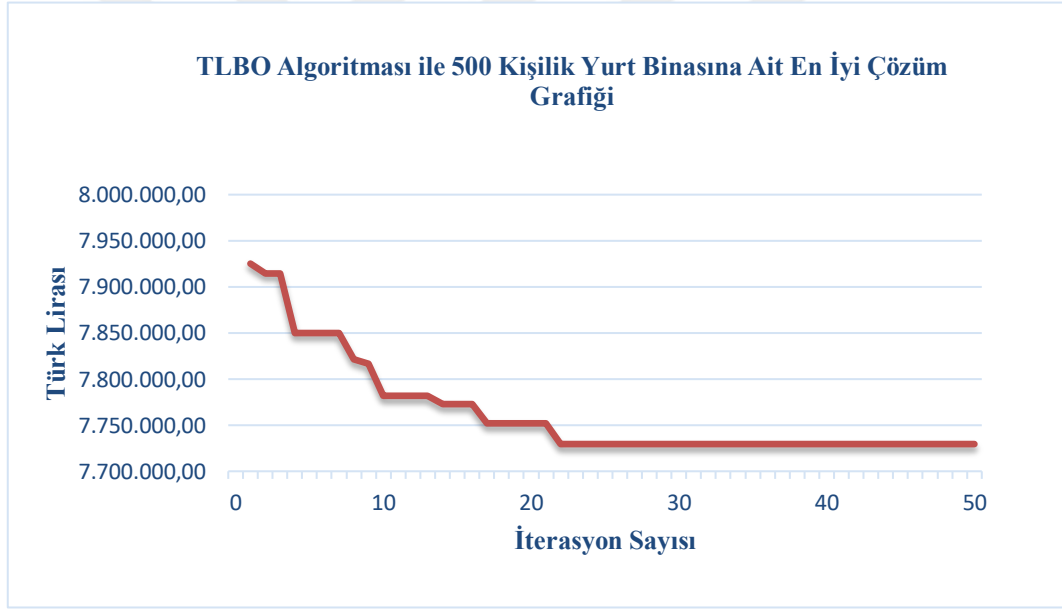
TLBO algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri Tablo 21’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 23. 500 Kişilik Yurt İlk ve Optimum Kesit Değerleri (TLBO)

Grup Üyesi	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyesi	Optimum Kesit (m)
C101	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 1	0.90 x 0.35
C102	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 1	0.90 x 0.35
C103	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 2	0.30 x 0.40
C104	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 2	0.30 x 0.40
C105	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 3	0.30 x 0.30
C106	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 3	0.30 x 0.30
C107	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 4	0.30 x 0.50
C108	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 4	0.30 x 0.50
C109	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C110	0.90 x 0.40	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C111	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.30 x 0.80

Tablo 23'ün devamı

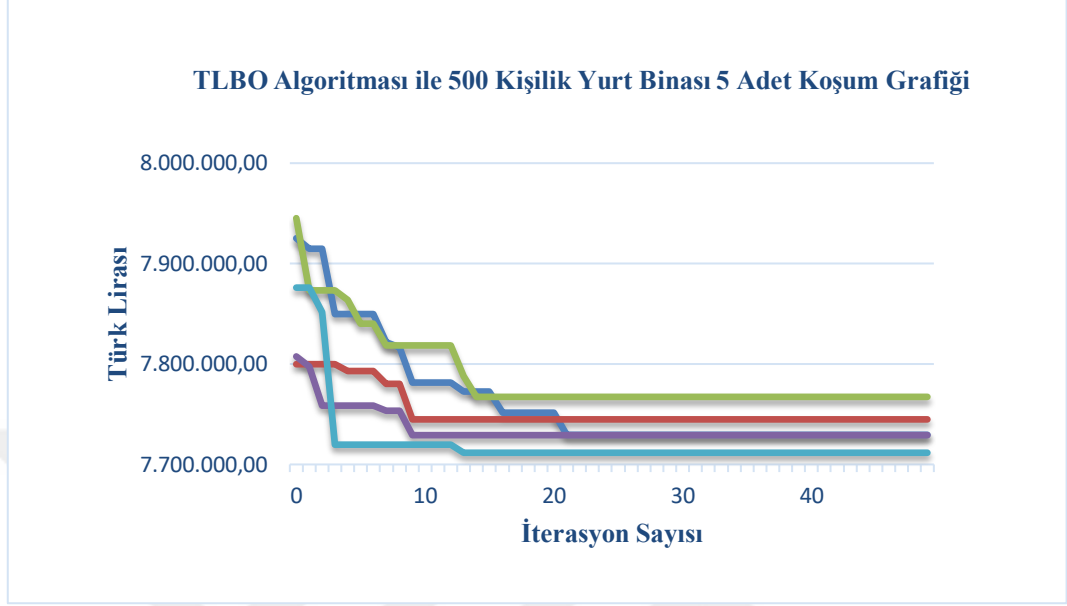
C112	0.90 x 0.40	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C113	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C114	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C115	0.30 x 1.20	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C116	0.30 x 1.20	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
Dış kirişler	0.30 x 0.75	Dış kirişler	0.25 x 0.55
İç kirişler	0.30 x 0.75	İç kirişler	0.40 x 0.36



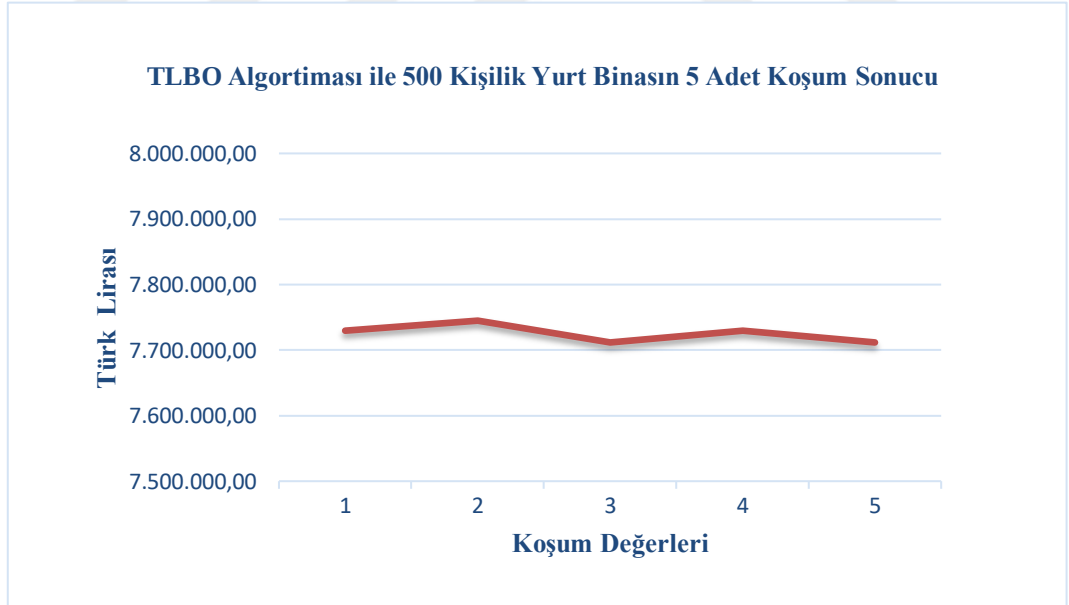
Şekil 41. 500 Kişilik Yurt Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (TLBO)

Yapılan analizlerde 5 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 41’de verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 5 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil 42’de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 43’de 5 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 5 koşum 20 popülasyon ve 25 jenerasyon değeri çözüm

kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 42. 500 Kişilik Yurt Tüm Koşturma Değerleri (TLBO)



Şekil 43. 500 Kişilik Yurt Binasının 5 Adet Koşum Sonucu (TLBO)

3.3.3. 500 Kişilik Yurt Binasının Rao-1 Algoritması ile Çözümü

Yapının Rao-1 algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 7.792.457,56 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm, denklem 18'de bm, denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Rao-1 algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 197,201 \times 18.858,88 = 3.718.989,99 \text{ TL} \quad (54)$$

$$bm = 2078 \times 982,73 = 2.050.957,51 \text{ TL} \quad (55)$$

$$km = 14168 \times 142,14 = 2.022.510,06 \text{ TL} \quad (56)$$

$$ykm = 3.718.989 + 2.050.957 + 2.022.510 = 7.792.457,56 \text{ TL} \quad (57)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

Rao-1 algoritması ile yapılan analizlerde 5 koşum 20 populasyon ve 50 generation için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir populasyona ait iterasyon değeri 1000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 7 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 8.545.755,87 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 7.792.457,56 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Rao-1 algoritması ile %8,8148 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır Tablo 22'de Rao-1 algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 24. Rao-1 Algoritmasına Ait Veriler (500 Kişilik Yurt)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Rao-1	5	20	50	8.545.755,87 TL	7.792.457,56 TL	% 8,815

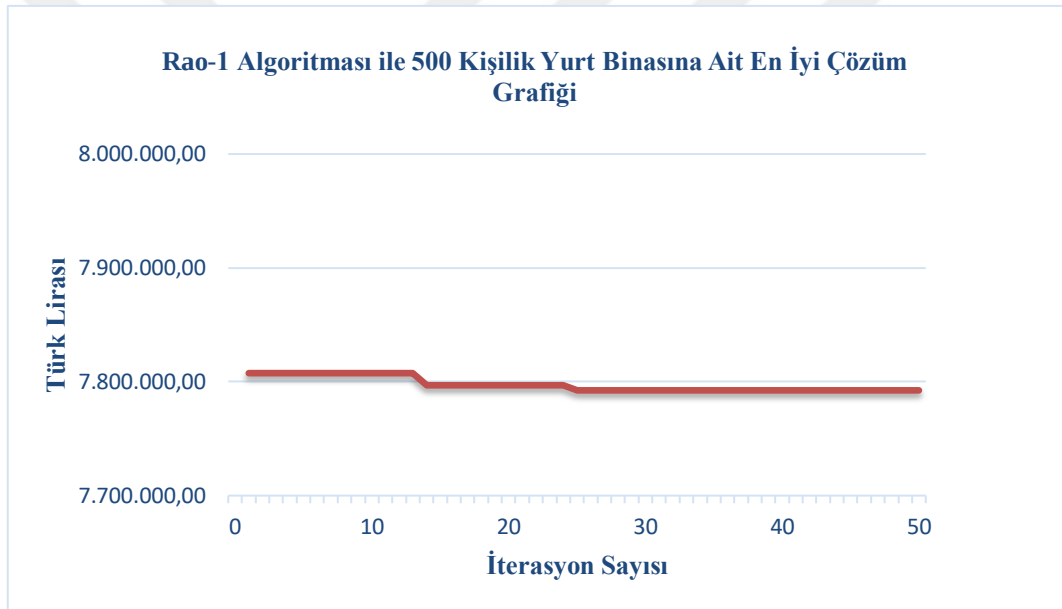
Rao-1 algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri tablo 23’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 25. 500 Kişilik Yurt İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-1)

Grup Üyesi	Başlangıç Kesiti (m)	Grup Üyesi	Optimum Kesit (m)
C101	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 1	0.30 x 0.80
C102	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 1	0.30 x 0.80
C103	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 2	0.40 x 0.40
C104	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 2	0.40 x 0.40
C105	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 3	0.30 x 0.80
C106	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 3	0.30 x 0.80
C107	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 4	0.90 x 0.40
C108	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 4	0.90 x 0.40
C109	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C110	0.90 x 0.40	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C111	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.30 x 0.80

Tablo 25'in devamı

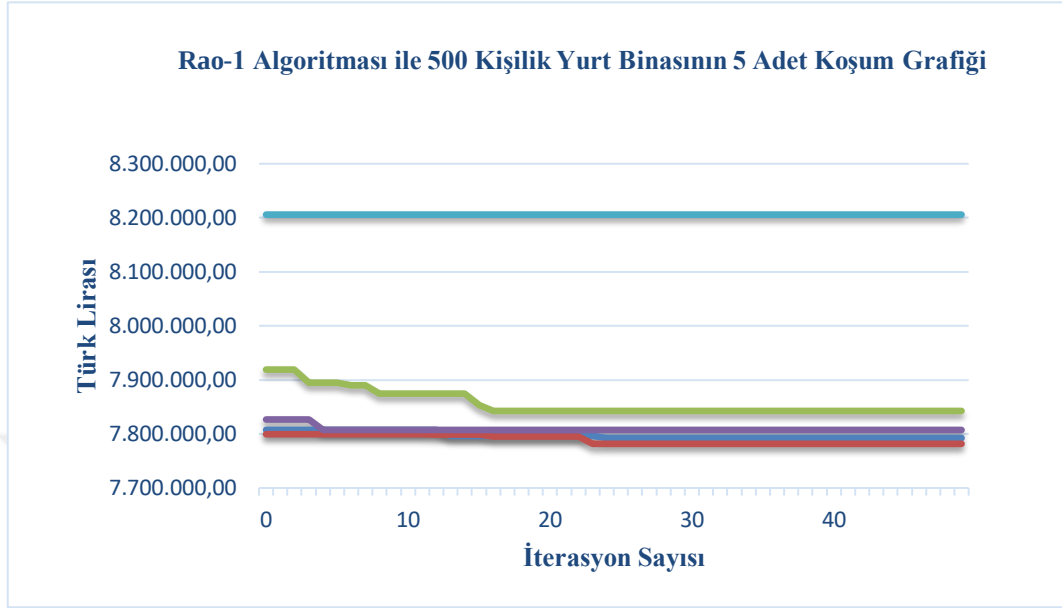
C112	0.90 x 0.40	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C113	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C114	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C115	0.30 x 1.20	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
C116	0.30 x 1.20	Orta kolonlar	0.30 x 0.80
Dış kirişler	0.30 x 0.75	Dış kirişler	0.25 x 0.55
İç kirişler	0.30 x 0.75	İç kirişler	0.25 x 0.50



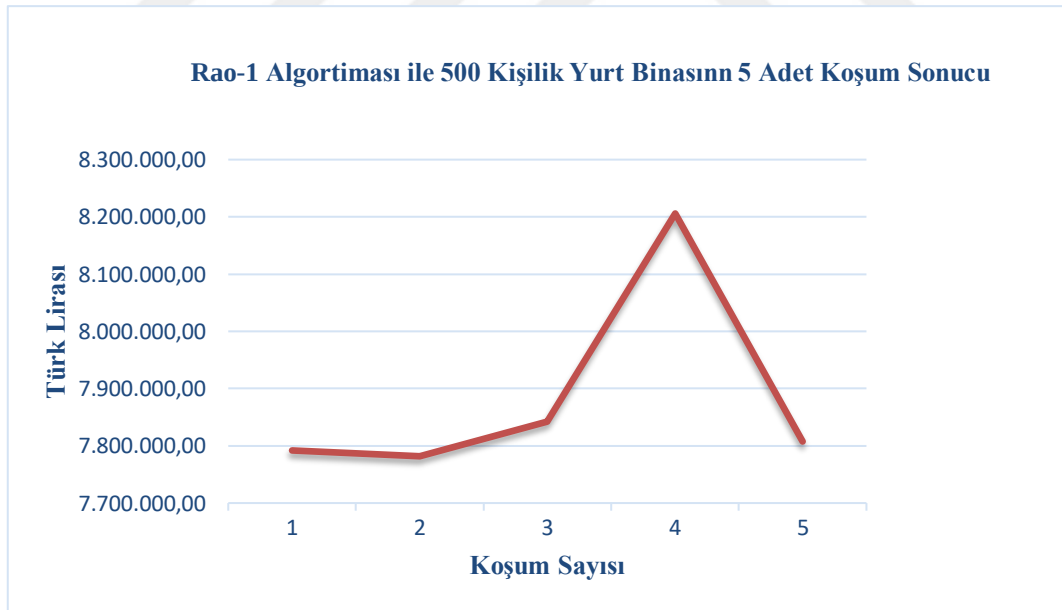
Şekil 44. 500 Kişilik Yurt Binasının En İyi Çözümüne Ait Grafiği (Rao-1)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 44’de verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil 45’de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 46’da 5 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda olduğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 5 koşum 20 popülasyon ve 50 jenerasyon değeri çözüm

kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 45. 500 Kişilik Yurt Binası 5 Adet Koşturma Değerleri (Rao-1)



Şekil 46. 500 Kişilik Yurt Binası 5 Adet Koşum Sonucu (Rao-1)

3.3.4. 500 Kişilik Yurt Binasının Rao-2 Algoritması ile Çözümü

Yapının Rao-2 algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 7.758.640,72 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm, denklem 18'de bm, denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Rao-2 algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 195,146 \times 18.858,88 = 3.680.235,00 \text{ TL} \quad (58)$$

$$bm = 2090 \times 982,73 = 2.053.905,70 \text{ TL} \quad (59)$$

$$km = 14243 \times 142,14 = 2.024.500,02 \text{ TL} \quad (60)$$

$$ykm = 3.680.235 + 2.053.905 + 2.024.500 = 7.758.640,72 \text{ TL} \quad (61)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

Rao-2 algoritması ile yapılan analizlerde 5 koşum 20 popülasyon ve 50 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 1000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 7 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 8.545.755,87 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 7.758.640,72 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Rao-2 algoritması ile % 8,8148 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 24'da Rao-2 algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 26. Rao-2 Algoritmasına Ait Veriler (500 Kişilik Yurt)

Algoritma	Koşu m	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Rao-2	5	20	50	8.545.755 TL	7.758.640TL	% 9,2105

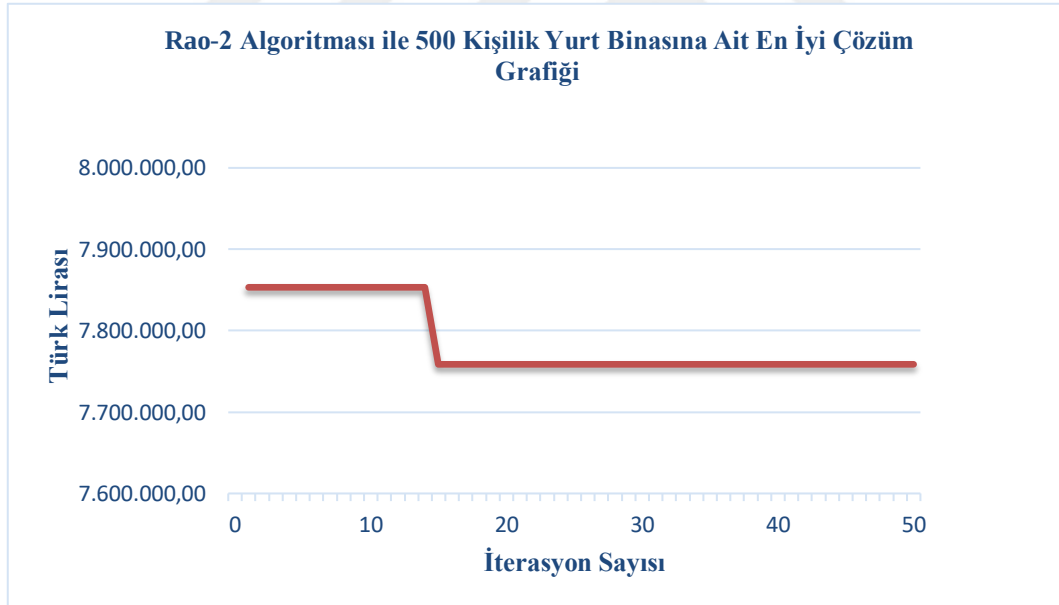
Rao-2 algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri tablo 25’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 27. 500 Kişilik Yurt İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-2)

Grup Üyesi	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyesi	Optimum Kesit (m)
C101	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 1	0.30 x 0.80
C102	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 1	0.30 x 0.80
C103	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 2	0.45 x 0.35
C104	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 2	0.45 x 0.35
C105	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 3	0.55 x 0.40
C106	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 3	0.55 x 0.40
C107	0.90 x 0.40	Çevre kolonlar 4	0.70 x 0.50
C108	0.40 x 0.90	Çevre kolonlar 4	0.70 x 0.50
C109	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.35 x 0.60

Tablo 27'nin devamı

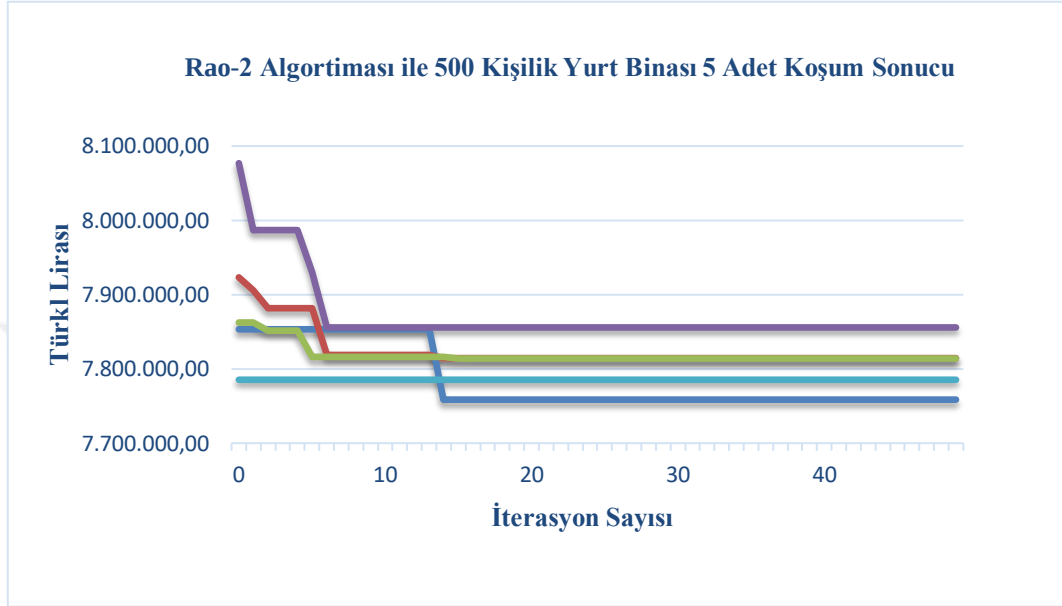
C110	0.90 x 0.40	Orta kolonlar	0.35 x 0.60
C111	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.35 x 0.60
C112	0.90 x 0.40	Orta kolonlar	0.35 x 0.60
C113	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.35 x 0.60
C114	0.40 x 0.90	Orta kolonlar	0.35 x 0.60
C115	0.30 x 1.20	Orta kolonlar	0.35 x 0.60
C116	0.30 x 1.20	Orta kolonlar	0.35 x 0.60
Dış kirişler	0.30 x 0.75	Dış kirişler	0.25 x 0.60
İç kirişler	0.30 x 0.75	İç kirişler	0.25 x 0.55



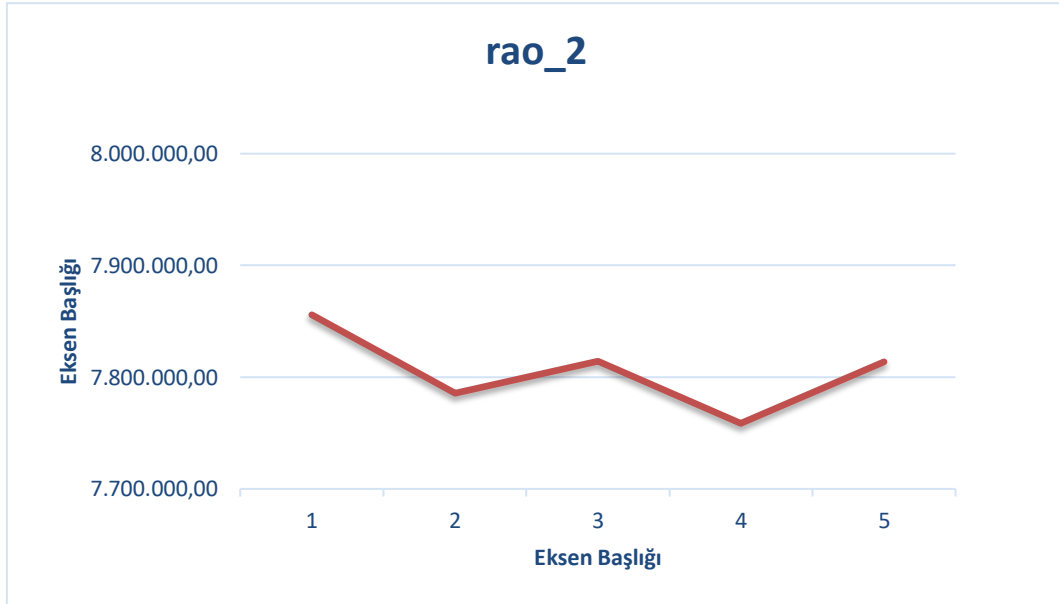
Şekil 47. 500 Kişilik Yurt Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Rao-2)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 47’de verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil- 48’de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 49’da 5 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir.

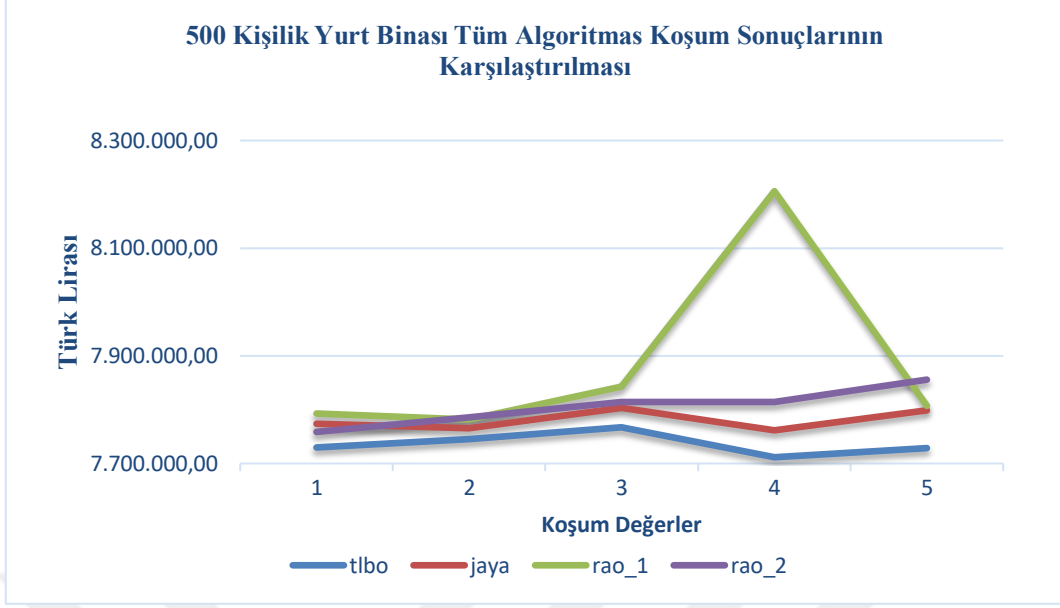
Algoritma uygulama değerleri olan 5 koşum 20 popülasyon ve 50 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 48. 500 Kişilik Yurt Binası 5 Adet Koşum Tamamı (Rao-2)



Şekil 49. 500 Kişilik Yurt Binası 5 Adet Koşum Sonucu (Rao-2)



Şekil 50. 500 Kişilik Yurt Binası Farklı Algoritmaların Ait Koşum Sonuçları

500 Kişilik yurt binasında (7 katlı) TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 optimizasyon algoritmalarının yakınsama grafikleri şekil 50’de verilmiştir. Aynı şekilde farklı algoritmaların ait maliyet değerleri ve azaltım oranları tablo 26’de verilmiştir. 3 Katlı müstakil konut yapısında uygulanan TLBO algoritmasının en iyi sonuç verdiği, diğer algoritmalarından Jaya, Rao-2 ve Rao-1 algoritmalarını sırasıyla en iyi azaltım oranına sahip olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 28. 500 Kişilik Yurt Binasında Farklı Algoritmaların Ait Maliyet Azaltım Oranlarının Karşılaştırılması

Algoritmalar	TLBO	JAYA	RAO-1	RAO-2
Uygulamadaki Yaklaşık Maliyeti	8.545.755, TL	8.545.755 TL	8.545.755, TL	8.545.755 TL
Algoritma ile Bulunan Yaklaşık Maliyet	7.729.511 TL	7.773.309 TL	7.792.457 TL	7.758.640 TL

+

Tablo 28'in devamı

Azaltma	%	%	%	%
Oranı %	9,5514	9,0389	8,8148	9,2105

3.4. 4 Katlı Konut Binası

Tez Çalışmasında kullanılan betonarme yapı bodrum + zemin + 1 + 2 olmak üzere toplam 4 kattan oluşmaktadır. Taban oturum alanı 297 m² ve toplam inşaat alanı 1318 m²'dir. Bina 68 adet kolon, 60 adet perde, 273 adet kiriş'e sahiptir. Bodrum çevresinde perde bulunmaktadır. Özel firma tarafından 6 dairesi ve konut olarak kullanılmaktadır. Yapım yılı 2019 olup, Şekil 51'de kaba inşaat hali, Şekil 52'de tüm inşaat işlerinin bittikten sonraki durumu verilmektedir. Çalışmada gerçek dünyaya ait betonarme yapı kullanılmıştır.



Şekil 51. 4 Katlı Konut Binası Kaba İnşaat Fotoğrafı

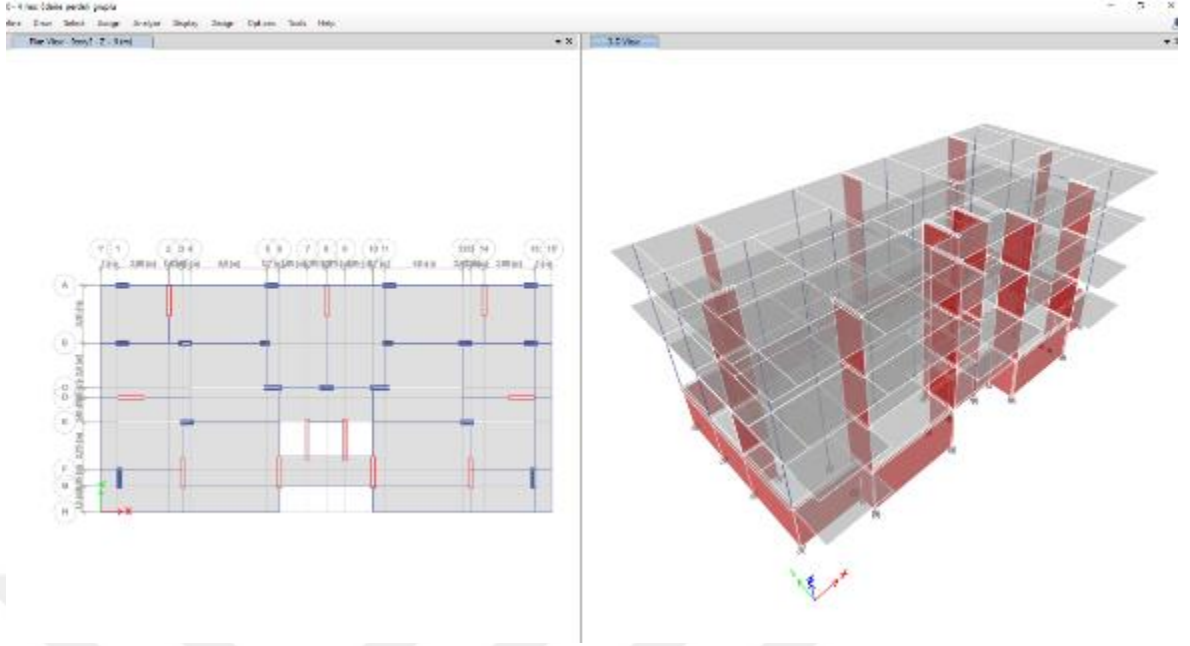


Şekil 52. 4 Katlı Konut Binası Son Hali

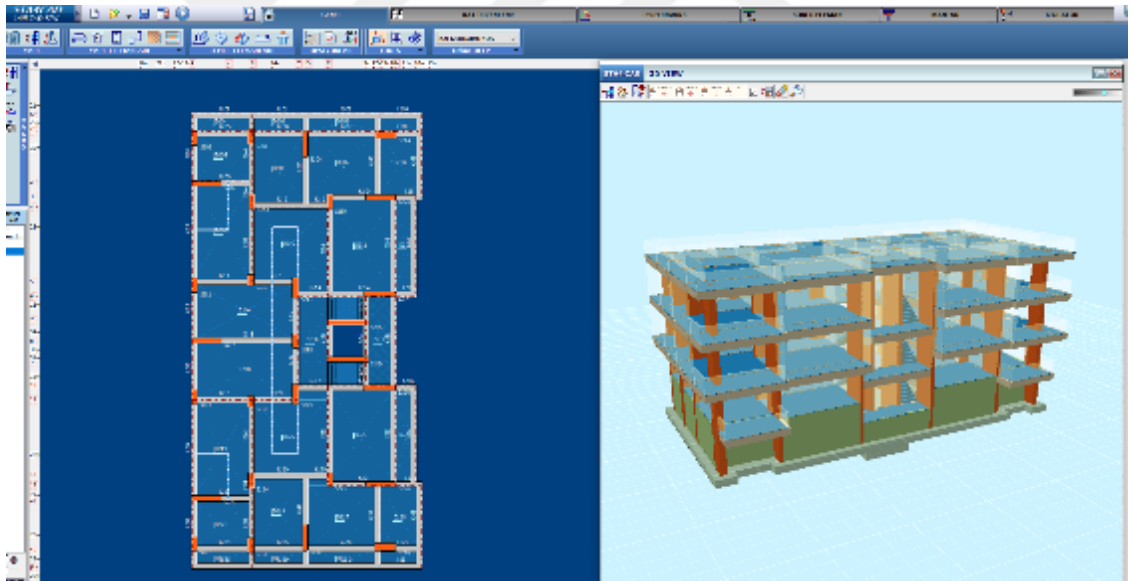
Sayısal örnekte kullanılan yapının beton + demir + kalıp iş kalemleri olmak üzere toplam maliyet rakamları piyasa koşulları altında değerlendirilmiştir. Elde edilen değerler gerçek piyasa şartlarında belirlenmiştir. Beton, demir ve kalıp değerleri işçilik + maliyet birlikte olmak üzere hesaplanmıştır. Gerçek metraj verileri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2022 birim fiyatları ile çarpılarak toplam yaklaşık maliyet değerleri olarak elde edilmiştir.

Örnek yapının tasarım-maliyet optimizasyonu için 4 farklı algoritma kullanılmıştır. Bunlar TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 algoritmalarıdır. Aynı zamanda bu algoritmalar hem kendi içlerinde hem de yapının gerçek yaklaşık maliyet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Beş farklı yapı maliyeti için yapılan karşılaştırmalar hem çeşitli grafiklerle hem de sayısal veriler kullanılarak detaylı olarak yapılmıştır.

Çalışmada ilk olarak yüklenici (müteahhit) bilgilerinden başlanılmak üzere hangi paket programlarda ne gibi işlemlerin yapıldığı toplanmıştır. Yapı metraj değerleri ile statik programlara ait veriler toplanmıştır.



Şekil 53. 4 Katlı Konut Binası Etabs Modeli



Şekil 54. 4 Katlı Konut Binası Sta4Cad Modeli

Amaç fonksiyonu denklem 14’de verilmektedir. Bu denklemde $f_{maliyet}$ yapının kaba inşaatına ait yaklaşık maliyet bedelidir. D_{bf} İnşaat demirine ait Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞB) 2022 yılına ait birim fiyat bedelidir, D_m inşaat demirinin metrajı, B_{bf} ÇŞB 2022 yılına ait beton birim fiyat bedelidir, B_m inşaatta kullanılan beton

metrajıdır, K_{bf} ÇŞB 2022 yılına ait kalıp birim fiyat bedelidir, K_m ise kalıp metrajıdır. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu ise denklem 15’de verilmektedir. Amaç fonksiyon değeri olan $f_{(X)}$, eleman sınırlayıcılara uymadığı takdirde $(1+C_K)$ değeri çarpılmaktadır. Ceza değeri beton metrajının 10^9 gibi büyük bir sayı ile çarpılarak elde edilmektedir.

Yapının yaklaşık maliyet ve hakediş değerleri excel programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 1.557.992,32 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16’da idm, denklem 18’de bm, denklem 20’de km ve denklem 22’de ykm formülleri verilmiştir. Gerçek piyasa koşullarında oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 39,175 \times 18.858,88 = 738.796,62 \text{ TL} \quad (62)$$

$$bm = 386,95 \times 982,73 = 380.267,37 \text{ TL} \quad (63)$$

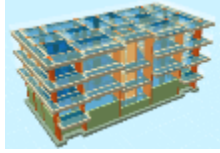
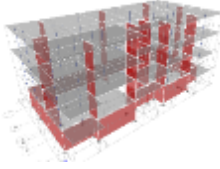
$$km = 3088 \times 142,14 = 438.928,32 \text{ TL} \quad (64)$$

$$ykm = 738.796,62 + 367.609,81 + 424.287,90 = 1.557.992,32 \text{ TL} \quad (65)$$

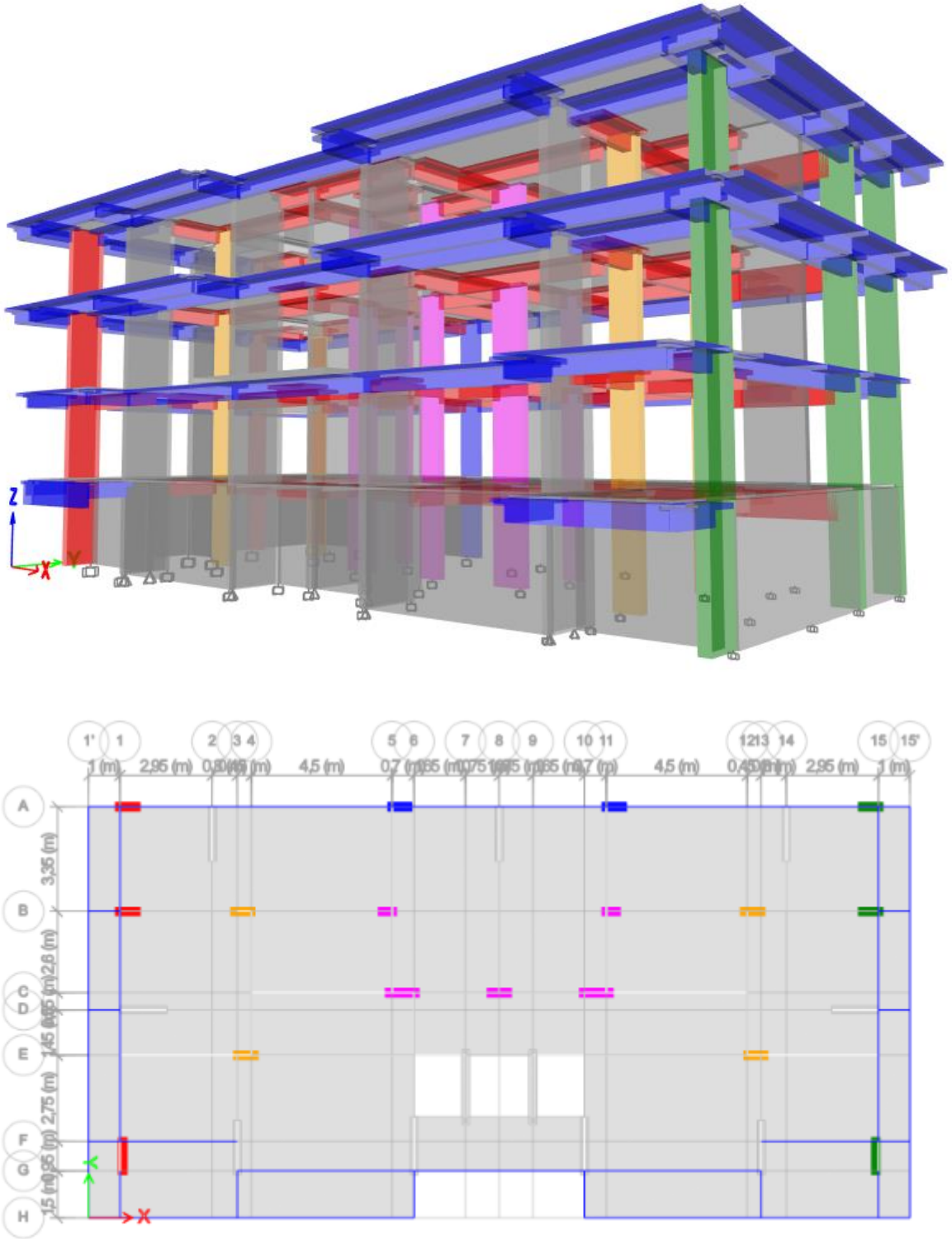
Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

Bina yapım aşamasında Sta4cad (STA4-CAD, 2020) programında tasarlanmıştır. İnşaat projesi hazırlanarak yapımı tamamlanmıştır. Tez çalışması kapsamında da yapı projeleri Sta4Cad ve Etabs programlarında modellenerek periyot ve mod şekilleri doğrulanmıştır. Bu şekilde bilgisayarda tasarlanan modellerin gerçeğe uygun olduğu kontrol edilmiştir. Etabs programında hazırlanan yapı modeli Şekil 53’te verilmektedir. Şekil 54’de bina modelinin Sta4cad görseli verilmektedir. Etabs programında betonarme yapı hazırlanmıştır ve yapı elemanlarına ait kesitler aynen uygulanmıştır. Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve TS 500 ‘deki koşullara göre tasarım yapılması istenmiştir.

Tablo 29. Yapıların Modal Frekanslarının Karşılaştırması 4 Katlı Konut Binası

Mod	Sta4cad Model	Modal Period	ETABS Model	Modal Period
1		0,3790 sn		0,3292 sn

Her iki modele ait periyot değerleri karşılaştırılarak örneklerin doğrulaması yapılmıştır, karşılaştırma modelleri tablo 27’de verilmektedir. Betonarme yapıların dijital ortamda doğrulanmasından sonra statik plan üzerinde kesitler belirlenmiştir. Bunun için gruplama yöntemi tercih edilmiştir. Bu sayede plan üzerinde istenilen simetri elde edilebilmektedir. Bu işlemle statik planda benzer konumdaki kolonlar ve kirişler aynı kesit özelliklerinin atanması sağlanmıştır. Şekil 55’de gruplaması yapılan yapı elemanları farklı renklerle gösterilmiştir.



Şekil 55. Yapı Elemanlarının Renkli Gruplandırılması (4 Katlı Konut Binası)

Yapı elemanlarının gruplandırılmasından sonra MATLAB ortamında hazırlanan ACDOS programı çalıştırılmaktadır. Matlab-Etabs entegrasyonu sağlanarak program döngüsü başlatılır ve hangi kolon ve kiriş kesitlerinin kullanılacağı kullanıcıdan

istenmektedir. Çalışma kapsamında 232 farklı kolon ve 40 farklı kiriş kesitinden yararlanılmıştır. Optimum değerlerin bulunması için diğer çalışmalardan farklı olarak Uygulamada kullanılacak olan kolonlara tasarım değişkenleri tablo 8 ve kirişlere ait tasarım değişkenleri tablo 7’de verilmektedir.

3.4.1. 4 Katlı Konut Binasının Jaya Algoritması ile Çözümü

Yapının Jaya algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 1.393.658,46TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16’da idm , denklem 18’de bm , denklem 20’de km ve denklem 22’de ykm formülleri verilmiştir. Jaya algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 32,455 \times 18.858,88 = 612.064,95 \text{ TL} \quad (66)$$

$$bm = 369,23 \times 982,73 = 362.849,10 \text{ TL} \quad (67)$$

$$km = 2946 \times 142,14 = 418.744,44 \text{ TL} \quad (68)$$

$$ykm = 612.064,95 + 362.849,10 + 418.744,44 = 1.393.658,46 \text{ TL} \quad (69)$$

Verilen denklemlerde idm : İnşaat demir maliyeti, dm : Ton cinsinden demir miktarı, dbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm : beton maliyeti, bmi : m3 olarak beton miktarı, bbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km : Kalıp maliyeti, kmi : Kalıp miktarı, kbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm : Yaklaşık maliyet bedelidir.

Jaya algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 10 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 4 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 1.557.992,32 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 1.393.658,46TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Jaya algoritması ile %10,547

olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğuna ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 28’da Jaya algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 30. Jaya Algoritmasına Ait Veriler (4 Katlı Konut Binası)

Algori t ma	Koş um	Populas yon	İtera syon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Jaya	10	30	100	1.557.992,3TL	1.393.658,46TL	% 10,547

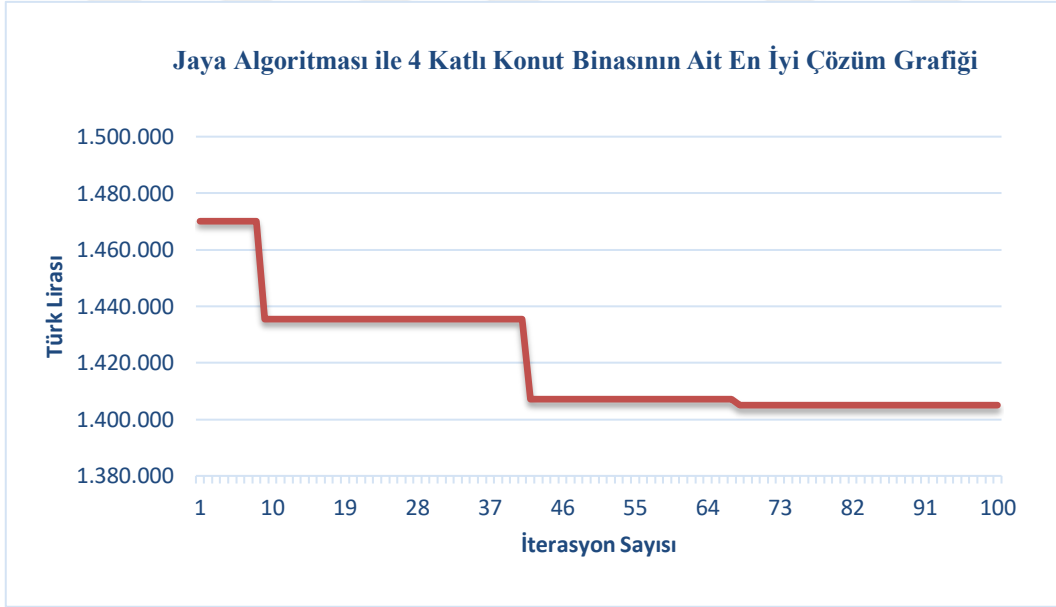
Jaya algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri tablo 29’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 31. 4 Katlı Konuta Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Jaya)

Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	1.20 x 0.40	Çevre Kolon 1	0.30 x 0.80
C102	1.20 x 0.40	Çevre Kolon 3	0.35 x 0.30
C103	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 2	0.45 x 0.40
C104	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 4	0.30 x 0.30
C105	0.30 x 1.10	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C106	0.30 x 0.80	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C107	1.10 x 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C108	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 1	0.30 x 0.40

Tablo 31'in devamı

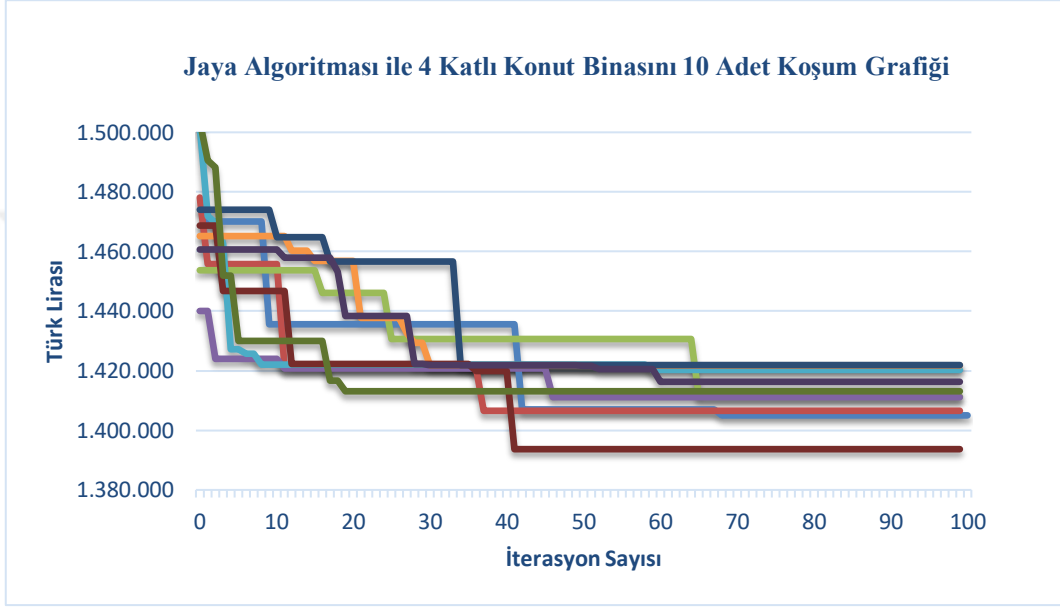
C109	0.30 x 0.80	Orta Kolon 2	0.35 x 0.45
C110	0.30 x 0.60	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C111	0.30 x 0.60	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C112	0.30 x 0.80	Orta Kolon 2	0.35 x 0.45
C113	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 3	0.35 x 0.30
C114	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 1	0.30 x 0.80
C115	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 2	0.45 x 0.40
C116	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 2	0.45 x 0.40
C117	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 3	0.35 x 0.30
Dış kirişler	0.25 x 0.50	Dış kirişler	0.25 x 0.45
İç Kirişler	0.25 x 0.50	İç kirişler	0.40 x 0.45



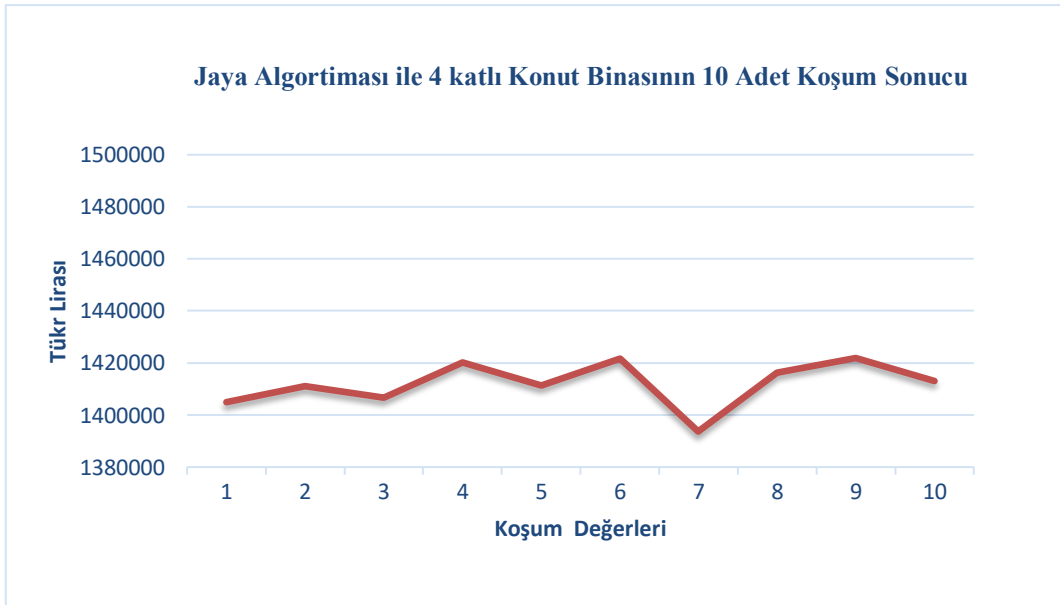
Şekil 56. 4 Katlı Konut Binasın En İyi Çözüme Ait Grafik (Jaya)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 56'da verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi

birlikte şekil- 57’de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 58’de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 57. 4 Katlı Konut Tüm Koşturma Değerleri (Jaya)



Şekil 58. 4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Jaya)

3.4.2. 4 Katlı Konut Binasının TLBO Algoritması ile Çözümü

Yapının TLBO algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 1.342.654,52 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm, denklem 18'de bm, denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. TLBO algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 29,790 \times 18.858,88 = 561.806,04 \text{ TL} \quad (70)$$

$$bm = 361,67 \times 982,73 = 355.423,47 \text{ TL} \quad (71)$$

$$km = 2993 \times 142,14 = 425.425,02 \text{ TL} \quad (72)$$

$$ykm = 561.806,04 + 355.423,47 + 425.425,02 = 1.342.654,52 \text{ TL} \quad (73)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

TLBO algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 50 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 1500 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 4 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 1.557.992,32 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 1.342.654,52 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti TLBO algoritması ile %13,8214 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 30'de TLBO algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 32. TLBO Algoritmasına Ait Veriler (4Katlı Konut Binası)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
TLBO	10	30	50	1.557.992,32TL	1.342.654,52 TL	% 13,82

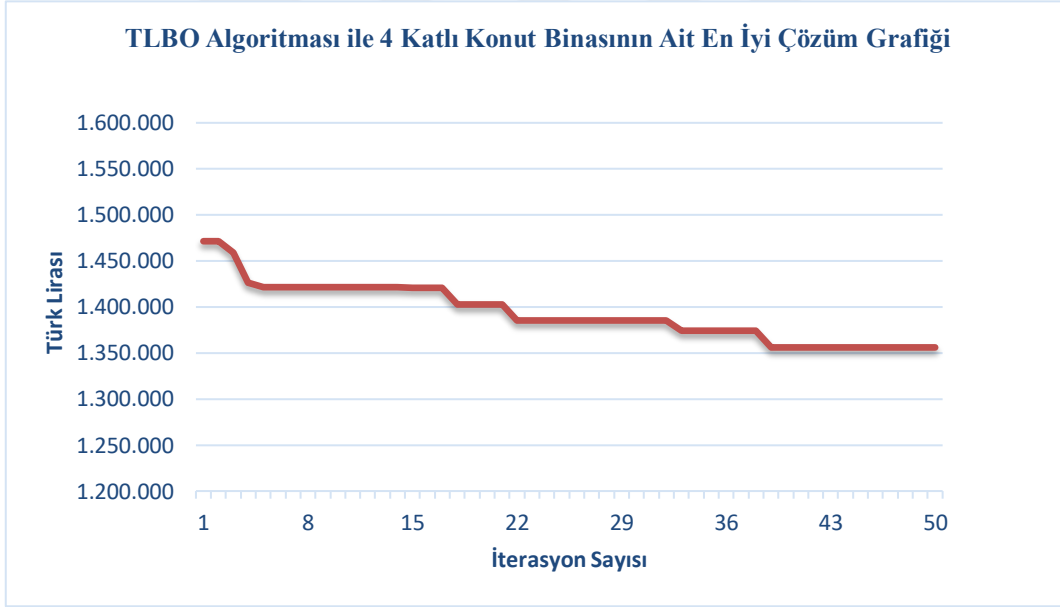
TLBO algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri Tablo 31’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 33. 4 Katlı Konut Binasına Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Jaya)

Grup Üyeleri	Başlangıç Kesiti (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	1.20 x 0.40	Çevre Kolon 1	0.35 x 0.30
C102	1.20 x 0.40	Çevre Kolon 3	0.45 x 0.40
C103	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 2	0.30 x 0.30
C104	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 4	0.30 x 0.30
C105	0.30 x 1.10	Orta Kolon 1	0.30 x 0.60
C106	0.30 x 0.80	Orta Kolon 1	0.30 x 0.60
C107	1.10 x 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.60
C108	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 1	0.35 x 0.30
C109	0.30 x 0.80	Orta Kolon 2	0.35 x 0.30
C110	0.30 x 0.60	Orta Kolon 1	0.30 x 0.60
C111	0.30 x 0.60	Orta Kolon 1	0.30 x 0.60

Tablo 33'ün devamı

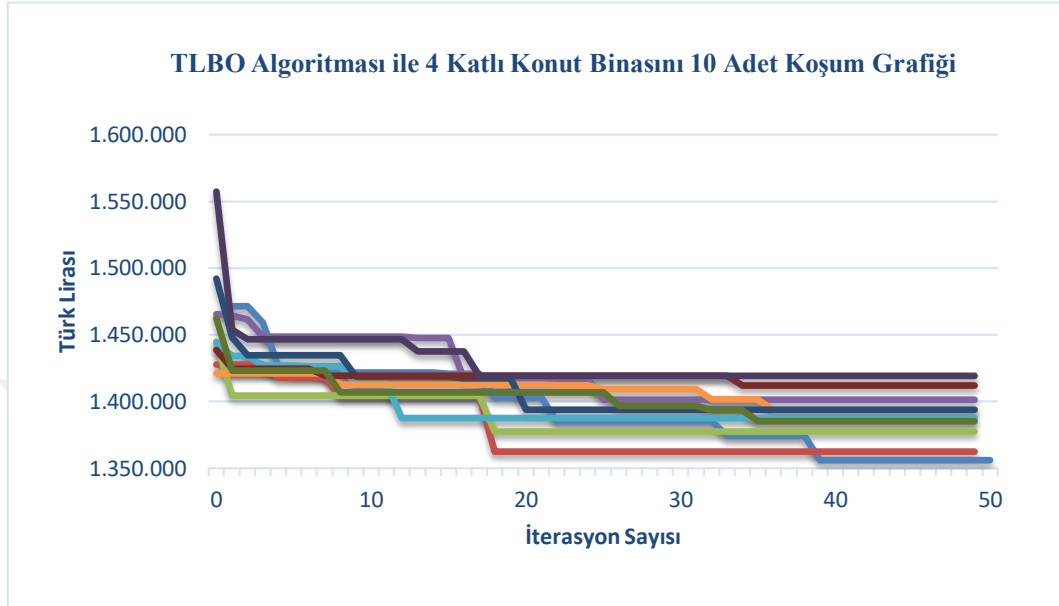
C112	0.30 x 0.80	Orta Kolon 2	0.35 x 0.30
C113	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 3	0.45 x 0.40
C114	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 1	0.35 x 0.30
C115	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 2	0.30 x 0.30
C116	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 2	0.30 x 0.30
C117	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 3	0.45 x 0.40
Dış kirişler	0.25 x 0.50	Dış kirişler	0.25 x 0.45
İç Kirişler	0.25 x 0.50	İç kirişler	0.25 x 0.65



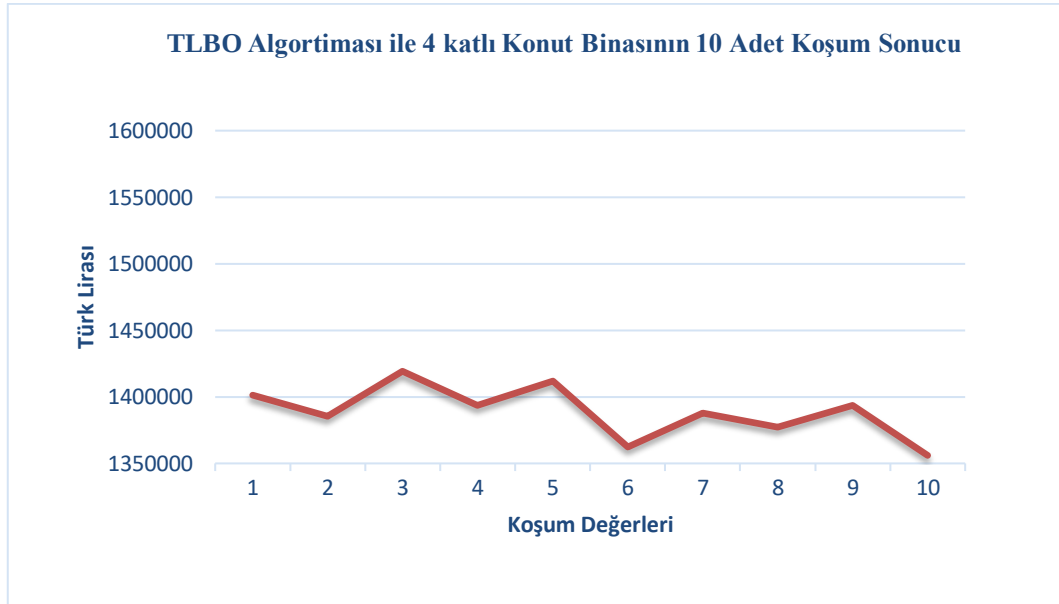
Şekil 59. 4 Katlı Konut Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (TLBO)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 59'da verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil- 60'de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 61'de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda olduğu gösterilmektedir.

Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 50 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 60. 4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (TLBO)



Şekil 61. 4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (TLBO)

3.4.3. 4 Katlı Konut Binasının Rao-1 Algoritması ile Çözümü

Yapının Rao-1 algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 1.410.912,86 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm, denklem 18'de bm, denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Rao-1 algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$km = 2993 \times 142,14 = 425.425,02 \text{ TL} \quad (75)$$

$$bm = 373,99 \times 982,73 = 367.528,44 \text{ TL} \quad (76)$$

$$km = 2981 \times 142,14 = 423.719,34 \text{ TL} \quad (77)$$

$$ykm = 619.665,08 + 367.528,44 + 423.719,34 = 1.410.912,86 \text{ TL} \quad (78)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

Rao-1 algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 10 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 4 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 1.557.992,32 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 1.410.912,86 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Rao-1 algoritması ile %9,4403 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 32'de Rao-1 algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 34. Rao-1 Algoritmasına Ait Veriler (4Katlı Konut Binası)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Rao-1	10	30	100	1.557.992,32 TL	1.410.912,86TL	% 9,44

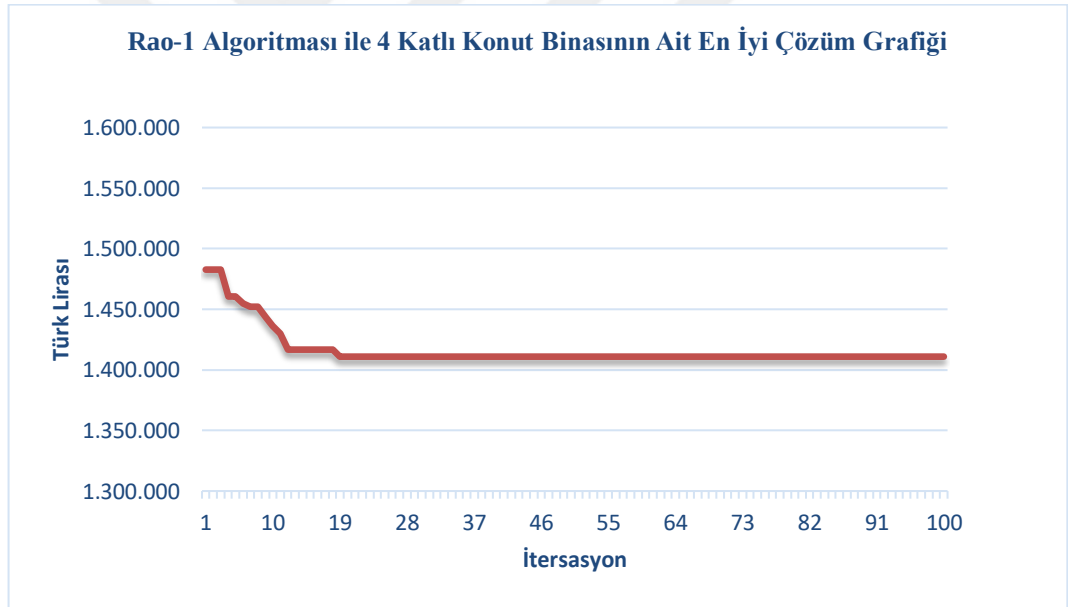
Rao-1 algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri Tablo 33’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 35. 4 Katlı Konut Binasına Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-1)

Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	1.20 x 0.40	Çevre Kolon 1	0.30 x 0.80
C102	1.20 x 0.40	Çevre Kolon 3	0.35 x 0.60
C103	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 2	0.45 x 0.65
C104	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 4	0.30 x 0.30
C105	0.30 x 1.10	Orta Kolon 1	0.30 x 0.55
C106	0.30 x 0.80	Orta Kolon 1	0.30 x 0.55
C107	1.10 x 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.55
C108	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 1	0.30 x 0.80
C109	0.30 x 0.80	Orta Kolon 2	0.65 x 0.30
C110	0.30 x 0.60	Orta Kolon 1	0.30 x 0.60
C111	0.30 x 0.60	Orta Kolon 1	0.30 x 0.60

Tablo 35'in devamı

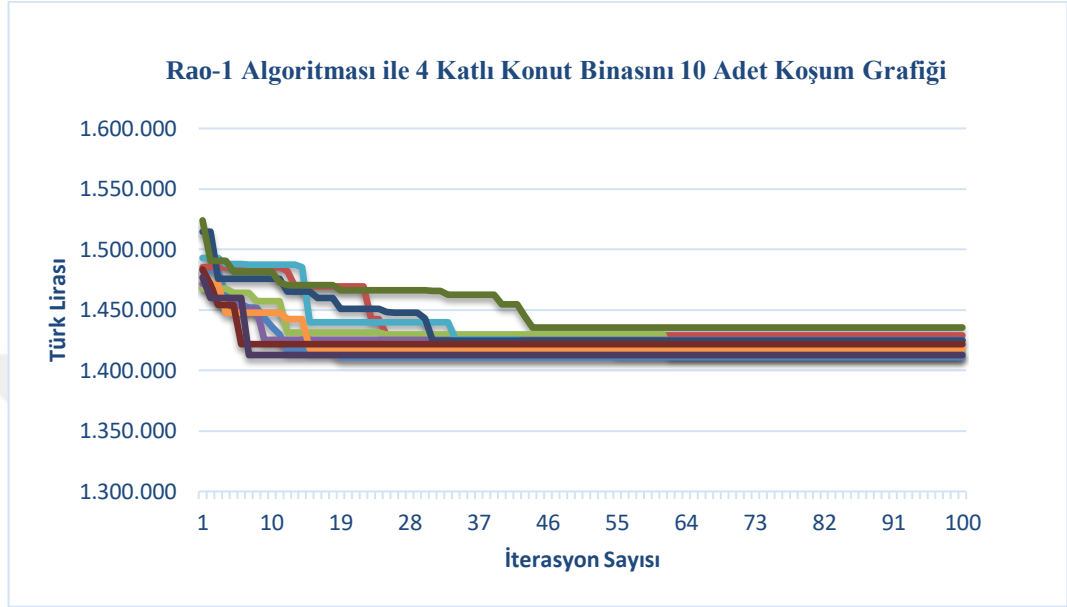
C112	0.30 x 0.80	Orta Kolon 2	0.65 x 0.30
C113	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 3	0.35 x 0.60
C114	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 1	0.30 x 0.80
C115	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 2	0.45 x 0.65
C116	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 2	0.45 x 0.65
C117	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 3	0.35 x 0.60
Dış kirişler	0.25 x 0.50	Dış kirişler	0.25 x 0.45
İç Kirişler	0.25 x 0.50	İç kirişler	0.30 x 0.65



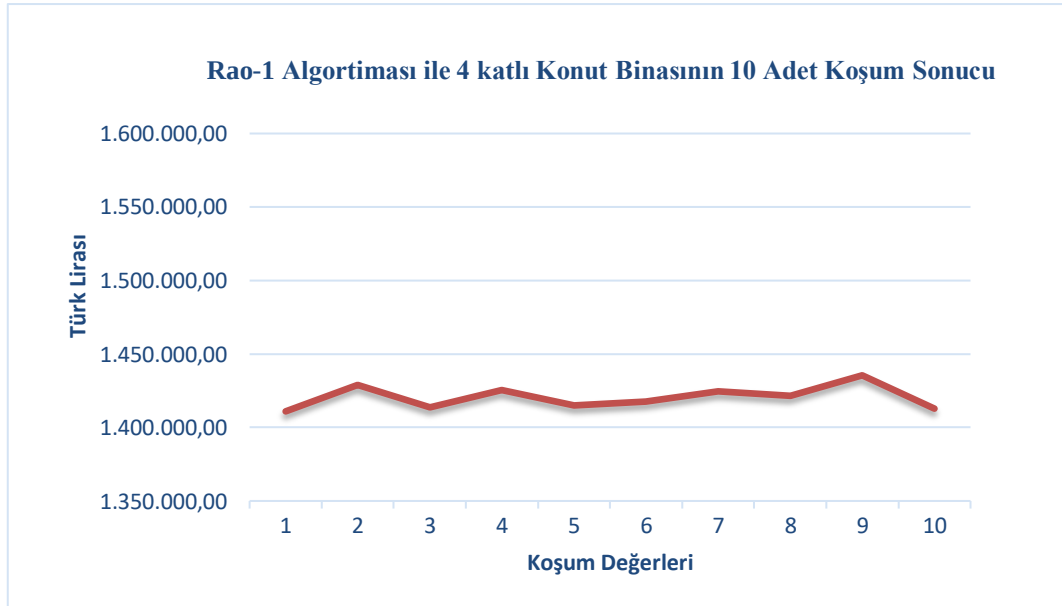
Şekil 62. 4 Katlı Konut Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Rao-1)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik Şekil 62’de verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte Şekil 63’de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan Şekil 64’de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 100

jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 63. 4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-1)



Şekil 64. 4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-1)

3.4.4. 4 Katlı Konut Binasının Rao-2 Algoritması ile Çözümü

Yapının Rao-2 algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 1.398.293,40 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm , denklem 18'de bm , denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Rao-2 algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 32,352 \times 18.858,88 = 610.126,26 \text{ TL} \quad (79)$$

$$bm = 372,30 \times 982,73 = 365.869,20 \text{ TL} \quad (80)$$

$$km = 2971 \times 142,14 = 422.297,94 \text{ TL} \quad (81)$$

$$ykm = 610.126,26 + 365.869,20 + 422.297,94 = 1.398.293,40 \text{ TL} \quad (82)$$

Verilen denklemlerde idm : İnşaat demir maliyeti, dm : Ton cinsinden demir miktarı, dbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm : beton maliyeti, bmi : m3 olarak beton miktarı, bbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km : Kalıp maliyeti, kmi : Kalıp miktarı, kbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm : Yaklaşık maliyet bedelidir.

Rao-2 algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 4 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 1.557.992,32 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 1.398.293,40 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Rao-2 algoritması ile %10,25 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğuna ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 34'da Rao-2 algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 36. Rao-2 Algoritmasına Ait Veriler (4 Katlı Konut Binası)

Algori tma	Koş um	Popul asyon	İtera syon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Rao-2	10	30	100	1.557.992,32TL	1.398.293,40TL	% 10,25

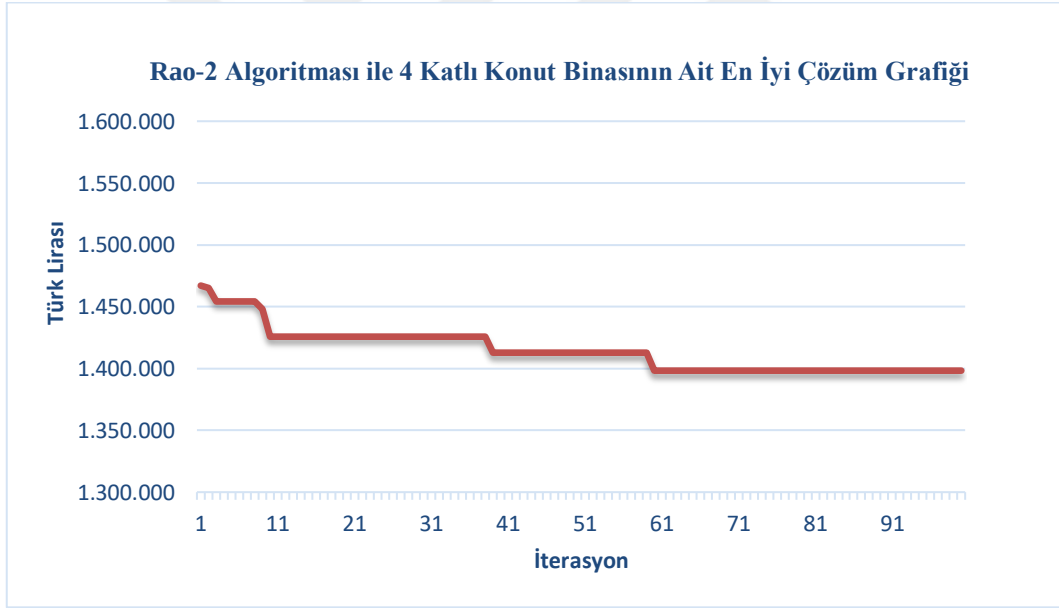
Rao-2 algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin gulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri Tablo 35’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 37. 4 Katlı Konut Binasına Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-2)

Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	1.20 x 0.40	Çevre Kolon 1	0.30 x 0.60
C102	1.20 x 0.40	Çevre Kolon 3	0.45 x 0.30
C103	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 2	0.40 x 0.40
C104	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 4	0.30 x 0.30
C105	0.30 x 1.10	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C106	0.30 x 0.80	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C107	1.10 x 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C108	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 1	0.30 x 0.80
C109	0.30 x 0.80	Orta Kolon 2	0.30 x 0.30
C110	0.30 x 0.60	Orta Kolon 1	0.30 x 0.60
C111	0.30 x 0.60	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C112	0.30 x 0.80	Orta Kolon 2	0.30 x 0.30

Tablo 37'nin devamı

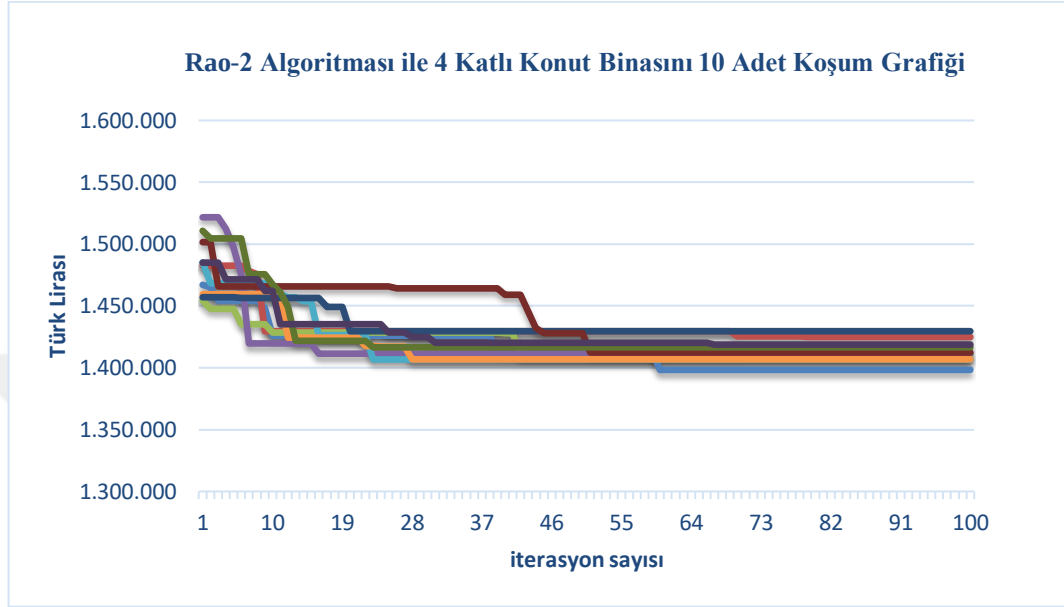
C113	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 3	0.45 x 0.30
C114	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 1	0.30 x 0.60
C115	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 2	0.30 x 0.60
C116	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 2	0.30 x 0.60
C117	0.30 x 0.80	Çevre Kolon 3	0.45 x 0.30
Dış kirişler	0.25 x 0.50	Dış kirişler	0.30 x 0.45
İç Kirişler	0.25 x 0.50	İç kirişler	0.25 x 0.85



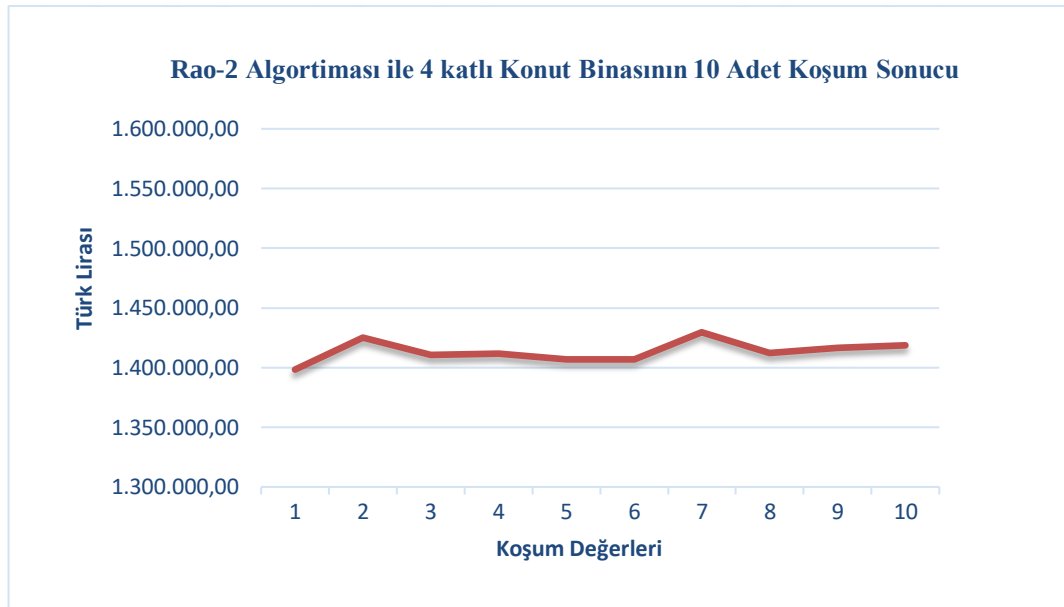
Şekil 65. 4 Katlı Konut Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Rao-2)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 65'te verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil- 66'da verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 67'de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda olduğu gösterilmektedir.

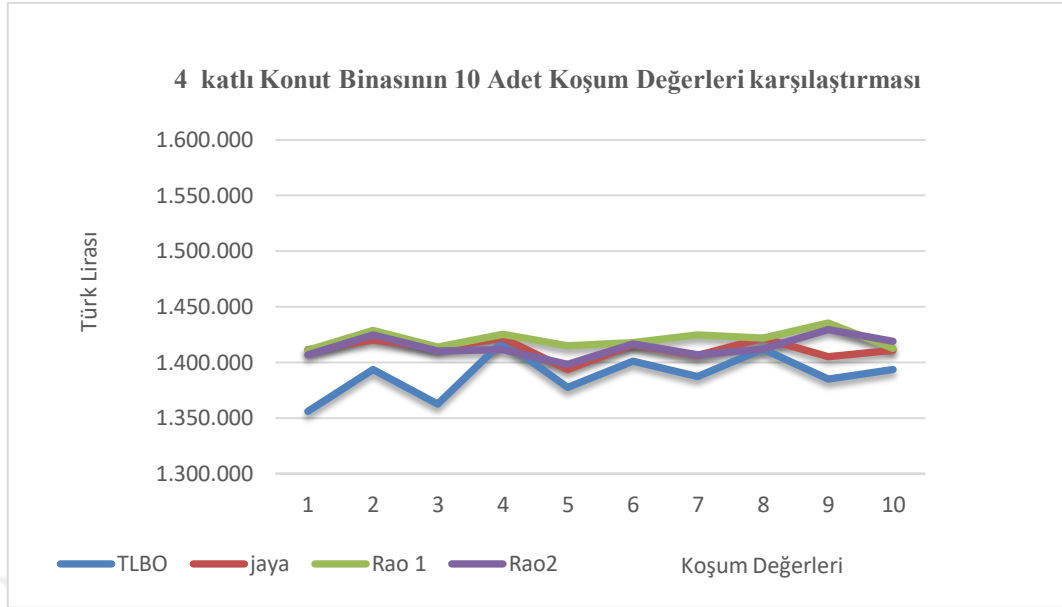
Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 66. 4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-2)



Şekil 67. 4 Katlı Konut Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-2)



Şekil 68. 4 Katlı Konut Binasında Farklı Algoritmalar Ait Koşum Sonuçlarının Karşılaştırılması

4 Katlı konut binasında TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 optimizasyon algoritmalarının yakınsama grafikleri şekil 68’de verilmiştir. Aynı şekilde farklı algoritmalar ait maliyet değerleri ve azaltım oranları tablo 36’de verilmiştir. 4 katlı konut binasında TLBO algoritmasının en iyi sonuç verdiği, diğer algoritmalarından, Java ve Rao-2 ve Rao-1 algoritmalarını sırasıyla en iyi azaltım oranına sahip olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 38. 4 Katlı Konut Binasındada Farklı Algoritmalar Ait Maliyet Azaltım Oranlarının Karşılaştırılması

Algoritmalar	TLBO	JAYA	RAO-1	RAO-2
Uygulamadaki Yaklaşık Maliyeti	1.557.992,32 TL	1.557.992,32 TL	1.557.992,32 TL	1.557.992,32 TL
Algoritma ile Bulunan Yaklaşık Maliyet	1.342.654,52 TL	1.393.658,46	1.410.912,86 TL	1.398.293,40TL
Azaltma Oranı %	% 13,821	% 10,547	% 9,4403	% 10,25

3.5. 10 Yataklı Hastane Binası

Tez Çalışmasında kullanılan betonarme yapı bodrum + zemin + 1 olmak üzere toplam 3 kattan oluşmaktadır. Taban oturum alanı 637 m^2 ve toplam inşaat alanı 1913 m^2 'dir. Bina 126 adet kolon, 32 adet perde, 213 adet Kiriş'e sahiptir. Bodrum çevresinde perde bulunmaktadır. Erzincan Özel İdare Müdürlüğü tarafından 10 yataklı devlet hastanesi olarak yaptırılmıştır. Yapım yılı 2013 olup, şekil 69'da yapı ait görsel verilmiştir. Çalışmada gerçek dünyaya ait betonarme yapı kullanılmıştır



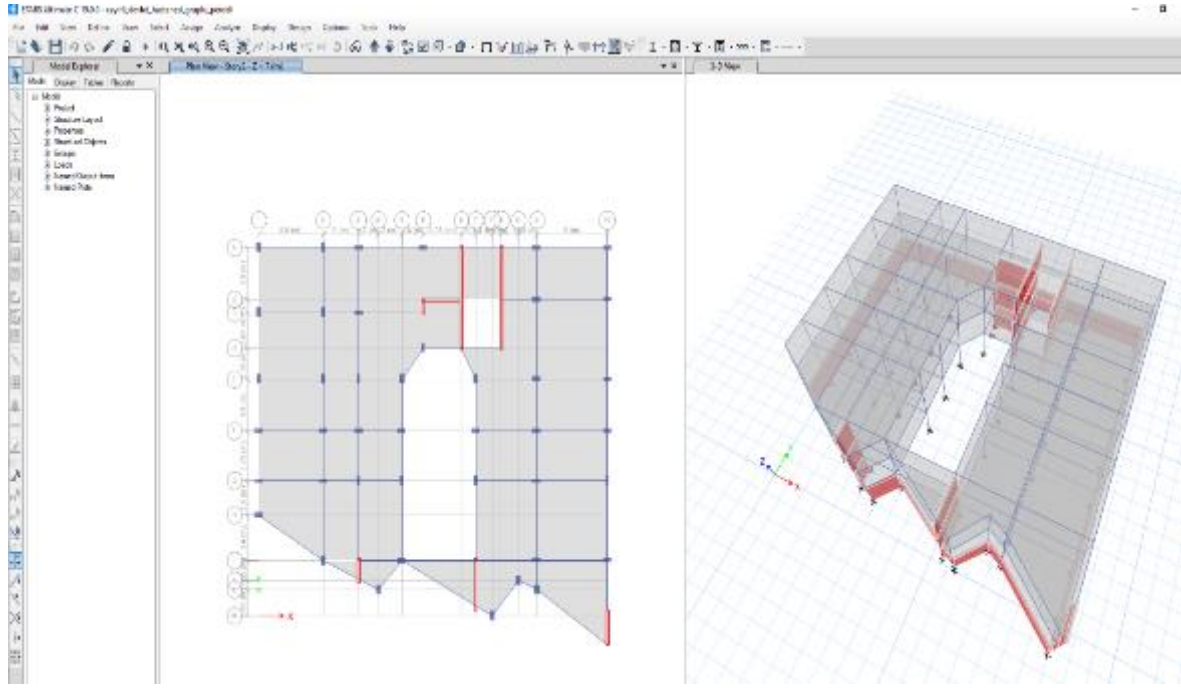
Şekil 69. 10 Yataklı Hastane Binası

Sayısal örnekte kullanılan yapının beton + demir + kalıp iş kalemleri olmak üzere toplam maliyet rakamları piyasa koşulları altında değerlendirilmiştir. Elde edilen değerler gerçek piyasa şartlarında belirlenmiştir. Beton, demir ve kalıp değerleri işçilik + maliyet birlikte olmak üzere hesaplanmıştır. Gerçek metraj verileri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2022 birim fiyatları ile çarpılarak toplam yaklaşık maliyet değerleri olarak elde edilmiştir.

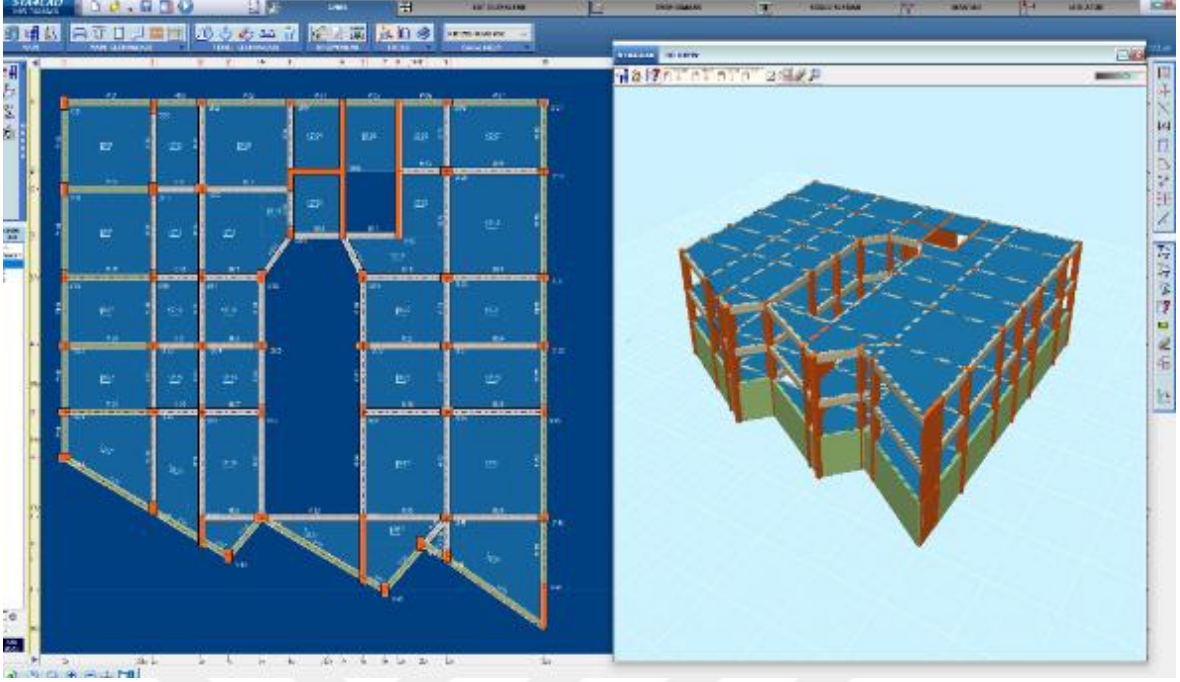
Örnek yapının tasarım-maliyet optimizasyonu için 4 farklı algoritma kullanılmıştır. Bunlar TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 algoritmalarıdır. Aynı zamanda bu algoritmalar hem kendi içlerinde hem de yapının gerçek yaklaşık maliyet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Beş

farklı yapı maliyeti için yapılan karşılaştırmalar hem çeşitli grafiklerle hem de sayısal veriler kullanılarak detaylı olarak yapılmıştır.

Çalışmada ilk olarak yüklenici (müteahhit) bilgilerinden başlanılmak üzere hangi paket programlarda ne gibi işlemlerin yapıldığı toplanmıştır. Yapı metraj değerleri ile statik programlara ait veriler toplanmıştır.



Şekil 70. Etabs Modeli, 10 Yataklı Hastane



Şekil 71. Sta4Cad Modeli, 10 Yataklı Hastane

Amaç fonksiyonu denklem 14’de verilmektedir. Bu denklemde $f_{maliyet}$ yapının kaba inşaatına ait yaklaşık maliyet bedelidir. D_{bf} İnşaat demirine ait Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞB) 2022 yılına ait birim fiyat bedelidir, D_m inşaat demirinin metrajı, B_{bf} ÇŞB 2022 yılına ait beton birim fiyat bedelidir, B_m inşaatta kullanılan beton metrajıdır, K_{bf} ÇŞB 2022 yılına ait kalıp birim fiyat bedelidir, K_m ise kalıp metrajıdır. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu ise denklem 15’de verilmektedir. Amaç fonksiyon değeri olan $f_{(X)}$, eleman sınırlayıcılara uymadığı takdirde $(1+C_K)$ değeri çarpılmaktadır. Ceza değeri beton metrajının 10^9 gibi büyük bir sayı ile çarpılarak elde edilmektedir.

Yapının yaklaşık maliyet ve hakediş değerleri amp programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 2.476.809,03 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16’da idm, denklem 18’de bm, denklem 20’de km ve denklem 22’de ykm formülleri verilmiştir. Gerçek piyasa koşullarında oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 60,10 \times 18.858,88 = 1.113.418,69 \text{ TL} \quad (83)$$

$$bm = 685,32 \times 982,73 = 673.484,52 \text{ TL} \quad (84)$$

$$km = 3088 \times 142,14 = 669.905,82 \text{ TL} \quad (85)$$

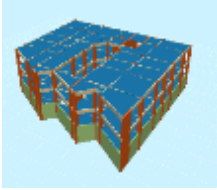
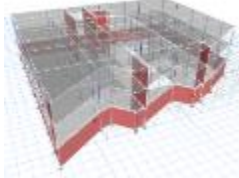
$$ykm = 1.113.418,69 + 673.484,52 + 669.905,82 = 2.476.809,03 \text{ TL} \quad (86)$$

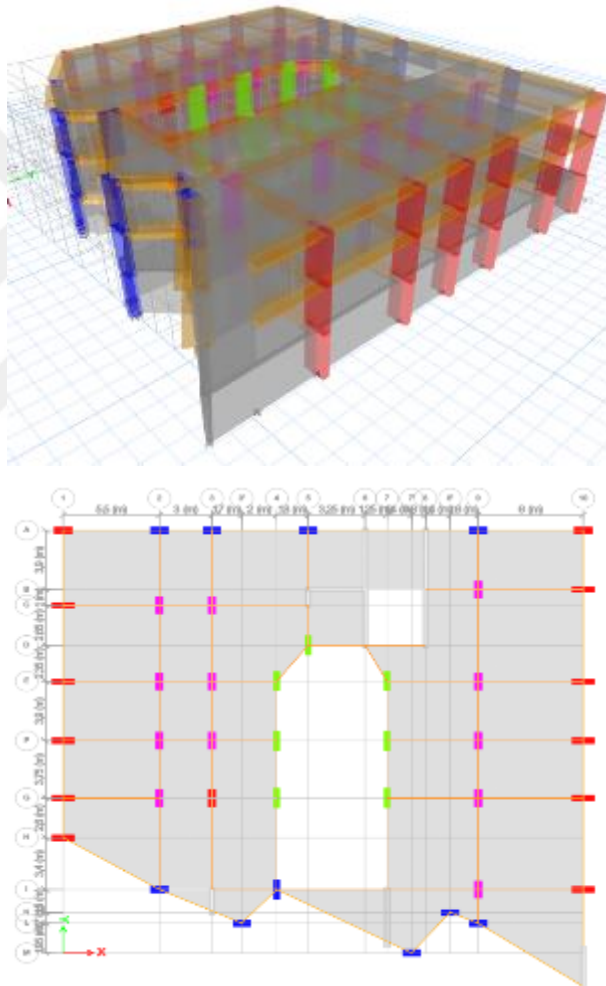
Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

Bina yapım aşamasında Sta4cad (STA4-CAD, 2020) programında tasarlanmıştır. İnşaat projesi hazırlanarak yapımı tamamlanmıştır. Tez çalışması kapsamında da yapı projeleri Sta4Cad ve Etabs programlarında modellenerek periyot ve mod şekilleri doğrulanmıştır. Bu şekilde bilgisayarda tasarlanan modellerin gerçeğe uygun olduğu kontrol edilmiştir. Etabs programında hazırlanan yapı modeli Şekil 70’de verilmektedir. Şekil 71 ‘de bina modelinin Sta4cad görseli verilmektedir. Etabs programında betonarme yapı hazırlanmıştır ve yapı elemanlarına ait kesitler aynen uygulanmıştır. Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve TS 500 ‘deki koşullara göre tasarım yapılması istenmiştir.

Her iki modele ait periyot değerleri karşılaştırılarak örneklerin doğrulaması yapılmıştır, karşılaştırma modelleri tablo 37’de verilmektedir. Betonarme yapıların dijital ortamda doğrulanmasından sonra statik plan üzerinde kesitler belirlenmiştir. Bunun için gruplama yöntemi tercih edilmiştir. Bu sayede plan üzerinde istenilen simetri elde edilebilmektedir. Bu işlemle statik planda benzer konumdaki kolonlar ve kirişler aynı kesit özelliklerinin atanması sağlanmıştır. Kesitlerin belirli gruplar içinde aynı olması saha uygulamalarını ciddi anlamda kolaylaştırmaktadır. Şekil 72’de gruplaması yapılan yapı elemanları farklı renklerle gösterilmiştir.

Tablo 39. Yapıların Periyot Karşılaştırması 3 Katlı Bina (10 Yataklı Hastane)

Mod	Sta4cad Model	Modal Frekans (Hz)	Etabs Model	Modal Frekans (Hz)
1		0,2151		0,1773



Şekil 72. Yapı Elemanlarının Renkli Gruplandırılması (10 Yataklı Hastane)

Yapı elemanlarının gruplandırılmasından sonra MATLAB ortamında hazırlanan ACDOS programı çalıştırılmaktadır. Matlab-Etabs entegrasyonu sağlanarak program döngüsü başlatılır ve hangi kolon ve kiriş kesitlerinin kullanılacağı kullanıcıdan

istenmektedir. Çalışma kapsamında 232 farklı kolon ve 40 farklı kiriş kesitinden yararlanılmıştır. Optimum değerlerin bulunması için diğer çalışmalardan farklı olarak Uygulamada kullanılacak olan kolonlara tasarım değişkenleri tablo 8’de ve kirişlere ait tasarım değişkenleri tablo 7’de verilmektedir.

3.5.1. 10 Yataklı Hastane Binasının Jaya Algoritması ile Çözümü

Yapının Jaya algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 2.179.011,27TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16’da idm , denklem 18’de bm , denklem 20’de km ve denklem 22’de ykm formülleri verilmiştir. Jaya algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 49,70 \times 18.858,88 = 937.286,34 \text{ TL} \quad (87)$$

$$bm = 633,50 \times 982,73 = 622.563,09 \text{ TL} \quad (88)$$

$$km = 4356 \times 142,14 = 619.161,84 \text{ TL} \quad (89)$$

$$ykm = 937.286,34 + 622.563,09 + 619.161,84 = 2.179.011,27 \text{ TL} \quad (90)$$

Verilen denklemlerde idm : İnşaat demir maliyeti, dm : Ton cinsinden demir miktarı, dbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm : beton maliyeti, bmi : m3 olarak beton miktarı, bbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km : Kalıp maliyeti, kmi : Kalıp miktarı, kbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm : Yaklaşık maliyet bedelidir.

Jaya algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 10 yataklı hastane binasının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 2.476.809,03 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 2.179.011,27 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Jaya algoritması ile %12,023

olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğuna ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 38’de Jaya algoritması ile yapılan sonuçları verilmiştir.

Tablo 40. Jaya Algoritmasına Ait Veriler (10 yataklı Hastane)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Jaya	10	30	100	2.476.809,03TL	2.179.011,27 TL	% 12,02

Jaya algoriyması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri tablo 39’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 41. 10 yataklı Hastaneye Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Jaya)

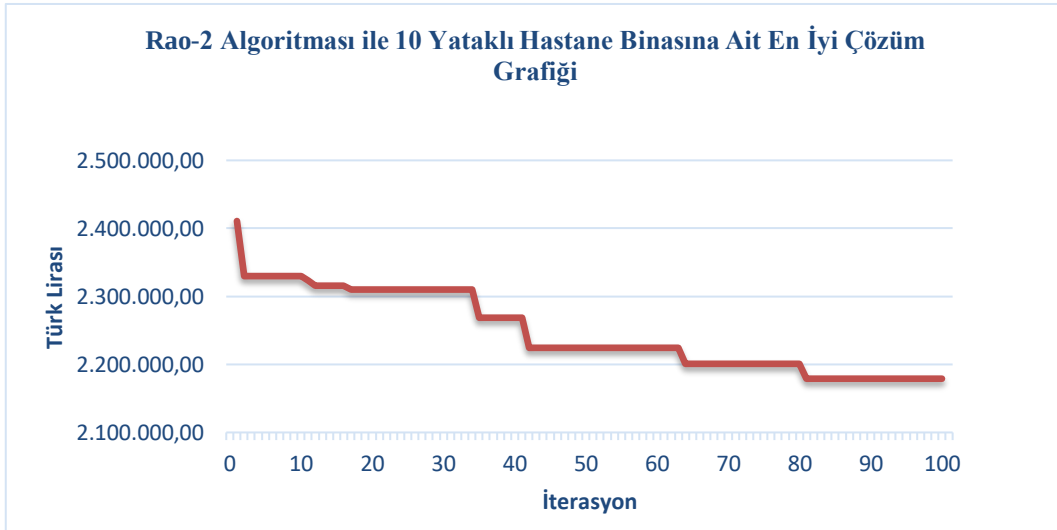
Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	0.40 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.30
C102	0.30 x 0.70	Kolon x-x	0.30 x 0.40
C103	0.60 x 0.30	Kolon x-x	0.30 x 0.40
C104	0.60 x 0.30	Kolon x-x	0.30 x 0.40
C105	0.60 x 0.30	Kolon x-x	0.30 x 0.40
C106	0.60 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.30
C107	0.40 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.30
C108	0.40 x 0.70	Orta Kolon 1	0.30 x 0.45

Tablo 41'in devamı

C109	0.70 x 0.40	Orta Kolon 1	0.30 x 0.45
C110	0.70 x 0.10	Orta Kolon 1	0.30 x 0.45
C111	0.40 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.30
C112	0.30 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.30
C113	0.30 x 0.70	Orta Kolon 1	0.30 x 0.45
C114	0.30 x 0.70	Orta Kolon 1	0.30 x 0.45
C115	0.30 x 0.60	Orta Kolon 2	0.30 x 0.30
C116	0.40 x 0.70	Orta Kolon 2	0.25 x 0.90
C117	0.40 x 0.70	Orta Kolon 2	0.30 x 0.70
C118	0.70 x 0.40	Orta Kolon 1	0.30 x 0.45
C119	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.30
C120	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.30
C121	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.45
C122	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.45
C123	0.70 x 0.30	Orta Kolon 2	0.30 x 0.30
C124	0.70 x 0.30	Orta Kolon 2	0.30 x 0.30
C125	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.45
C126	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.30
C127	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.30
C128	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.45
C129	0.30 x 0.70	Orta Kolon 3	0.50 x 0.45
C130	0.30 x 0.70	Orta Kolon 2	0.30 x 0.30
C131	0.30 x 0.70	Orta Kolon 2	0.30 x 0.30

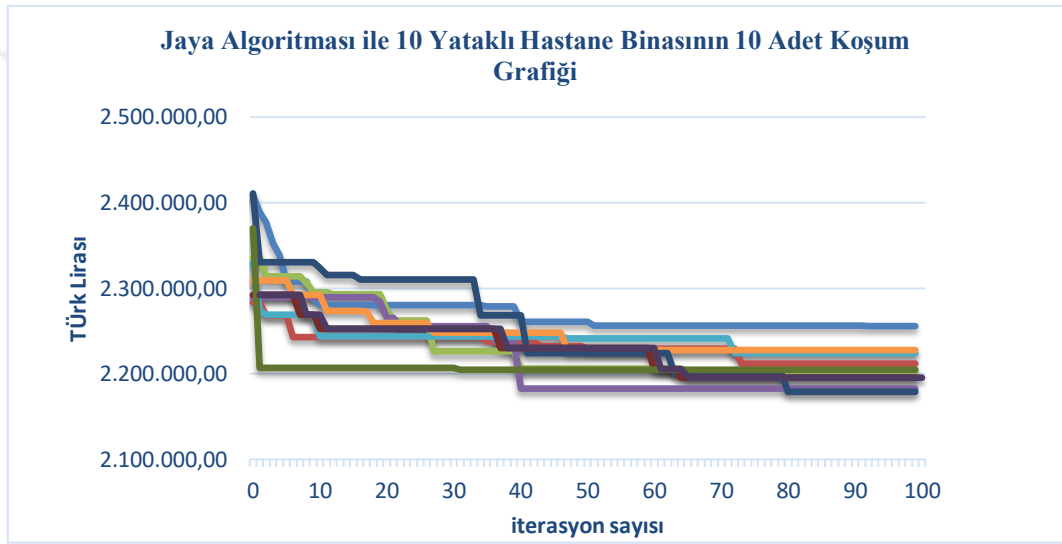
Tablo 41'in devamı

C132	0.70 x 0.40	Orta Kolon 1	0.30 x 0.45
C133	0.30 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.30
C134	0.70 x 0.40	Kolon y-y	0.30 x 0.30
C135	0.40 x 0.70	Kolon x-x	0.30 x 0.40
C136	0.70 x 0.40	Kolon x-x	0.30 x 0.40
C137	0.70 X 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.45
C138	0.70 X 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.30
C139	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.30 x 0.40
C140	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.30 x 0.40
C141	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.30 x 0.40
C142	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.30 x 0.40
İç kirişler	0.30 X 0.60	İç Kirişler	0.40 x 0.45
Dış Kirişler	0.30 X 0.60	Dış Kirişler	0.25 x 0.50

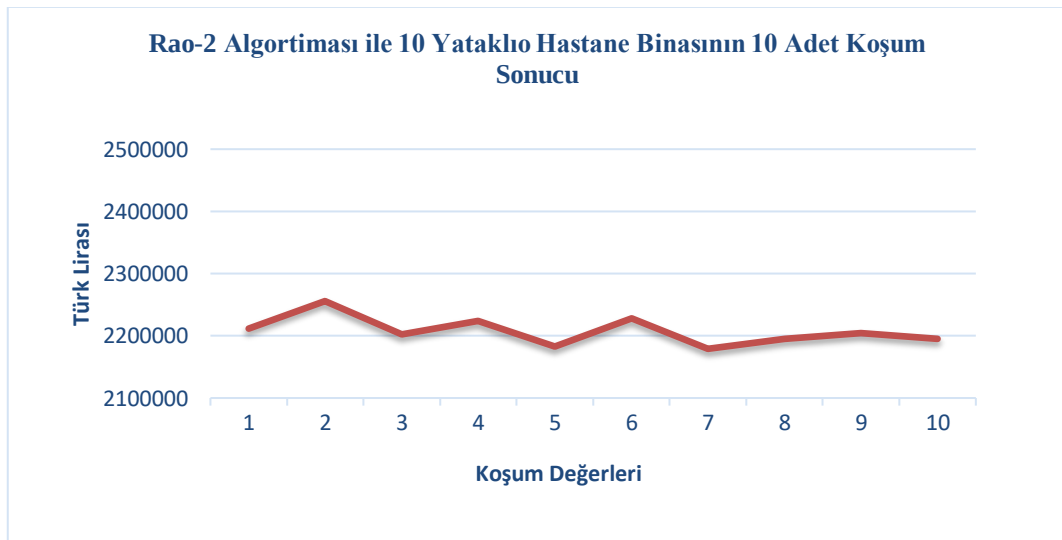


Şekil 73. 10 Yataklı Hastane Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Jaya)

Yapılan analizlerde 10 adet koşul değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 73’de verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşul değerinin hepsi birlikte şekil 74’de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 75’te 10 adet koşul değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşul 30 popülasyon ve 100 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 74. 10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Jaya)



Şekil 75. 10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Jaya)

3.5.2. 10 Yataklı Hastane Binasının TLBO Algoritması ile Çözümü

Yapının TLBO algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 2.154.744,34 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm, denklem 18'de bm, denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. TLBO algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$\text{idm} = 48,870 \times 18.858,88 = 921.633,47 \text{ TL} \quad (91)$$

$$\text{bm} = 629,08 \times 982,73 = 618.213,23 \text{ TL} \quad (92)$$

$$\text{km} = 4326 \times 142,14 = 614.897,64 \text{ TL} \quad (93)$$

$$\text{ykm} = 921.633,47 + 618.213,23 + 614.897,64 = 2.154.744,34 \text{ TL} \quad (94)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m³ olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

TLBO algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 10 yataklı hastane binasının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 2.476.809,03 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 2.154.744,34 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti TLBO algoritması ile %13,00 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 40'de TLBO algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 42. TLBO Algoritmasına Ait Veriler (10 yataklı Hastane)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
TLBO	10	30	50	2.476.809,03TL	2.154.744,34TL	% 13,00

TLBO algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri Tablo 41’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 43. 10 yataklı Hastaneye Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (TLBO)

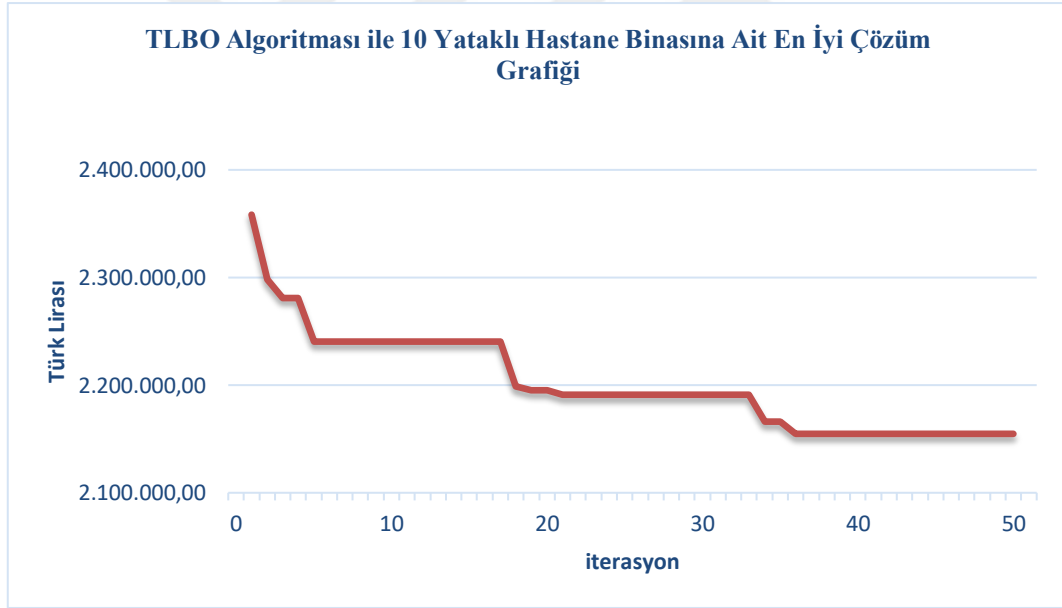
Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	0.40 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C102	0.30 x 0.70	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C103	0.60 x 0.30	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C104	0.60 x 0.30	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C105	0.60 x 0.30	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C106	0.60 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C107	0.40 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C108	0.40 x 0.70	Orta Kolon 1	0.35 x 0.45
C109	0.70 x 0.40	Orta Kolon 1	0.35 x 0.45
C110	0.70 x 0.10	Orta Kolon 1	0.35 x 0.45
C111	0.40 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C112	0.30 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C113	0.30 x 0.70	Orta Kolon 1	0.35 x 0.45

Tablo 43'ün devamı

C114	0.30 x 0.70	Orta Kolon 1	0.35 x 0.45
C115	0.30 x 0.60	Orta Kolon 2	0.30 x 0.45
C116	0.40 x 0.70	Orta Kolon 2	0.30 x 0.45
C117	0.40 x 0.70	Orta Kolon 2	0.30 x 0.45
C118	0.70 x 0.40	Orta Kolon 1	0.35 x 0.45
C119	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C120	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C121	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.35 x 0.45
C122	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.35 x 0.45
C123	0.70 x 0.30	Orta Kolon 2	0.30 x 0.45
C124	0.70 x 0.30	Orta Kolon 2	0.30 x 0.45
C125	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.35 x 0.45
C126	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C127	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C128	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.35 x 0.45
C129	0.30 x 0.70	Orta Kolon 3	0.35 x 0.30
C130	0.30 x 0.70	Orta Kolon 2	0.30 x 0.45
C131	0.30 x 0.70	Orta Kolon 2	0.30 x 0.45
C132	0.70 x 0.40	Orta Kolon 1	0.35 x 0.45
C133	0.30 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C134	0.70 x 0.40	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C135	0.40 x 0.70	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C136	0.70 x 0.40	Kolon x-x	0.35 x 0.30

Tablo 43'ün devamı

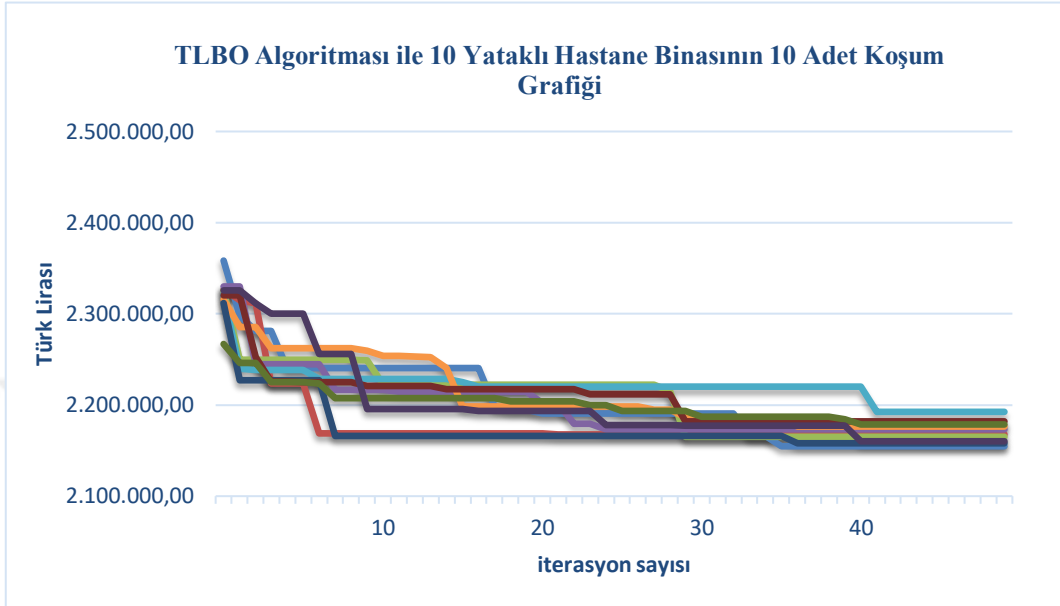
C137	0.70 X 0.30	Orta Kolon 1	0.35 x 0.45
C138	0.70 X 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C139	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C140	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C141	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C142	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.35 x 0.30
İç kirişler	0.30 X 0.60	İç Kirişler	0.25x 0.50
Dış Kirişler	0.30 X 0.60	Dış Kirişler	0.25 x 0.50



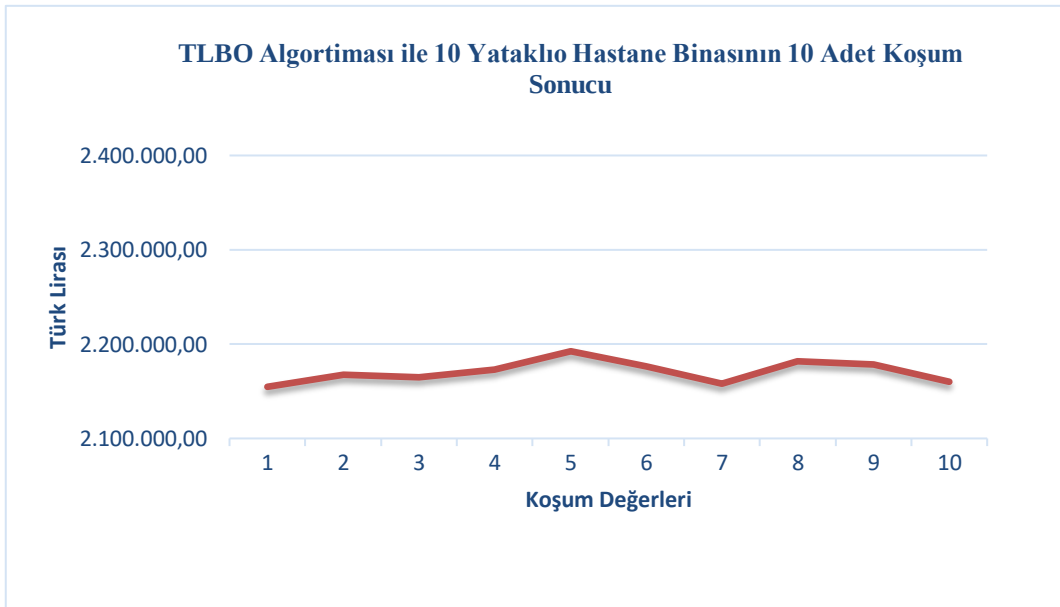
Şekil 76. 10 Yataklı Hastane Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Jaya)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 76'da verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil 77'de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 78'de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda olduğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 50 jenerasyon değeri çözüm

kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 77. 10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (TLBO)



Şekil 78. 10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Jaya)

3.5.3. 10 Yataklı Hastane Binasının Rao-1 Algoritması ile Çözümü

Yapının Rao-1 algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 2.186.606,24 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm, denklem 18'de bm, denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Rao-1 algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 49,925 \times 18.858,88 = 941.537,13 \text{ TL} \quad (95)$$

$$bm = 635,17 \times 982,73 = 624.201,60 \text{ TL} \quad (96)$$

$$km = 4368 \times 142,14 = 620.867,52 \text{ TL} \quad (97)$$

$$ykm = 941.537,13 + 624.201,60 + 620.867,52 = 2.186.606,24 \text{ TL} \quad (9899)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

Rao-1 algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 10 jenerasyonu için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 10 yataklı hastane binasının yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 2.476.809,03 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 2.186.606,24 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Rao-1 algoritması ile %11,716 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 42'de Rao-1 algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 44. Rao-1 Algoritmasına Ait Veriler (10 yataklı Hastane)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Rao-1	10	30	100	2.476.809,03 TL	2.186.606,24 TL	% 11,716

Rao-1 algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri tablo 43’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 45. 10 yataklı Hastaneye Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-1)

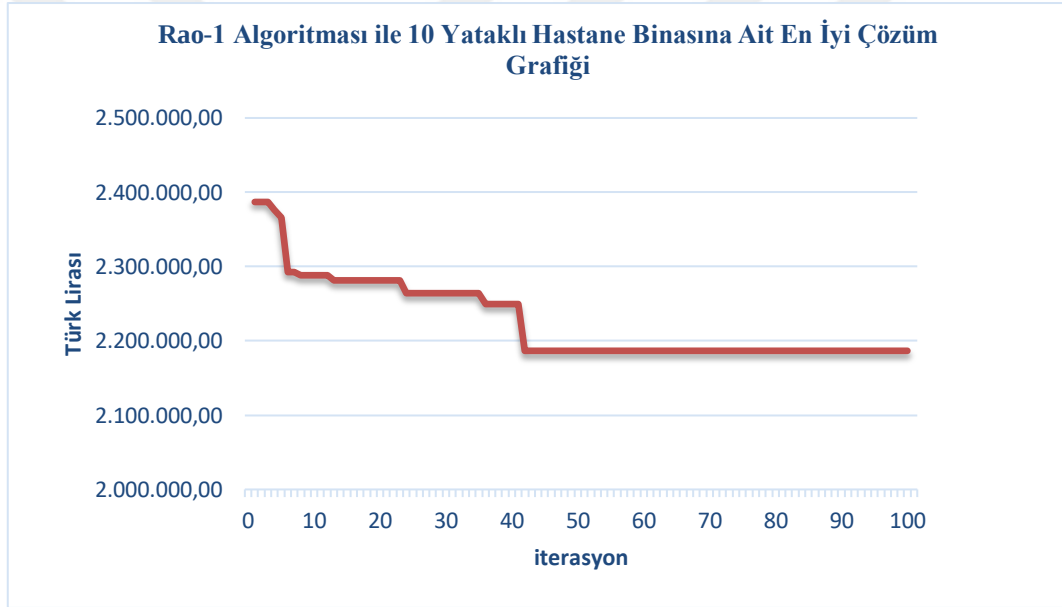
Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	0.40 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C102	0.30 x 0.70	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C103	0.60 x 0.30	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C104	0.60 x 0.30	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C105	0.60 x 0.30	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C106	0.60 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C107	0.40 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C108	0.40 x 0.70	Orta Kolon 1	0.35 x 0.40
C109	0.70 x 0.40	Orta Kolon 1	0.35 x 0.40
C110	0.70 x 0.10	Orta Kolon 1	0.35 x 0.40
C111	0.40 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C112	0.30 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C113	0.30 x 0.70	Orta Kolon 1	0.35 x 0.40
C114	0.30 x 0.70	Orta Kolon 1	0.35 x 0.40

Tablo 45'in devamı

C115	0.30 x 0.60	Orta Kolon 2	0.50 x 0.30
C116	0.40 x 0.70	Orta Kolon 2	0.50 x 0.30
C117	0.40 x 0.70	Orta Kolon 2	0.50 x 0.30
C118	0.70 x 0.40	Orta Kolon 1	0.35 x 0.40
C119	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C120	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C121	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.35 x 0.40
C122	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.35 x 0.40
C123	0.70 x 0.30	Orta Kolon 2	0.50 x 0.30
C124	0.70 x 0.30	Orta Kolon 2	0.50 x 0.30
C125	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.35 x 0.40
C126	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C127	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C128	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.35 x 0.40
C129	0.30 x 0.70	Orta Kolon 3	0.40 x 1.25
C130	0.30 x 0.70	Orta Kolon 2	0.50 x 0.30
C131	0.30 x 0.70	Orta Kolon 2	0.50 x 0.30
C132	0.70 x 0.40	Orta Kolon 1	0.35 x 0.40
C133	0.30 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C134	0.70 x 0.40	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C135	0.40 x 0.70	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C136	0.70 x 0.40	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C137	0.70 X 0.30	Orta Kolon 1	0.35 x 0.40
C138	0.70 X 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35

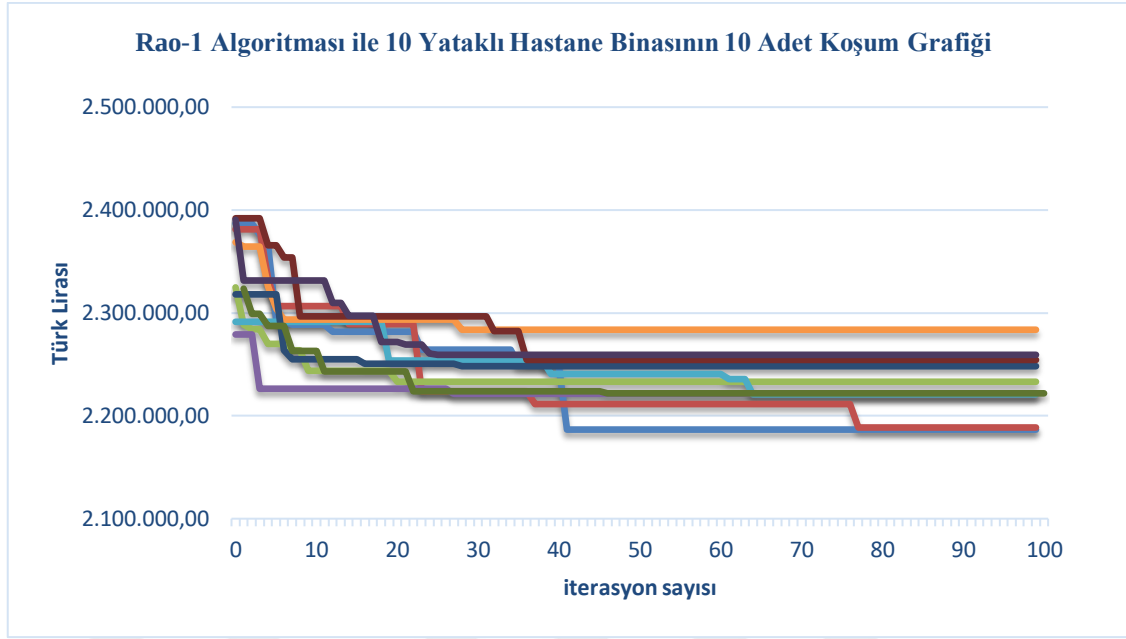
Tablo 45'in devamı

C139	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C140	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C141	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.35 x 0.30
C142	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.35 x 0.30
İç kirişler	0.30 X 0.60	İç Kirişler	0.25x 0.70
Dış Kirişler	0.30 X 0.60	Dış Kirişler	0.25 x 0.50

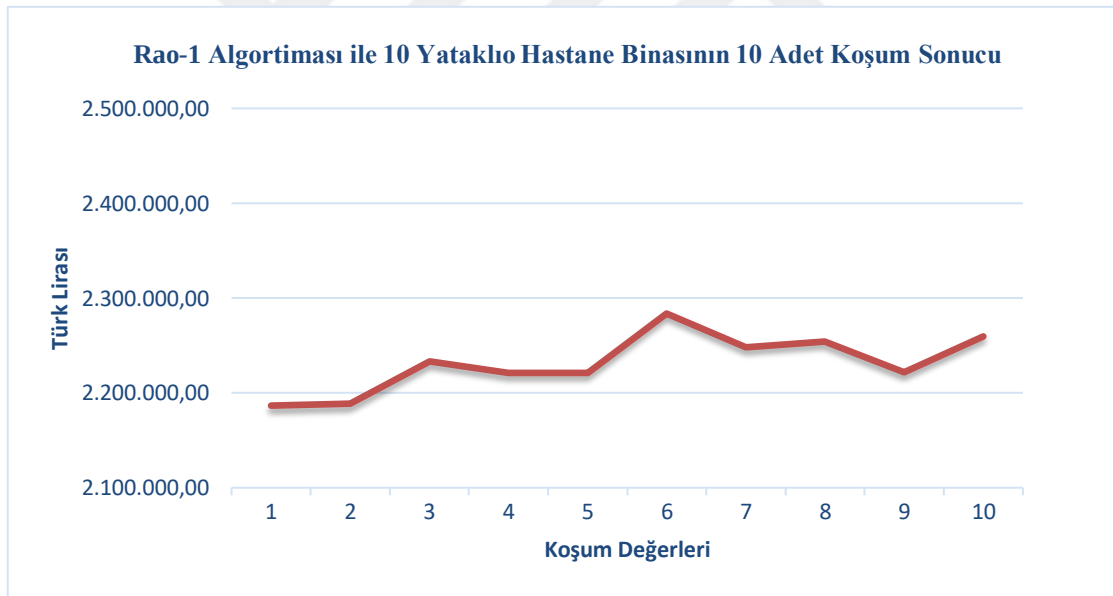


Şekil 79. 10 Yataklı Hastane Binası En İyi Çözümüne Ait Grafik (Rao-1)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 79'da verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil- 80'de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 81'de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 80. 10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-1)



Şekil 81. 10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-1)

3.5.4. 10 Yataklı Hastane Binasının Rao-2 Algoritması ile Çözümü

Yapının Rao-2 algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 2.196.178,89 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm, denklem 18'de bm, denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Rao-2 algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 49,223 \times 18.858,88 = 928.290,65 \text{ TL} \quad (100)$$

$$bm = 646,82 \times 982,73 = 635.649,52 \text{ TL} \quad (101)$$

$$km = 4448 \times 142,14 = 632.238,72 \text{ TL} \quad (102)$$

$$ykm = 928.290,65 + 635.649,52 + 632.238,72 = 2.196.178,89 \text{ TL} \quad (103)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

Rao-2 algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 10 yataklı hastane binasının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 2.476.809,03 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 2.196.178,89 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Rao-2 algoritması ile %11,33 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 44'da Rao-2 algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 46. Rao-2 Algoritmasına Ait Veriler (10 yataklı Hastane)

Algoritma	Koşu m	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Rao-2	10	30	100	2.476.809TL	2.196.780TL	% 11,33

Rao-2 algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri tablo 45’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 47. 10 yataklı Hastaneye Ait İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-2)

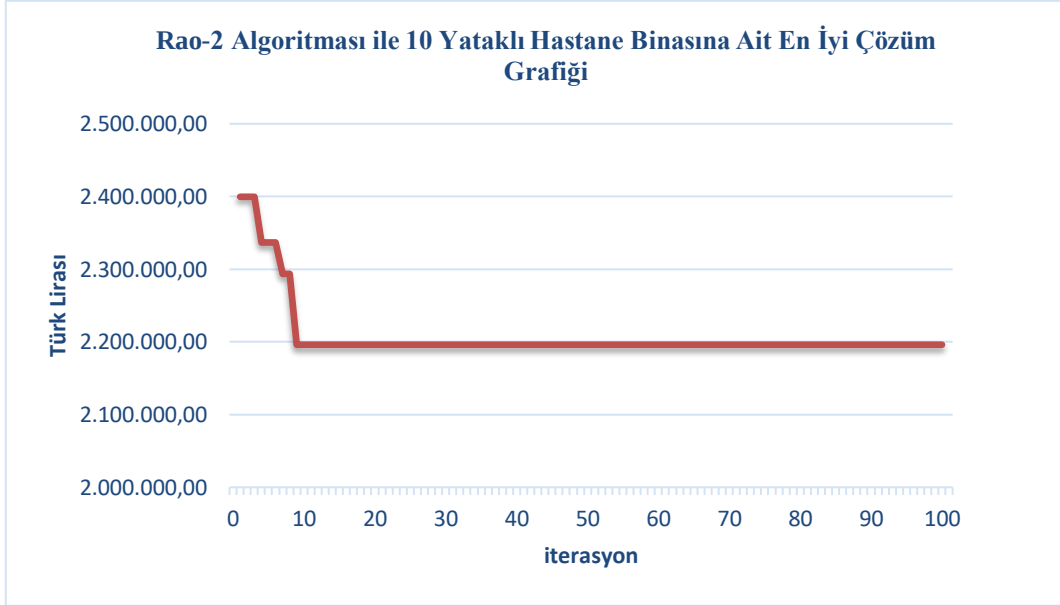
Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	0.40 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C102	0.30 x 0.70	Kolon x-x	0.40 x 0.45
C103	0.60 x 0.30	Kolon x-x	0.40 x 0.45
C104	0.60 x 0.30	Kolon x-x	0.40 x 0.45
C105	0.60 x 0.30	Kolon x-x	0.40 x 0.45
C106	0.60 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C107	0.40 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C108	0.40 x 0.70	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C109	0.70 x 0.40	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C110	0.70 x 0.10	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C111	0.40 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C112	0.30 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C113	0.30 x 0.70	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80

Tablo 47'nin devamı

C114	0.30 x 0.70	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C115	0.30 x 0.60	Orta Kolon 2	0.35 x 0.40
C116	0.40 x 0.70	Orta Kolon 2	0.35 x 0.40
C117	0.40 x 0.70	Orta Kolon 2	0.35 x 0.40
C118	0.70 x 0.40	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C119	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C120	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C121	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C122	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C123	0.70 x 0.30	Orta Kolon 2	0.35 x 0.40
C124	0.70 x 0.30	Orta Kolon 2	0.35 x 0.40
C125	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C126	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C127	0.70 x 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C128	0.70 x 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C129	0.30 x 0.70	Orta Kolon 3	0.30 x 0.60
C130	0.30 x 0.70	Orta Kolon 2	0.35 x 0.40
C131	0.30 x 0.70	Orta Kolon 2	0.35 x 0.40
C132	0.70 x 0.40	Orta Kolon 1	0.30 x 0.80
C133	0.30 x 0.70	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C134	0.70 x 0.40	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C135	0.40 x 0.70	Kolon x-x	0.40 x 0.45
C136	0.70 x 0.40	Kolon x-x	0.40 x 0.45
C137	0.70 X 0.30	Orta Kolon 1	0.30 x 0.8

Tablo 47'nin devamı

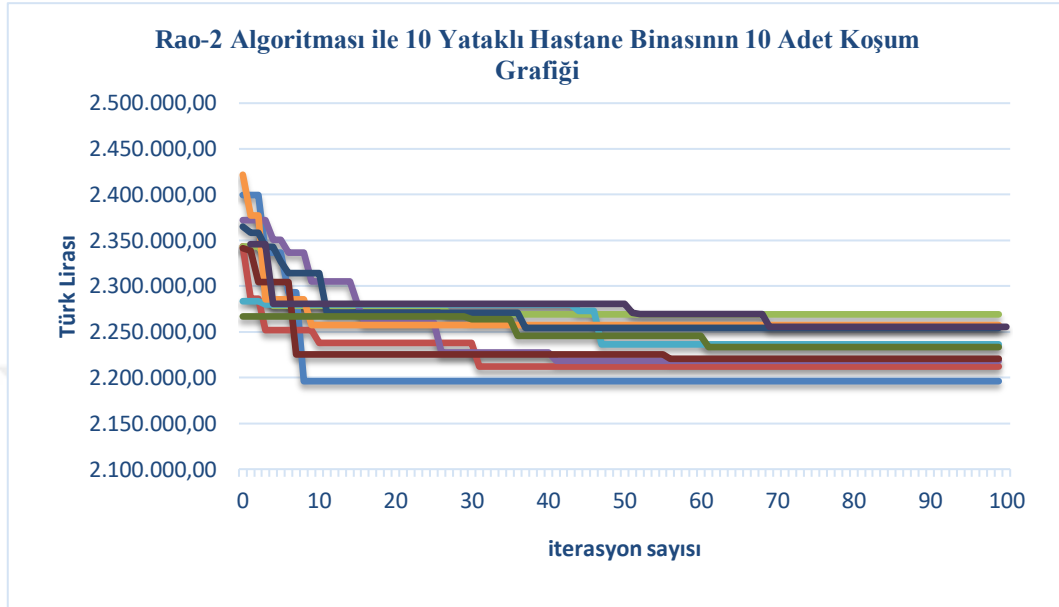
C138	0.70 X 0.30	Kolon y-y	0.30 x 0.35
C139	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.40 x 0.45
C140	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.40 x 0.45
C141	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.40 x 0.45
C142	0.40 X 0.70	Kolon x-x	0.40 x 0.45
İç kirişler	0.30 X 0.60	İç Kirişler	0.40 x 0.50
Dış Kirişler	0.30 X 0.60	Dış Kirişler	0.25 x 0.65



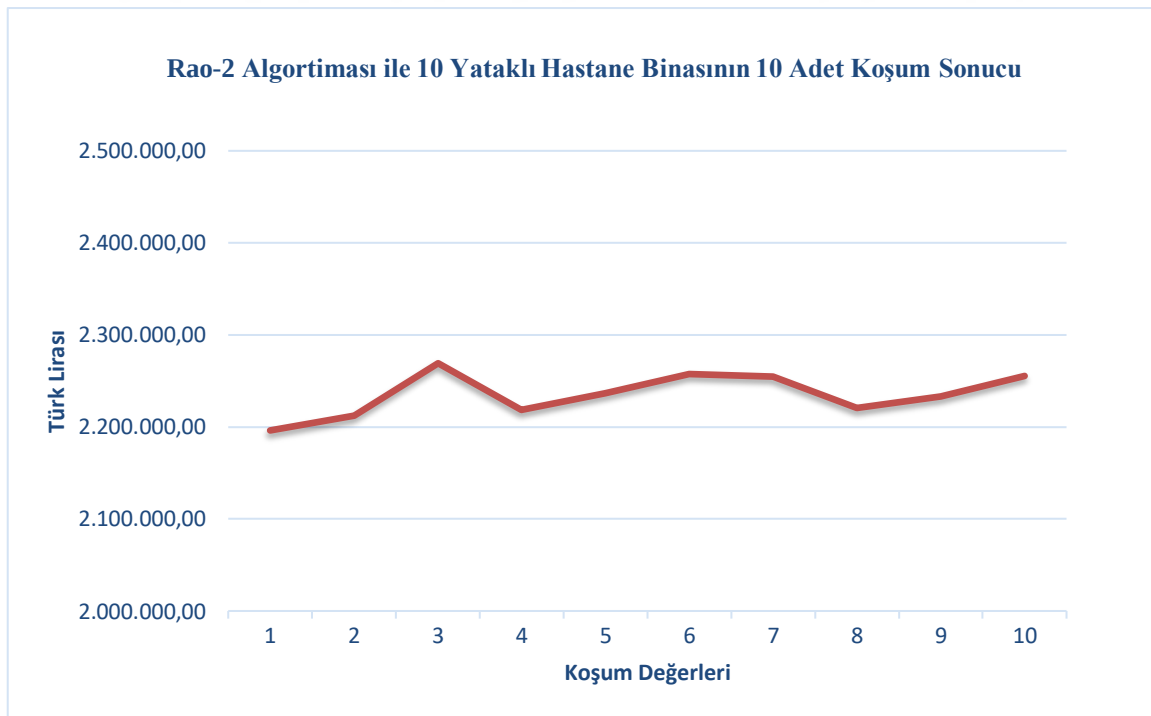
Şekil 82. 10 Yataklı Hastane Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (Rao-2)

Yapılan analizlerde 10 adet koşul değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil-82 verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşul değerinin hepsi birlikte şekil 83'de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 84'te 10 adet koşul değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşul 30 popülasyon ve 100 jenerasyon değeri çözüm

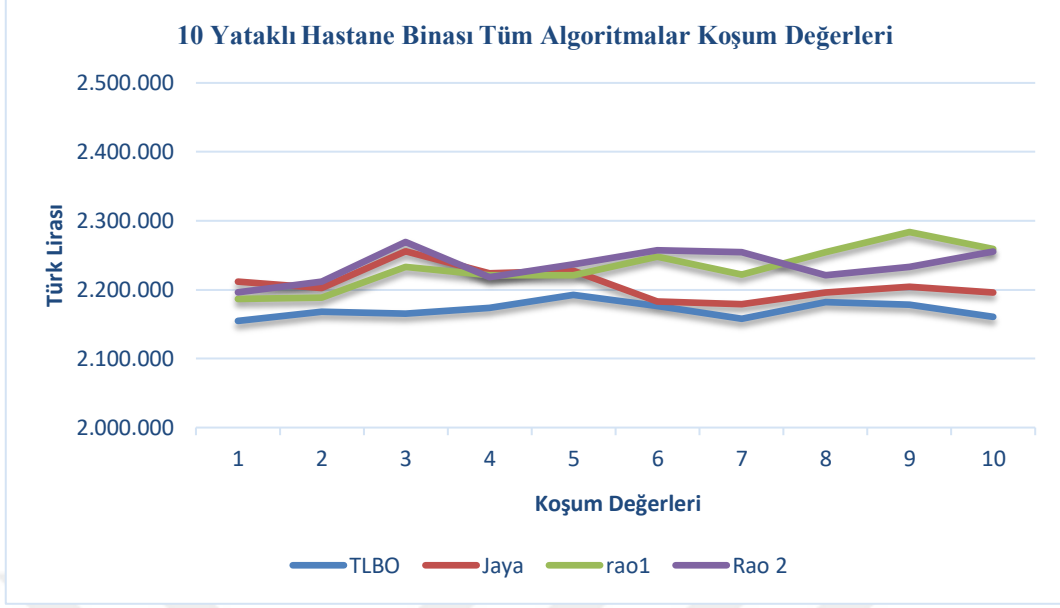
kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 83. 10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-2)



Şekil 84. 10 Yataklı Hastane Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-2)



Şekil 85. 10 yataklı Hastane Farklı Algoritmalar Ait Koşum Değerlerinin Karşılaştırılması

10 Yataklı Hastanede TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 optimizasyon algoritmalarının yakınsama grafikleri şekil 85’te verilmiştir. Aynı şekilde farklı algoritmalar a ait maliyet değerleri ve azaltım oranları tablo 46’de verilmiştir. 10 yataklı hastanede TLBO algoritmasının en iyi sonuç verdiği, diğer algoritmalarından Jaya, Rao-1, ve Rao-2 algoritmalarını sırasıyla en iyi azaltım oranına sahip olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 48. 10 yataklı Hastane Binasında Farklı Algoritmalar Ait Maliyet Azaltım Oranlarının Karşılaştırılması

Algoritmalar	TLBO	JAYA	RAO-1	RAO-2
Uygulamadaki Yaklaşık Maliyeti	2.476.809,03 TL	2.476.809,03 TL	2.476.809,03 TL	2.476.809,03 TL
Algoritma ile Bulunan Yaklaşık Maliyet	2.154.744,34 TL	2.179.011,27 TL	2.186.606,24 TL	2.196.78,89 TL
Azaltma Oranı %	% 13,00	% 12,023	% 11,716	% 11,33

3.6. 12 Derslikli Okul

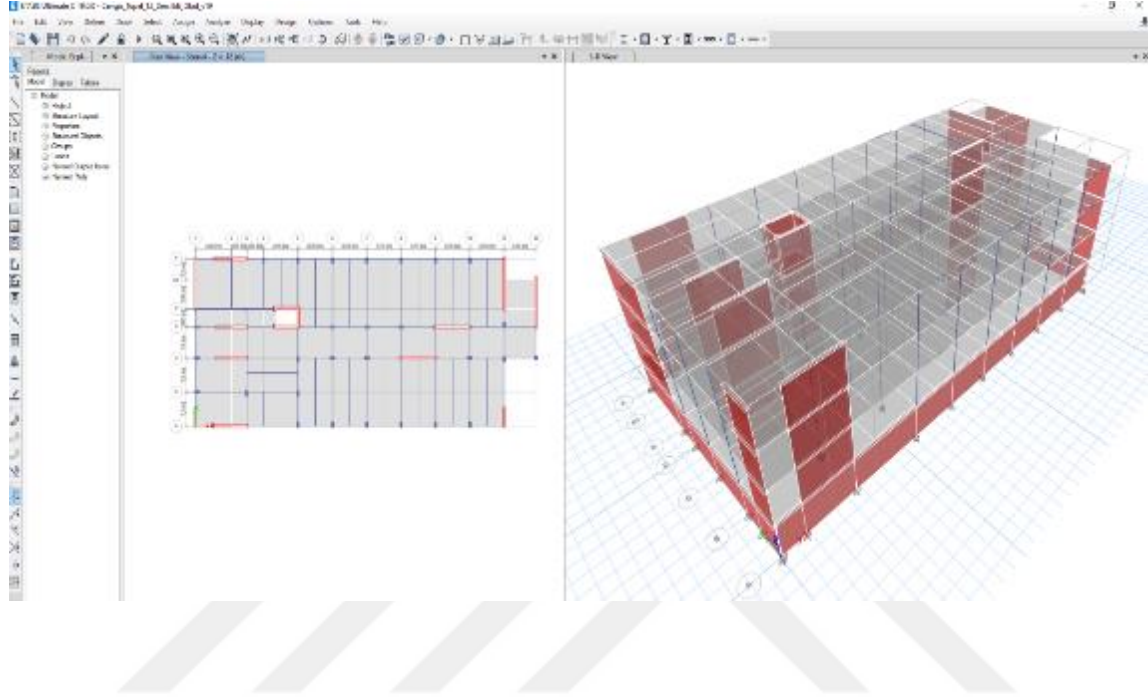
Tez Çalışmasında kullanılan betonarme yapı bodrum + zemin + 1 olmak üzere toplam 3 kattan oluşmaktadır. Taban oturum alanı 601 m^2 ve toplam inşaat alanı 2405 m^2 'dir. Bina 116 adet kolon, 76 adet perde, 332 adet kiriş'e sahiptir. Bodrum çevresinde perde bulunmaktadır. Erzincan Özel İdare Müdürlüğü tarafından 12 derslikli okul olarak yaptırılmıştır. Yapım yılı 2011 olup, şekil 86'da kaba inşaat ve tüm inşaat işlerinin bittikten sonraki durumu verilmektedir. Çalışmada gerçek dünyaya ait betonarme yapı kullanılmıştır



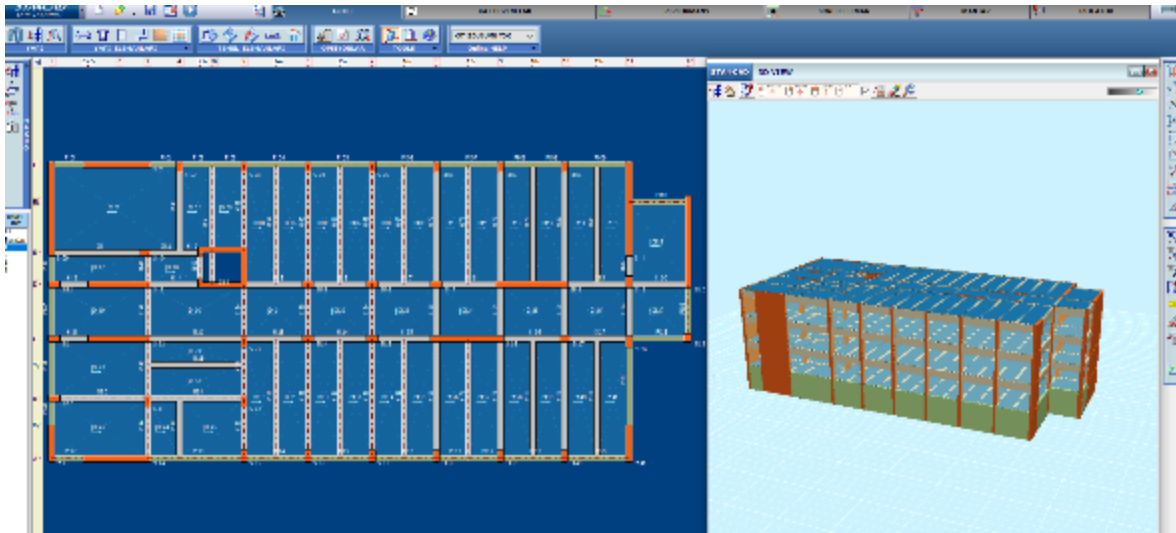
Şekil 86. 12 Derslikli Okul Görseli

Sayısal örnekte kullanılan yapının beton + demir + kalıp iş kalemleri olmak üzere toplam maliyet rakamları piyasa koşulları altında değerlendirilmiştir. Elde edilen değerler gerçek piyasa şartlarında belirlenmiştir. Beton, demir ve kalıp değerleri işçilik + maliyet birlikte olmak üzere hesaplanmıştır. Gerçek metraj verileri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2022 birim fiyatları ile çarpılarak toplam yaklaşık maliyet değerleri olarak elde edilmiştir. Bu bölümde örnek yapının tasarım-maliyet optimizasyonu için 4 farklı algoritma kullanılmıştır. Bunlar TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 algoritmalarıdır. Aynı zamanda bu algoritmalar hem kendi içlerinde hem de yapının gerçek yaklaşık maliyet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Beş farklı yapı maliyeti için yapılan karşılaştırmalar hem çeşitli grafiklerle hem de sayısal veriler kullanılarak detaylı olarak yapılmıştır.

Çalışmada ilk olarak yüklenici (müteahhit) bilgilerinden başlanılmak üzere hangi paket programlarda ne gibi işlemlerin yapıldığı toplanmıştır. Yapı metraj değerleri ile statik programlara ait veriler toplanmıştır



Şekil 87. Etabs Modeli, 12 Derslikli Okul



Şekil 88. Sta4Cad Modeli, 12 Derslikli Okul

Amaç fonksiyonu denklem 14'te verilmektedir. Bu denklemde $f_{maliyet}$ yapının kaba inşaatına ait yaklaşık maliyet bedelidir. D_{bf} İnşaat demirine ait Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞB) 2022 yılına ait birim fiyat bedelidir, D_m inşaat demirinin metrajı, B_{bf} ÇŞB 2022 yılına ait beton birim fiyat bedelidir, B_m inşaatta kullanılan beton metrajıdır, K_{bf} ÇŞB 2022 yılına ait kalıp birim fiyat bedelidir, K_m ise kalıp metrajıdır. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu ise denklem 15'te verilmektedir. Amaç fonksiyon değeri olan $f_{(x)}$, eleman sınırlayıcılara uymadığı takdirde $(1 + C_k)$ değeri çarpılmaktadır. Ceza değeri beton metrajının 10^9 gibi büyük bir sayı ile çarpılarak elde edilmektedir.

Yapının yaklaşık maliyet ve hakediş değerleri amp programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 3.149.631,02 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm, denklem 18'de bm, denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Gerçek piyasa koşullarında oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 79,711 \times 18.858,88 = 1.503.260,18 \text{ TL} \quad (104)$$

$$bm = 803,86 \times 982,73 = 789.977,34 \text{ TL} \quad (105)$$

$$km = 6025 \times 142,14 = 856.393,50 \text{ TL} \quad (106)$$

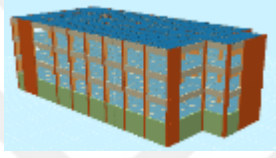
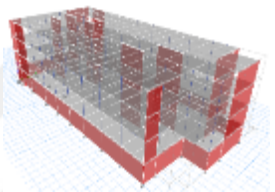
$$ykm = 1.503.260,18 + 789.977,34 + 856.393,50 = 3.149.631,02 \text{ TL} \quad (107)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

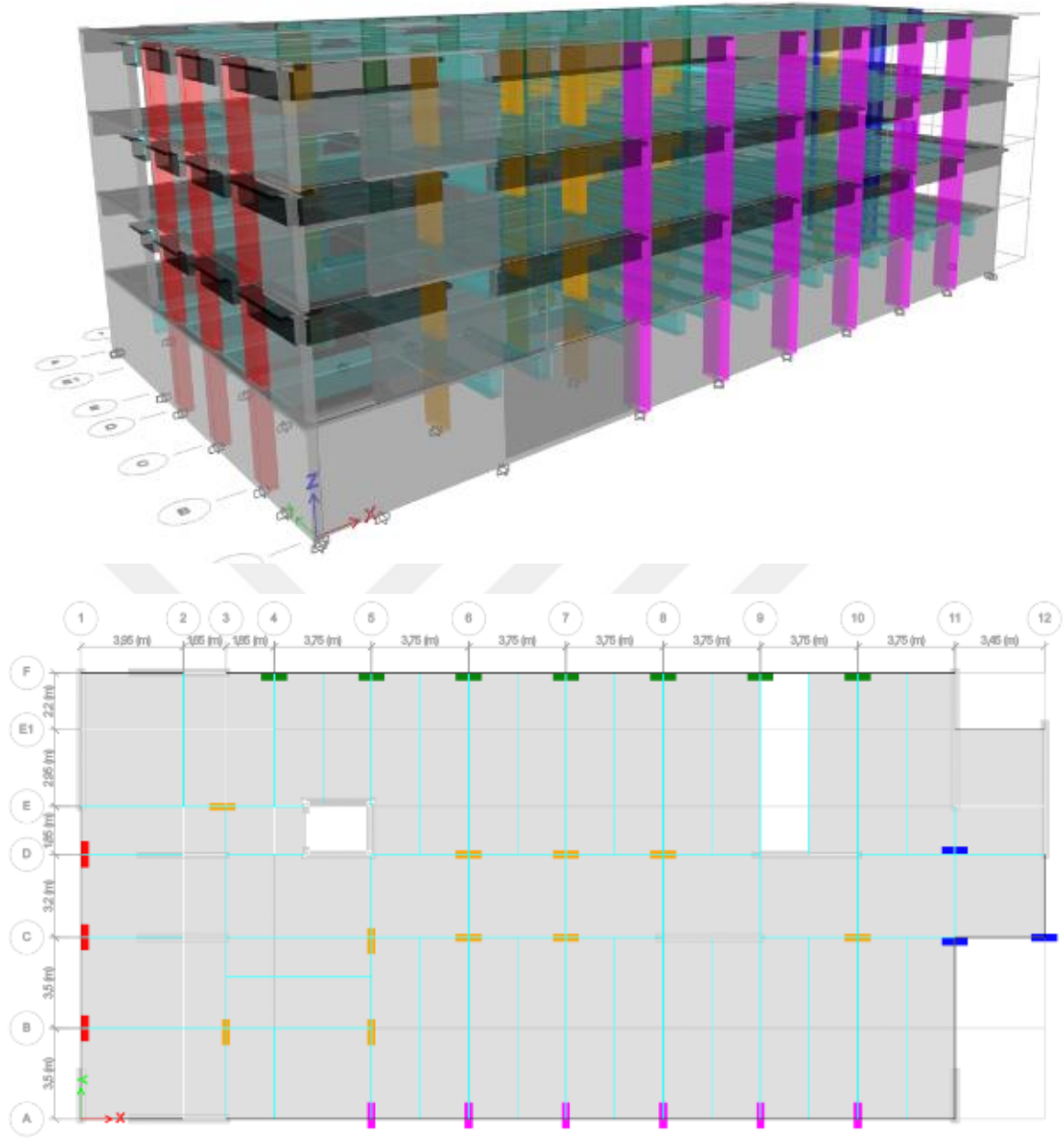
Bina yapım aşamasında Sta4cad (STA4-CAD, 2020) programında tasarlanmıştır. İnşaat projesi hazırlanarak yapımı tamamlanmıştır. Tez çalışması kapsamında da yapı

projeleri Sta4Cad ve Etabs programlarında modellenerek periyot ve mod şekilleri doğrulanmıştır. Bu şekilde bilgisayarda tasarlanan modellerin gerçeğe uygun olduğu kontrol edilmiştir. Etabs programında hazırlanan yapı modeli Şekil 87’de verilmektedir. Şekil 88’de bina modelinin Sta4cad görseli verilmektedir. Etabs programında betonarme yapı hazırlanmıştır ve yapı elemanlarına ait kesitler aynen uygulanmıştır. Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve TS 500 ‘deki koşullara göre tasarım yapılması istenmiştir.

Tablo 49. Yapıların Periyot Karşılaştırması 12 Derslikli Okul

Mod	Sta4cad Model	Modal Frekans (Hz)	Etabs Model	Modal Frekans (Hz)
1		0,2129		0,1665

Her iki modele ait periyot değerleri karşılaştırılarak örneklerin doğrulanması yapılmıştır, karşılaştırma modelleri tablo 47’de verilmektedir. Betonarme yapıların dijital ortamda doğrulanmasından sonra statik plan üzerinde kesitler belirlenmiştir. Bunun için gruplama yöntemi tercih edilmiştir. Bu sayede plan üzerinde istenilen simetri elde edilebilmektedir. Bu işlemle statik planda benzer konumdaki kolonlar ve kirişler aynı kesit özelliklerinin atanması sağlanmıştır. Kesitlerin belirli gruplar içinde aynı olması saha uygulamalarını ciddi anlamda kolaylaştırmaktadır. Şekil 89’da gruplaması yapılan yapı elemanları farklı renklerle gösterilmiştir



Şekil 89. Yapı Elemanlarının Renkli Gruplandırılması (12 Derslikli Okul)

Yapı elemanlarının gruplandırılmasından sonra MATLAB ortamında hazırlanan ACDOS programı çalıştırılmaktadır. Matlab-Etabs entegrasyonu sağlanarak program döngüsü başlatılır ve hangi kolon ve kiriş kesitlerinin kullanılacağı kullanıcıdan istenmektedir. Çalışma kapsamında 232 farklı kolon ve 40 farklı kiriş kesitinden yararlanılmıştır. Optimum değerlerin bulunması için diğer çalışmalardan farklı olarak Uygulamada kullanılacak olan kolonlara tasarım değişkenleri tablo 8’de ve kirişlere ait tasarım değişkenleri tablo 7’de verilmektedir.

3.6.1. 12 Derslikli Okul Binasının Jaya Algoritması ile Çözümü

Yapının Jaya algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 2.705.804,50 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm , denklem 18'de bm , denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Jaya algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 62,868 \times 18.858,88 = 1.185.611,58 \text{ TL} \quad (108)$$

$$bm = 742,29 \times 982,73 = 729.468,10 \text{ TL} \quad (109)$$

$$km = 5563 \times 142,14 = 790.724,82 \text{ TL} \quad (110)$$

$$ykm = 1.185.611,58 + 729.468,10 + 790.724,82 = 2.705.804,50 \text{ TL} \quad (111)$$

Verilen denklemlerde idm : İnşaat demir maliyeti, dm : Ton cinsinden demir miktarı, dbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm : beton maliyeti, bmi : m3 olarak beton miktarı, bbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km : Kalıp maliyeti, kmi : Kalıp miktarı, kbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm : Yaklaşık maliyet bedelidir.

Jaya algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 4 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 3.149.631,02 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 2.705.804,50 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Jaya algoritması ile %14,09 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 48'de Jaya algoritması ile yapılan sonuçlar verilmiştir.

Tablo 50. Jaya Algoritmasına Ait Veriler (12 Derslikli Okul)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Jaya	10	30	100	3.149.631,02TL	2.705.804,50TL	% 14,09

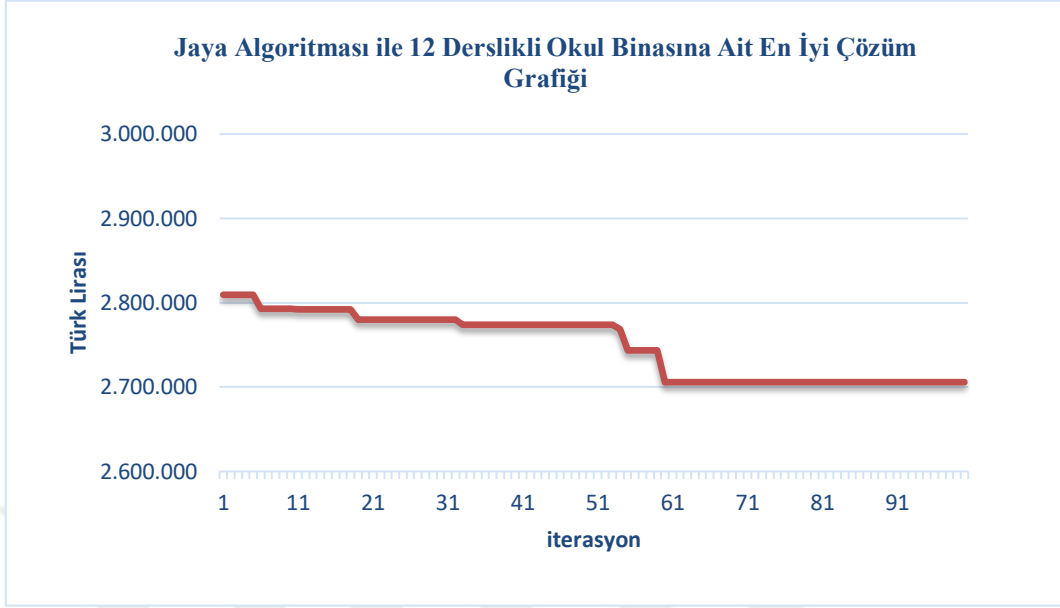
Jaya algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri tablo 49’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 51. 12 Derslikli Okul İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Jaya)

Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.45
C102	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.45
C103	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.45
C104	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.45
C105	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.45
C106	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.45
C107	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.45
C108	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.35
C109	0.60 x 0.30	Kolonlar Sol	0.30 x 0.50
C110	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.35
C111	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.35
C112	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.35

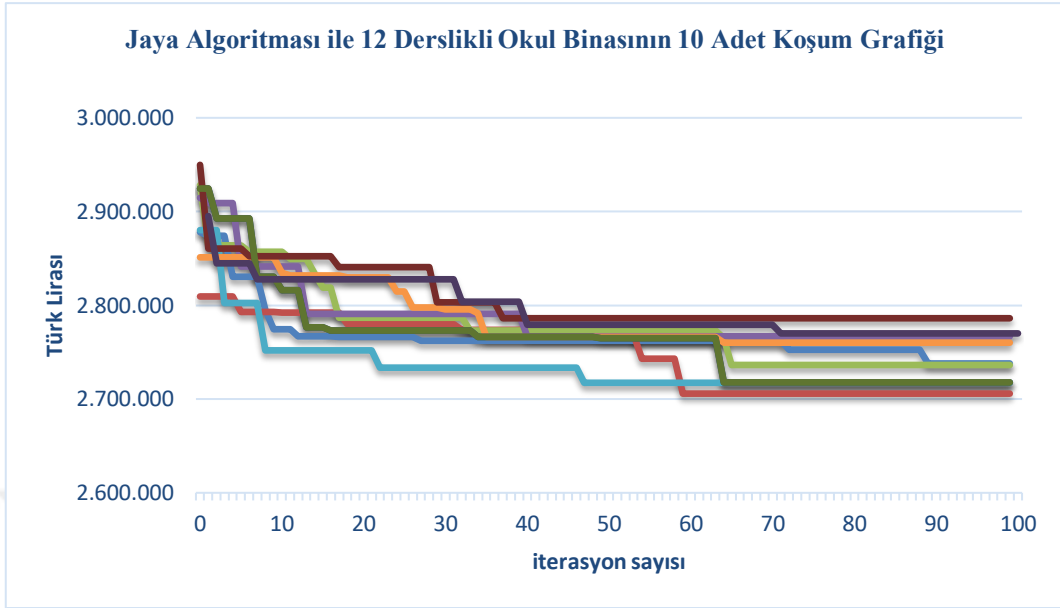
Tablo 51'in devamı

C113	0.30 x 0.60	Kolonlar Sağ	0.45 x 0.30
C114	0.60 x 0.30	Kolonlar Sol	0.30 x 0.50
C115	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.50 x 0.35
C116	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.35
C117	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.35
C118	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.35
C119	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.45 x 0.30
C120	0.40 x 0.40	Kolonlar Orta	0.45 x 0.30
C121	0.60 x 0.30	Kolonlar Sol	0.30 x 0.50
C122	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.50 x 0.35
C123	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.50 x 0.35
C124	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.40 x 0.40
C125	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.40 x 0.40
C126	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.40 x 0.40
C127	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.40 x 0.40
C128	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.40 x 0.40
İç kirişler	0.30 x 0.60	İç Kirişler	0.25 x 0.45
Dış kirişler	0.30 x 0.60	Dış Kirişler	0.30 x 0.45

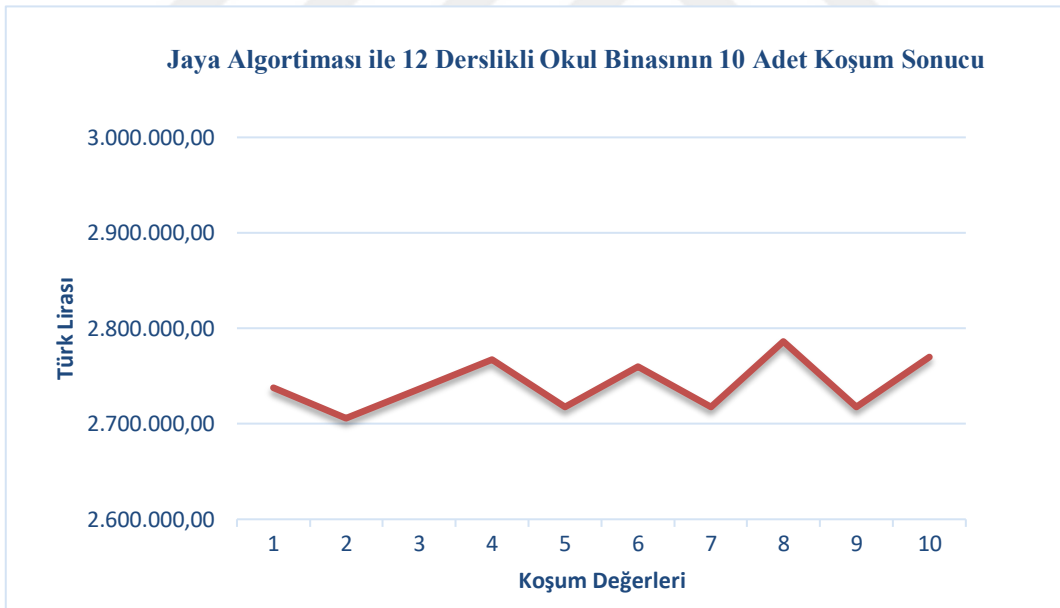


Şekil 90. 12 Derslikli Okul Binası En İyi Çözümüne Ait Grafik (Jaya)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 90'da verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil 91'de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 92'de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda olduğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 91. 12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Jaya)



Şekil 92. 12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Jaya)

3.6.2. 12 Derslikli Okul.Binasının TLBO Algoritması ile Çözümü

Yapının TLBO algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 2.695.227,74TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm, denklem 18'de bm, denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. TLBO algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 62,928 \times 18.858,88 = 1.186.745,94 \text{ TL} \quad (112)$$

$$bm = 736,59 \times 982,73 = 723.868,99 \text{ TL} \quad (113)$$

$$km = 5520 \times 142,14 = 784.612,80 \text{ TL} \quad (114)$$

$$ykm = 1.186.745,94 + 723.868,99 + 784.612,80 = 2.695.227,74 \text{ TL} \quad (115)$$

TLBO algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 50 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 1500 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 3 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 3.149.631,02 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 2.695.227,74 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti TLBO algoritması ile %14,42 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 50'de TLBO algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 52. TLBO Algoritmasına Ait Veriler (12 Derslikli Okul)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
TLBO	10	30	100	3.149.631,02 TL	2.695.227,74 TL	% 14,42

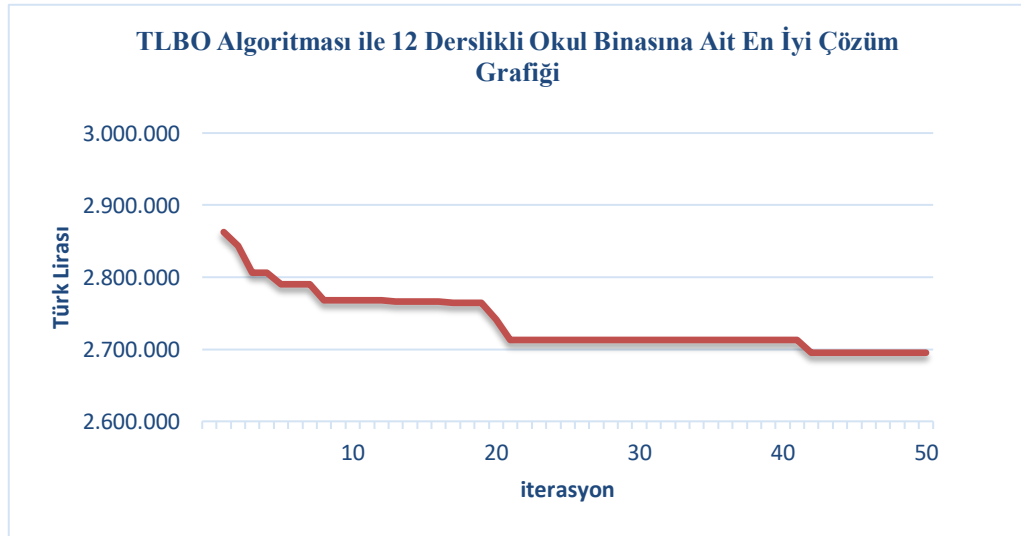
TLBO algoriyması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri tablo 51’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 53. 12 Derslikli Okul İlk ve Optimum Kesit Değerleri (TLBO)

Grup Üyeleri	Başlangı Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.30
C102	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.30
C103	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.30
C104	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.30
C105	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.30
C106	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.30
C107	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.30
C108	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.35 x 0.30
C109	0.60 x 0.30	Kolonlar Sol	0.30 x 0.80
C110	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.35 x 0.30
C111	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.35 x 0.30
C112	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.35 x 0.30
C113	0.30 x 0.60	Kolonlar Sağ	0.30 x 0.80
C114	0.60 x 0.30	Kolonlar Sol	0.30 x 0.80
C115	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.35 x 0.30
C116	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.35 x 0.30
C117	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.35 x 0.30
C118	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.35 x 0.30

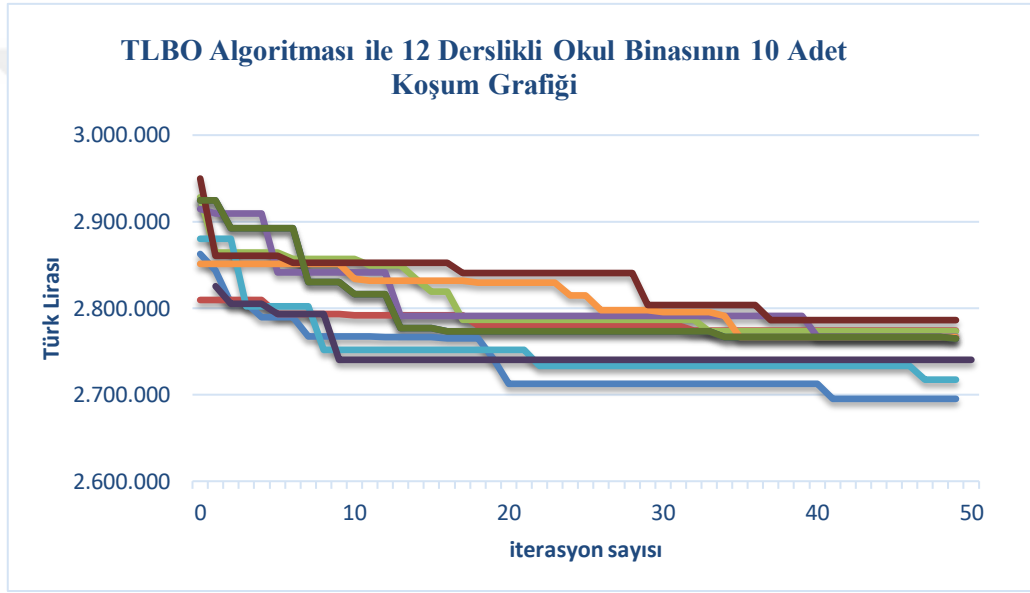
Tablo 53'ün devamı

C119	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.30 x 0.80
C120	0.40 x 0.40	Kolonlar Orta	0.30 x 0.80
C121	0.60 x 0.30	Kolonlar Sol	0.30 x 0.80
C122	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.35 x 0.30
C123	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.35 x 0.30
C124	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.35 x 0.30
C125	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.35 x 0.30
C126	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.35 x 0.30
C127	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.35 x 0.30
C128	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.35 x 0.30
İç kirişler	0.30 x 0.60	İç Kirişler	0.25 x 0.45
Dış kirişler	0.30 x 0.60	Dış Kirişler	0.25 x 0.45

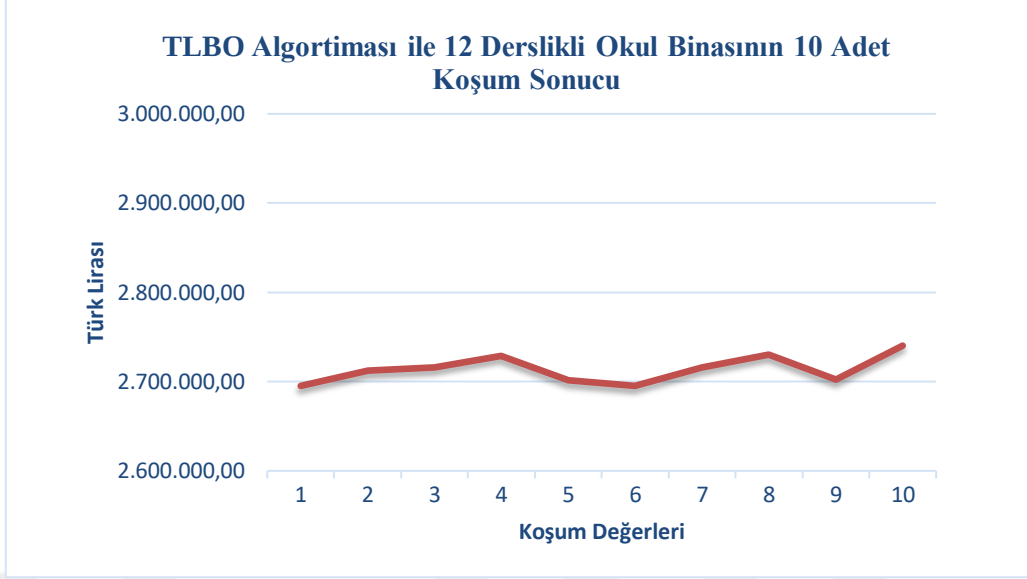


Şekil 93. 12 Derslikli Okul Binası En İyi Çözüme Ait Grafik (TLBO)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik Şekil 93 ‘de verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte Şekil 94’te verilmektedir. Bu Şekilde görüldüğü gibi tüm alıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan Şekil 95’de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 94. 12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (TLBO)



Şekil 95. 12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (TLBO)

3.6.3. 12 Derslikli Okul.Binasının Rao-1 Algoritması ile Çözümü

Yapının Rao-1 algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 2.745.934,25TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm, denklem 18'de bm, denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Rao-1 algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 65,415 \times 18.858,88 = 1.208.753,12 \text{ TL} \quad (116)$$

$$bm = 757,70 \times 982,73 = 737.643,62 \text{ TL} \quad (117)$$

$$km = 5602 \times 142,14 = 799.537,50 \text{ TL} \quad (118)$$

$$ykm = 1.208.753,12 + 737.643,62 + 799.537,50 = 2.745.934,25 \text{ TL} \quad (119)$$

Verilen denklemlerde idm: İnşaat demir maliyeti, dm: Ton cinsinden demir miktarı, dbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm: beton maliyeti, bmi: m3 olarak beton miktarı, bbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına

ait beton birim fiyatıdır. km: Kalıp maliyeti, kmi: Kalıp miktarı, kbf: Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm: Yaklaşık maliyet bedelidir.

Rao-1 algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 3 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 3.149.631,02 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 2.745.934,25TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Rao-1 algoritması ile %12,82 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 52’de Rao-1 algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 54. Rao-1 Algoritmasına Ait Veriler (12 Derslikli Okul)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Rao-1	10	30	100	3.149.631,02TL	2.745.934,25TL	% 12,82

Rao-1 algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri tablo 53’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 55. 12 Derslikli Okul İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-1)

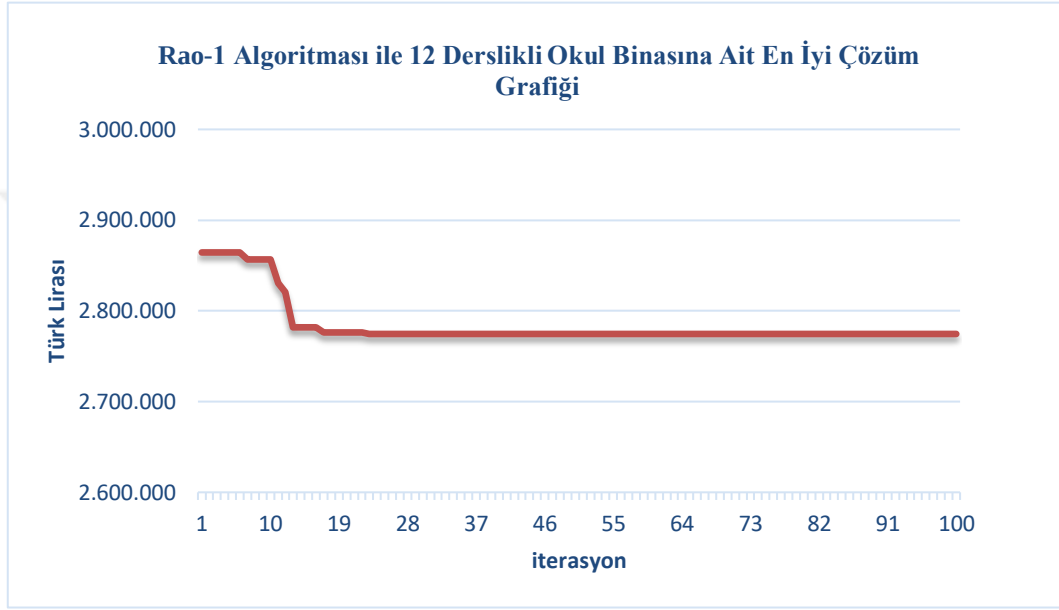
Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.35
C102	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.35
C103	0.30 x 0.6	Kolonlar Üst	0.30 x 0.35

Tablo 55'in devamı

C104	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.35
C105	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.35
C106	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.35
C107	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.30 x 0.35
C108	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.45
C109	0.60 x 0.30	Kolonlar Sol	0.30 x 0.80
C110	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.45
C111	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.45
C112	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.45
C113	0.30 x 0.60	Kolonlar Sağ	0.30 x 0.80
C114	0.60 x 0.30	Kolonlar Sol	0.30 x 0.80
C115	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.50 x 0.45
C116	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.45
C117	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.45
C118	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.50 x 0.45
C119	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.30 x 0.80
C120	0.40 x 0.40	Kolonlar Orta	0.30 x 0.80
C121	0.60 x 0.30	Kolonlar Sol	0.30 x 0.80
C122	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.50 x 0.45
C123	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.50 x 0.45
C124	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.30 x 0.65
C125	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.30 x 0.65
C126	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.30 x 0.65
C127	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.30 x 0.65

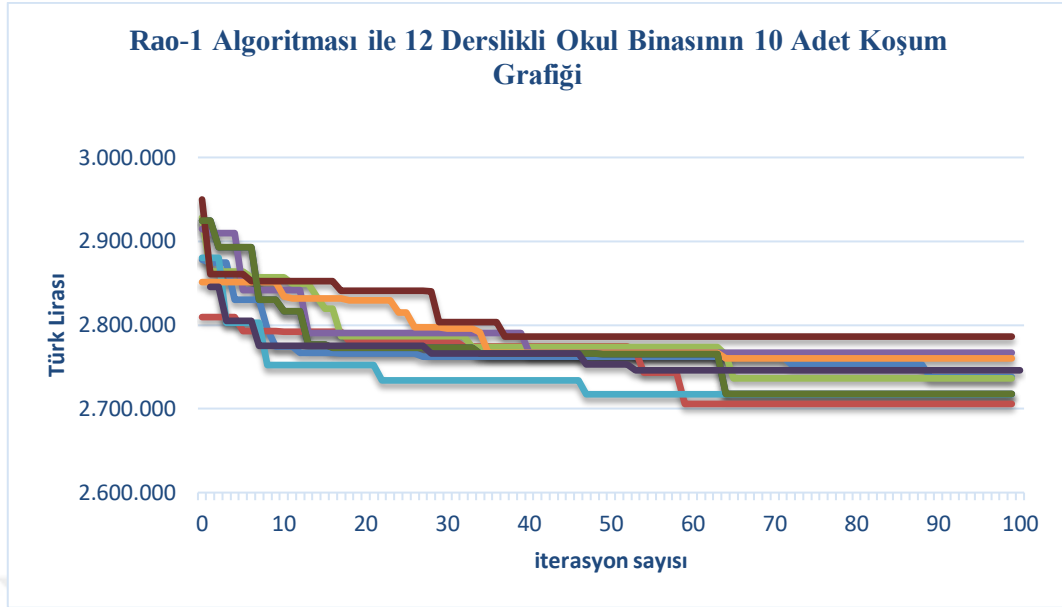
Tablo 55'in devamı

C128	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.30 x 0.65
İç kirişler	0.30 x 0.60	İç Kirişler	0.25 x 0.45
Dış kirişler	0.30 x 0.60	Dış Kirişler	0.25 x 0.45

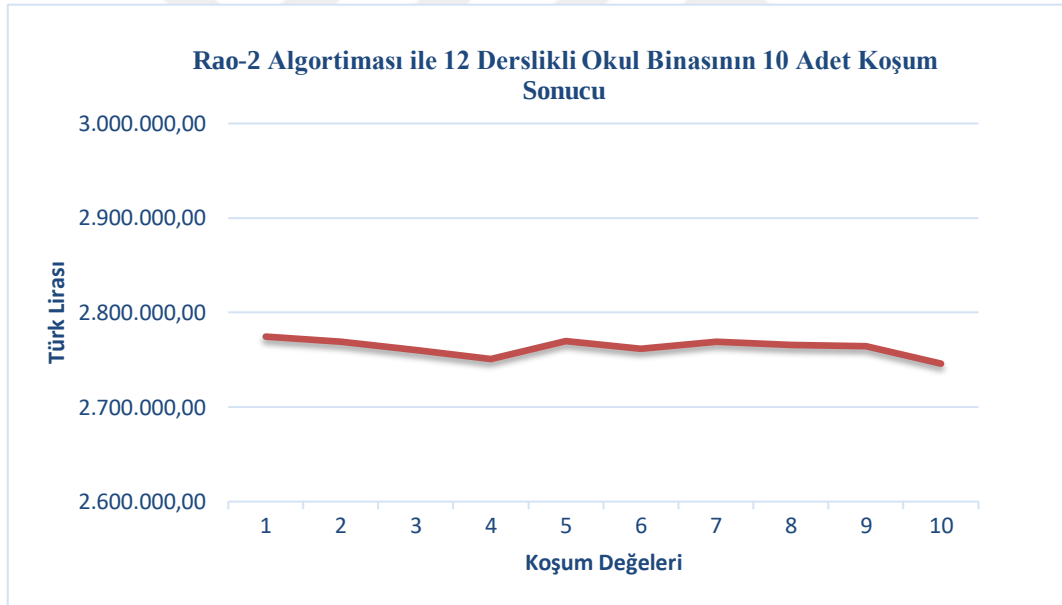


Şekil 96. 12 Derslikli Okul Binası En İyi Çözümüne Ait Grafik (Rao-1)

Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 96'da verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil 97'de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 98'de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 97. 12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-1)



Şekil 98. 12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-1)

3.6.4. 12 Derslikli Okul Binasının Rao-2 Algoritması ile Çözümü

Yapının Rao-2 algoritması kullanılarak hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ACDOS programında yapılmıştır. Yapının 2022 yılı ÇSB birim fiyatları hesaplanan yaklaşık maliyet değeri 2.742.505,84 TL olarak hesaplanmıştır. Daha önceki bölümlerde denklem 16'da idm , denklem 18'de bm , denklem 20'de km ve denklem 22'de ykm formülleri verilmiştir. Rao-2 algoritması ile oluşturulan yaklaşık maliyet hesapları ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$idm = 63,899 \times 18.858,88 = 1.205.068,29 \text{ TL} \quad (120)$$

$$bm = 750,72 \times 982,73 = 737.757,92 \text{ TL} \quad (121)$$

$$km = 5626 \times 142,14 = 799.679,64 \text{ TL} \quad (122)$$

$$ykm = 1.205.068,29 + 737.757,92 + 799.679,64 = 2.742.505,84 \text{ TL} \quad (123)$$

Verilen denklemlerde idm : İnşaat demir maliyeti, dm : Ton cinsinden demir miktarı, dbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait demir birim fiyatıdır. bm : beton maliyeti, bmi : m3 olarak beton miktarı, bbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait beton birim fiyatıdır. km : Kalıp maliyeti, kmi : Kalıp miktarı, kbf : Çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığına ait kalıp birim fiyatıdır. ykm : Yaklaşık maliyet bedelidir.

Rao-2 algoritması ile yapılan analizlerde 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyonu için tasarım ve maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri ile demir, beton ve kalıp maliyeti azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar belirli değer etrafında toplanmıştır. Her bir popülasyona ait iterasyon değeri 3000 olmaktadır. Maliyet değerleri karşılaştırıldığında gerçek dünyaya ait 4 katlı betonarme yapının demir, beton ve kalıp (işçilik ve malzeme) maliyeti 3.149.631,02 TL olurken, bu değer optimizasyon işlemi ile 2.742.505,84 TL kadar düşmektedir. İnşaat yaklaşık maliyeti Rao-2 algoritması ile %12,92 olmaktadır. Koşum değerlerinin uyumlu olduğu ve ideal sonucun bulunduğu ait gerekli kontroller yapılmıştır. Tablo 54'da Rao-2 algoritması ile yapılan sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 56. Rao-2 Algoritmasına Ait Veriler (12 Derslik Okul)

Algoritma	Koşum	Populasyon	İterasyon	Başlangıç Maliyeti(TL)	Optimum Maliyet(TL)	Başarı Oranı
Rao-2	10	30	100	3.149.631,02TL	2.742.505,84TL	% 12,92

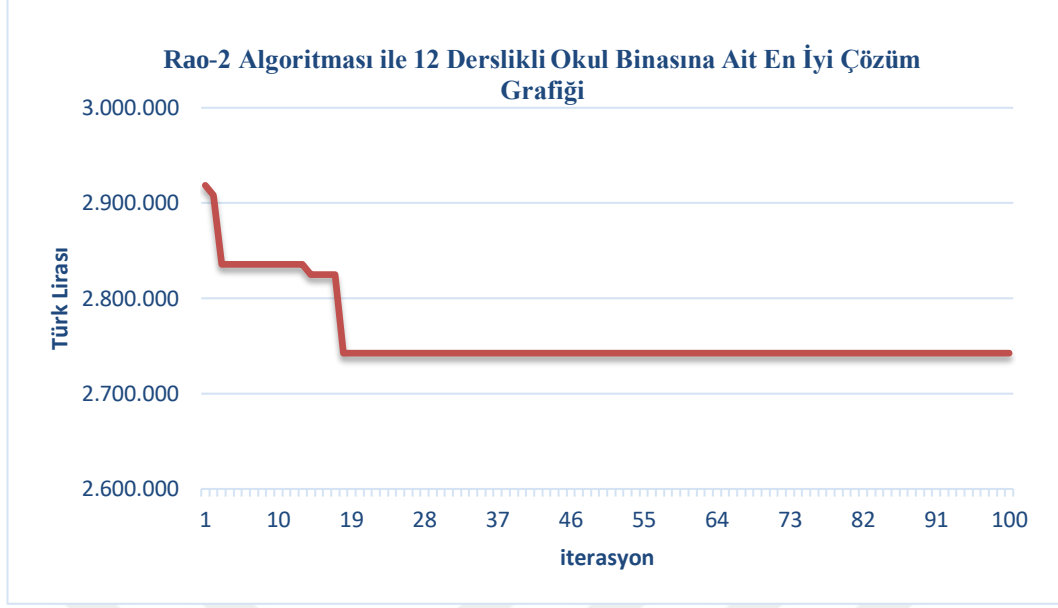
Rao-2 algoritması ile yapılan maliyet analizlerinde kolon ve kirişlerin uygulamada belirlenen tasarım değerleri ile tez çalışması kapsamında ACDOS programına yaptırılan tasarım değerleri tablo 55’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 57. 12 Derslikli Okul İlk ve Optimum Kesit Değerleri (Rao-2)

Grup Üyeleri	Başlangıç Kesit (m)	Grup Üyeleri	Optimum Kesit (m)
C101	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.50 x 0.30
C102	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.50 x 0.30
C103	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.50 x 0.30
C104	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.50 x 0.30
C105	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.50 x 0.30
C106	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.50 x 0.30
C107	0.30 x 0.60	Kolonlar Üst	0.50 x 0.30
C108	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.70 x 0.30
C109	0.60 x 0.30	Kolonlar Sol	0.35 x 0.85
C110	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.70 x 0.30
C111	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.70 x 0.30
C112	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.70 x 0.30
C113	0.30 x 0.60	Kolonlar Sağ	0.30 x 0.35

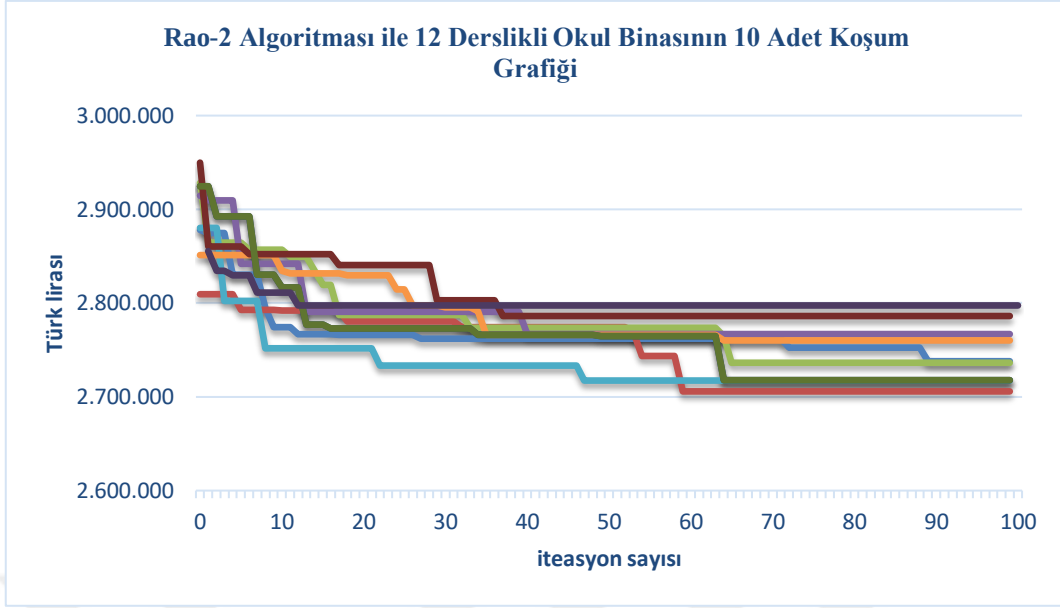
Tablo 57'nin devamı

C114	0.60 x 0.30	Kolonlar Sol	0.35 x 0.85
C115	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.70 x 0.30
C116	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.70 x 0.30
C117	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.70 x 0.30
C118	0.60 x 0.30	Kolonlar Orta	0.70 x 0.30
C119	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.30 x 0.35
C120	0.40 x 0.40	Kolonlar Orta	0.30 x 0.35
C121	0.60 x 0.30	Kolonlar Sol	0.35 x 0.85
C122	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.70 x 0.30
C123	0.30 x 0.60	Kolonlar Orta	0.70 x 0.30
C124	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.30 x 0.30
C125	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.30 x 0.30
C126	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.30 x 0.30
C127	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.30 x 0.30
C128	0.30 x 0.60	Kolonlar Alt	0.30 x 0.30
İç kirişler	0.30 x 0.60	İç Kirişler	0.25 x 0.50
Dış kirişler	0.30 x 0.60	Dış Kirişler	0.30 x 0.45

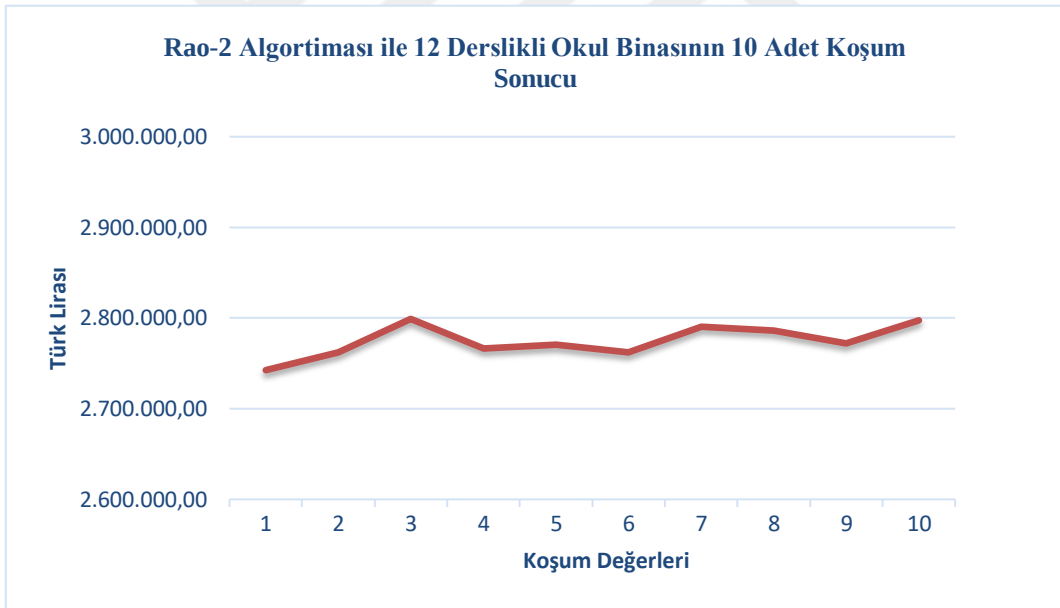


Şekil 99. 12 Derslikli Okul Binası En İyi Çözümüne Ait Grafik (Rao-2)

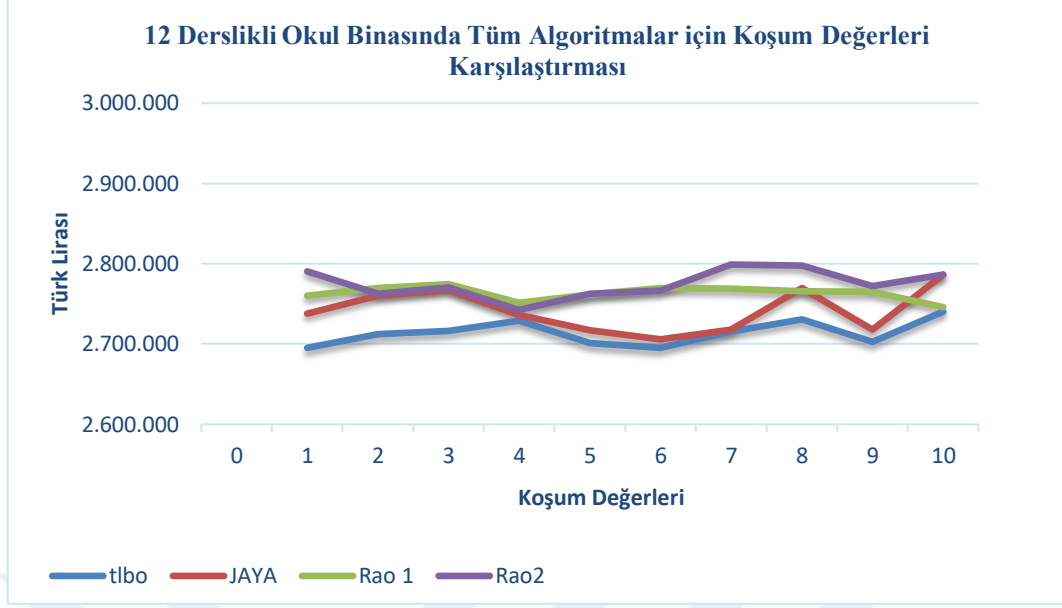
Yapılan analizlerde 10 adet koşum değerleri içerisinde en iyi çözüme ait grafik şekil 99’da verilmektedir. Elde edilen sonuçların tamamı olan 10 adet koşum değerinin hepsi birlikte şekil- 100’de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tüm çalıştırma değerleri birbirlerine yakın noktalarda tamamlanmaktadır. Aynı zamanda yakınsama grafiği olan şekil 101’de 10 adet koşum değerlerinin birbirlerine yakın noktalarda oluştuğu gösterilmektedir. Algoritma uygulama değerleri olan 10 koşum 30 popülasyon ve 100 jenerasyon değeri çözüm kümesinin oluşması için yeterli olarak bulunmuştur. Ve elde edilen çözüm hem diğer algoritmalarla hem de gerçek inşaat maliyetleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 100. 12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Tamamı (Rao-2)



Şekil 101. 12 Derslikli Okul Binasının 10 Adet Koşum Sonucu (Rao-2)



Şekil 102. 12 Derslikli Okul Farklı Algoritmalar Ait Koşum Değerlerinin Karşılaştırılması

12 Derslikli Okulda TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 optimizasyon algoritmalarının yakınsama grafikleri şekil 102’de verilmiştir. Aynı şekilde farklı algoritmalar a ait maliyet değerleri ve azaltım oranları tablo 56’de verilmiştir. Okul binasında kullanılan TLBO algoritmasının en iyi sonuç verdiği, diğer algoritmalar JAYA, Rao-2 ve Rao-1 algoritmalarını sırasıyla en iyi azaltım oranına sahip olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 58. 12 Derslikli Okul Farklı Algoritmalar Ait Maliyet Azaltım Oranlarının Karşılaştırılması

Algoritmalar	TLBO	JAYA	RAO-1	RAO-2
Uygulamadaki Yaklaşık Maliyeti	3.149.631,02 TL	3.149.631,02TL	3.149.631,02 TL	3.149.631,02TL
Algoritma ile Bulunan Yaklaşık Maliyet	2.695.227,74 TL	2.705.807,00 TL	2.745.934,43 TL	2.742.505,84 TL
Azaltma Oranı %	% 14,42	% 14,09	% 12,82	% 12,92

3.7. Sayısal Verilerin Değerlendirilmesi

Tablo 59. Tüm Binaların ve Algoritmaların Karşılaştırmalı Yaklaşık Maliyet Değerleri

Beton Demir Kalıp	UYGULAM A MALİYETİ	TLBO	JAYA	RAO-1	RAO-2
Azaltma Maliyetleri					
3 Katlı Bina	633.518,61 TL	579.171,85 TL	595.135 TL	590.732 TL	599.830 TL
500 kişilik Yurt	8.545.755 TL	7.729.511 TL	7.773.309 TL	7.792.457,5 6 TL	7.758.640 TL
4 Katlı Konut (8 Daire)	1.557.992 TL	1.342.654 TL	1.393.658 TL	1.410.912 ,86 TL	1.398.293 TL
10 Yataklı Hastane	2.476.809 TL	2.154.744 TL	2.179.011 TL	2.186.606 ,24 TL	2.196.780 TL
12 Derslikli Okul	3.149.631 TL	2.695.227 TL	2.705.807 TL	2.745.934 ,43 TL	2.742.505 TL

Tez çalışması kapsamında 5 adet gerçekte yapılmış olan farklı kullanım amaçlarına sahip, farklı kat ve m^2 'lere sahip betonarme yapılar incelenmiştir. Daha önce saha uygulamaları ve proje verileri elde edilmiştir. Elde edilen veriler arasında imalatlara ait metraj değerleri ve birim fiyatlarla çarpılarak elde edilen gerçek yaklaşık maliyet bedelleri elde edilmiştir. Yaklaşık maliyet bedelinde hesaplanan iş kalemleri kalıp, demir ve betondur. Bu iş kalemleri içinde işçilik, malzeme ve nakliye dahil olarak verilmiştir. Aynı şekilde ACDOS elde edilen saha verileri model olarak aynen alınmıştır. Modeller gerçek yapıda olduğu gibi Sta4cad programında oluşturulmuştur. Bu modeller Etabs programında da oluşturularak modellerin doğrulanması sağlanmıştır. ACDOS programı excell-etabs programlarına entegre olarak optimizasyon işlemlerini gerçekleştirmiştir. Bunun için ise TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 algoritmalarından yararlanılmıştır. Böylelikle elde edilen

maliyet değerleri hem gerçek-dünya inşaat maliyeti ile hem de algoritmalar arasındaki inşaat maliyet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Tüm optimizasyon algoritmaları kullanılırken 10 koşturma(koşum), 30 popülasyon ve 100 iterasyon değerine göre yapılmıştır. Sadece TLBO algoritması çift üretimli çalışma mekanizması nedeniyle 10 koşturma (koşum), 30 popülasyon ve 50 iterasyon olarak alınmıştır. Böylelikle algoritmalar arasında aynı şartlarda karşılaştırmalar yapılabilmiştir. Ayrıca aşırı m^2 'ye sahip olması ve yakınsama noktalarının yeterli olması nedeniyle 500 kişilik yurttaki tüm algoritmalar için 5 koşturma(koşum), 20 popülasyon ve 50 iterasyon uygulanırken, yine TLBO çift üretimli çalışma mekanizması olması nedeniyle 5 koşturma (koşum), 20 popülasyon ve 25 iterasyon uygulanmıştır. Gerçek-dünya ve farklı algoritmaların Türk Lirası bazında karşılaştırmalı olarak yaklaşık maliyet bedelleri tablo 57'de verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere TLBO algoritması diğer algoritmalarla göre açık ara farkla performansı en iyi olan algoritmadır. Şöyleki 3katlı yapı örneğinde gerçek yapıya ait yaklaşık maliyet bedeli 633.518,61TL iken, TLBO algoritmasında 579.171,85TL ile en uygun parasal değeri bulmaktadır. Bundan sonra Rao-algoritmasında 590.732,99TL, Jaya algoritmasında 595.135,09TL ve Rao-2 algoritmasında 599.830,60TL olarak bulmaktadır. 500 kişilik yurt binasında ise 8.545.755,87TL olan gerçek inşaat bedelini 7.729.511,41TL olarak TLBO algoritması yine birinci sırada azaltmayı başarmıştır. Bu algoritmadan sonra ise 7.758.640,72TL Rao-2, 7.773.309,24 TL ile Jaya ve 7.792.457,56 TL ile Rao-1 algoritmaları gelmektedir. TLBO algoritmasının en fazla azaltım yaptığı diğer örnek olan 4 katlı yapıda ise gerçek yaklaşık maliyet 1.557.992,32TL'dir. TLBO algoritması ile bu bedel 1.342.654,52TL'ye indirilmiştir. Bundan sonra 1.393.658,46TL ile Jaya, 1.398.293,40TL ile Rao-2 ve 1.410.912,86 TL ile Rao-1 algoritması gelmektedir. 2.476.809,03TL inşaat bedeline sahip 10 yataklı hastane binasında ise yine TLBO 2.154.744,34TL ile en iyi performans da yer alırken 2.179.011,27TL ile Jaya, 2.186.606,24TL ile Rao-1 ve 2.196.78,89TL ile Rao-2 sırasıyla en iyi performansla sahip algoritmalarıdır. Son örnek yapı olan 12 derslikli okulda ise yine TLBO 2.695.227,74TL ile en iyi maliyet azaltım miktarına sahiptir. Bu kamu yapısının gerçek maliyeti 3.149.631,02TL olmasına karşılık, Jayada bu değer 2.705.807,00 TL'ye, Rao-2'de 2.742.505,84 TL'ye ve Rao-1 algoritmalarında 2.745.934,43 TL'ye kadar azaltılmıştır. Yapılan maliyet optimizasyonlarında algoritmaların örnek yapıların gerçek yaklaşık maliyet değerlerine göre performans değerleri azaltım oranları olarak ölçülmüştür. Ölçüm değerleri için gösterilen azaltım oranları Tablo 58'de verilmiştir.

Tablo 60. Tüm Bina ve Algoritmaların Karşılaştırmalı Azaltım Oranları

Algoritmalar				
Azaltma Oranları	TLBO	JAYA	RAO-1	RAO-2
3 Katlı Bina	% 8,5785	% 6,0587	% 6,7536	% 5,3176
500 kişilik Yurt	% 9,5514	% 9,0389	% 8,8148	% 9,2105
4 Katlı konut (8 Daire)	% 13,821	% 10,547	% 9,4403	% 10,25
10 Yataklı Hastane	% 13,00	% 12,023	% 11,716	% 11,33
12 Derslikli Okul	% 14,42	% 14,09	% 12,82	% 12,92

Tablo 60'a bakıldığında yine TLBO algoritmasının tüm örneklerde en iyi sonucu verdiği görülmüştür. TLBO, 3 Katlı Müstakil Binada %8,5785, 500 kişilik yurttan %9,5514, 4 katlı konutta %13,821, 10 yataklı hastanede %13,00 ve 12 derslikli okul binasında %14,42 olarak en iyi inşaat yaklaşık maliyet oranına sahiptir. Bu algortmadan sonra Jaya algoritmasının geldiği söylenebilir. Zira Jaya algoritması 4 katlı konutta %10,547, 10 yataklı hastanede %12,023 ve 12 derslikli okul binasında %14,09 ile en iyi 2. algoritma olmuştur. Her ne kadar 3 katlı binada %6,0587 ve 500 kişilik yurttan %9,0389 ile 3. en iyi algoritma olsa da 5 örneğin hiçbirinde en kötü performansı göstermemiştir ve 3 örnekte en iyi 2. algoritma olmuştur. Rao algoritmaları ise birbirlerine bu tablo itibarıyla aşırı üstünlük kuramamış olmalarına karşın Rao-2 algoritmasının nispeten daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Çünkü Rao algoritmalarında Rao-1 algoritması, 3 katlı binada %6,75 ile en iyi 2. ve Rao-2 'de 500 kişilik yurttan %9,2105 ile en iyi 2. algoritmalar olmalarına karşın, Rao-2 algoritması %11,33 ile 10 yataklı hastanede ve 3 katlı binada %5,31769 ile en kötü performansları gösterirken, Rao-1 algoritması 500 kişilik yurttan %8,8148, 4 katlı konut %9,4403 ve 12

derslikli okulda %12,82 ile 3 adet yapı örneğinde en kötü performansa sahip algoritma olmuştur. Tüm bu veriler ışığında gerçek dünyaya ait betonarme yapıların maliyetinin otomatik optimize edilmesinde algoritmaların performans sıralaması 1.TLBO 2.Jaya 3.Rao-2 ve Rao-1 algoritmaları olmaktadır.

Önceki bölümde algoritmaların performans değerleri ve hem parasal olarak hem de yüzdesel verilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Aynı zamanda tüm sayısal örnekler için gerçek sonuçlar ve optimizasyon sonuçları detaylı olarak incelenmiştir. Bu bölümde ise optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılmasında yapıların sahip olduğu nitelikler de dikkate alınmıştır. Özellikle toplam inşaat alanı üzerinden m^2 'ye bağlı olarak değerlendirme için matematiksel ifadeler oluşturulmuştur. Tablo 59'de tez çalışması kapsamında araştırmaya konu olan yapı örnekleri fotoğraflarıyla birlikte verilmiştir. Yine bu tabloda gerçek yaklaşık maliyet bedeli ayrı ayrı yazılarak optimizasyon algoritmalarının hangi binada kaçınıcı sırada performans gösterdiği, yani toplam inşaat bedelini en fazla ne kadar azalttığı verilmiştir. Ayrıca aynı tabloda yapıların kat adetleri, toplam inşaat alanı ve sahip oldukları yapı elemanı sayıları da verilmiştir.

Tablo 61. Sayısal Örneklerle Ait Sonuç ve Görseller

Yapı Fotoğrafları (Beton + kalıp + Demir)	Gerçek Yaklaşık Maliyet	En İyi 1. Algoritma	En İyi 2. Algoritma	En İyi 3. Algoritma	En İyi 4. Algoritma
	Gerçek 633.518 TL -	1.TLBO 579.171 TL % 8,58	2.Rao1 590.732 TL % 6,76	3.Jaya 595.135 TL % 6,06	4.Rao2 599.830 TL % 5,32
	Gerçek 8.545.755 TL -	1.TLBO 7.729.5 11 TL % 9,95	2.Rao2 7.758.6 40 TL % 9,21	3.Jaya 7.773.3 09 TL % 9,04	4.Rao1 7.792.4 57 TL % 8,82

Tablo-61'in devamı

	Gerçek	1.TLBO	2.Jaya	3.Rao2	4.Rao1
	1.557.993	1.342.6	1.393.6	1.398.2	1.410.9
	TL	54	58	93	12
		TL	TL	TL	TL
	-	% 13,82	% 10,55	% 10,25	% 9,44
	Gerçek	1.TLBO	2.Jaya	3.Rao 1	4.Rao2
	2.476.809	2.154.7	2.179.0	2.186.6	2.196.1
	TL	44	11	06	78
		TL	TL	TL	TL
	-	% 13,00	% 12,02	% 11,72	% 11,33
	Gerçek	1.TLBO	2.Jaya	3.Rao2	4.Rao1
	3.149.631	2.695.2	2.705.8	2.742.5	2.745.9
	TL	27	07	05	34
		TL	TL	TL	TL
	-	% 14,42	% 14,09	% 12,92	% 12,82

3.8 Oluşturulan Yazılım Programı ve Arayüz Kullanımın Sayısal Verilere Katkısı

Gelişen bilgisayar teknolojisiyle birlikte, diğer sektörlerde olduğu gibi inşaat sektöründe de daha az enerji harcayarak daha fazla iş üretme prensibi mümkün olmuştur. Bilgisayarlar hem yapısal analizlerde hem proje çizimlerinde hem de maliyet hesaplarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bilgisayarların paket programlarla daha spesifik problemlere daha net çözümler sunduğu da aşikardır. Yapılan araştırmalar ve ticari programlar bu doğrultu da geliştirilmiştir. Ve şu bir gerçektir ki şu an inşaat mühendisliği problemlerinde üst yapı, alt yapı, tünel, baraj, yol projelerinin her birine uygun paket program bulmak neredeyse mümkündür. Ancak gelişen teknoloji geline bu noktadan daha fazlasını istemektedir. Bu teknolojik gelişmelerden biri inşaat sektöründeki projeleri otomatik yönlendirebilen

denetimli mekanizmaların oluşturulması olarak sayabiliriz. Çünkü bu sayede mühendis-mimar tecrübesi ve öngörüsünün de üzerinde mühendislik çözümleri sunulabilir. Aynı zamanda yeni nesil yazılımlar bu çözümlere daha hızlı ve başarılı sonuçlar üretebilmektedir. Tüm bu nedenlerden ötürü de tez çalışmasında yeni nesil yazılım oluşturulmaya çalışılarak literatüre katkı sunulmaya çalışılmıştır. Bunun için oluşturulan yazılımla, bir yapının inşaat yaklaşık maliyet-tasarım optimizasyonu otomatik olarak yapılmıştır ve bu sayede yapı tasarımı en optimum maliyetle tasarlanarak mühendis-mimar öngörüsü, optimizasyon algoritmaları ile mübadele edilmiştir. Aynı zamanda bu yazılım tek bir teorik yapı için de hazırlanmamıştır. Hemen hemen piyasa şartlarında tüm yapı türlerinde ve gerçek piyasa koşullarında uygulanabilirliği olan çözümler sunmuştur. Bunun için de daha önceki bölümlerde grafiklerle tarif edilen kullanıcı dostu arayüz hazırlanmıştır. Hazırlanan arayüz sayesinde kullanıcılara standart paket program çözümleri, farklı optimizasyon algoritma çözümleriyle birleştirilerek hem teoride, hem pratikte geniş mühendislik çözümleri elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında yaklaşık maliyet-hakediş programları ile statik paket programlarına entegre olabilen ve ACDOS (Automated Cost Design Optimization of Structures- Yapıların Otomatik Maliyet Tasarım Optimizasyonu) adı verilen bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım ile gerçek betonarme binalarda optimizasyon algoritmalarıyla, inşaat yaklaşık maliyetini her tasarım aşamasında minimize etmek için iterasyon yapılarak, en uygun yaklaşık maliyet değeri elde edilmiştir. Bunun için farklı kullanım amacı olan özel ve kamuya ait farklı m² ve katlara sahip 5 adet gerçek dünyada uygulaması yapılmış yapılar incelenmiş ve sayısal örneklere ait gerçek veriler kullanılmıştır.

İnşaat yaklaşık maliyetinin hesaplanmasında piyasa öngörülerine göre toplam yaklaşık maliyetin %40-55'i olarak kabul edilen kalıp, demir ve beton iş kalemleri kullanılmıştır. Bu kalemlerin birim fiyatlarının tümünde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2022 yıllarına ait poz detayları kullanılmıştır. Bu poz detayları içinde işçilik, malzeme ve nakliye dahil olarak verilmiştir.

Çalışma kapsamında yazarlar tarafından oluşturulan ACDOS programı ile tüm süreçler otonom olarak yönetilmiştir. Veri transferlerinin hiçbiri el ile yapılmamıştır. Amaç fonksiyonu toplam inşaat yaklaşık maliyeti olmak üzere sınırlayıcılar ilgili inşaat yönetmelik ve standartları olmuştur. Yine aynı şekilde sınırlayıcılar el ile değil entegre yazılım ile ilgili inşaat paket programın otomatik olarak yaptırılmıştır.

Çalışmada kullanılan ve diğer bir özgünlük durumu ise yapıların birebir gerçek hayattan alınması ve hepsinin farklı özelliklerde olmasıdır. Bu sayısal örneklerin yapım aşamasında makale yazarları ya doğrudan ya da dolaylı olarak bulunmuştur. Ve binaların elde edilen metraj ve maliyet bilgileri gerçek uygulamadan elde edilmiştir. Dolayısıyla çalışmanın pratikte de faydalı olacağı öngörülmüştür.

İnşaat yaklaşık maliyetlerinin azaltılması için yöntem olarak daha önce farklı problemlerde kullanılan ve başarılı sonuçlar veren 4 farklı optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Bunlar TLBO, Jaya, Rao-1 ve Rao-2 'dir. Algoritmalar hem gerçek inşaat yaklaşık maliyeti ile hem de kendi aralarındaki maliyet-performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Ayrıca tüm sonuçların karşılaştırılması ve değerlendirilmesi için gerekli olan grafik, tablo ve sayısal analizler detaylı olarak incelenmiştir.

ACDOS programında gerçekleştirilen işlemlerde; 554 m² toplam inşaat alanına sahip

gerçek yaklaşık maliyet değeri 633.518 TL olan yapıda optimizasyon algoritmaları ile %5,3-8,6 arasında, 55580 m² toplam inşaat alanına sahip gerçek yaklaşık maliyet değeri 8.545.755 TL olan yapıda optimizasyon algoritmaları ile %8,8-9,5 arasında, 1318 m² toplam inşaat alanına sahip gerçek yaklaşık maliyet değeri 1.557.993 TL olan yapıda optimizasyon algoritmaları ile %9,44-13,82 arasında, 1913 m² toplam inşaat alanına sahip gerçek yaklaşık maliyet değeri 2.476.809 TL olan yapıda optimizasyon algoritmaları ile %11,3-13 arasında, 2405 m² toplam inşaat alanına sahip gerçek yaklaşık maliyet değeri 3.149.631 TL olan yapıda optimizasyon algoritmaları ile %12,8-14,4 arasında maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca optimizasyon algoritmaları arasında maliyet performansları eşit koşturma, popülasyon ve iterasyon rakamlarıyla karşılaştırılmıştır. Buna göre; **1.TLBO**, **2.Jaya**, **3.Rao-2** **4.Rao-1** olarak algoritma başarıları karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak 550-5580 m² arasında toplam inşaat alanına, 3-7 arası katlara sahip ve müstakil konut, apartman konutu, yurt binası, hastane ve okul gibi farklı yapılarda en az %5,32 ve en fazla %14,42 oranında inşaat yaklaşık maliyeti-tasarım optimizasyonu başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tasarım değerleri ve maliyet değerleri gerçek hayattan alınan ve saha uygulamalarında karşılığı olan sonuçların olduğu, yine tez çalışmamızda değerlendirilmiştir. Otonom yaklaşık maliyet-tasarım optimizasyonu yapabilen ACDOS programının ve dolayısıyla tez çalışmasının hem teoride hem de pratikte karşılığı olmakla birlikte, bu çalışma literatüre özgün bir araştırma olarak sunulmuştur.

5. ÖNERİLER

Betonarme yapıların, 3 boyutlu model üzerinden, otonom optimizasyon süreçlerinin yönetilmesi alanındaki çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bu tez çalışmasıyla birlikte de sunduğumuz analizlerimize ve yazılımımıza ait, yöntem ve tekniklerin gelecek çalışmalara katkı sunacağına inanmaktayız. Gelecek yıllardaki çalışmalarda; Topoloji optimizasyonu kullanılabilir, yapı yüksekliklerine bağlı tasarım değişkenleri uygulanabilir, farklı optimizasyon algoritmaları uygulanabilir ve Türk Deprem kodu - Türk Standartları yerine, başka ülkelere ait sismik kod ve standartlar kullanılarak literatüre katkı sunulabilir



6. KAYNAKLAR

- A Abed, G. R., (2020). Güncel metasezgisel optimizasyon algoritmaların çelik yapıların optimum boyutlandırılması problemlerindeki performanslarının incelenmesi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Afzal, M., Liu, Y., Cheng, J. C. P., & Gan, V. J. L., (2020). Reinforced concrete structural design optimization: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120623>
- Akay, B., (2009). Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony) Algoritmasının Performans Analizi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Akın, A., (2010). Optimum design od reinforced concrete plane frame using harmony search algorithm (Sayı August). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Doktora Tezi.
- Akin, A., & Saka, M. P., (2015). Harmony search algorithm based optimum detailed design of reinforced concrete plane frames subject to ACI 318-05 provisions. *Computers and Structures*, 147, 79-95. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2014.10.003>
- Aldwaik, M., & Adeli, H., (2016). Cost optimization of reinforced concrete flat slabs of arbitrary configuration in irregular highrise building structures. *Struct Multidisc Optim*, 151-164. <https://doi.org/10.1007/s00158-016-1483-5>
- Aminbakhsh, S., & Sonmez, R., (2016). Pareto front particle swarm optimizer for discrete time-cost trade-off problem. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000606](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000606)
- Amir, O., (2013). A topology optimization procedure for reinforced concrete structures. *Computers and Structures*, 114-115, 46-58.
- Arroyo, O., Liel, A., & Gutiérrez, S., (2017). Performance based assessment of reinforced concrete frames designed using eigenfrequency optimization. *Procedia Engineering*, 199, 3504-3509. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.498>
- Artar, M., (2015). Kompozit kirişli çelik çerçevelerin genetik algoritma ile optimizasyonu. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Aslay, S. E., & Dede, T., (2020). 2007-2018 Türk Deprem Yönetmeliklerinde Yapı Elemanları Çıkarma Senaryoları ve Bina Periyotlarının Karşılaştırılması. *Journal of Polytechnic*, 0900, 0-16. <https://doi.org/10.2339/politeknik.543239>
- Aslay, S. E., & Dede, T., (2023). Reduce the construction cost of a 7-story RC public building with metaheuristic algorithms, *Architectural Engineering and Design Management*. DOI: 10.1080/17452007.2023.2195612

- Aslay, S. E., & Dede, T., (2022). 3D cost optimization of 3 story RC constructional building using Jaya algorithm, *Structures*, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.04.055>
- Aslay, S. E., & Okuyucu, D., (2020). Technical evaluation of abscissa damage of Erzincan Değirmenliköy church. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(1), 387-402. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.468158>
- Atabay, Ş., (2004). Perdeli Betonarme Yapı Sistemlerin Genetik Algoritma İle Optimum Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Atmaca, B., Dede, T., & Grzywinski, M., (2020). Optimization of cables size and prestressing force for a single pylon cable-stayed bridge with Jaya algorithm. *Steel and Composite Structures*, 34(6), 853-862. <https://doi.org/10.12989/scs.2020.34.6.853>
- Azeez, M. N., & Alsaffar, A., (2014). Construction Time-Cost Optimization Modeling Using Ant Colony Optimization. *Journal of Engineering*, 20(1), 114-131.
- Baghdadi, A., Heristchian, M., & Kloft, H., (2019). A Semi-Supervised Meta-Heuristic Shell Form-Finding Approach. [://doi.org/10.1007/s40996-019-00264-0](https://doi.org/10.1007/s40996-019-00264-0)
- Baghdadi, A., Heristchian, M., & Kloft, H., (2020). Design of prefabricated wall-floor building systems using meta-heuristic optimization algorithms. *Automation in Construction*, 114(February), 103156. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103156>
- Beghini, L. L., Beghini, A., Katz, N., Baker, W. F., & Paulino, G. H., (2014). Connecting architecture and engineering through structural topology optimization. *Engineering Structures*, 59, 716-726. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.10.032>
- Behmanesh, I., (2018). Design Optimization of Shear Wall High-Rise Building Structures. Structures Congress, 222-232.
- Bekdas, G., & Nigdeli, S. M., (2013). Optimization of t-shaped RC flexural members for different compressive strengths of concrete. *International Journal of Mechanics*, 7(2), 109-119.
- Bettemir, Ö. H., & Talat Birgönül, M., (2017). Network analysis algorithm for the solution of discrete time-cost trade-off problem. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(4), 1047-1058. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-1615-x>
- Bruggi, M., & Taliercio, A., (2013). Design of masonry blocks with enhanced thermomechanical performances by topology optimization. *Construction and Building Materials*, 48, 424-433. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.023>
- Christiansen, A. N., Bærentzen, J. A., Nobel-Jørgensen, M., Aage, N., & Sigmund, O., (2015). Combined shape and topology optimization of 3D structures. *Computers and Graphics (Pergamon)*, 46, 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2014.09.021>
- Chutani, S., & Singh, J., (2017). Design optimization of Reinforced Concrete Beams. *J. Inst. Eng. India Ser. A*, 98(December), 429-435. <https://doi.org/10.1007/s40030-017-0232-0>

- de Souza, R. R., Fadel Miguel, L. F., Lopez, R. H., Miguel, L. F. F., & Torii, A. J., (2016). A procedure for the size, shape and topology optimization of transmission line tower structures. *Engineering Structures*, 111, 162-184.
- Debraj Bhattacharyya, T. K. P. M. D., (2017). Topology Optimization of Diagrid Structures Using Differential Evolution. *ASCE India Conference*, 122-129.
- Dede, T., & Ayvaz, Y., (2015). Combined size and shape optimization of structures with a new meta-heuristic algorithm. *Applied Soft Computing Journal*, 28, 250-258. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.12.007>
- Dede, T., Kripka, M., Togan, V., Yepes, V., & Rao, R. V., (2019). Usage of Optimization Techniques in Civil Engineering During the Last Two Decades. *Current Trends in Civil & Structural Engineering*, 2(1). <https://doi.org/10.33552/ctcse.2019.02.000529>
- Dede, T., & Toğan, V., (2015). A teaching learning based optimization for truss structures with frequency constraints. *Structural Engineering and Mechanics*, 53(4), 833-845. <https://doi.org/10.12989/sem.2015.53.4.833>
- Dedekargınoğlu, Ö., (2012). Optimum design of steel structures via differential evolution algorithm and application programming interface of SAP2000 (Sayı February). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Doktora Tezi.
- Díaz, J. J. del C., Nietob, P. J. G., Rabanal, F. P. Á., & A. Lozano Martínez-Luengas., (2011). Design and shape optimization of a new type of hollow concrete masonry block using the finite element method. 33, 1-9.
- Eser, C., (2014). Optimum design of steel structures via artificial bee colony (ABC) algorithm and SAP2000 (Sayı February). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Doktora Tezi.
- Esfandiari, M. J., Urgessa, G. S., Sheikholarefin, S., & Manshadi, S. H. D., (2018). Optimum design of 3D reinforced concrete frames using DMPSO algorithm. *Advances in Engineering Software*, 115 (September 2017), 149-160.
- Esfandiary, M. J., Sheikholarefin, S., & Bondarabadi, H. A. R., (2016). a Combination of Particle Swarm Optimization and Multi - Criterion Decision - Making for Optimum Design of Reinforced Concrete Frames. *International Journal of Optimization In Civil Engineering*, 6(2), 245-268.
- Fabeane, R., Moacir, K., M., Z., & Pravia, M. C., (2017). Composite bridges : study of parameters to optimized design composite bridges : study of parameters to optimized design. 1-20, 5(September).
- Frans, R., & Arfiadi, Y., (2014). Sizing, shape, and topology optimizations of roof trusses using hybrid genetic algorithms. *Procedia Engineering*, 95(Scescm), 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.178>
- Glover, F. (1989). Tabu Search - Part I. *Orsa Journal on Computing*, 1(3), 190-206.

- Grzywiński, M., Dede, T., & Özdemir, Y. I., (2019). Optimization of the braced dome structures by using Jaya algorithm with frequency constraints. *Steel and Composite Structures*, 30(1), 47-55. <https://doi.org/10.12989/scs.2019.30.1.047>
- Grzywiński, M., Selejdak, J., & Dede, T., (2019). Shape and size optimization of trusses with dynamic constraints using a metaheuristic algorithm. *Steel and Composite Structures*, 747-753.
- Holland, J. H., (1975). Adaptation in Natural and Artificial System. Adaptation in Natural and Artificial System.
- Houšť, V., Eliáš, J., & Miča, L., (2013). Shape optimization of concrete buried arches. *Engineering Structures*, 48, 716-726. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.11.037>
- Hu, Z. Z., Zhang, X. Y., Wang, H. W., & Kassem, M., (2016). Improving interoperability between architectural and structural design models: An industry foundation classes-based approach with web-based tools. *Automation in Construction*, 66, 29-42. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.001>
- Hussien, G., & Taysi, N., (2013). Genetic Algorithm Optimization of Space Frames. 2nd International Conference on *Challenges of Civil Engineering*, May, 177-180.
- Jalili, S., & Hosseinzadeh, Y., (2015). A cultural algorithm for optimal design of truss structures. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 12(9), 1721-1747. <https://doi.org/10.1590/1679-78251547>
- Kamal, M., & Inel, M., (2019). Optimum Design of Reinforced Concrete Continuous Foundation Using Differential Evolution Algorithm. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(10), 8401-8415. <https://doi.org/10.1007/s13369-019-03889-5>
- Kamari, M., (2016). Yenilikçi çelik bağlar içeren yığma dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yük direncinin modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Kaveh, A., & Ghafari, M. H., (2019). Geometry and Sizing Optimization of Steel Pitched Roof Frames with Tapered Members Using Nine Metaheuristics. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 43(1), 1-8. 1
- Kaveh, A., & Ilchi Ghazaan, M., (2018). Optimum Seismic Design of 3D Irregular Steel Frames Using Recently Developed Metaheuristic Algorithms. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(3), 1-9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000760](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000760)
- Kayabekir, A. E., (2018). Yapı mühendisliğinde meta-sezgisel algoritmalar ile optimizasyon uygulamaları. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri, Yüksek Lisans Tezi.
- Kazakis, G., Kanellopoulos, I., Sotiropoulos, S., & Lagaros, N. D., (2017). Topology optimization aided structural design: Interpretation, computational aspects and 3D printing. *Heliyon*, 3(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00431>

- Kirkpatrick, S., (1983). Optimization by Simulated Annealing Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220(4598), 671-680.
- Kiss, B., & Szalay, Z., (2020). Modular approach to multi-objective environmental optimization of buildings. *Automation in Construction*, 111(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103044>
- Liao, K. W., & Biton, N. I. D. R., (2019). A heuristic optimization considering probabilistic constraints via an equivalent single variable Pearson distribution system. *Applied Soft Computing Journal*, 78, 670-684. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.03.021>
- Mangal, M., & Cheng, J. C. P., (2018). Automated optimization of steel reinforcement in RC building frames using building information modeling and hybrid genetic algorithm. *Automation in Construction*, 90(June 2017), 39-57.
- Miguel, L. F. F., & Fadel Miguel, L. F., (2012). Shape and size optimization of truss structures considering dynamic constraints through modern metaheuristic algorithms. *Expert Systems with Applications*, 39(10), 9458-9467.
- Mortazavi, A., & Toğan, V., (2016). Simultaneous size, shape, and topology optimization of truss structures using integrated particle swarm optimizer. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 54(4), 715-736. <https://doi.org/10.1007/s00158-016-1449-7>
- Mustafa Alpay Tunay., (2019). Yüzeysel temellerin meta-sezgisel yöntemlerle optimum tasarımı. İçinde Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği (C. 1, Sayı 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Niaki, M. I., Maheri, M. R., & Bagheri, M., (2016). Optimum Design of 2-d reinforced concrete frames. The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication-TOJDAC, August, 1909-1919.
- Oliva, A., (2014). Tall Structures Virtual Work Automated optimization. Structures Congress 2014 ASCE 2014, 1926-1941.
- Papavasileiou, G. S., & Charmpis, D. C., (2020). Earthquake-resistant buildings with steel or composite columns: Comparative assessment using structural optimization. *Journal of Building Engineering*, 27(July 2019), 100988.
- Rajput, S. P. S., & Datta, S., (2020). A review on optimization techniques used in civil engineering material and structure design. *Materials Today: Proceedings*, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.305>
- Rakıcı, E., (2019). Sezgisel metotlar kullanılarak betonarme çerçevelerin optimum maliyetli tasarımı. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Rao, R. V., (2020). Rao algorithms: Three metaphor-less simple algorithms for solving optimization problems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 11(1), 107-130. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2019.6.002>

- Regupathi, R., (2017). Cost Optimization Of Multistoried Rc Framed Structure Using Hybrid Genetic Algorithm. 07(07), 888-896.
- Sextos, A. G., & Balafas, G. K., (2011). Using the new SAP2000 open application programming interface to develop an interactive front-end for the modal pushover analysis of bridges. ECCOMAS Thematic Conference - COMPDYN 2011: 3rd International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering: An IACM Special Interest Conference, Programme, 2011(May), 25-28.
- Shoieb, K., Serror, M. H., & Marzouk, M., (2020). Web-Based Tool for Interoperability among Structural Analysis Applications. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(6), 1-12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001840](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001840)
- STA4-CAD., (2020). Structural Analysis for *Computer Aided Design*.
- Stromberg, L. L., Beghini, A., Baker, W. F., & Paulino, G. H., (2012). Topology optimization for braced frames: Combining continuum and beam/column elements. *Engineering Structures*, 37, 106-124. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.12.034>
- Tahsin Öztürk, H., Dede, T., & Türker, E., (2020). Optimum design of reinforced concrete counterfort retaining walls using TLBO, Jaya algorithm. *Structures*, 25(February), 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.03.020>
- Tapao, A., & Cheerarot, R., (2017). Optimal parameters and performance of artificial bee colony algorithm for minimum cost design of reinforced concrete frames. *Engineering Structures*, 151, 802-820. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.059>
- Tomás, A., & Martí, P., (2010). Shape and size optimisation of concrete shells. *Engineering Structures*, 32(6), 1650-1658. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.02.013>
- Triches, J., Yepes, V., & Kripka, M., (2019). Optimization of reinforced concrete building frames with automated grouping of columns. *Automation in Construction*, 104(April), 331-340.
- TS 500., (2000). Requirements for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures (Turkish Standard Institute).
- Tuna, T., (2014). Beton sınıfının ilköğretim bina yapım maliyetine olan etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Turkish Building Seismic Code (2018)., 2018. (Ankara: Prime Ministry, Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD)).
- Vatandoust, M., Riyazi, M., Joshaghani, A., & Balapour, M., (2018). Optimization of Coupled Shear Walls Openings Dimensions under Static Loading using Continuous Method. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(12), 5074-5083. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1608->

Venkata Rao, R., (2016a). Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(1), 19-34.

Venkata Rao, R., (2016b). Review of applications of tlbo algorithm and a tutorial for beginners to solve the unconstrained and constrained optimization problems. *Decision Science Letters* (C. 5, Sayı 1, ss. 1-30). *Growing Science*. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2015.9.003>

.



7. EKLER

```
global lb ub MaxRun PopSize MaxIter dim dv_incr nfe Data Gi SapModel File
h = helpdlg('ana klasörü seçin','full path (ana klasör)');
waitfor(h);
path_for_matlab_file=uigetdir;
addpath(genpath(path_for_matlab_file))
%% Select objective function
SelectObjectiveFunction
function [f,W,C]=Example_1(Population_i)
global Data dim SapModel MaxIter Gi nfe ModelDirectory ModelPath File K D
FrameObj = NET.explicitCast(SapModel.FrameObj,'ETABSv1.cFrameObj');
nfe=nfe+1;
%% Kiliti aç
SetModelLock_open
ret=SapModel.SetModelIsLocked(false());
for i=1:dim
    GroupName=eval(['Data.X', num2str(i)]);
    GetGroupAssignments
    GroupDef = NET.explicitCast(SapModel.GroupDef,'ETABSv1.cGroup');
NumberItems= 0;
ObjectType= NET.createArray('System.Int32', 0);
ObjectName=NET.createArray('System.String', 10000);
% GroupName :
    [ret,NumberItems, ObjectType, ObjectName] = GroupDef.GetAssignments..
    (GroupName, NumberItems, ObjectType, ObjectName);
    KesitNo=Population_i(i);
    for j=1:NumberItems
        Name=ObjectName(j);|
Obj= numaralarını string şeklinde al
Eğer programda, aldığın objenin, baş harfi 'S' ise
kolon liste verisi olarak tanımla
değilse kiriş liste verisi olarak tanımla
end
end
end
%% save model
ret = File.Save(ModelPath);
%% ETABS'ı çalıştır
Run_ETABS
Analyze = NET.explicitCast(SapModel.Analyze,'ETABSv1.cAnalyze');
ret = Analyze.RunAnalysis();
%% Tasarımı başlat
Start_Design
DesignConcrete = NET.explicitCast(SapModel.DesignConcrete,...
    'ETABSv1.cDesignConcrete');
ret =DesignConcrete.StartDesign();
GetFrameObjectNames
FrameObj = NET.explicitCast(SapModel.FrameObj,'ETABSv1.cFrameObj');
NumberNames=0;
```

```

MyName=NET.createArray('System.String', 10000);
[ret,NumberNames, MyName] = FrameObj.GetNameList(NumberNames, MyName);
Beton=0;
Donati=0;
Kalip=0;
kolon_kesit_yeterli=[];
kiris_kesit_yeterli=[];
for i= isimnumaralarına kadar al
    Eleman ismini string olarak değiştir
    If Eleman isminin ilk harfi 'S' ise kolon olarak al
        GetColumnErrorAndWarningMessage
        Name = NET.createArray('System.String', 100);
NumberItems =0;
FrameName = NET.createArray('System.String', 100);
% MyOption = NET.createArray('System.Int32', 10000);
% MyOption = 1;
MyOption = 2;
Location = NET.createArray('System.Double', 100);
PMMCombo = NET.createArray('System.String', 100);
PMMArea = NET.createArray('System.Double', 100);
PMMRatio = NET.createArray('System.Double', 100);
VmajorCombo = NET.createArray('System.String', 100);
AVmajor = NET.createArray('System.Double', 100);
VminorCombo = NET.createArray('System.String', 100);
AVminor= NET.createArray('System.Double', 100);
ErrorSummary = NET.createArray('System.String', 100);
WarningSummary = NET.createArray('System.String', 100);
% ItemType=ETABSv1.eItemType.Group
[ret, NumberItems, FrameName, MyOption, Location, PMMCombo, PMMArea,...
    PMMRatio, VmajorCombo, AVmajor,VminorCombo, AVminor, ErrorSummary,...
    WarningSummary]=DesignConcrete.GetSummaryResultsColumn(type,...
NumberItems, FrameName, MyOption, Location, PMMCombo, PMMArea, PMMRatio,...
VmajorCombo, AVmajor,VminorCombo, AVminor, ErrorSummary, WarningSummary);
c=0;
Ceza tanımlamak için 'ErrorSummary'komutunu string olarak değiştir.
if komut değeri 100'e eşitse c değerini 1 olarak al
else ceza değerini arttır.
end
for Eleman isimlerinin tümünü al
if type 1. harfi 'S' ise
Kolon uyarı mesajı komutunu çalıştır
if c değeri sıfıra eşitse
kolon kesiti yeterlidir
else kolon kesiti yeterli değildir.
end
Ceza tasarım değerini al.
if Ceza tasarım değeri sıfırdan büyükse bırak
end

```

```

Get_kolon_dusey_donati_agirligi
Detailing = NET.explicitCast(SapModel.Detailing, 'ETABSV1.cDetailing');
Name = NET.createArray('System.String', 100);
NumberRebarSets = 0;
BarSizeName = NET.createArray('System.String', 100);
BarArea = NET.createArray('System.Double', 100);
NumberCBars = NET.createArray('System.Int32', 100);
NumberR3Bars = NET.createArray('System.Int32', 100);
NumberR2Bars = NET.createArray('System.Int32', 100);
Location = NET.createArray('System.String', 100);
ClearCover = NET.createArray('System.Double', 100);
RebarSetGUID = NET.createArray('System.String', 100);
Name=type;
[ret, NumberRebarSets, BarSizeName, BarArea, NumberCBars, NumberR3Bars,...
    NumberR2Bars, Location, ClearCover, RebarSetGUID]...
= Detailing.GetColumnLongRebarData(Name,...
    NumberRebarSets, BarSizeName, BarArea, NumberCBars, NumberR3Bars,...
    NumberR2Bars, Location, ClearCover, RebarSetGUID); %#ok<ASGLU>
if Eleman isminin ikinci harfi 1 ile başlıyorsa bulunduğu katı 1 olarak al
elseif Eleman isminin ikinci harfi 2 ile başlıyorsa bulunduğu katı 2 al
elseif Eleman isminin ikinci harfi 3 ile başlıyorsa bulunduğu katı 3 al
elseif Eleman isminin ikinci harfi 4 ile başlıyorsa bulunduğu katı 4 al
elseif Eleman isminin ikinci harfi 5 ile başlıyorsa bulunduğu katı 5 al
elseif Eleman isminin ikinci harfi 6 ile başlıyorsa bulunduğu katı 6 al
elseif Eleman isminin ikinci harfi 7 ile başlıyorsa bulunduğu katı 7 al
elseif Eleman isminin ikinci harfi 8 ile başlıyorsa bulunduğu katı 8 al
end
%% %cStory.GetHeight Method
Story=NET.explicitCast(SapModel.Story, 'ETABSV1.cStory');
Height = NET.createArray('System.Double', 1);
[ret,Height] = Story.GetHeight(bulundugu_kat, 0);
Kat yükseliğini al
Kolon düşey donatı ağırlığını hesapla
Get_kolon_etriye_agirligi
Detailing = NET.explicitCast(SapModel.Detailing, 'ETABSV1.cDetailing');
Name= NET.createArray('System.String', 10);
NumberRebarSets = 0;
BarSizeName = NET.createArray('System.String', 10);
BarArea= NET.createArray('System.Double', 10);
Pattern = NET.createArray('System.Int32', 10);
ConfineType = NET.createArray('System.Int32', 10);
NumberLegs2Dir = NET.createArray('System.Int32', 10);
NumberLegs3Dir = NET.createArray('System.Int32', 10);
Location = NET.createArray('System.String', 10);
ClearCover = NET.createArray('System.Double', 10);
StartCoord1 = NET.createArray('System.Double', 10);
Spacing = NET.createArray('System.Double', 10);
Heights = NET.createArray('System.Double', 10);

```

```

RebarSetGUID = NET.createArray('System.String', 10);
Name=type;
[ret, NumberRebarSets, BarSizeName, BarArea, Pattern, ConfineType,...
NumberLegs2Dir, NumberLegs3Dir, Location, ClearCover, StartCoord1,...
Spacing, Heights, RebarSetGUID]=Detailing.GetColumnTieRebarData(Name,...
NumberRebarSets, BarSizeName, BarArea, Pattern, ConfineType,...
NumberLegs2Dir, NumberLegs3Dir, Location, ClearCover, StartCoord1,...
Spacing, Heights, RebarSetGUID);
Donatı çapını al
Paspayını al
Kolon etriye aralığını al
FrameObj = NET.explicitCast(SapModel.FrameObj, 'ETABSv1.cFrameObj');
PropName = NET.createArray('System.String', 10);
SAuto= NET.createArray('System.String', 10);
[ret, PropName, ~]=FrameObj.GetSection(Name, '1', '1');
PropFrame = NET.explicitCast(SapModel.PropFrame, 'ETABSv1.cPropFrame');
FileName = NET.createArray('System.String', 1);
MatProp = NET.createArray('System.String', 1);
T3 = NET.createArray('System.Double', 1); %kirişte yükseklik
T2 = NET.createArray('System.Double', 1); %kirişte genişlik
Color = NET.createArray('System.Int32', 1);
Notes = NET.createArray('System.String', 1);
GUID = NET.createArray('System.String', 1);
[ret, FileName, MatProp, T3, T2, Color, Notes, GUID]=PropFrame.GetRectangle
(PropName, '1', '1', 1, 1, 1, '1', '1');
NumberCBars = NET.createArray('System.Int32', 100);
NumberR3Bars = NET.createArray('System.Int32', 100);
NumberR2Bars = NET.createArray('System.Int32', 100);
[ret, ~, ~, ~, ~, NumberR3Bars, NumberR2Bars, ~, ~, ~,...
= Detailing.GetColumnLongRebarData(Name,...
NumberRebarSets, BarSizeName, BarArea, NumberCBars, NumberR3Bars,...
NumberR2Bars, Location, ClearCover, RebarSetGUID);
NumberR3Bars=int32(NumberR3Bars);
NumberR2Bars=int32(NumberR2Bars);
if 'R3bars' sayısı 3'den küçükse
T3 etriye kol adetini 2 olarak tanımla
elseif 'R3bars' 3'den büyükse
T3 etriye kol adetini 4 olarak tanımla
else T3 etriye kol adetini 3 olarak tanımla
end
if 'R2bars' sayısı 3'den küçükse
T2 etriye kol adetini 2 olarak tanımla
elseif 'R2bars' 3'den büyükse
T2 etriye kol adetini 4 olarak tanımla
else T2 etriye kol adetini 3 olarak tanımla
end
Etriye uzunluğunu hesapla
Bulunduğu Katı al

```

```

Height = NET.createArray('System.Double', 1);
[ret,Height] = Story.GetHeight(bulundugu_kat, 0);
Ortalama etriye aralığını hesapla
Ortalama etriye adetini hesapla
Kolon etriye toplam ağırlığını hesapla
Donati=Donati + agirlik_kolon_donati + agirlik_kolon_etriye;
Get_kolon_kalip
Name=type;
Bulundu u kat tan mla
Story=NET.explicitCast(SapModel.Story , 'ETABSv1.cStory');
Height = NET.createArray('System.Double', 1);
[ret,Height] = Story.GetHeight(bulundugu_kat, 0);
boy=Height;
Kolon boyunu hesapla
FrameObj=NET.explicitCast(SapModel.FrameObj , 'ETABSv1.cFrameObj');
PropName = NET.createArray('System.String', 1000);
SAuto= NET.createArray('System.String', 1000);
[ret,PropName,~]=FrameObj.GetSection(Name, '1', '1');
Kolonu'PropName'in char karakteri olarak tanımla
Kolonun kısa kenarı olarak 'kolon' 2:3 karakterlerini al
if kolon isim boyu 6'ya eşitse kolon uzun kenarını 'kolon'un 5:6
karakterleri olarak al
elseif kolon isim boyu 7'ye eşitse kolon uzun kenarını 'kolon'un 5:7
karakterleri olarak al
elseif kolon isim boyu 8'e eşitse kolon uzun kenarını 'kolon'un 5:6
karakterleri olarak al
else kolon uzun kenarını 'kolon'un 5:7 olarak al
end
Kolon toplam kalip miktarını hesapla
GetBeamErrorAndWarningMessage
Name = NET.createArray('System.String', 10000);
NumberItems =0;
FrameName = NET.createArray('System.String', 10000);
Location = NET.createArray('System.Double', 10000);
TopCombo = NET.createArray('System.String', 10000);
TopArea = NET.createArray('System.Double', 10000);
BotCombo = NET.createArray('System.String', 10000);
BotArea = NET.createArray('System.Double', 10000);
VMajorCombo = NET.createArray('System.String', 10000);
VMajorArea = NET.createArray('System.Double', 10000);
TLCombo = NET.createArray('System.String', 10000);
TLArea = NET.createArray('System.Double', 10000);
TTCombo = NET.createArray('System.String', 10000);
TTArea = NET.createArray('System.Double', 10000);
ErrorSummary= NET.createArray('System.String', 10000);
WarningSummary= NET.createArray('System.String', 10000);
[ret, NumberItems, FrameName, Location, TopCombo, TopArea, BotCombo,...

```

```

ErrorSummary ,WarningSummary]=DesignConcrete.GetSummaryResultsBeam...
(type, NumberItems, FrameName, Location, TopCombo, TopArea, BotCombo,...
BotArea, VMajorCombo, VMajorArea, TLCombo, TLArea, TTCombo, TTArea,...
ErrorSummary ,WarningSummary);
c=0;
'CezaError'u string olarak tanımla
if 'ErrorSummary' uzunlu u 100 olursa 'c'yi 1 olarak al.
else
for 'ErrorSummary' uzunlu u boyunca 'c'ye her bir uyarı uzunluğu kadar
ekleme yap
end
end
if 'c' s f r a eitse kiri kesiti yeterlidir
else kiri kesiti yeterli değildir
end
Ceza tasarım değerini hesapla
if ceza tasar m de eri s f dan b y kse d ng y durdur
Get_kiris_yatay_donati_agirligi
Detailing = NET.explicitCast(SapModel.Detailing, 'ETABSv1.cDetailing');
Name = NET.createArray('System.String', 100);
NumberRebarSets =0;
BarSizeName = NET.createArray('System.String', 100);
BarArea = NET.createArray('System.Double', 100);
NumberBars = NET.createArray('System.Int32', 100);
Location = NET.createArray('System.String', 100);
ClearCover = NET.createArray('System.Double', 100);
StartCoord1 = NET.createArray('System.Double', 100);
BarLength = NET.createArray('System.Double', 100);
BendingAngleStart = NET.createArray('System.Double', 100);
BendingAngleEnd = NET.createArray('System.Double', 100);
RebarSetGUID = NET.createArray('System.String', 100);
[ret, NumberRebarSets, BarSizeName, BarArea, NumberBars, Location,...
ClearCover,StartCoord1, BarLength,BendingAngleStart, BendingAngleEnd,...
RebarSetGUID]=Detailing.GetBeamLongRebarData(type,...
NumberRebarSets, BarSizeName, BarArea, NumberBars, Location, ClearCover,...
StartCoord1, BarLength,BendingAngleStart, BendingAngleEnd,RebarSetGUID);
Yatay donatı çapını hesapla
Yatay donatı adetini hesapla
Yatay donatı boyunu hesapla
Kiri toplam yatay donatı ağırlığını hesapla
Get_kiris_etriye_agirligi
Detailing = NET.explicitCast(SapModel.Detailing, 'ETABSv1.cDetailing');
Name = NET.createArray('System.String', 100);
NumberRebarSets=0;
BarSizeName = NET.createArray('System.String', 100);
BarArea = NET.createArray('System.Double', 100);
NumberLegs = NET.createArray('System.Double', 100);
Location = NET.createArray('System.String', 100);

```

```

StartCoord1 = NET.createArray('System.Double', 100);
Spacing = NET.createArray('System.Double', 100);
Lengths = NET.createArray('System.Double', 100);
RebarSetGUID = NET.createArray('System.String', 100);
[ret, NumberRebarSets, BarSizeName, BarArea, NumberLegs, Location,...
ClearCover,StartCoord1, Spacing,Lengths, RebarSetGUID]...
=Detailing.GetBeamTieRebarData(type,NumberRebarSets, BarSizeName,...
BarArea,NumberLegs, Location, ClearCover,StartCoord1, Spacing,...
Lengths,RebarSetGUID);
Kiri etriye çapını hesapla
Kiri etriye adetini hesapla
Kiri etriye boyunu hesapla
Toplam kiriş etriye ağırlığını hesapla
Toplam donatı ağırlıklarını hesapla
Get_kiris_kalip
Detailing = NET.explicitCast(SapModel.Detailing, 'ETABSv1.cDetailing');
Name = NET.createArray('System.String', 1000);
NumberRebarSets=0;
BarSizeName = NET.createArray('System.String', 1000);
BarArea = NET.createArray('System.Double', 1000);
NumberLegs = NET.createArray('System.Double', 1000);
Location = NET.createArray('System.String', 1000);
ClearCover = NET.createArray('System.Double', 1000);
StartCoord1 = NET.createArray('System.Double', 1000);
Spacing = NET.createArray('System.Double', 1000);
Lengths = NET.createArray('System.Double', 1000);
RebarSetGUID = NET.createArray('System.String', 1000);
Name=type;
[ret, NumberRebarSets, BarSizeName, BarArea, NumberLegs, Location,...
ClearCover,StartCoord1, Spacing,Lengths, RebarSetGUID]...
=Detailing.GetBeamTieRebarData(Name,NumberRebarSets, BarSizeName,...
BarArea,NumberLegs, Location, ClearCover,StartCoord1, Spacing,...
Lengths,RebarSetGUID);
Kiri boyunu hesapla
Toplam kiriş boyunu hesapla
%% cFrameObj.GetSection Method
FrameObj=NET.explicitCast(SapModel.FrameObj, 'ETABSv1.cFrameObj');
PropName = NET.createArray('System.String', 1000);
SAuto= NET.createArray('System.String', 1000);
[ret,PropName,~]=FrameObj.GetSection(Name, '1', '1');
kiris=char(PropName);
kia=0;
'Kiris' char karakteri olarak değiştir
'Kiris' 2:3 elemanlar n kiri k sa kenar olarak al
if 'Kiris' boyu 6'ya eşitse
kiri uzun kenarını 'Kiris'in 5:6 karakterleri olarak al
else kiri uzun kenarını 'Kiris'in 5:7 karakterleri olarak al
end

```

```

end
Toplam Kiriş kalıp miktarını hesapla
%% get beton
if ceza_tasarim>0
    beton_miktari=1E9;
else
    Get_beton_miktari
AnalysisResults = NET.explicitCast(SapModel.Results,...
    'ETABSV1.cAnalysisResults');
AnalysisResultsSetup = NET.explicitCast(AnalysisResults.Setup,...
    'ETABSV1.cAnalysisResultsSetup');
AnalysisResultsSetup.DeselectAllCasesAndCombosForOutput;
AnalysisResultsSetup.SetCaseSelectedForOutput('G'); % bazı modellerde Dead
NumberResults=0;
LoadCase= NET.createArray('System.String', 1);
StepType= NET.createArray('System.String', 1);
StepNum = NET.createArray('System.Double', 1);
Fx = NET.createArray('System.Double', 1);
Fy = NET.createArray('System.Double', 1);
Fz = NET.createArray('System.Double', 1);
Mx = NET.createArray('System.Double', 1);
ParamMy = NET.createArray('System.Double', 1);
Mz = NET.createArray('System.Double', 1);
gx = 0;
gy = 0;
gz = 0;
[~, ~, ~, ~, ~, ~, ~, Fz, ~, ~, ~, ~, ~, ~] =AnalysisResults.BaseReact...
    (NumberResults, LoadCase, StepType, StepNum, Fx, Fy, Fz, Mx, ParamMy, .
Mz, gx, gy, gz);
Toplam beton miktarını hesapla
end
%% define [f,W,C]
C=ceza_tasarim;
W=beton_miktari;
beton_birim_fiyat=982.73; %15.150.1006 POZ NO_ C30/37 BETONU
donati_birim_fiyat=18858.88;% 15.160.1004 POZ NO_ NERVÜRLÜ İNŞAAT DEMİRİ
kalip_birim_fiyat=142.14; % 15.180.1003 POZ NO_ BETONARME KALIP
Get_tabliye_kalip_miktari;
global toplam_tabliye_donati_agirligi
FrameObj = NET.explicitCast(SapModel.FrameObj,'ETABSV1.cFrameObj');
NumberNames =0;
MyName = NET.createArray('System.String', 100);
PropName = NET.createArray('System.String', 100);
StoryName = NET.createArray('System.String', 100);
PointName1 = NET.createArray('System.String', 100);
    PointName2 = NET.createArray('System.String', 100);
Point1X = NET.createArray('System.Double', 100);
Point1Y = NET.createArray('System.Double', 100);
Point1Z = NET.createArray('System.Double', 100);

```

```

Point2Y = NET.createArray('System.Double', 100);
Point2Z = NET.createArray('System.Double', 100);
Angle = NET.createArray('System.Double', 100);
Offset1X = NET.createArray('System.Double', 100);
Offset2X = NET.createArray('System.Double', 100);
Offset1Y = NET.createArray('System.Double', 100);
Offset2Y = NET.createArray('System.Double', 100);
Offset1Z = NET.createArray('System.Double', 100);
Offset2Z = NET.createArray('System.Double', 100);
CardinalPoint = NET.createArray('System.Int32', 10);
[ret, NumberNames, MyName, PropName, StoryName, PointName1, PointName2,...
    Point1X, Point1Y, Point1Z, Point2X, Point2Y, Point2Z,...
Angle, Offset1X, Offset2X, Offset1Y, Offset2Y, Offset1Z, Offset2Z,...
CardinalPoint] = FrameObj.GetAllFrames (NumberNames, MyName, PropName,...
StoryName, PointName1, PointName2, Point1X, Point1Y, Point1Z, Point2X,...
Point2Y, Point2Z, Angle, Offset1X, Offset2X, Offset1Y, Offset2Y, Offset1Z,...
Offset2Z, CardinalPoint);
x1 = double(Point1X);
toplaml_x = max(x1) - min(x1);
y1 = double(Point1Y);
toplaml_y = max(y1) - min(y1);
Story = NET.explicitCast(SapModel.Story, 'ETABSv1.cStory');
Name = NET.createArray('System.String', 100);
NumberStories = 0;
StoryNames = NET.createArray('System.String', 100);
StoryElevations = NET.createArray('System.Double', 100);
StoryHeights = NET.createArray('System.Double', 100);
IsMasterStory = NET.createArray('System.Boolean', 100);
SimilarToStory = NET.createArray('System.String', 100);
SpliceAbove = NET.createArray('System.Boolean', 100);
SpliceHeight = NET.createArray('System.Double', 100);
[ret, NumberStories, StoryNames, StoryElevations, StoryHeights,...
    IsMasterStory, SimilarToStory, SpliceAbove, SpliceHeight]...
    = Story.GetStories (NumberStories, StoryNames, StoryElevations,...
    StoryHeights, IsMasterStory, SimilarToStory, SpliceAbove, SpliceHeight);
Katsay s n bul
Katsay n say sal ifadeye dönüştür
Toplam tabliye alanını hesapla
end
Toplam tabliye donatı ağırlıklarını hesapla
Kalip = Kalip + toplam_tabliye_alani;
Get_perde_kalip;
DesignShearWall = NET.explicitCast(SapModel.DesignShearWall,...
    'ETABSv1.cDesignShearWall');
DesignConcrete = NET.explicitCast(SapModel.DesignConcrete,...
    'ETABSv1.cDesignConcrete');
Story = NET.createArray('System.String', 100);
PierLabel = NET.createArray('System.String', 100);

```

```

PierSecType = NET.createArray('System.String', 100);
EdgeBar = NET.createArray('System.String', 100);
EndBar = NET.createArray('System.String', 100);
BarSpacing = NET.createArray('System.Double', 100);
ReinfPercent= NET.createArray('System.Double', 100);
CurrPercent = NET.createArray('System.Double', 100);
DCRatio= NET.createArray('System.Double', 100);
PierLeg = NET.createArray('System.String', 100);
LegX1 = NET.createArray('System.Double', 100);
LegY1 = NET.createArray('System.Double', 100);
LegX2 = NET.createArray('System.Double', 100);
LegY2 = NET.createArray('System.Double', 100);
EdgeLeft = NET.createArray('System.Double', 100);
EdgeRight = NET.createArray('System.Double', 100);
AsLeft = NET.createArray('System.Double', 100);
AsRight = NET.createArray('System.Double', 100);
ShearAv = NET.createArray('System.Double', 100);
StressCompLeft = NET.createArray('System.Double', 100);|
StressCompRight = NET.createArray('System.Double', 100);
StressLimitLeft = NET.createArray('System.Double', 100);
StressLimitRight = NET.createArray('System.Double', 100);
CDepthLeft = NET.createArray('System.Double', 100);
CLimitLeft = NET.createArray('System.Double', 100);
CDepthRight = NET.createArray('System.Double', 100);
CLimitRight = NET.createArray('System.Double', 100);
InelasticRotDemand = NET.createArray('System.Double', 100);
InelasticRotCapacity = NET.createArray('System.Double', 100);
NormCompStress = NET.createArray('System.Double', 100);
NormCompStressLimit = NET.createArray('System.Double', 100);
CDepth = NET.createArray('System.Double', 100);
BZoneL = NET.createArray('System.Double', 100);
BZoneR = NET.createArray('System.Double', 100);
BZoneLength = NET.createArray('System.Double', 100);
WarnMsg = NET.createArray('System.String', 100);
ErrMsg = NET.createArray('System.String', 100);
[ret, Story, PierLabel, Station, DesignType, PierSecType, EdgeBar, EndBar ,...
BarSpacing, ReinfPercent, CurrPercent, DCRatio, PierLeg, LegX1, LegY1, .
LegX2, LegY2, EdgeLeft, EdgeRight, AsLeft, AsRight, ShearAv, ...
StressCompLeft, StressCompRight, StressLimitLeft, StressLimitRight, ...
CDepthLeft, CLimitLeft, CDepthRight, CLimitRight, InelasticRotDemand, ..
InelasticRotCapacity, NormCompStress, NormCompStressLimit, CDepth, ...
BZoneL, BZoneR, BZoneLength, ...
WarnMsg, ErrMsg] =DesignShearWall.GetPierSummaryResults...
(Story, PierLabel, Station, DesignType, PierSecType, EdgeBar, EndBar ,...
BarSpacing, ReinfPercent, CurrPercent, DCRatio, PierLeg, LegX1, LegY1, ...
LegX2, LegY2, EdgeLeft, EdgeRight, AsLeft, AsRight, ShearAv, ...
StressCompLeft, StressCompRight, StressLimitLeft, StressLimitRight, ...
CDepthLeft, CLimitLeft, CDepthRight, CLimitRight, InelasticRotDemand, ...
InelasticRotCapacity, NormCompStress, NormCompStressLimit, CDepth, ...

```

```

BZoneL, BZoneR, BZoneLength, WarnMsg, ErrMsg);
Story_ = string(Story) ;
PierLabel_ = string (PierLabel);
ReinfPercent_ = double(ReinfPercent);
ShearAv_ = double(ShearAv);
WarnMsg_ = string ( WarnMsg);
ErrMsg_ = string ( ErrMsg);
PierLabel = NET.explicitCast(SapModel.PierLabel, 'ETABSv1.cPierLabel');
Name = NET.createArray('System.String', 100);
NumberStories = 0;
StoryName= NET.createArray('System.String', 100);
AxisAngle= NET.createArray('System.Double', 100);
NumAreaObjs = NET.createArray('System.Int32', 100);
NumLineObjs = NET.createArray('System.Int32', 100);
WidthBot= NET.createArray('System.Double', 100);
ThicknessBot= NET.createArray('System.Double', 100);
WidthTop= NET.createArray('System.Double', 100);
ThicknessTop= NET.createArray('System.Double', 100);
MatProp= NET.createArray('System.String', 100);
CGBotX= NET.createArray('System.Double', 100);
CGBotY= NET.createArray('System.Double', 100);
CGBotZ= NET.createArray('System.Double', 100);
CGTopX= NET.createArray('System.Double', 100);
CGTopY= NET.createArray('System.Double', 100);
CGTopZ= NET.createArray('System.Double', 100);
toplam_perde_kalip_miktari=0;
for p=2: maksimum uzunlu u kadar al
[ret, NumberStories, StoryName, AxisAngle , NumAreaObjs , NumLineObjs , ...
WidthBot , ThicknessBot, WidthTop, ThicknessTop, MatProp, CGBotX, ...
CGBotY, CGBotZ, CGTopX , CGTopY , CGTopZ]=PierLabel.GetSectionProperties
(Name, NumberStories, StoryName, AxisAngle , NumAreaObjs , NumLineObjs , ...
WidthBot , ThicknessBot, WidthTop, ThicknessTop, MatProp, CGBotX, CGBotY, ...
CGBotZ, CGTopX , CGTopY , CGTopZ);
Perde enini hesapla
Perde boyunu hesapla
Name=char(Name);
Bulundu u kat al
Story=NET.explicitCast(SapModel.Story , 'ETABSv1.cStory');
Height = NET.createArray('System.Double', 1);
[ret, Height] = Story.GetHeight(bulundugu_kat, 0);
Kat yüksekliğini al
Perde kalıp miktarını hesapla
Toplam perde kalıp miktarını hesapla
end
Kalip=Kalip+toplam_perde_kalip_miktari;
Getperdetoplamtumdonatiagirliğı
DesignShearWall = NET.explicitCast(SapModel.DesignShearWall, ...
'ETABSv1.cDesignShearWall');

```

```

DesignConcrete = NET.explicitCast(SapModel.DesignConcrete,...
    'ETABSv1.cDesignConcrete');
Story = NET.createArray('System.String', 100);
PierLabel = NET.createArray('System.String', 100);
Station = NET.createArray('System.String', 100);
DesignType = NET.createArray('System.String', 100);
PierSecType = NET.createArray('System.String', 100);
EdgeBar = NET.createArray('System.String', 100);
EndBar = NET.createArray('System.String', 100);
BarSpacing = NET.createArray('System.Double', 100);
ReinfPercent= NET.createArray('System.Double', 100);
CurrPercent = NET.createArray('System.Double', 100);
DCRatio= NET.createArray('System.Double', 100);
PierLeg = NET.createArray('System.String', 100);
LegX1 = NET.createArray('System.Double', 100);
LegY1 = NET.createArray('System.Double', 100);
LegX2 = NET.createArray('System.Double', 100);
LegY2 = NET.createArray('System.Double', 100);
EdgeLeft = NET.createArray('System.Double', 100);
EdgeRight = NET.createArray('System.Double', 100);
AsLeft = NET.createArray('System.Double', 100);
AsRight = NET.createArray('System.Double', 100);
ShearAv = NET.createArray('System.Double', 100);
StressCompLeft = NET.createArray('System.Double', 100);
StressCompRight = NET.createArray('System.Double', 100);
StressLimitLeft = NET.createArray('System.Double', 100);
StressLimitRight = NET.createArray('System.Double', 100);
CDepthLeft = NET.createArray('System.Double', 100);
CLimitLeft = NET.createArray('System.Double', 100);
CDepthRight = NET.createArray('System.Double', 100);
CLimitRight = NET.createArray('System.Double', 100);
InelasticRotDemand = NET.createArray('System.Double', 100);
InelasticRotCapacity = NET.createArray('System.Double', 100);
NormCompStress = NET.createArray('System.Double', 100);
NormCompStressLimit = NET.createArray('System.Double', 100);
CDepth = NET.createArray('System.Double', 100);
BZoneL = NET.createArray('System.Double', 100);
BZoneR = NET.createArray('System.Double', 100);
BZoneLength = NET.createArray('System.Double', 100);
WarnMsg = NET.createArray('System.String', 100);
ErrMsg = NET.createArray('System.String', 100);
[ret, Story, PierLabel, Station, DesignType, PierSecType, EdgeBar, EndBar ,...
    BarSpacing, ReinfPercent, CurrPercent, DCRatio, PierLeg, LegX1, LegY1,...
    LegX2, LegY2, EdgeLeft, EdgeRight, AsLeft, AsRight, ShearAv,...
    StressCompLeft, StressCompRight, StressLimitLeft, StressLimitRight,...
    CDepthLeft, CLimitLeft, CDepthRight, CLimitRight, InelasticRotDemand,...
    InelasticRotCapacity, NormCompStress, NormCompStressLimit, CDepth,...
    BZoneL, BZoneR, BZoneLength, WarnMsg, ErrMsg]...

```

```

=DesignShearWall.GetPierSummaryResults...
(Story, PierLabel, Station, DesignType, PierSecType, EdgeBar, EndBar ,...
BarSpacing, ReinfPercent, CurrPercent, DCRatio, PierLeg, LegX1, LegY1,...
LegX2, LegY2, EdgeLeft, EdgeRight, AsLeft, AsRight, ShearAv,...
StressCompLeft, StressCompRight, StressLimitLeft, StressLimitRight,...
CDepthLeft, CLimitLeft, CDepthRight, CLimitRight, InelasticRotDemand,...
InelasticRotCapacity, NormCompStress, NormCompStressLimit, CDepth,...
BZoneL, BZoneR, BZoneLength, WarnMsg, ErrMsg);
Story_=string(Story) ;
PierLabel_=string (PierLabel);
ReinfPercent_= double(ReinfPercent);
ShearAv_= double(ShearAv);
WarnMsg_=string ( WarnMsg);
ErrMsg_=string ( ErrMsg);
PierLabel = NET.explicitCast(SapModel.PierLabel, 'ETABSv1.cPierLabel');
Name = NET.createArray('System.String', 100);
NumberStories =0;
StoryName= NET.createArray('System.String', 100);
AxisAngle= NET.createArray('System.Double', 100);
NumAreaObjs = NET.createArray('System.Int32', 100);
NumLineObjs = NET.createArray('System.Int32', 100);
WidthBot= NET.createArray('System.Double', 100);
ThicknessBot= NET.createArray('System.Double', 100);
WidthTop= NET.createArray('System.Double', 100);
ThicknessTop= NET.createArray('System.Double', 100);
MatProp= NET.createArray('System.String', 100);
CGBotX= NET.createArray('System.Double', 100);
CGBotY= NET.createArray('System.Double', 100);
CGBotZ= NET.createArray('System.Double', 100);
CGTopX= NET.createArray('System.Double', 100);
CGTopY= NET.createArray('System.Double', 100);
CGTopZ= NET.createArray('System.Double', 100);
toplam_perde_donati=0;
for p=2:2:length(PierLabel_)
Name=PierLabel_(p);
[ret, NumberStories, StoryName, AxisAngle , NumAreaObjs , NumLineObjs ,...
WidthBot , ThicknessBot, WidthTop, ThicknessTop, MatProp, CGBotX,...
CGBotY, CGBotZ, CGTopX , CGTopY , CGTopZ]=PierLabel.GetSectionProperties
(Name, NumberStories, StoryName, AxisAngle , NumAreaObjs , NumLineObjs ,...
WidthBot , ThicknessBot, WidthTop, ThicknessTop, MatProp, CGBotX,...
CGBotY, CGBotZ, CGTopX , CGTopY , CGTopZ);
Gerekli perde eninin hesaplanması
Gerekli perde boyunun hesaplanması
Perde düşey donatı alanının hesaplanması
(Perde_gerekli_dusey_donati_alani), (ShearAv_(2)*1000000), WarnMsg_(2),...
ErrMsg_(2));
for j= tevzi aplar na kadar
for i= tevzi aral klar na kadar
if tevzi hesap yeterli ise

```

```

break
end
end
Tevzi tek kol adedinin tanımlanması
Tevzi donatı çapının tanımlanması
Name=char(Name);
Bulundu u kat n belirlenmesi
Story = NET.explicitCast(SapModel.Story,'ETABSv1.cStory');
Height = NET.createArray('System.Double', 1);
[ret,Height] = Story.GetHeight(bulundugu_kat, 0);
Kat yüksekliğinin tanımlanması
Tevzi adedinin belirlenmesi
Tevzi uzunluğunun belirlenmesi
Perde toplam tevzi ağırlığının hesaplanması
for a=d ey donatı aplar na kadar
for b= perde minimum ve maksimum donatı sayısı
if perde gerekli düşey donatı alanı yeterliyse
break d ng y sonland r
end
end
Perde toplam düşey donatı ağırlığının hesaplanması
Toplam perde donatı ağırlıklarının hesaplanması
end
Donati=Donati+toplam_perde_donati+toplam_tabliye_donati_agirligi
beton_miktari
Donati
Kalip
f=(beton_miktari*beton_birim_fiyat+(Donati)*donati_birim_fiyat+...
(Kalip*kalip_birim_fiyat))*(1+C)
Open_ETABS_Model
%% full path to ETABS exe
h=msgbox('full path to the program "exe" (ETABS)', 'MATLAB_ETABS', 'custom',
imread('ETABS.png')); waitfor(h);
[ProgramName, ProgramDirectory]= 'exe' uzantı sn n tanımlanması
%% full path to API dll
h=msgbox('full path to the program "dll" (ETABS)', 'MATLAB_ETABS', 'custom',
imread('ETABS.png')); waitfor(h);
[APIDLLName, APIDLLDirectory]= 'dll' uzantı sn n tanımlanması
%% create API helper object
a = NET.addAssembly(APIDLLPath);
helper = ETABSv1.Helper;
helper = NET.explicitCast(helper, 'ETABSv1.cHelper');
%% create an instance of the ETABS object from the specified path
ETABSObject = helper.CreateObject(ProgramPath);
ETABSObject = NET.explicitCast(ETABSObject, 'ETABSv1.cOAPI');
%% start ETABS application
ETABSObject.ApplicationStart;
% helper = 0;

```

```

%% create SapModel object
SapModel = NET.explicitCast(ETABSObject.SapModel, 'ETABSv1.cSapModel');
%% Initialize model
SapModel.InitializeNewModel;
File = NET.explicitCast(SapModel.File, 'ETABSv1.cFile');
%% full path to the existing model
h=msgbox('full path to the model name (ETABS)', 'MATLAB_ETABS', 'custom',
imread('ETABS.png')); waitfor(h);
[ModelName, ModelDirectory]=uigetfile('*.EDB', 'Select the ETABS dll');
ModelPath = strcat(ModelDirectory, ModelName);
%% Hide ETABS application
ETABSObject.Hide;
%% open an existing file
File.OpenFile(ModelPath);
%% define design variables
GetGroupNames
% get group assignments
GroupDef = NET.explicitCast(SapModel.GroupDef, 'ETABSv1.cGroup');
NumberNames= 0;
MyName=NET.createArray('System.String', 10000);
[ret,NumberNames, MyName] = GroupDef.GetNameList(NumberNames, MyName);
Gruplar=string(MyName)';
Yap elemanlar n n grup atamalarının yapılması
GrupListesi=Gruplar(secim)';
for i= grup liste uzunluğu kadar
gruplar n data olarak saklanması
end
%% define frame sections for columns and beams
GetFramePropertyNames
PropFrame = NET.explicitCast(SapModel.PropFrame, 'ETABSv1.cPropFrame');
NumberNames=0;
MyName=NET.createArray('System.String', 10000);
[ret,NumberNames, MyName] = PropFrame.GetNameList(NumberNames, MyName);
Kesitler=string(MyName)';
[secim] = listdlg(kolonlar n se ilmesi
Data.KolonListesi=kolonlar n veri kaynağına atanması
[secim] = listdlg(kiri lerin se ilmesi
Data.KirisListesi=kiri lerin veri kaynağına atanması
%% define parameters
ButtonName = questdlg('Please enter the parameter of the optimization probl
' ', 'Ok', 'Ok');
prompt = {'number of RUN ', 'number of population ', 'number of generation '}
dlg_title = ['Data of Opt. Problem'];
dims = [1 50];
def = {'10', '30', '100'};
answer=inputdlg(prompt,dlg_title,dims,def);
MaxRun= str2num(answer{1});
PopSize= str2num(answer{2});
MaxIter= str2num(answer{3});

```

```

dim= length(GrupListesi);
dv_incr= ones(1,dim);
alt sınırın belirlenmesi
st s n r n belirlenmesi
%% Select any optimization algorithm from file
secim_op=questdlg('bir secim yapın','optimiztion algorithm','TLBO',...
    'from file','TLBO');
if secim_op(1:4)== istenilen algoritma n n se ilmesi
optimization_algorithm= algoritma dosyas n n atanmas
else
optimization_algorithm = algoritma yolunun tanımlanması
%% sonuçların kaydedileceği yeri sorar
h = helpdlg('kayıt klasörü belirle','full path (kayıt klasörü)');
waitfor(h)
mydosya=uigetdir;
a=datestr(now,30);
study_time=[a(1:4),'_',a(5:6),'_',a(7:8),'__',a(10:11),'_',a(12:13),'_',
    a(14:15)];
mydosya=[mydosya,'\Output\',ModelName(1:end-4),'\\',
    optimization_algorithm(1:end-2),'__',study_time];
rapor_dosya_acma
dosyay tarar
dosya yolunu belirler
% Tasarım değişkenlerini excell e aktar
Kolon kesitlerini excell'e aktar
Kiri kesitlerini excell'e aktar
Sonu lar yazd r
for maksimum run kadar koştur
populasyonu, poplasyon büyüklüğü içinde rastgele belirle
for i: uzunlu u kadar populasyonu başlat
alts n r st s n r kontrollerini yap
populasyonu oluşturun
end
nfe=0;
Gi=0;
f=Populasyonb y kl i inde rasgele tanımla
for i=1:Populasyon b y kl kadar
f(i)= ama fonksiyonunu populasyon içinde çalıştır
end

save_results
fprintf(fid2,'%10.4f\t',Gi,population(min(find(f==min(f))),:));
fprintf(fid2,' \n');
[f1,W,C]=feval(Objf,population(min(find(f==min(f))),:));
fprintf(fid3,'%5d %15.4f %15.4f %15.4f\n',Gi,f1,C,W);
nfe=nfe-1;
fprintf('\t%i\t\t%i\t\t%i\t\t%i\t\t%6.8f\t%6.8f\n',index_Rn,Gi,nfe,f1,C)
end

```

ÖZGEÇMİŞ

Semi Emrah ASLAY, Öğrenim hayatında; orta ve lise öğrenimi (1996-2003) Erzincan Anadolu Lisesinde tamamladı. Lisans (2004-2008) eğitimini Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamladı. Yüksek Lisansı (2016-2017) Erzurum Teknik Üniversitesinde tamamladı. 2018 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesinde doktora eğitimine başladı. İş hayatında; 2008-2011 yılları arasında çeşitli inşaat şirketlerinde saha mühendisi ve proje mühendisi olarak çalıştı. 2011- 2015 yılları arasında Erzincan Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğünde çalıştı ve Bakanlık adına kentsel dönüşüm, yapım kontrollük işlemleri, proje kontrollük işlemleri, teknik rapor komisyonları ve hasar tespit komisyonları olmak üzere farklı görevlerde bulundu. Tez çalışması kapsamında SCI, E-SCI, bildiri ve kitap bölümü olmak üzere çeşitli yayın faaliyetlerinde bulunulmuş olmakla birlikte, yapılan SCI makaleler aşağıda sıralanmaktadır.

Aslay, S. E., & Dede, T. (2023). Reduce the construction cost of a 7-story RC public building with metaheuristic algorithms, *Architectural Engineering and Design Management*. DOI: 10.1080/17452007.2023.2195612

Aslay, S. E., & Dede, T. (2022). 3D cost optimization of 3 storey RC constructional building using Jaya algorithm, *Structures*, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.04.05>