

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KOMPOZİT KİRİŞLİ ÇELİK ÇERÇEVELERİN
GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYONU

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Musa ARTAR

AĞUSTOS 2015
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KOMPOZİT KİRİŞLİ ÇELİK ÇERÇEVELERİN
GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYONU

Musa ARTAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 / 08 / 2015

Tezin Savunma Tarihi : 27 / 08 / 2015

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU

Trabzon 2015

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Musa ARTAR Tarafından Hazırlanan**

**KOMPOZİT KİRİŞLİ ÇELİK ÇERÇEVELERİN
GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYONU**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 11 /08/2015 gün ve 1615 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU

.....

Üye : Prof. Dr. Ahmet BİRİNCİ

.....

Üye : Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

.....

Üye : Prof. Dr. Ragıp ERDÖL

.....

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÜLKER

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Kompozit Kirişli Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu” adlı konuyu bana önererek yöneticiliğimi üstlenen, fikirleriyle bana yol gösteren çok saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU’na teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Yoğun çalışmaları sırasında değerli zamanlarını ayırarak tez izleme komitesinde yer alan ve çalışmamı başından itibaren takip eden ve değerlendiren saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Ahmet BİRİNCİ’ye, Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU’na çok teşekkürler ederim.

Tez jürisinde yer almayı kabul eden ve tezimi değerlendirmek için zaman ve emeklerini esirgemeyen çok değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Ragıp ERDÖL ve Prof. Dr. Mehmet ÜLKER’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bugüne kadar bana emeği geçen tüm hocalarıma saygıyla anar, çalışmamı destekleyen yanımda olduklarını hissettiren tüm arkadaşlarıma teşekkürler ederim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyerek bana her türlü imkân ve desteği sağlayan başta annem ve babam olmak üzere tüm aileme müteşekkir olduğumu belirtmek isterim.

Bu çalışmanın ülkemiz için faydalı olmasının temenni ederim.

Musa ARTAR
Trabzon 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Kompozit Kirişli elik erevelerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda 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.
27/08/2015

Musa ARTAR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Genetik Algoritma (GA)	2
1.2.1. Yapısal Optimizasyon ve Literatür Araştırması.....	4
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	10
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	12
2.1. Genetik Algoritma ile Yapısal Optimizasyon	12
2.2. Boyutlandırma Sınırlayıcıları.....	15
2.2.1. Dinamik Sınırlayıcılar.....	23
2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	24
2.4. Yarı Rijit Birleşim.....	28
2.5. Kompozit Kirişler	31
2.6. Uzay Çelik Çerçevelerin SAP2000-OAPI ile Optimum Boyutlandırılması.....	34
2.7. Genetik Algoritma ile Hasar Tespiti	36
2.7.1. Toplam Amaç Fonksiyonun Belirlenmesi	38
2.8. Kompozit Kirişli Sistemlerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonuna İlişkin Örnekler	39
2.8.1. Kompozit Kesitli Çelik Sistemlerin Geleneksel Sınırlayıcılara Göre Genetik Algoritma ile Optimizasyonuna İlişkin Örnekler.....	40
2.8.1.1. Tek Açıklı Tek Katlı Basit Çerçeve Sistem	40
2.8.1.2. 21 Çubuklu Çerçeve Sistem.....	42
2.8.2. Çok Katlı Kompozit Kirişli Çelik Çerçevelerin Dinamik Sınırlayıcı Genetik Algoritma ile Optimizasyonuna İlişkin Örnekler	45

2.8.2.1	Tek Açıklıklı Beş Katlı Çerçeve	46
2.8.2.2	Altı Katlı, İki Açıklıklı Çerçeve.....	50
2.8.2.3.	On Katlı, Üç Açıklı Çelik Çerçeve Sistem	54
2.8.3.	Yarı Rijit Bağlı ve Kompozit Kirişli Çelik Çerçevelerin Optimizasyonuna İlişkin Örnekler	58
2.8.3.1.	Tam Rijit Ankastre Mesnetli, Kiriş-Kolon Birleşimli Kompozit Kirişli Düzlem Çerçevelerin Optimizasyonuna İlişkin Örnekler	58
2.8.3.1.1.	Dokuz Katlı Tek Açıklıklı Çerçeve	60
2.8.3.1.2.	On Katlı Dört Açıklıklı Çerçeve	65
2.8.3.2.	Yarı Rijit Kolon-Temel ve Kiriş-Kolon Birleşimli Kompozit Kirişli Düzlem Çerçevelerin Optimizasyonuna İlişkin Örnekler	69
2.8.3.2.1.	Beş Katlı İki Açıklıklı Çerçeve	70
2.8.3.2.2.	On Katlı Tek Açıklıklı Çerçeve	74
2.8.3.2.3.	Yirmi Katlı Üç Açıklıklı Çerçeve	78
2.8.4.	Uzay Çelik Çerçevelerin Optimizasyonuna İlişkin Örnekler	82
2.8.4.1.	AISC-LRFD'ye Göre Çözülen Örnekler	82
2.8.4.1.1.	Tek Açıklıklı, Tek Katlı Uzay Çerçeve	82
2.8.4.1.2.	İki Katlı 21 Elemanlı Uzay Çerçeve	85
2.8.4.1.3.	Dört Katlı 84 Elemanlı Uzay Çerçeve	87
2.8.4.2.	TS 648'e Göre Çözülen Örnekler	89
2.8.4.2.1.	Tek Açıklıklı, Tek Katlı Uzay Çerçeve	90
2.8.4.2.2.	Dört Katlı 84 Elemanlı Uzay Çerçeve	92
2.8.4.2.3.	Altı Katlı 78 Elemanlı Uzay Çerçeve	95
2.8.5.	Uzay Çelik Çerçevelerin SAP2000-OAPI ile Optimizasyonuna İlişkin Örnekler	98
2.8.5.1.	İki Katlı 21 Elemanlı Uzay Çerçeve Sistem	98
2.8.5.2.	Dört Katlı 84 Elemanlı Uzay Çerçeve Sistem	100
2.8.5.3.	20 Katlı 460 Elemanlı Uzay Çerçeve Sistem.....	103
2.8.6.	Genetik Algoritma ile Hasar Tespiti Örnekleri.....	105
2.8.6.1.	Basit Kiriş	105
2.8.6.2.	15 Çubuklu Düzlem Çerçeve Sistem	108
3 .	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	111
4.	KAYNAKLAR	115

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

KOMPOZİT KİRİŞLİ ÇELİK ÇERÇEVELERİN
GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYONU

Musa ARTAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU
2015, 122 Sayfa, 16 Sayfa Ek

Bu çalışmada, biyolojik süreçleri taklit eden genetik algoritma yöntemi kullanılarak farklı çelik çerçeve sistemlerinin optimum boyutlandırmaları gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemleri çelik kirişler üzerindeki beton plağın etkisinin sonlu eleman analizlerinde dikkate alınması durumu için tekrarlanmıştır. Optimum tasarımda gerilme, maksimum yer değiştirme, katlar arası rölatif yer değiştirme ve geometrik boyutlar gibi geleneksel ve frekans veya periyot gibi dinamik sınırlayıcılar kullanılmıştır. Tüm bu uygulamaların pratik olarak yürütülebilmesi için MATLAB’da program geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla farklı özellikte birçok örnek incelenmiştir. Örneklerden elde edilen sonuçlar literatürdeki mevcut sonuçlar ile doğrulanmıştır. Bu sonuçlara göre, dinamik sınırlayıcıların optimum boyutlandırmada oldukça aktif rol oynadığı ve çelik kiriş üzerindeki beton plağın davranışının SEM analizlerindeki etkileri dikkate alındığında optimum boyutlandırmadaki çelik ağırlığının önemli ölçüde azaldığı gözlenmiştir.

Yukarıdaki çalışmalara ilave olarak, genetik algoritma kullanılarak sonlu eleman modeli güncelleme yöntemi ile çerçeve elemanlarda hasar tespiti çalışılmıştır. Çözülen örneklerde hasar senaryolarının yerleri ve büyüklükleri başarılı bir şekilde belirlenebilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritma, Sonlu eleman yöntemi, Çelik çerçeve, Kompozit kiriş, Dinamik analiz, Yarı rijit birleşim, Hasar tespiti.

PhD. Thesis

SUMMARY

OPTIMIZATION OF STEEL FRAMES WITH COMPOSITE BEAMS
USING GENETIC ALGORITHM

Musa ARTAR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU
2015, 122 Pages, 16 Pages Appendix

In this study, optimum designs of different steel frame systems are carried out by using genetic algorithm that mimics biological processes. Optimization processes are repeated for the case of considering concrete slab effects on steel beams in finite element analyses. Traditional constraints such as stress, maximum displacement, inter-storey drift and geometric dimensions and dynamic constraints such as natural frequencies or periods are used for the optimizations. A program is developed in MATLAB to carry out practically all these applications. Many different examples are examined to show the validity of the used method. The results obtained from the examples are confirmed by available literature results. According to the results, it is observed that dynamic constraints play active role in optimum designs and taking the effects of concrete slab on steel beams into consideration on the FEM analyses significantly reduces the steel weight in the optimum designs.

In addition to the studies above, damage assessment in the frame elements is studied by finite element model updating using genetic algorithm (GA). In the solved examples, the locations and severities of damage scenarios can be determined successfully.

Key Words: Genetic algorithm, Finite element method, Steel frame, Composite beam, Dynamic analysis, Semi-rigid connection, Damage assessment.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Yapı sistemi örnekleri.....	3
Şekil 2. GA akış diyagramı.....	15
Şekil 3. Kolon-Kiriş birleşim detayı.....	22
Şekil 4. Düzlem çerçeve elemanın lokal eksen takımında yer değiştirmeleri.....	24
Şekil 5. Düzlem çerçeve elemanın global eksen takımında yer değiştirmeleri.....	25
Şekil 6. Uzay çerçeve eleman.....	27
Şekil 7. Yarı rijit birleşimdeki θ_r	28
Şekil 8. Yarı rijit birleşim türlerinin Moment- dönme eğrileri.....	28
Şekil 9. Yarı rijit birleşim detayları.....	29
Şekil 10. Yarı rijit kolon temel detayları.....	30
Şekil 11. Kompozit kiriş örnekleri.....	31
Şekil 12. Kompozit kiriş etkili genişliği.....	32
Şekil 13. Kompozit kiriş kesitindeki eşdeğer çelik alanına dönüştürülmüş tabla genişliği.....	33
Şekil 14. Kompozit kiriş kesitindeki gerilme dağılımları.....	33
Şekil 15. Uygulanan genetik algoritma şeması.....	35
Şekil 16. Tek katlı basit çerçeve sistem.....	37
Şekil 17. Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi.....	38
Şekil 18. Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi (kompozitli çözüm).....	38
Şekil 19. 21 Çubuklu Çerçeve Sistem.....	39
Şekil 20. Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi.....	40
Şekil 21. Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi (kompozitli çözüm).....	40
Şekil 22. Beş katlı tek açıklıklı çelik çerçeve sistem.....	43
Şekil 23. Toplam ağırlığın iterasyon adımları ile değişimi.....	45
Şekil 24a. Çelik çerçevenin geleneksel sınırlayıcılara göre optimum boyutlandırmasında kolonların G_A , G_B ve K değerleri.....	46
Şekil 24b. Kompozit kirişli sistemin geleneksel sınırlayıcılara göre optimum boyutlandırmasında kolonlardaki G_A , G_B ve K değerleri.....	46
Şekil 24c. Kompozit kirişli sistemin geleneksel ve dinamik sınırlayıcılara göre optimum boyutlandırmasında kolonlardaki G_A , G_B ve K değerleri.....	47

Şekil 25.	30 çubuklu, 6 katlı, iki açıklı çelik çerçeve sistem	48
Şekil 26.	Ağırlığın iterasyon adımları ile değişimi	49
Şekil 27.	Yapılan her üç farklı optimum boyutlandırmada kolon elemanlarındaki K değerleri	50
Şekil 28.	On katlı, üç açıklı çelik çerçeve sistem	52
Şekil 29.	Ağırlığın iterasyon adımları ile değişimi	52
Şekil 30.	Yapılan her üç farklı boyutlandırmada kolon elemanlarındaki K değerleri	53
Şekil 31.	Dokuz katlı, tek açıklıklı çerçeve	57
Şekil 32.	Tam rijit birleşimli çelik çerçeve	58
Şekil 33.	Çift gövde korniyerli yarı rijit birleşimli çelik çerçeve	60
Şekil 34.	Kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı yarı rijit birleşimli çelik çerçeve ...	61
Şekil 35.	On katlı, dört açıklıklı yarı rijit çelik çerçeve sistem.....	62
Şekil 36.	Tam rijit çelik çerçeve	64
Şekil 37a.	Çift gövde korniyerli yarı rijit birleşimli çelik çerçeve	64
Şekil 37b.	Çift gövde korniyerli yarı rijit birleşimli çelik çerçeve	65
Şekil 38.	Kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı yarı rijit birleşimli çelik çerçeve	65
Şekil 39.	Beş katlı, iki açıklıklı çerçeve.....	68
Şekil 40.	Tam rijit birleşimli çelik çerçeve	68
Şekil 41.	Yarı rijit birleşimli (kolon berkitmeleri ile desteksiz uç levhalı birleşim) çelik çerçeve	69
Şekil 42.	Yarı rijit birleşimli (kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı birleşim) çelik çerçeve	70
Şekil 43.	On katlı, tek açıklıklı çerçeve	71
Şekil 44.	Tam rijit çelik çerçeve	73
Şekil 45.	Yarı rijit çelik çerçeve (kolon berkitmeleri ile desteksiz uç levhalı birleşim)..	74
Şekil 46.	Yarı rijit çelik çerçeve (kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı birleşim)....	74
Şekil 47.	Yirmi katlı üç açıklıklı çerçeve.....	75
Şekil 48a.	Tam rijit çelik çerçeve	76
Şekil 48b.	Tam rijit çelik çerçeve	77
Şekil 49.	Yarı rijit çelik çerçeve (kolon berkitmeleri ile desteksiz uç levhalı birleşim)..	77
Şekil 50.	Yarı rijit çelik çerçeve (kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı birleşim)....	78
Şekil 51.	Tek katlı 8 elemanlı uzay çerçeve sistem	80
Şekil 52.	Toplam çelik ağırlığının iterasyon ile değişimi	81
Şekil 53.	İki katlı 21 elemanlı uzay çerçeve	82

Şekil 54.	Toplam çelik ağırlığının iterasyonlar ile değişimi.....	83
Şekil 55.	Dört katlı 84 elemanlı uzay çerçeve sistem	84
Şekil 56.	Toplam çelik ağırlığının iterasyonlar ile değişimi.....	85
Şekil 57.	Tek açıklıklı, tek katlı uzay çerçeve	87
Şekil 58.	Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımları ile değişimi.....	88
Şekil 59.	Dört katlı 84 elemanlı uzay çerçeve	90
Şekil 60.	Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımları ile değişimi.....	91
Şekil 61.	Altı katlı 78 elemanlı uzay çerçeve	93
Şekil 62.	Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımları ile değişimi.....	95
Şekil 63.	İki katlı 21 elemanlı uzay çerçeve sistem	96
Şekil 64.	Dört katlı 84 elemanlı uzay çerçeve sistem	98
Şekil 65.	20 katlı 460 elemanlı uzay çerçeve sistem	100
Şekil 66.	15 elemanlı giriş ve çok hasarlı senaryo.....	105
Şekil 67.	Toplam amaç fonksiyonun iterasyon adımlarına göre değişimi.....	107
Şekil 68.	Son iterasyondaki her bireyin eleman numaralarına göre elastisite modülü azaltma çarpanları.....	107
Şekil 69.	15 çubuklu düzlem çerçeve sistem	108
Şekil 70.	Hasarlı durum için 3 farklı toplam amaç fonksiyonun iterasyon adımlarına göre değişimleri	110
Şekil 71.	Son iterasyondaki her bireyin eleman numaralarına göre elastisite modülü azaltma çarpanları.....	110

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Farklı azaltma çarpanları, hasar oranları ve Genetik Algoritmadaki ikilik kodlamaları	37
Tablo 2. DIN1025 den alınan 32 adet I profili.....	41
Tablo 3. Her iki tür optimizasyona ait sonuçlar ve literatür sonuçları.....	42
Tablo 4. Her iki çözüme ait sonuçlar	44
Tablo 5. GA ile optimizasyon sonuçları	47
Tablo 6. GA ile optimizasyon sonuçları	53
Tablo 7. GA ile optimizasyon sonuçları	57
Tablo 8. Ele alınan birleşim türlerine ait parametreler ve dönme rijitlik değerleri	59
Tablo 9. Tam rijit birleşimli çerçevenin optimum kesitleri	62
Tablo 10. Yarı rijit birleşimli çerçevenin optimum kesitleri	62
Tablo 11. Tam ve yarı rijit birleşimli durumlar için optimum kesitler	66
Tablo 12. Ele alınan birleşim türlerine ait parametreler ve dönme rijitlik değerleri	70
Tablo 13. Tam rijit birleşim için optimum boyutlar	72
Tablo 14. Yarı rijit birleşimler için optimum boyutlar	73
Tablo 15. Optimum boyutlandırmalara ait minimum ağırlıklar	75
Tablo 16. Tam ve yarı rijit çelik çerçevelerin optimum boyutları	75
Tablo 17. Tam rijit ve yarı rijit çelik çerçevelerin optimum boyutları	79
Tablo 18. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler	84
Tablo 19. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler	86
Tablo 20. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler	89
Tablo 21. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler	91
Tablo 22. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler	94
Tablo 23. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler	97
Tablo 24. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler	100
Tablo 25. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler	102
Tablo 26. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler	104
Tablo 27. Hasarsız ve hasarlı durumlar için doğal frekans değerleri	106
Tablo 28. Çerçeve sistemin hasarlı ve hasarsız modellerine ait doğal frekans değerleri	109

SEMBOLLER DİZİNİ

A	Kesit alanı
a	Ağırlık eksenine göre olan yükseklik
A_s	Kiriş alanı
A_g	Brüt kesit alanı
b_f	Kiriş profilinin başlık genişliği
b_o	Çelik kiriş aralığı
b_E	Etkili genişlik
b'_E	Dönüştürülmüş tabla genişliği
b_{fbk}	Kiriş kesitinin başlık genişliği
b_{fck}	Kolon kesitinin başlık genişliği
C	Ceza fonksiyonu
C_c	Plastik narinlik değeri
C_e	Yüksekliğe bağlı rüzgar katsayısı
c_i	İhmal edilme katsayısı
C_L	Nihai basınç kuvveti
C_{Lc}	Beton plaktaki basınç kuvveti
C_{Ls}	Çelik kirişteki basınç kuvveti
C_m	Uç ve açıklık momentleri ile yanal desteklemeyi göz önüne alan bir katsayı
C_q	Basınç katsayısı
C_r	Yapı cinsine bağlı bir katsayısı
D	Kesit yüksekliği
D_y	Ölü yük
d	Kiriş yüksekliği
d_{cl}	Kolon kesitinin yüksekliği
E	Elastisite modülü
E_c	Beton plağın elastisite modülü
E_s	Çelik profilin elastisite modülü
f_i	Yapının i. titreşim frekansını
f_a	Hesap edilen eksenel basınç gerilmesi
F_a	Eksenel basınç emniyet gerilmesi

f_b	Hesap edilen eğilmeden gelen gerilme
F_b	Eğilme etkisindeki basınç emniyet gerilmesi
$F_{c,i}$	Uyum faktörü
F_{cr}	Kritik gerilme
f'_c	Basınç dayanımı
F'_e	Euler gerilmesi
F_i	i. bireyin uygunluğu
F_{ort}	Uyum derecelerinin ortalaması
F_y	Çeliğin akma gerilmesi
G	Kayma modülü
G_A, G_B	Kolonların A ve B uçlarında kullanılan katsayılar
g_i	Sınırlayıcıya ait değer
I_w	Rüzgar önem çarpanı
J	Burulma sabiti
K	Etkili uzunluk faktörü
K_g	Yapının global rijitlik matrisi
k	Lokal rijitlik matrisi
k'	Global rijitlik matrisi
k_y	Dönmeye bağlı yay rijitliği
L	Elemanın boyu
L_c, L_g	Kolon ve kirişlerin boyları
L_h	Hareketli yük
L_r	Çatı hareketli yük
M_{ux}	Kuvvetli eksenindeki eğilme momenti
M_g	Yapının global kütle matrisi
m	Kütle matrisi
M_{nx}	Kuvvetli eksenindeki taşıyabileceği maksimum eğilme momenti
M_{uy}	Zayıf eksenindeki eğilme momenti
M_{ny}	Zayıf eksenindeki taşıyabileceği maksimum eğilme momenti
M_u	Nihai moment kapasitesi
P	Fonksiyona bağlı olarak belirlenen sabit bir değer
p	Rüzgar basıncı
P_u	Çekmede veya basınçta aksenal kuvvet

P_n	Çekmede veya basınçta taşınabilecek maksimum kuvvet
r	Atalet yarıçapı
S_1, S_2	Göz önüne alınan uca ait dönme yay rijitlikleri
q_s	Rüzgar durgunluk basıncı
q	Yapının yüksekliğine bağlı hız basıncı
t_{fl}	Kolon kesitinin başlık kalınlığı
t_s	Beton plak kalınlığı
T_i	Yapının i. titreşim periyodu
T_d	Dönüşüm matrisi
T_L, T_L'	Nihai çekme kuvvetleri
$\bar{u}, \bar{v}, \bar{\theta}$	Lokal yer değiştirmeleri
u, v, θ	Global yer değiştirmeleri
W	Amaç fonksiyonu
W_p	Rüzgar yükü
ω_i	Yapının i. açısal titreşim frekansı
ρ	Malzeme yoğunluğu
$\phi(x)$	Cezalandırılmış amaç fonksiyonu
ϕ	Dayanım azaltma katsayısı
Φ_i	Yapının i. titreşim mod vektörü
σ_ζ	Çekme çubuğundaki gerilme
$\sigma_{\zeta em}$	Çekme emniyet gerilmesi
σ_{em}	Emniyet gerilmesi
σ_{eb}	Eksenel basınç çubuğundaki gerilme
σ_b	Hesap edilen eğilmeden gelen gerilme
σ_{bem}	Basınç emniyet gerilmesi
σ_B	Eğilme etkisindeki basınç emniyet gerilmesi
σ_e	Kritik burkulma gerilmesi
λ	Narinlik değeri
λ_i	i. özdeğeri
λ_p	Plastik narinlik değeri
σ_a	Akma gerilmesi

δ	Deplasman
Δ	Rölatif yer değiştirme
α_1, α_2	Yarı rijitlik çarpanları
α_{uf}	Dönme yay rijitliği ile belirlenen bir katsayı
θ_r	Dönme
λ_i^N, λ_i^H	Sırasıyla nümerik ve hasarlı modellerin özdeğerleri
Φ_i^H, Φ_i^N	Hasarlı ve nümerik modellerin mod şekilleri

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yapı mühendisliğinin mevcut kaynakları en etkin şekilde kullanma hedefi yapıların ekonomik tasarımı olarak tanımlanmaktadır. Bunun için yapı mühendisleri uygulanabilir tasarımlar arasından optimum olanını seçmek amacıyla, yapıların minimum ağırlıklı olarak tasarımını gerçekleştirmektedir. Bununla birlikte, bu şekilde tasarlanan yapıların davranışlarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması gerekmektedir. Böylece, yapıya etkiyen yüklere belirli rijitlikle dayanan ve minimum maliyetli olan bir yapının belirlenmesi problemi, optimum tasarım problemi olarak adlandırılır. Uygulanabilir en iyi çözüme ulaşmak için bir takım sınırlayıcılar altında döngüsel bir analiz ve değerlendirme aşamasına gereksinim vardır. Oldukça zaman alıcı ve hata yapılabilmesi kaçınılmaz olan çözüm işlemlerini bilgisayarlar yardımıyla yapabilmek için çeşitli yapısal optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen tüm bu algoritmaların ortak hedefi, değerlendirme ve çözüm işlemlerini algoritma içerisinde yaparak probleme ait tasarımın, mukavemet, rijitlik, kârlılık ve maliyet açısından en uygun hale getirilmesini sağlamaktır.

Yapısal optimizasyon teknikleri iki ana grupta toplanmaktadır. Birincisi, deterministik yöntemler olarak bilinen matematiksel programlama yöntemleridir. Bu yöntemler yardımıyla elde edilen çözümler teorik olarak doğru olmasına karşın yapı mühendisliği açısından pratik olmayabilir. İkincisi ise stokastik optimizasyon yöntemleridir. Bu grupta bulunan optimizasyon yöntemleri daha çok doğadaki yaşam süreçlerini taklit etmektedir. Ayrıca bu yöntemler kesin matematiksel ifadeler yerine problemin çözümü için mantıksal yaklaşımlar içermektedir. Bu nedenle bu yöntemler ile elde edilen çözümlerin optimum sonuçlar olduğu kesin olarak ifade edilemez. Bununla birlikte son yıllarda bu teknikler oldukça geliştirilmiştir ve elde edilen sonuçların en iyiye yakın oldukları söylenebilmektedir. Bu gruptaki yöntemlerden bazıları, Genetik Algoritma, Harmoni Arama Algoritması, Karınca Kolonisi Algoritması, Benzetilmiş Tavlama Algoritması, Tabu Arama yöntemidir.

Bu çalışmada, stokastik optimizasyon yöntemlerinden biri olan Genetik Algoritma (GA) kullanılmıştır. Bu algoritma yöntemi kopyalama, çaprazlama ve mutasyon gibi

biyolojik prensiplere dayanan bir yöntem olup son yıllarda optimum tasarım çözümlerinin elde edilmesinde sıkça kullanılmaktadır. En sağlıklı (uygun) bireylerin hayatta kalma ilkesine dayanan GA yöntemi ayrık tasarım değişkenli problemlere çok rahat uygulanabilmektedir.

1.2. Genetik Algoritma (GA)

Genetik algoritmalar, optimizasyon probleminin çözümünde kullanılan ve biyolojik organizmaların genetik süreçleri ele alınarak modellenmiş yöntemlerdir. Bunu başarmak için öncelikle belirli sayıda bireylerden oluşan bir başlangıç topluluğu (popülasyonu) rastgele belirlenir. Bu her bir bireyin kodlanıp bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu bireyler suni kromozomlar olarak da adlandırılırlar ve sonlu sayılarda diziden (kod zincirinden) oluşurlar. Bu çalışmada ikilik sayı tabanı kullanılmıştır. Bu durumda kod zincirindeki her bir karakter “0” veya “1” dir. Kod zincirinin uzunluğu, problem çözümünde ele alınan farklı profil sayısına ve sistemin eleman sayısına bağlıdır. 8 farklı profil ikilik sayı tabanında, aşağıda görüldüğü üzere, 3 haneli kodlanabilir.

1. profil → 000
2. profil → 001
3. profil → 010
4. profil → 100
5. profil → 011
6. profil → 101
7. profil → 110
8. profil → 111

Tek elemandan oluşan Şekil 1a'daki sistem 8 farklı profil arasından optimum boyutlandırması için popülasyondaki (nesildeki) her bir bireyin kod zincir uzunluğu 3 haneli olmaktadır (örneğin “011” gibi). İki elemana sahip Şekil 1b'deki sistem için ise nesildeki her bir bireyin kod zinciri uzunlu 3+3=6 haneli olmaktadır (“010 110” gibi). Bununla birlikte eğer bu iki eleman bir grup olarak tanımlanırsa yani aynı profil ile boyutlandırma yapılması durumunda eleman değişkeni yine bir eleman gibi boyutlandırılacağından nesildeki bireylerin kod zinciri yine 3 haneli olmaktadır.



Şekil 1. Yapı sistemi örnekleri

Çok elemanlı bir yapı sisteminde elemanlar 4 farklı grupta toplandığı durum da 8 farklı profil arasından boyutlandırma yapılmak istenirse $4 \times 3 = 12$ haneli kod zinciri sistem için gerekli olmaktadır. Bununla birlikte 16 farklı profil arasından boyutlandırılması durumunda bireylerin kod zinciri uzunlukları her bir profile karşılık gelecek kod zinciri 4 haneli olacağı için $4 \times 4 = 16$ haneli olmaktadır. Bu durumda, 20 bireyden oluşan bir popülasyon için her bir kod zinciri 16 olan 20 adet kod zinciri ile analizler yürütülmektedir.

Yukarıda belirtildiği üzere GA ile optimizasyon öncelikle başlangıç popülasyonun rastgele oluşturulması ile başlar. Daha sonra her bir bireye ait olan kod zincirleri çözülerek sistemindeki her bir değişken elemana karşılık gelen profil ile sistem sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilerek elemanlara ait gerilmeler ve düğüm noktalarına ait yer değiştirme değerleri bulunur. Bulunan bu değerler, probleme ilişkin sınırlayıcıların hesaplanmasında kullanılır. Analiz sonuçlarına göre her bir birey için sınırlayıcıların ihlal edilme değeri belirlenir. Buna göre sınırlayıcılara uyan bireyler en iyi uyum değerine sahip olup, bir sonraki aşamaya katılabileceklerdir. Diğer taraftan sınırlayıcıları en ağır şekilde ihlal eden bireyler, en kötü uyum değerlerine sahip olup, nesilden çıkarılacaklardır. Nesilden çıkarılan bireyler yerine en iyi uyum dereceli bireyler kopyalanarak nesildeki toplam birey sayısının değişmemesini sağlamaktadır. Yenilenen bu nesildeki bireylerden daha iyi çözüm elde edilmesi amacıyla bu bireylere çaprazlama ve mutasyon (değişim) operatörleri uygulanır. Çaprazlama operatörü için ikişer ikişer bireyler seçilir. Daha sonra bu ikişer seçilen bireylerin kromozomları arasında çaprazlama yapmak üzere rastgele bir konum belirlenir. Son olarak belirlenen konumdaki genetik bilgiler değiştirilerek çaprazlama işlemi tamamlanır (Daloğlu ve Aydın, 1999). Mutasyon operatöründe ise nesildeki her yeni bireye önceden belirlenmiş bir olasılıkla uygulanır. Bu operatörle bireyden rastgele seçilen bir gen 0'dan 1'e veya 1'den 0'a değiştirilir. Bu operatörlerin uygulanması ile yeni nesil meydana gelmiştir. Bu işlemin tamamı, belirlenen nesil sayısına veya belirlenen sonlandırma kriterlerinin sağlanmasına kadar tekrar edilir. Bu durumda

toplulukta maksimum uygunluk değerine sahip birey optimum çözüm olarak belirlenir (Değertekin vd., 2006a).

1.2.1. Yapısal Optimizasyon ve Literatür Araştırması

Yapıların optimum tasarım problemlerine ayrık tasarım değişkenleri kullanılarak çözüm üreten tekniklerden biri olan GA birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Doğal biyolojik süreçleri taklit ederek sonuca ulaşan Genetik algoritma (GA) optimizasyon yöntemi Goldberg (1989) tarafından ortaya atılmıştır. Ayrık tasarım değişkenli problemlere çok rahat uygulanması, istatistik kullanılarak tekrarlı işlemlerle sonuca ulaşılması ve türev bilgisi gerektirmemesi gibi nedenlerle diğer birçok alanda olduğu gibi yapı mühendisliğinde de oldukça fazla ilgi görmüştür. Rajeev ve Krishnamoorthy (1992) tarafından Genetik Algoritma yöntemi kullanılarak düzlem ve uzay birçok kafes sistem üzerinde minimum ağırlık için optimum boyutlandırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma basit modeller üzerinde yoğunlaşmasına rağmen ayrık tasarım değişkenli optimizasyon problemini ve Genetik Algoritma yönteminin aşamalarını oldukça detaylı bir şekilde açıklamıştır.

Saka (1991), temel bir algoritma yöntemini kullanarak çeşitli çelik çerçeve sistemlerin optimum boyutlandırmalarını araştırmıştır. Bu çalışmada AISC'den alınan gerilme ve yer değiştirme sınırlayıcıları yapı sisteminin minimum çelik ağırlığının belirlenmesi için kullanılmıştır. Ele alınan problemlerin çözümü için BASIC program dilinde bir program kodlanmıştır. Kullanılan amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar bakımından bu çalışma daha sonra ki yıllarda birçok araştırmacının çalışmaları için önemli bir referans olmuştur.

Simoes (1996), yarı-rijit bağlı çerçevelerin optimum boyutlandırmasını araştırmıştır. Bu çalışmada, dönme yay rijitliği için lineer ve oldukça pratik bir yaklaşım kullanılmıştır.

Daloğlu ve Armutçu (1998), düzlem çelik çerçevelerin Genetik Algoritma yöntemi ile TS 648 gerilme sınırlayıcıları ve yer değiştirme sınırlayıcıları altında optimum boyutlandırmalarını araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, kullanılan algoritma yönteminin ayrık tasarım değişkeni kullanılan düzlem çelik problemleri için oldukça uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Daloğlu ve Aydın (1999), yapıların optimizasyonu için ayrıık tasarım değişkenleri kullanarak sonuca giden GA yöntemini düzlem kafes sistemlere uygulamışlardır. Deplasman, gerilme ve burkulma sınırlayıcıları dikkate alınmıştır. Bu amaçla geliştirilen bilgisayar programı FORTRAN dilinde kodlanmıştır. Pratikte yaygın olarak kullanılan çeşitli çatı makaslarının minimum ağırlıklı boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir.

Aydın (1997), son yıllarda yapay zekâ çalışmalarındaki gelişmeler ışığında, bilgisayarlara insan beyni gibi düşünen algoritmaların kodlanması ile çok karmaşık matematiksel işlemlerle ifade edilebilen problemleri, basit mantıksal yaklaşımlar ile bilgisayarlara çözdürülebileceğini ele almıştır. Tasarımda gerilme, yer değiştirme ve stabilite sınırlayıcıları dikkate alınmış, FORTRAN dilinde kodlanan program yardımıyla çeşitli kafes sistemlerin optimum tasarımı yapılmıştır.

Salajegheh (2000), çelik uzay çerçeve sistemlerde frekans sınırlayıcı optimum tasarım üzerine araştırmalar yapmıştır. Bu çalışmaya benzer bir çalışma Sergejev ve Mroz (2000) tarafından yapılmıştır.

Deb ve Gulati (2001), GA kullanarak kafes sistemli yapıların minimum ağırlıklı olacak şekilde tasarımını hedeflemişlerdir. Çalışmalarında GA ile sistemin minimum ağırlıklı olabilmesi için yapılması gereken temel prensip ve adımlardan bahsedilmiştir. Düzlem kafes örnekleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar daha önce yapılmış çalışmalardaki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Hayalioğlu (2001), Genetik Algoritma kullanarak uzay çerçeveler sistemlerin AISC-ASD ve LRFD yönetmeliklerine göre AISC'den alınan W profilleri arasından optimum boyutlandırmalarını araştırmıştır. Etkili kolon uzunluk faktör (K) değerleri için tahmini değerler yerine gerçek değerlerin hesaplanabildiği bağıntılar kullanılmıştır.

Erbatur vd. (2000), Genetik Algoritma yöntemi ile düzlem ve uzay kafes sistemleri optimum boyutlandırmışlardır. Bu çalışmada, kullanılan algoritma yöntemine ait akış şeması oldukça detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Ele alınan literatür örneklerine ait bulunan sonuçlar literatürde mevcut sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Turgut vd. (2002) ile Chen ve Rajan (1999), çalışmalarında GA ile optimizasyonun temel prensipleri ve adımlarına ilişkin detaylı bilgiler vermişlerdir. Çalışmalarında düzlem kafes sistem örneğini ele alarak, GA ile ağırlık optimizasyonunu incelemişlerdir.

Kameshki ve Saka (2001), Genetik Algoritma yöntemini kullanarak yarı-rijit bağlı çerçevelerde nonlinear bir yaklaşım ile optimum boyutlandırma yapmışlardır. Bu çalışmada $P-\Delta$ etkisi dikkate alınmıştır. Tong ve Liu (2001) tarafından ayrıık tasarım

değişkenleri içeren düzlem ve uzay kafes sistemler üzerine dinamik sınırlayıcı optimum boyutlandırma için bir yöntem geliştirilmiştir. Isenber vd. (2002), çok katlı çelik çerçeve sistemlerinin optimum dizaynını araştırmışlardır.

Dede (2003) tarafından GA'da değer kodlaması kullanılarak kafes sistemlerin minimum ağırlıklı tasarımını gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla FORTRAN dilinde bir program kodlanmış, yer değiştirme, gerilme ve stabilite sınırlayıcıları altında değer kodlamasının kafes sistemlerin GA ile minimum ağırlıklı olarak boyutlandırılmasında etkin bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Hayalioğlu ve Değertekin (2004a), Genetik Algoritma yöntemi ile yarı-rijit bağlı çerçevelerin AISC-ASD de yer alan gerilme kriterlerine ve yer değiştirme sınırlayıcılarına göre AISC'den alınan W profilleri arasından optimum boyutlandırılmasını araştırmışlardır. Ayrıca, Hayalioğlu ve Değertekin (2004b), Genetik Algoritma yöntemi ile yarı-rijit bağlı çerçevelerin TS 648 gerilme kriterlerine ve yer değiştirme sınırlayıcılarına göre HE-A profilleri arasından optimum boyutlandırılmasını yapmışlardır. Her iki çalışmada da nonlinear analiz ile $P-\Delta$ etkisi dikkate alınarak çözümler yapılmıştır.

Filho vd. (2004) yarı rijit bağlı çerçeve sistemlerde rüzgâr basıncı üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, moment-dönme ilişkisi lineer bir yaklaşım ile ele alınarak yarı rijit elemanlara ait rijitlik matris ifadesi sunulmuştur.

Hayalioğlu ve Değertekin (2005a), Genetik Algoritma yöntemi ile yarı-rijit birleşimli kiriş-kolon ve kolon-temel içeren çerçeve sistemlerde optimizasyonu araştırmışlardır. Boyutlandırmada, AISC-LRFD gerilme ve yer değiştirme kriterleri ile kolon-kiriş geometrik sınırlayıcılar dikkate alınmıştır. Ayrıca, bu dönemde yarı rijit birleşimli çerçeve sistemlerin boyutlandırılması birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır (Choi ve Kim, 2006; Wang ve Li, 2007).

Deliktaş vd. (2005), betonarme kiriş tasarımını sınırlayıcı bir optimizasyon problemi olarak ele almışlar ve çözüm için GA yöntemini kullanmışlardır. Bu amaçla, örnek olarak tek açıklıklı dikdörtgen kesitli betonarme kirişin boyutları, minimum maliyeti verecek şekilde optimize edilmiştir. GA ile elde edilen sonuçlar iteratif olarak elde edilen grafiksel çözümlerle karşılaştırılmıştır. Her iki çözüm ile elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Ele alınan örnek için popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon oranları ve maksimum jenerasyon gibi GA parametrelerinin çözüm üzerine etkileri belirlenmiştir. Bununla birlikte betonarme elemanlı yapı sistemleri üzerine

algoritma yöntemi kullanımı birçok araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir (Coello vd., 1997; Camp vd., 2003; Leps ve Sejnoha, 2003; Guerra ve Kioussis, 2006; İsmail, 2007).

Gero vd. (2006), Genetik Algoritma yönteminin genel prensiplerini uygulayarak Escal3D yazılımı yardımıyla üç boyutlu çelik yapı sistemlerini incelemişlerdir. Optimizasyon aşamaları oldukça pratik bir akış şeması ile açıklanmıştır.

Değertekin vd. (2006a) uzay çelik çerçevelerin Tabu Arama ve Genetik Algoritma yöntemleriyle optimum tasarımı incelemişlerdir. Her iki yöntemin uygulanışı, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıları (yer değiştirme, gerilme ve geometrik sınırlayıcılar) detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Ele alınan uzay çelik çerçeve örneklerinde etkili kolon uzunluk faktörü tahmini değerleri yerine gerçek değerleri hesaplanmıştır. Her iki yönteme göre bulunan sonuçlar tablolar yardımı ile karşılaştırılmıştır.

Taşkınoğlu (2006) yapıların optimizasyonunda kullanılmak üzere GA tabanlı bir tasarım prosedürü geliştirmiştir. Algoritmanın uygulanabilirliği tasarım örnekleriyle araştırılmıştır. Değişik üreme, çaprazlama ve mutasyon stratejileri denenmiştir.

Toğan ve Daloğlu (2006) GA'yı kullanarak üç boyutlu kafes sistemlerin şekil ve boyut optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Eleman en kesit alanlarına ilaveten, üç boyutlu kafes sistemlerin düğüm noktaları koordinatları da tasarım değişkenleri olarak dikkate alınmıştır. Optimizasyon işleminde TS 648'de belirtilen tasarım koşulları dikkate alınmış ve değer kodlaması kullanılmıştır. Sonuç olarak sistemlerin minimum ağırlıklı olacak biçimde boyutlandırılmalarında sistem geometrisinin de optimizasyon sürecine katmanın sistem ağırlığının azalmasını sağlayabildiği görülmüştür.

Kaveh ve Talatahari (2007), düzlem çelik çerçeve sistemleri birçok farklı algoritma yöntemi ile AISC-LRFD gerilme ve yer değiştirme sınırlayıcıları altında boyutlandırarak elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. Benzer çalışmalar farklı algoritma yöntemlerine ve farklı yönetmeliklere göre birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır (Saka, 2009; Toğan, 2012).

Esen ve Ülker (2008), ANSYS paket programı kullanarak çok katlı uzay çelik çerçeve sistemleri deprem yüklerine maruz bırakarak malzeme ve geometrik olarak lineer olmayan davranışları birlikte dikkate alarak optimizasyonu araştırmışlardır. Çalışmalarında TS 648'de verilen burkulma formülasyonu dikkate alınmıştır. Malzemenin lineer olmayan davranışı için bi-lineer kinematik pekleşme yöntemi kullanılmıştır. Dinamik çözüm tekniği olarak Newmark metodu ve lineer olmayan çözüm algoritması olarak da Newton-Raphson metodu kullanılmıştır.

Değertekin vd. (2009), Harmoni Arama yöntemini kullanarak yarı rijit birleşimli geometrik olarak nonlinear çelik çerçeve sistemlerin TS 648 gerilme kriterleri ve yer değiştirme sınırlayıcıları altında HE profillerinden hazırlanan bir kesit listesinden optimum boyutlandırmasını araştırmışlardır. Kiriş-kolon birleşiminin moment-dönme ilişkisi Frye-Morris polinom modeli ile açıklanmıştır. Buna benzer birçok çalışma literatürde mevcuttur (Değertekin ve Hayalioğlu, 2010; Değertekin vd., 2011; Görgün ve Yılmaz, 2012; Rafiee vd., 2013; Hadidi ve Rafiee, 2014).

Reynolds (2009), yapı sistemlerinin optimizasyonu için ayrıntılı bir GA yönteminin kullanımını açıklamıştır. Yapıların optimizasyon yaklaşımı geleneksel tasarım yaklaşımları ile uygulanmıştır. Örnek olarak, 2D çelik kafes ve betonarme basit kiriş optimizasyonu yapılmıştır. MATLAB de kodlanan program ile Genetik Algoritma optimizasyonunun hızlı bir şekilde belirli bir soruna en uygun çözümleri belirleyebilen sağlam ve etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

Ruiyi vd. (2009) çalışmalarında GA'ya ait temel prensiplere yer vermişler ve düzlem 10 ve 15 çubuklu kafes elemanlı sistemlerin GA ile optimum topolojilerine ilişkin çözümler araştırmışlardır.

Dede vd. (2011), 25, 72, 200 ve 940 çubuk elemanlı düzlem kafes sistemleri gruplandırılmalı olarak verilen kesit alternatifleri arasında çeşitli popülasyon sayılarına göre analiz ederek sistemin minimum ağırlığını bulmaya çalışmışlardır. Bu çalışmaya benzer birçok çalışma farklı algoritma yöntemleri ile literatürde mevcuttur (Sousa ve Takahashi, 2005; Toğan ve Daloğlu, 2008; Toğan vd., 2011; Kaveh ve Talatahari, 2012; Dede ve Ayvaz, 2013).

Aydoğdu ve Saka (2012) tarafından Karınca Kolonisi yöntemi ile düzensiz uzay çerçevelerin AISC-LRFD gerilme sınırlayıcıları, yer değiştirme ve geometrik sınırlayıcılar altında burulma etkisinin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için optimum boyutlandırmalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Azad vd. (2012) çalışmalarında GA ile optimizasyonun temel prensipleri ve adımlarına ilişkin bilgiler vermişlerdir. GA ile şekil ve boyut optimizasyonu araştırılmıştır. Bu çalışmada, düzlem ve üç boyutta çeşitli kafes sistem örneklerine yer verilmiş ve sonuçlar literatür sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kafes sistemler üzerine bir diğer boyutlandırma çalışması Aminifar ve Nazarpour (2013) tarafından yapılmıştır.

Son yıllarda gerilme, yer değiştirme ve geometrik sınırlayıcıları kapsayan geleneksel sınırlayıcıların yanı sıra dinamik sınırlayıcılar da optimum boyutlandırmaya dahil edilerek

araştırmalar yapılmıştır (Artar ve Daloğlu, 2014). Bununla beraber Artar ve Daloğlu (2015) elik kiriş üzerindeki beton plağın davranışını dikkate alarak kompozit kiriş kesitli düzlem ereve sistemlerde optimum tasarımııı araştırmışlardır.

Algoritma yöntemleri, boyutlandırma ve şekil optimizasyon çalışmalarının yanı sıra hasar tespiti çalışmalarında da kullanılmıştır. Bu konu üzerine literatürde birçok araştırma mevcuttur. Ewins (1984), yapı sistemlerinin mod şekillerini hasar tespiti için modal uygunluk kriteri (MAC) olarak kullanmıştır. Wang vd.(2001), doğal frekans değerlerindeki değişimi dikkate alarak beş açıklıklı düzlem kafes sistem ve iki ucu ankastre mesnetlenmiş bir kiriş üzerinde hasar tespiti araştırmışlardır. Chou ve Ghaboussi (2001), Genetik Algoritma yöntemini kullanarak düzlem kafes sistemlerde çeşitli hasar senaryolarının tespitini araştırmışlardır. Gao ve Spencer (2002), hasar yer vektörü (DLV) yöntemi ile kafes sistemler üzerinde hasar tespiti araştırmışlardır. Teughels vd. (2002), sonlu eleman modeli güncellemesi yöntemi ile betonarme kiriş üzerinde hasar tespiti araştırmışlardır. Ge ve Lui (2005), hasar yeri ve büyüklüğü tespiti çalışmalarını 10 elemanlı konsol kiriş ve iki açıklı, 10 katlı elik ereve sistem üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Perera ve Torres (2006), Genetik Algoritma yöntemini kullanarak basit kiriş model üzerinde çeşitli hasar senaryoları araştırmışlardır. Wu ve Li (2006), elik bir yapı modeli üzerinde çeşitli hasar senaryolarını MAC kriterine ve sonlu elemanlar yöntemine dayalı araştırmışlardır. Jaishi ve Ren (2006), simüle edilmiş basit bir kiriş üzerinde sonlu eleman modeli güncellemesi yöntemi ile hasar tespiti çalışmışlardır.

Erdoğan (2007), sonlu eleman modeli güncellemesi yönteminde GA yönteminin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Hasarlı ve hasarsız yapıdaki mod şekli ve doğal frekans farklarını içeren bir uygunluk fonksiyonu kullanmıştır. Hasar, sonlu elemanlara bölünmüş kiriş elemanların elastisite modülündeki azalması ile tarif edilmiştir. Tanımlanan uygunluk fonksiyonu minimize edilerek her elemanın elastisite modülündeki azalma tespit edilmiş böylece hasarın yeri ve büyüklüğü belirlenmiştir. Ele alınan kirişte gürültülü ve gürültüsüz durumlar için çok iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Fang vd. (2008), betonarme ereve sistemde hasar tespitini incelemişlerdir. Gao ve Lu (2009), üç katlı, tek açıklı düzlem ereve sistem ve 7 ubuklu kafes sistem üzerinde çeşitli hasar senaryolarını incelemişlerdir. Yoshioka vd. (2011), kafes diagonal elemanlarda hasar tespiti için doğal frekansları kullanmışlardır. Liu vd. (2011), yapı elemanlarında hasar tespitini birçok amaç fonksiyonunu içeren Genetik Algoritma ile doğal frekans ve mod şekillerini kullanarak araştırmışlardır. alışmalarında hasarlı yapıya ait

gerekli dinamik verileri MATLAB'da hazırladıkları nümerik simülasyon ile elde etmişlerdir. 15 elemanlı basit bir kiriş üzerinde çeşitli hasar senaryoları incelemişlerdir. Majumdar vd. (2012), Karınca Kolonisi Algoritma yöntemi ile düzlem ve uzay kafes sistemlerde doğal frekanslara bağlı olarak hasar tespiti çalışmışlardır. Malekzehtab ve Golafshani (2013), bir yapı modelinde sonlu eleman modeli güncelleme yöntemine dayalı Genetik Algoritma yöntemini kullanarak hasar tespiti çalışmışlardır. 18 elemanlı bir düzlem model üzerinde yürüttükleri analizlerinde azaltma çarpanlarını kullanmışlardır. Tang ve Xie (2014), kafes sistem ve basit kiriş üzerinde çeşitli hasar senaryoları incelemişlerdir. Yapı sistemine ait doğal frekans ve mod şekilleri gibi dinamik verileri hasar öncesi ve sonrası belirlemek için ANSYS programı kullanılmıştır.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı ve kapsamı aşağıda sıralanmaktadır;

- Birçok çelik çerçeve sisteminin optimizasyonu literatürde mevcuttur. Bununla birlikte literatürdeki çalışmalarda kirişler üzerindeki beton plak etkisi optimizasyonlarda dikkate alınmamıştır. Bu doktora tez çalışmasının esas amacı çeşitli çelik çerçeve sistemlerin kiriş profilleri üzerindeki beton plak etkisini analizlerde hesaba dahil ederek, kirişin basınç başlığında bulunan betonun basınç dayanımından yararlanılması ve dolayısıyla daha hafif çerçeve elde edilmesi amacıyla düzlem ve uzay çerçevelerin optimum boyutlandırmalarının yapılması hedeflenmiştir.
- Çeşitli rijit veya yarı rijit birleşimli çerçevelerin geleneksel sınırlayıcılara göre (burkulma ve yanal burkulmayı kapsayan bileşik gerilme sınırlayıcıları, deplasman sınırlayıcıları, kolon-kolon ve kolon-kiriş geometrik sınırlayıcılar) optimum boyutlandırmalarının yapılması amaçlanmıştır.
- Geleneksel sınırlayıcıların yanı sıra yapı sistemlerine ait dinamik sınırlayıcıların optimizasyona ilave edilerek yapı elemanlarının tekrar boyutlandırılması hedeflenmiştir.
- Ayrıca sonlu elemanlar yöntemine dayalı MATLAB'da kodlanan programlar ile yapı sistemlerinin optimum boyutlandırmalarının yapılmasının yanı sıra MATLAB-SAP2000 OAPI (Open Application Programming Interface) ile de yapı

sistemlerinin optimum boyutlandırılmalarının gerçekleştirilmesi ile çalışma geliştirilmiştir.

- Yukarıdaki çalışmalara ilave olarak düzlem çerçeve elemanlarda senaryo edilen hasarların GA optimizasyonu ile hasar yerlerinin ve büyüklüklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yapılması hedeflenen tüm optimum boyutlandırma çalışmalarında TS 648 (Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları), AISC-LRFD (American Institute of Steel Construction - Load and Resistance Factor Design) veya AISC-ASD (American Institute of Steel Construction - Allowable Stress Design) yönetmelikleri esas alınarak MATLAB'da program geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar mümkün olduğu durumda teknik literatürde bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Genetik Algoritma ile Yapısal Optimizasyon

Yapısal optimizasyonda amaç genellikle yapının ağırlığını minimum yapmaktır. Bu durumda amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Bekiroğlu, 2003; Armutçu, 1997).

$$\min W = \sum_{k=1}^{ng} A_k \sum_{i=1}^{nm} \rho_i L_i \quad (1)$$

Burada, A_k k grubuna ait elemanların kesit alanlarını, ρ_i ve L_i i inci çubuğun yoğunluğunu ve boyunu, ng sistemdeki toplam grup sayısını, nm sistemdeki toplam eleman sayısını göstermektedir. $W(A_k)$ amaç fonksiyonu, sınırlayıcılar (gerilme, yer değiştirme, geometrik sınırlayıcılar vb.) altında minimize edilmektedir (Daloğlu ve Aydın, 1999). İşlemlerde hesaba dahil edilen sınırlayıcılar hesaplandıktan sonra ceza fonksiyonu, C , aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır (Daloğlu ve Aydın, 1999).

$$C = \sum_{i=1}^m c_i \quad (2)$$

Burada c_i sınırlayıcıların ihlal edilme katsayısı olup, $g_i(x) > 0$ için $c_i = g_i(x)$ ve $g_i(x) \leq 0$ için ise $c_i = 0$ olarak hesaplanır.

$$PC = P \sum_{i=1}^m c_i \quad (3)$$

Bu bağıntıda P fonksiyona bağlı olarak belirlenen sabit bir değer olup ceza fonksiyonun, sınırlayıcıların ve sistemin ağırlığının ne derece etkili olacağını belirlemede kullanılmaktadır (Bekiroğlu, 2003). Bu çalışmada sistemin minimum

ağırlıkta tasarımı için P değeri olarak 10 alınmıştır (Bekiroğlu, 2003; Aydın, 1997). Böylece cezalandırılmış amaç fonksiyonu, $\phi(x)$, aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\phi(x) = W(I + PC) \quad (4)$$

Buna göre popülasyondaki her birey için uygunluk bağıntısı (5) nolu bağıntı ile verilmektedir.

$$F_i = (\phi(x)_{\max} + \phi(x)_{\min}) - \phi(x)_i \quad (5)$$

Popülasyondaki her bireye ait uyum faktörü ise (6) nolu bağıntı ile hesaplanır (Armutçu, 1997).

$$F_{ci} = F_i / F_{ort} \quad (6)$$

Burada F_{ort} uyum derecelerinin ortalamasıdır. Bağıntı (6) ile bulunan değer, 0,5'den küçük ise birey popülasyondan çıkarılır, eğer büyük ise kalır. Çıkarılan birey kadar en iyi uyum derecelerine sahip bireyler kopyalanır ve popülasyondaki birey sayısının sabit kalması sağlanır (Daloğlu ve Aydın, 1999).

Kopyalama operatöründen sonra değişen nesil rastgele ikişerli eşleştirilerek çaprazlama operatörü uygulanır. Çaprazlama operatörü aritmetik çaprazlama, lineer çaprazlama, tek noktalı, çift noktalı, düzgün çaprazlama ve çok noktalı çaprazlama olmak üzere birçok türde uygulanabilir (Bekiroğlu, 2003). Bu çalışmada çift noktalı çaprazlama operatörü uygulanmıştır. Örneğin, kod zincir uzunluğu 12 haneli olan A ve B bireyleri aşağıdaki gibi olsun.

A bireyi:

0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

B bireyi:

1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



A ve B bireyleri arasında 3. ve 8. noktalar arasında yapılan çaprazlama işlemi sonrasında yeni A ve B bireyleri aşağıdaki gibidir.

A' bireyi:

0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

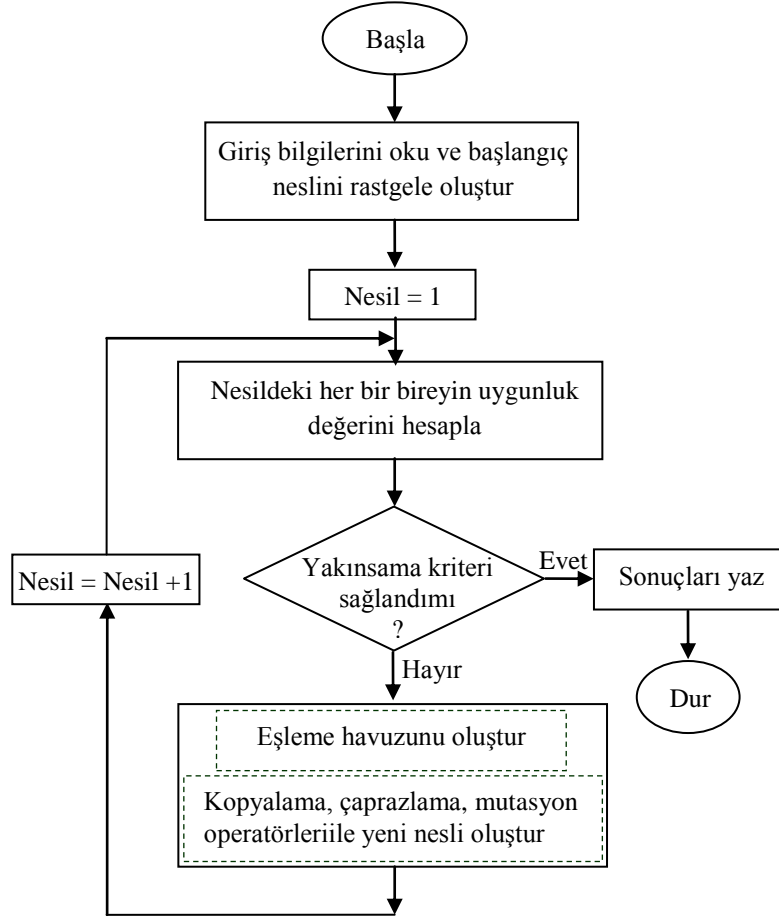
B' bireyi:

1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Çaprazlama operatöründen sonraki işlem mutasyon işlemidir. Mutasyon operatörü popülasyondaki her yeni bireye önceden belirlenmiş bir olasılıkla uygulanır. Bu operatörle bireyden rastgele seçilen bir gen 0'dan 1'e veya 1'den 0'a değiştirilir. Bu operatörlerin uygulanması ile yeni ve daha iyi bir nesil elde edilmiştir. İşlemlere belirlenen iterasyon sayısına veya belirlenen sonlandırma kriterlerinin sağlanmasına kadar devam edilir. Bu durumda nesildeki maksimum uygunluk değerine sahip bireylerle optimum çözüm elde edilir. GA ile elde edilen bu çözümün en uygun sonuçları içerdiğinin garantisi yoktur. Bunun yanı sıra oldukça karmaşık çerçeve sistemler GA yöntemi ile hızlı ve pratik bir şekilde çözümlenerek optimuma en yakın ve kullanılabilir sonuçlar elde edilebilmiştir.

Bu çalışmada çelik çerçeve sistemlerin optimum çözümlerini elde etmek için genetik algoritma yönteminin aşamalarını içeren bilgisayar programı MATLAB kullanılarak geliştirilmiştir. Çelik profillere ait enkesit alanları, atalet momentleri, yüksekleri, başlık kalınlıkları ve genişlikleri gibi kesit bilgileri tasarım değişkenleri olarak algoritmaya dahil edilmiştir. Ayrıca algoritmaya dahil edilen çelik profil sayısı arttıkça çözüm için gereken iterasyon adımının sayısı önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

Yukarıda bahsedilen tüm operatör işlemleri içeren Genetik Algoritmaya ait akış diyagramının en basit hali Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. GA akış diyagramı

2.2. Boyutlandırma Sınırlayıcıları

Bu çalışmada ele alınan örneklerde, gerilme sınırlayıcıları olarak TS 648 (Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları), AISC-LRFD (American Institute of Steel Construction - Load and Resistance Factor Design) veya AISC-ASD (American Institute of Steel Construction - Allowable Stress Design) yönetmelikleri esas alınmıştır. Gerilme sınırlayıcılarının yanı sıra maksimum yer değiştirme, katlar arası rölatif yer değiştirme, geometrik sınırlayıcılar ve dinamik sınırlayıcılar da kullanılmıştır.

- TS 648'e göre gerilme sınırlayıcıları;

Çekme çubukları için;

$$g_i = \frac{\sigma_{\zeta,i}}{\sigma_{\zeta em,i}} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, nm \quad (7)$$

Eksenel basınç çubukları için;

$$g_i = \frac{\sigma_{eb,i}}{\sigma_{bem,i}} - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, nm \quad (8)$$

Bu bağıntıda σ_{ζ} çekme çubuğundaki gerilmeyi, $\sigma_{\zeta em}$ çekme emniyet gerilmesini, σ_{eb} basınç çubuğundaki gerilmeyi, σ_{bem} basınç çubuğunda narinliğine bağlı olarak hesaplanan basınç emniyet gerilmesini ifade etmektedir. Eksenel çekme kuvveti taşıyan elemanlarda gerilme çekme emniyet gerilmesi ile kıyaslanır. Ancak eksenel basınç yükü taşıyan elemanlar için basınç emniyet gerilmesinin hesaplanmasında narinlik oranı göz önünde bulundurulmalıdır. Yapı elemanına ait narinlik hesaplanır ve plastik narinlik değeri, λ_p , ile karşılaştırılır.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} \quad (9)$$

Burada E çeliğin elastisite modulünü ve σ_a akma gerilmesini göstermektedir.

$\lambda > \lambda_p$ için,

$$\sigma_{bem} = \frac{2\pi^2 E}{5\lambda^2} \quad (10)$$

$\lambda \leq \lambda_p$ için,

$$\sigma_{bem} = \left[\frac{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2}{n} \right] \sigma_a \quad (11)$$

$\lambda \leq \lambda_p$ için n değeri;

$$n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3 \quad (12)$$

$\lambda < 20$ için n değeri; $n=1,67$

alınarak aksenal basınç emniyet gerilmesi, σ_{bem} değeri belirlenir. Aksenal basınç ve eğilmeye çalışan çubuklar için;

$$g_i = \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \sigma_{bx}}{\left(1.0 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}} \right) \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} \sigma_{by}}{\left(1.0 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}} \right) \sigma_{By}} - 1 \leq 0 \quad i=1,2,\dots,n \quad (13)$$

$$g_m = \frac{\sigma_{eb}}{0.6\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} - 1 \leq 0 \quad m=1,2,\dots,n \quad (14)$$

Eğer $\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \leq 0.15$ ise,

Yukarıdaki bağıntılar yerine (15) nolu bağıntı kullanılmaktadır;

$$g_i = \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} - 1 \leq 0 \quad i=1,2,\dots,nb \quad (15)$$

Bu bağıntıda σ_{eb} hesap edilen aksenal basınç gerilmesini, σ_b hesap edilen eğilmeye gelen gerilmeleri, σ_{bem} aksenal basınç emniyet gerilmesini, σ_B eğilme etkisindeki basınç emniyet gerilmesini, σ_e kritik burkulma gerilmesini, C_m uç ve açıklık momentleri ile yanal desteklemeyi göz önüne alan bir katsayıyı, nb hem aksenal basınca hem de eğilmeye çalışan çubuk sayısını ifade etmektedir.

- AISC-LRFD (2001)'e göre gerilme sınırlayıcıları;

$$\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \text{ için } g_{il}(x) = \left(\frac{P_u}{\phi P_n} \right)_{il} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right)_{il} - 1.0 \leq 0 \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, nm \\ l = 1, \dots, nl \end{array} \quad (16)$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} < 0.2 \text{ için } g_{il}(x) = \left(\frac{P_u}{2\phi P_n} \right)_{il} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right)_{il} - 1.0 \leq 0 \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, nm \\ l = 1, \dots, nl \end{array} \quad (17)$$

Bu bağıntılarda, nm toplam eleman sayısı, nl yükleme durumlarının toplam sayısı, P_u çekmede veya basınçta aksenal kuvvet, P_n çekmede veya basınçta taşınabilecek maksimum kuvvet, M_{ux} kuvvetli eksendeki eğilme momenti, M_{nx} kuvvetli eksendeki taşıyabileceği maksimum eğilme momenti, M_{uy} zayıf eksendeki eğilme momentidir (iki boyutlu çerçevelerde $M_{uy} = 0$ dır), M_{ny} zayıf eksendeki taşıyabileceği maksimum eğilme momenti, ϕ ise dayanım azaltma katsayısıdır, basınç için 0.85, çekme için 0.90 ve eğilme için 0.90 dır. Elemanların taşıyacağı maksimum kuvvet aşağıda (denklem 18'de) verilmiştir.

$$P_n = A_g F_{cr} \quad (18)$$

$$\lambda_c \leq 1.5 \text{ ise } F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y \quad (19)$$

$$\lambda_c > 1.5 \text{ ise } F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (20)$$

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (21)$$

Burada A_g elemanın brüt en kesit alanı, K etkili uzunluk faktörü (narinliğe bağlı katsayı), E eleman malzemesinin elastisite modülü, r atalet yarıçapı, L eleman uzunluğu, F_y çeliğin akma gerilmesidir.

- AISC-ASD (89)'e göre gerilme sınırlayıcıları;

Eksenel basınç taşıyan çubuklarda yapı elemanına ait narinlik hesaplanır ve plastik narinlik değeri, C_c ile karşılaştırılır.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (22)$$

$$\frac{KL}{r} > C_c \text{ için,}$$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23 \left(\frac{KL}{r} \right)^2} \quad (23)$$

$$\frac{KL}{r} \leq C_c \text{ için,}$$

$$F_a = \frac{F_y \left(1 - \frac{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}{2C_c^2} \right)}{n} \quad (24)$$

$$n = \frac{5}{3} + \frac{3 \left(\frac{KL}{r} \right) - \left(\frac{KL}{r} \right)^3}{8C_c} \quad (25)$$

Eksenel basınç ve eğilmeye çalışan çubuklar için;

$$g_i(x) = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}} \right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}} \right) F_{by}} \right] - 1.0 \leq 0 \quad i = 1, \dots, nc \quad (26)$$

$$g_i(x) = \left[\frac{f_a}{0.60F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]_i - 1.0 \leq 0 \quad i = 1, \dots, nc \quad (27)$$

Eğer $\frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$ ise;

$$g_i(x) = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]_i - 1.0 \leq 0 \quad i = 1, \dots, nc \quad (28)$$

Burada nc hem eksenel basınca hem de eğilmeye çalışan çubuk sayısını, f_a hesap edilen eksenel basınç gerilmesini, F_a eksenel basınç emniyet gerilmelerini, f_b hesap edilen eğilmeden gelen gerilmeleri, F_b eğilme etkisindeki basınç emniyet gerilmelerini, F'_e Euler gerilmelerini ifade etmektedir. C_m ifadesi TS 648'e belirtilen ifadenin aynısı olup yanal ötelemesi önlenmemiş çerçeveler için 0.85 dir.

Yukarıdan belirtilen yönetmeliklerde belirtilen K etkili uzunluk faktörü, narinliğe bağlı bir katsayıdır ve yanal ötelemesi önlenmemiş çerçeveler için aşağıdaki bağıntı ile elde edilmektedir (Dumonteil, 1992).

$$K = \sqrt{\frac{1.6G_A G_B + 4.0(G_A + G_B) + 7.50}{G_A + G_B + 7.50}} \quad (29)$$

Bu bağıntıda G_A ve G_B kolonların A ve B uçlarında kullanılan katsayılar olup aşağıdaki denklem ile elde edilmektedir.

$$G = \left(\frac{\sum I_c / L_c}{\sum (I_g / L_g)} \right) \quad (30)$$

Burada I_c ve I_g göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış ve burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kolon ve kirişlerin atalet momentleri, L_c ve L_g göz önüne alınan noktaya rijit bağlanmış kolon ve kirişlerin boylarıdır. Diğer sınırlayıcılar aşağıdaki bağıntılarda verilmektedir (Daloğlu ve Aydın, 1999; Aydoğdu ve Saka, 2012).

Deplasman sınırlayıcıları;

$$g_{jl}(x) = \frac{\delta_{jl}}{\delta_{ju}} - 1 \leq 0 \quad j=1, \dots, m \quad l=1, \dots, nl \quad (31)$$

Burada δ_{jl} l yükleme durumu için j noktasının deplasmanını, δ_{ju} ilgili deplasmanın alabileceği üst sınırı, m yer değiştirmesi sınırlanmış düğüm noktası sayısını, nl toplam yükleme durumlarının sayısını göstermektedir.

Katlar arası rölatif yer değiştirme sınırlayıcıları;

$$g_{jil}(x) = \frac{\Delta_{jil}}{\Delta_{ju}} - 1 \leq 0 \quad j=1, \dots, ns \quad i=1, \dots, nsc \quad l=1, \dots, nl \quad (32)$$

Burada Δ_{jil} l yükleme durumu altındaki j . kattaki i . kolonda katlar arası rölatif yer değiştirmesi, Δ_{ju} sınır değer (kat yüksekliği/300), ns katların sayısı, nsc bir kattaki kolonların sayısını göstermektedir.

Kirişlerde sehim sınırlayıcıları;

$$g_{dl}(x) = \frac{\delta_{dl}}{\delta_{du}} - 1 \leq 0 \quad d=1, \dots, nb \quad l=1, \dots, nl \quad (33)$$

Burada δ_{dl} l yükleme durumu altındaki d . kirişteki maksimum sehimi, nb toplam giriş sayısını, δ_{du} sehim üst sınır değerini göstermektedir ve burada $L/360$ alınmıştır.

Kolon- kolon geometrik sınırlayıcılar;

$$g_n(x) = \frac{D_{un}}{D_{ln}} - 1 \leq 0 \quad n=2, \dots, ns \quad (34)$$

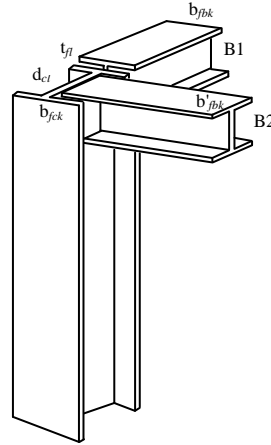
$$g_w(x) = \frac{W_{un}}{W_{ln}} - 1 \leq 0 \quad n=2, \dots, ns \quad (35)$$

Burada W_{um} ve W_{ln} seçilen üst ve alt kattaki kolonların birim ağırlıklarını, D_{um} ve D_{ln} ise üst ve alt kattaki seçilen kolonların kesit yüksekliğini göstermektedir.

Kolon-kiriş geometrik sınırlayıcılar Şekil 3'de gösterilen detaya göre aşağıda sıralanmaktadır (Aydoğdu ve Saka, 2012).

$$g_{bf,i}(x) = \frac{b'_{fbk,i}}{d_{cl,i} - 2t_{fl,i}} - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, n_{bw} \quad (36)$$

$$g_{bb,i}(x) = \frac{b_{fbk,i}}{b_{fck,i}} - 1 \leq 0 \quad i=1, \dots, n_{bf} \quad (37)$$



Şekil 3. Kolon-Kiriş birleşim detayı

Burada n_{bw} kolon kesitinin gövdesine bağlanan kirişlerin sayısını, $b'_{fbk,i}$ kiriş kesitinin başlık genişliğini, $d_{cl,i}$ kolon kesitinin yüksekliğini, $t_{fl,i}$ kolon kesitinin başlık kalınlığını, n_{bf} kolon kesitinin başlığına bağlanan kirişlerin sayısını, $b_{fbk,i}$ ve $b_{fck,i}$ kolon ve kiriş kesitlerinin başlık genişliklerini göstermektedir.

2.2.1. Dinamik Sınırlayıcılar

Bu çalışmada ele alınan bazı örneklerde optimum boyutlandırmalarında geleneksel sınırlayıcıların yanı sıra dinamik sınırlayıcılar da işleme dahil edilmiştir. Geleneksel sınırlayıcılar olarak tanımlanan gerilme ve deplasman sınırlayıcıları ile yapının önceden tanımlanan belirli bir değerden fazla deplasman oluşmayacak şekilde boyutlandırılması ve belirtilen yükler altında yapıda uygun bir gerilme düzeyi sağlanması amaçlanmıştır. Dinamik sınırlayıcılar ile titreşim hareketlerinde rezonans durumlarından kaçınmak için yapının frekansını dolayısıyla periyodunu kontrol altında tutarak uygun bir yapısal davranış hedeflenmiştir. Bunun için optimizasyon süresince çerçeve sistemlerin doğal frekans değerleri belirlenmelidir. Bu çalışmada, MATLAB’da hazırlanan program yardımıyla çerçeve sistemdeki her çubuk elemanın sonlu elemanlar yöntemi ile lokal rijitlik ve kütle matrisleri hesaplandıktan sonra tüm çerçeve sisteme ait global rijitlik ve kütle matrisleri belirlenmiştir. K_g ve M_g yapının global rijitlik ve kütle matrislerini göstermek üzere (38) denklemi MATLAB program dilinde $\text{eig}(K_g, M_g)$ komutuyla çözümlenerek yapının özdeğerleri elde edilerek (39) ifadeleri yardımıyla yapıya ait doğal frekans değerlerine ulaşılmıştır. (Topçu, 2013; Erdoğan, 2007).

$$[K_g - \lambda_i M_g] \Phi_i = 0 \quad (38)$$

$$\begin{aligned} \lambda_i &= \omega_i^2 \\ T_i &= 2\pi/\omega_i \\ f_i &= 1/T_i \end{aligned} \quad (39)$$

Bu bağıntılarda K_g yapının global rijitlik matrisini, M_g yapının global kütle matrisini, ω_i yapının i . açısal titreşim frekansını (rad/s), Φ_i yapının i . titreşim mod vektörünü, λ_i i . özdeğerini, T_i yapının i . titreşim periyodunu (s), f_i yapının i . titreşim frekansını (Hertz) göstermektedir. T_i i .doğal periyot değeri ve $T_{sd,i}$ i .doğal periyot için sınır değeri olmak üzere dinamik sınırlayıcı (40) nolu bağıntı ile verilmektedir.

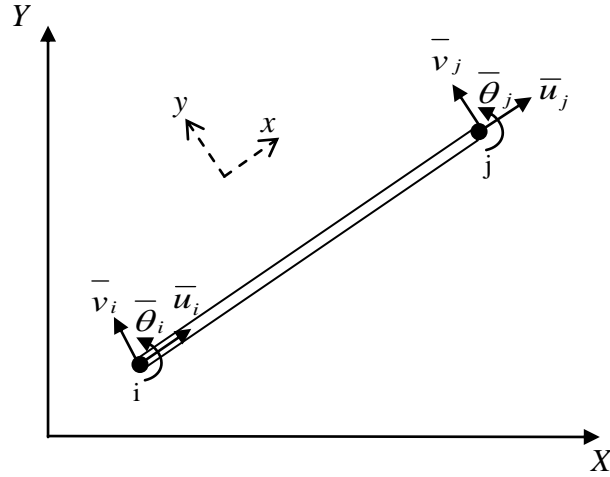
$$g_{\text{periyot},i} = \frac{T_i}{T_{sd,i}} - 1 \leq 0 \quad (40)$$

Ayrıca bazı örneklerde doğal periyot değeri yerine doğal frekans değerleri sınırlayıcı olarak kullanılmıştır. Bu durumda da $f_{sd,i}$ yapının i . titreşim frekansının sınır değerini göstermek üzere (41) nolu bağıntı ile ifade edilmektedir.

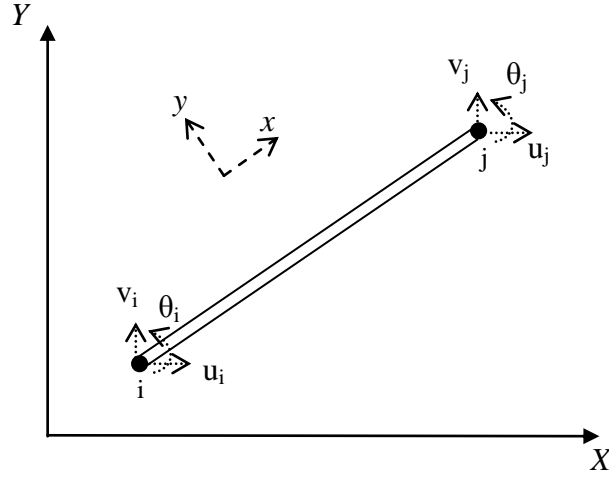
$$g_{frekans,i} = \frac{f_i}{f_{sd,i}} - 1 \geq 0 \quad (41)$$

2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Yapı sistemine ait statik ve dinamik analizlerin yürütülebilmesi için öncelikle sistemdeki her elemanın lokal (yerel) rijitlik ve kütle matrislerinin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra global matris ifadelerine dönüştürülmelidir. Bunun için öncelikle dönüşüm matrislerinin belirlenmesi gerekmektedir. Düzlem çerçeve elemanın lokal ve global yer değiştirmeleri Şekil 4 ve 5 de belirtilmektedir. Bu şekillerde XY global koordinatları ve xy lokal koordinatlarıdır. Lokal yer değiştirmeler ile global yer değiştirmeler arasındaki bağıntılar yardımıyla dönüşüm matrisi ifadesi elde edilmektedir.



Şekil 4. Düzlem çerçeve elemanın lokal eksen takımında yer değiştirmeleri



Şekil 5. Düzlem çerçeve elemanın global eksen takımında yer değiştirmeleri

Şekil 4'deki $\bar{u}, \bar{v}, \bar{\theta}$ ifadeleri lokal yer değiştirmeleri, Şekil 5'deki u, v, θ ifadeleri global yer değiştirmeleri göstermektedir.

i düğüm noktasındaki lokal ve global yer değiştirmeler arasındaki bağıntılar (42) nolu denklemler ile sunulmaktadır.

$$\begin{aligned}\bar{u}_i &= u_i c + v_i s \\ \bar{v}_i &= -u_i s + v_i c \\ \bar{\theta}_i &= \theta_i\end{aligned}\quad (42)$$

j düğüm noktasındaki lokal ve global yer değiştirmeler arasındaki bağıntılar (43) nolu denklemler ile gösterilmektedir.

$$\begin{aligned}\bar{u}_j &= u_j c + v_j s \\ \bar{v}_j &= -u_j s + v_j c \\ \bar{\theta}_j &= \theta_j\end{aligned}\quad (43)$$

Burada, L çubuk uzunluğunu göstermek üzere, $c = \frac{x_j - x_i}{L}$; $s = \frac{y_j - y_i}{L}$ dir.

Buna göre dönüşüm matris ifadesi, T_d , (44) nolu bağıntı da gösterilmektedir.

$$\begin{Bmatrix} \bar{u}_i \\ \bar{v}_i \\ \bar{\theta}_i \\ \bar{u}_j \\ \bar{v}_j \\ \bar{\theta}_j \end{Bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -s & c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{T_d} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \theta_i \\ u_j \\ v_j \\ \theta_j \end{Bmatrix} \quad (44)$$

Düzlem çerçeve sistem elemanların lokal rijitlik matris ifadesi, k , (45) nolu bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ & & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ & & & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ & sim. & & & & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (45)$$

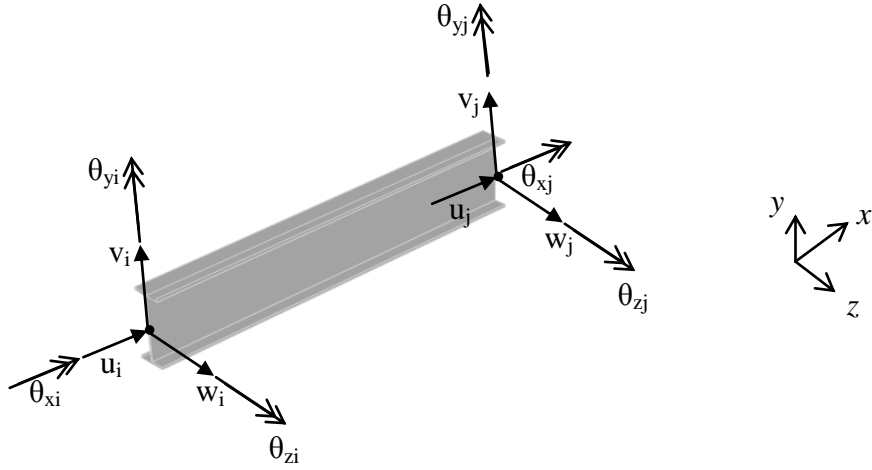
Buna göre düzlem çerçeve elemanların global rijitlik matris ifadesi, k' , (46) nolu bağıntı kullanılarak elde edilmektedir.

$$[k'] = [T_d]^T [k] [T_d] \quad (46)$$

Global kütle matris ifadesi de aynı şekilde lokal kütle matrisi ile dönüşüm matrisi yardımıyla belirlenmektedir. Düzlem çerçeve sistemlerde lokal kütle matris ifadesi, m , (47) nolu bağıntı ile gösterilmektedir. Bu bağıntıda ρ malzeme yoğunluğunu, A kesit alanını göstermektedir.

$$[m] = \frac{\rho AL}{420} \begin{bmatrix} 140 & 0 & 0 & 70 & 0 & 0 \\ & 156 & 22L & 0 & 54 & -13L \\ & & 4L^2 & 0 & 13L & -3L^2 \\ & & & 140 & 0 & 0 \\ & & & & 156 & -22L \\ sim. & & & & & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (47)$$

Uzay çerçeve sistemlerinde bir elemana ait başlangıç ve bitiş düğüm noktalarındaki serbestlik ifadeleri Şekil 6'da I profili üzerinde gösterilmektedir. Ayrıca bu eleman için lokal rijitlik matris ifadesi aşağıda (48) nolu bağıntı ile verilmektedir.



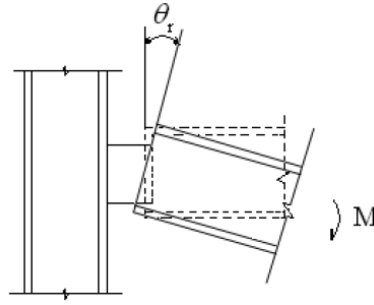
Şekil 6. Uzay çerçeve eleman

$$k = \begin{bmatrix} EA/L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -EA/L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 12EI_z/L^3 & 0 & 0 & 0 & 6EI_z/L^2 & 0 & -12EI_z/L^3 & 0 & 0 & 0 & 6EI_z/L^2 \\ & & 12EI_y/L^3 & 0 & -6EI_y/L^2 & 0 & 0 & 0 & 12EI_y/L^3 & 0 & 6EI_y/L^2 & 0 \\ & & & GJ/L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -GJ/L & 0 & 0 \\ & & & & 4EI_y/L & 0 & 0 & 0 & 6EI_y/L^2 & 0 & 2EI_y/L & 0 \\ & & & & & 4EI_z/L & 0 & -6EI_z/L^2 & 0 & 0 & 0 & 2EI_z/L \\ & & & & & & EA/L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & 12EI_z/L^3 & 0 & 0 & 0 & -6EI_z/L^2 \\ & & & & & & & & 12EI_y/L^3 & 0 & 6EI_y/L^2 & 0 \\ & & & & & & & & & GJ/L & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & & 4EI_y/L & 0 \\ & & & & & & & & & & & 4EI_z/L \end{bmatrix} \quad (48)$$

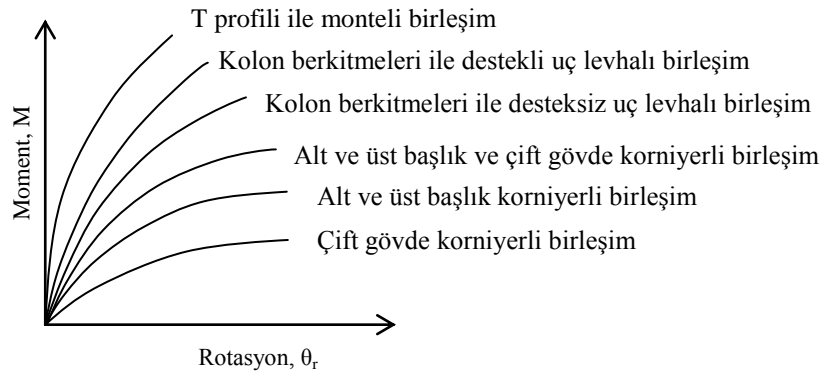
Burada G kayma modülünü, J kesitin burulma sabitini ifade etmektedir.

2.4. Yarı Rijit Birleşim

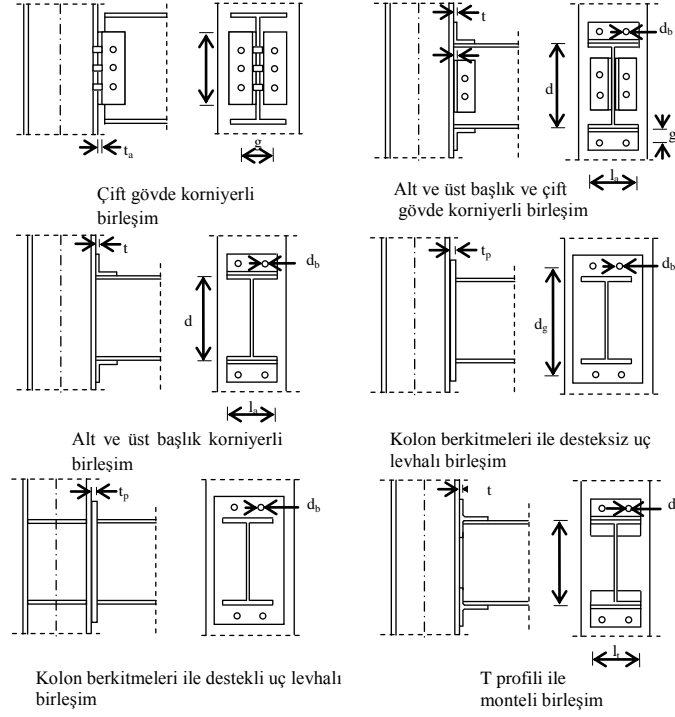
Rijit bağlı kabul edilen çerçeve sistemler gerçekte rijit ile mafsallı birleşim arasında değişen yarı rijit bir birleşim içermektedir. Kirişin kolona yarı rijit bağlantısında eğilme momentine bağlı olarak Şekil 7'de gösterildiği gibi bir miktar rotasyon (dönme) gerçekleşmektedir (Doğan, 2010). Ayrıca bu noktadaki eğilme moment kapasitesi tam rijit birleşim ile mafsallı birleşim arasında yarı rijit birleşimin türüne göre değişmektedir. Bu birleşimlerin türleri, bu birleşim noktalarındaki moment kapasiteleri için oldukça belirleyici olabilmektedir. Şekil 8'de yarı rijit birleşim türlerine göre moment-dönme eğrileri gösterilmektedir. Şekil 9'da ayrıca yarı rijit birleşim detayları sunulmaktadır (Hayalioğlu ve Değertekin, 2004a).



Şekil 7. Yarı rijit birleşimdeki θ_r



Şekil 8. Yarı rijit birleşim türlerinin Moment- dönme eğrileri (Hayalioğlu ve Değertekin 2004a)



Şekil 9. Yarı rijit birleşim detayları (Hayalioğlu ve Değertekin, 2004a)

Ele alınan çerçeve sistemlerde gerilme ve yer değiştirme verileri Sonlu Elemanlar Yöntemi ile elde edilmiştir. Sistemdeki her elemanın lokal rijitlik matrisleri ilk olarak hesaplanmaktadır. Yarı rijit birleşimli kirişlerin 1. mertebe analize göre rijitlik matrisi ifadesi (49) ve (50) nolu bağıntılar yardımıyla belirlenmektedir (Simoes 1996, Filho vd. 2004). Daha sonra çerçeve sistemin global rijitlik matrisi transformasyon (dönüşüm) matrisi kullanılarak elde edilmektedir.

$$k = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} \frac{(a_1 + a_2 + a_1 a_2)}{(4 - a_1 a_2)} & \frac{6EI}{L^2} \frac{(2a_1 + a_1 a_2)}{(4 - a_1 a_2)} & 0 & \frac{12EI}{L^3} \frac{(a_1 + a_2 + a_1 a_2)}{(4 - a_1 a_2)} & \frac{6EI}{L^2} \frac{(2a_2 + a_1 a_2)}{(4 - a_1 a_2)} \\ & & \frac{4EI}{L} \frac{(3a_1)}{(4 - a_1 a_2)} & 0 & \frac{6EI}{L^2} \frac{(2a_1 + a_1 a_2)}{(4 - a_1 a_2)} & \frac{2EI}{L} \frac{(3a_1 a_2)}{(4 - a_1 a_2)} \\ & & & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{12EI}{L^3} \frac{(a_1 + a_2 + a_1 a_2)}{(4 - a_1 a_2)} & \frac{6EI}{L^2} \frac{(2a_2 + a_1 a_2)}{(4 - a_1 a_2)} \\ & & & & & \frac{4EI}{L} \frac{(3a_2)}{(4 - a_1 a_2)} \end{bmatrix} \quad (49)$$

$$\alpha_1 = \frac{I}{1+3EI/S_1L} ; \quad \alpha_2 = \frac{I}{1+3EI/S_2L} \quad (50)$$

Bu bağıntıda α_1 ve α_2 yarı rijitlik çarpanları, S_1 ve S_2 göz önüne alınan uca ait dönme yay rijitliğidir.

Ele alınan yarı rijit birleşimli düzlem çerçeve örneklerinde K etkili kolon uzunluk çarpanı Dumonteil (1992) tarafından önerilen (29) nolu denklem ile belirlenmektedir. Burada ayrıca G_A ve G_B değerleri (30) nolu bağıntı yerine (51) ve (52) nolu bağıntılar ile belirlenmektedir (Dhillon and O'Malley, 1999; Değertekin vd., 2011).

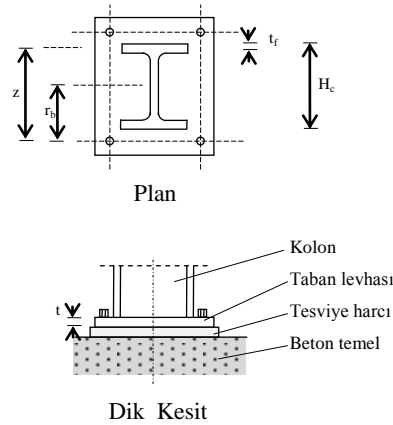
$$G = \left(\frac{\sum I_c / L_c}{\sum \alpha_{uf} (I_g / L_g)} \right) \quad (51)$$

Burada,

$$\alpha_{uf} = \frac{1}{\left(1 + \frac{6EI}{Lk_y} \right)} \quad (52)$$

Burada, α_{uf} bir katsayı olup dönme yay rijitliği ($k_y = M/\theta_r$) ile belirlenmektedir. Bu çalışmada k_y yerine literatürde bulunan ve birleşim türüne göre kabul edilen dönme yay rijitlik değerleri, S , kullanılmıştır.

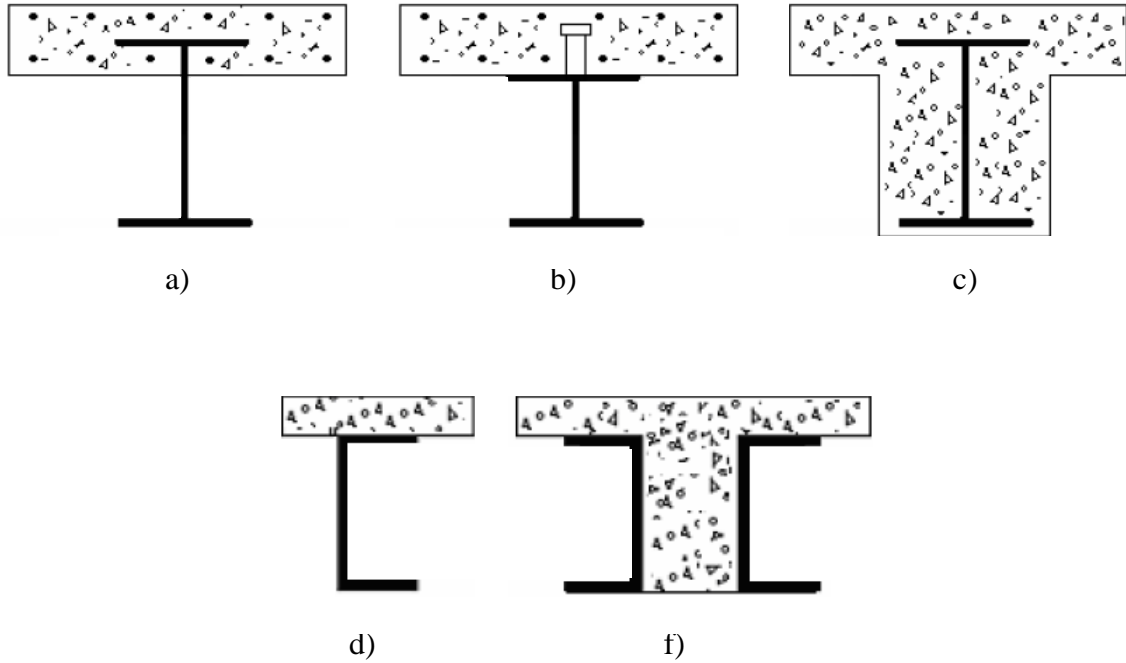
Bu çalışmada incelenen bazı yarı rijit birleşimli örneklerde yarı rijit düğüm noktalarının yanı sıra kolonlar yarı rijit ankastre mesnetler olarak alınmıştır. Yarı rijit kolon temel detayı olarak Hayalioğlu ve Değertekin (2004a) tarafından uygulanan Şekil 10'da gösterilen model kullanılmıştır.



Şekil 10. Yarı rijit kolon temel detayları

2.5. Kompozit Kirişler

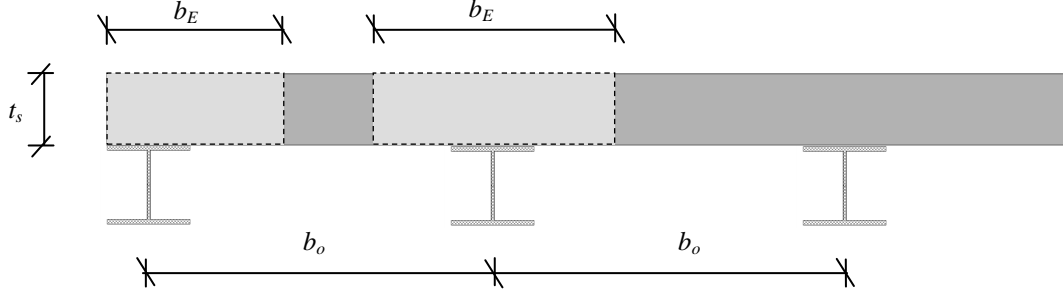
Kompozit kesitli elemanlar, farklı türde yapı malzemelerinden oluşan alt taşıyıcı elemanların bir araya gelerek oluşturdukları taşıyıcı elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Birçok farklı malzeme türünden kompozit kesitli yapı elemanları oluşturulabilmektedir. Bununla birlikte kompozit kesitli elemanlar, çelik çerçevelerde en çok çelik-beton kiriş elemanlar olarak kullanılmaktadır. Kompozit kirişler çoğunlukla bir I profili üzerinde kayma bağlantıları ile bağlanmış beton plak olarak teşkil edilmektedir. Bu çalışmada da kompozit kirişler bu şekilde düşünülmüştür. Bunun yanı sıra çelik kiriş profilinin beton döşeme plağına bir miktar veya tamamen gömülerek değişik kompozit kirişler de oluşturulabilmektedir. Ayrıca I profillerinin yanı sıra U yada diğer kesitler de kullanılabilir. Değişik kompozit kiriş örnekleri Şekil 11'de gösterilmektedir (Günbay, 2005).



Şekil 11. Kompozit kiriş örnekleri

Kayma bağlantısı çelik profile kaynaklı ya da vidalı olabilmektedir. Bu bağlantıların başlıca görevi kompozit, çelik-beton, kesitin birlikte çalışmasını sağlamaktır. Bu sayede kiriş profilin üzerindeki beton plak hesaba dahil edilerek kirişin basınç başlığında bulunan betonun basınç dayanımından yararlanması ve dolayısıyla daha hafif çerçeve elde edilebilmektedir. Kompozit kiriş kesit hesaplanmasında öncelikle etkili genişliğin

belirlenmesi gerekir. Şekil 12’de gösterilen etkili genişlik b_E , (53) veya (54) denklemlerindeki ifadelerden elde edilir (Salmon ve Johnson, 1980).



Şekil 12. Kompozit kiriş etkili genişliği

İç kiriş için;

$$\begin{aligned} b_E &\leq \frac{L}{4} \\ b_E &\leq b_o \\ b_E &\leq b_f + 16t_s \end{aligned} \quad (53)$$

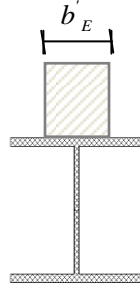
Dış kiriş için;

$$\begin{aligned} b_E &\leq \frac{L}{12} + b_f \\ b_E &\leq \frac{1}{2}(b_o + b_f) \\ b_E &\leq b_f + 6t_s \end{aligned} \quad (54)$$

Burada, L kiriş açıklığı; b_f kiriş profilinin başlık genişliği; b_o çelik kiriş aralığı, t_s beton plak kalınlığı olup b_E etkili genişliği elde edilmektedir. Daha sonra bu etkili beton alanı (55) denklemindeki gibi beton plağın elastisite modülü E_c 'nin çelik profilin elastisite modülü E_s 'ye oranı ile çarpılarak eşdeğer çelik alanına dönüştürülmüş tabla genişliği b'_E belirlenmektedir (Salmon ve Johnson, 1980; Günbay, 2005).

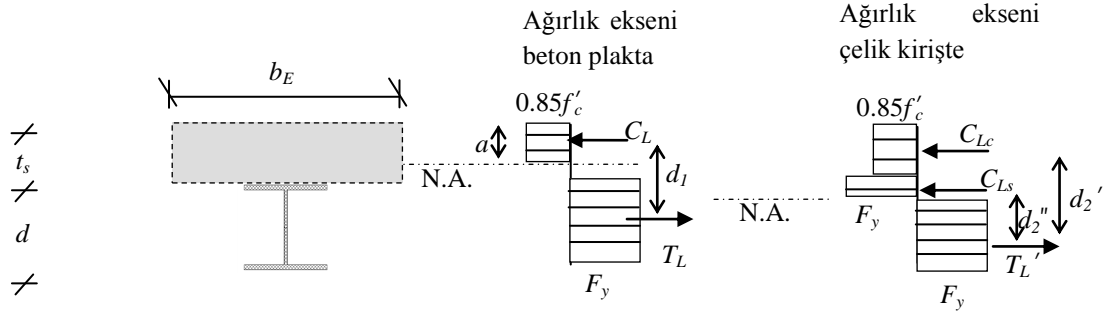
$$b'_E = b_E \frac{E_c}{E_s} \quad (55)$$

Dönüşümden sonra etkili genişlik Şekil 13’de gösterilmiştir.



Şekil 13. Kompozit kiriş kesitindeki eşdeğer çelik alanına dönüştürülmüş tabla genişliği

Bununla beraber nihai moment kapasitesi, M_u ağırlık ekseninin Şekil 14'de görüldüğü gibi beton plak veya çelik kiriş de olma durumlarına göre hesaplanmaktadır (Salmon ve Johnson, 1980). Şekil 14'de ayrıca her iki durum için gerilme dağılımları da gösterilmektedir.



Şekil 14. Kompozit kiriş kesitindeki gerilme dağılımları

Ağırlık ekseninin beton plakta olması durumunda;

$$C_L = 0.85f'_c ab_E \quad (56)$$

$$T_L = A_s F_y \quad (57)$$

$$a = \frac{A_s F_y}{0.85f'_c b_E} \quad (58)$$

$$M_u = C_L d_1 \text{ veya } T_L d_1 \quad (59)$$

$$M_u = A_s F_y \left(\frac{d}{2} + t_s - \frac{a}{2} \right) \quad (60)$$

Ağırlık ekseninin çelik kirişte olması durumunda;

$$C_{Lc} = 0.85f'_c t_s b_E \quad (61)$$

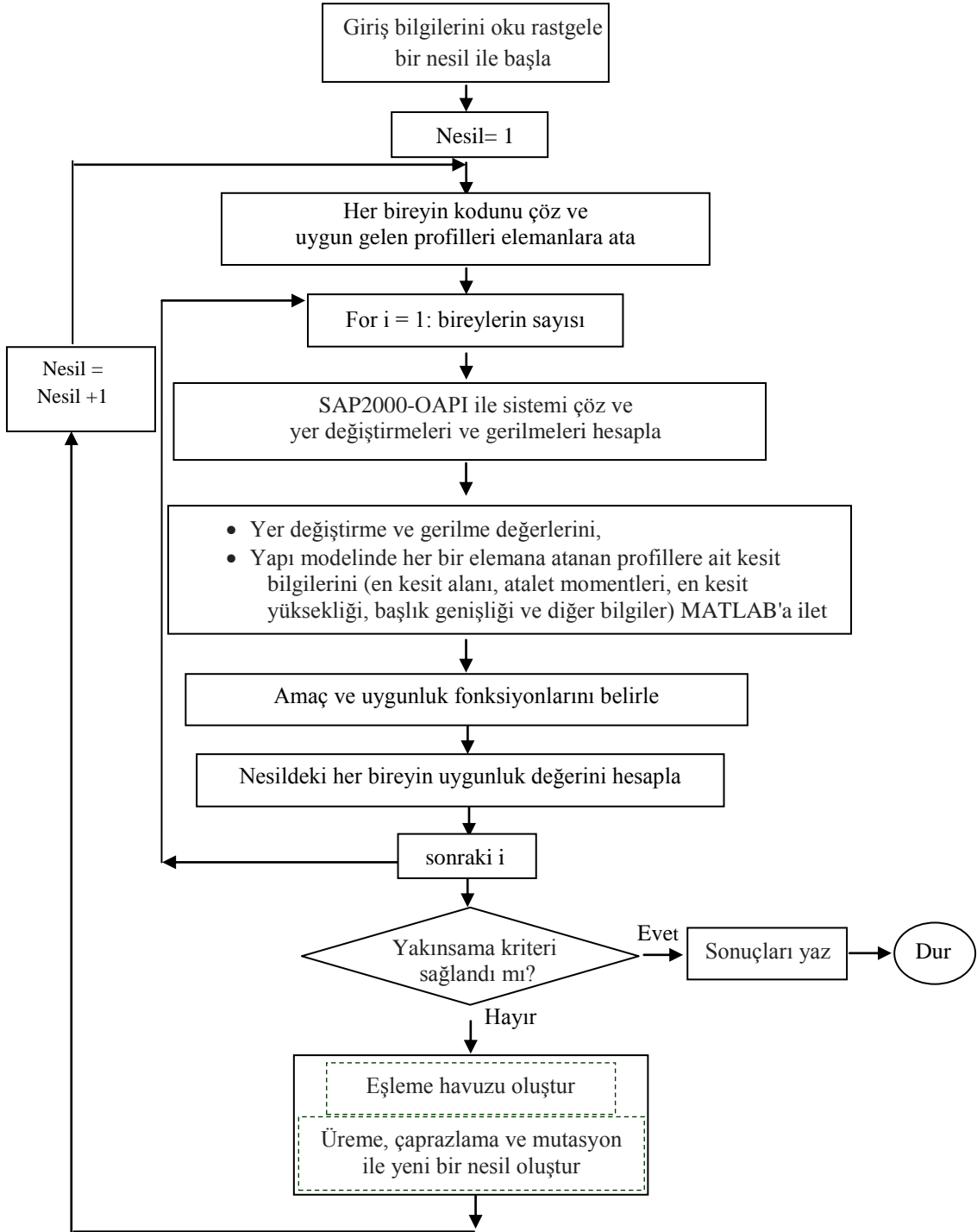
$$T'_L = C_{Lc} + C_{Ls} \quad \text{veya} \quad A_s F_y - C_{Ls} \quad (62)$$

$$M_u = C_{Lc} d'_2 + C_{Ls} d''_2 \quad (63)$$

Burada d kiriş yüksekliği, a ağırlık eksenine göre olan yükseklik, C_L nihai basınç kuvveti, C_{Lc} beton plaktaki basınç kuvveti, C_{Ls} çelik kirişteki basınç kuvveti, T_L ve T'_L nihai çekme kuvvetleri, M_u nihai moment kapasitesi, d_1 , d_2 , d_3 moment kolları, f'_c basınç dayanımı, A_s kiriş alanıdır.

2.6. Uzay Çelik Çerçevelerin SAP2000-OAPI ile Optimum Boyutlandırılması

Bu çalışmada Sonlu Elemanlar Yöntemine dayalı MATLAB'da kodlanan programlar ile yapı sistemlerinin optimizasyonlarının yanı sıra MATLAB-SAP2000 OAPI (Open Application Programming Interface) ile de yapı sistemlerinin optimum boyutlandırılmaları araştırılmıştır. MATLAB-SAP2000 OAPI ile çok daha karmaşık problemler oldukça pratik bir şekilde çözülebilmektedir. Bunun için yapı modelinin gerilme ve deplasman değerleri SAP2000 yardımı ile her iterasyon adımında otomatik olarak hesaplanmakta ve elde edilen değerler MATLAB'da hazırlanan algoritma programına aktarılarak sınırlayıcılar altında her bireyin uygunluk değeri belirlenmektedir. Sonlandırma kriterinin sağlanması durumunda yapı sistemin optimizasyonu gerçekleştirilebilmektedir. Bunun için uygulanan Genetik Algoritmaya ait akış şeması Şekil 15'de sunulmaktadır.



Şekil 15. Uygulanan genetik algoritma şeması

2.7. Genetik Algoritma ile Hasar Tespiti

Bu bölümde genetik algoritma kullanılarak sonlu eleman modeli güncellemesi yöntemiyle hasar tespiti araştırılmıştır. Doğal frekanslar ve mod şekilleri dinamik karakteristikler olarak hasar tespitinde kullanılmıştır. Hasar tespiti çalışmaları literatürdeki gibi nümerik model ve hasarlı model simulasyonu üzerinden gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritma optimizasyonu, nümerik ve hasarlı modellerin dinamik parametrelerini içeren amaç fonksiyonlarını minimize ederek nümerik modeli hasarlı simülasyon modeli ile aynı modele dönüştürmektedir. Çeşitli hasarlar simulasyon model üzerinde senaryo edilerek nümerik model ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Nümerik model güncellemesi için MATLAB’da bir program geliştirilmiştir. Hasar, yapı elemanlarının elastisite modüllerinin azalması olarak tanımlanmıştır. Kopyalama, çaprazlama ve mutasyon gibi biyolojik işlemler Genetik Algoritmada kullanılmıştır. Nümerik modelin dinamik parametrelerinin simüle edilmiş hasarlı modelin dinamik parametrelerine yaklaşması amacıyla nümerik modelin sistem elemanlarının elastisite modülü değerleri üzerine birçok azaltma denemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu denemeler, Genetik Algoritma ile her iterasyonda elastisite modülü değeri için azaltma çarpanları ile yapılmıştır. İterasyonlar, kabul edilebilir sınır değerler sağlanınca sonlanmış ve güncellenmiş nümerik model üzerinde hasarlı elemanların yerleri ve hasar büyüklükleri tespit edilebilmiştir.

Genetik Algoritmada elastisite modülü (E) için farklı azaltma çarpanları kullanılmıştır. Örneğin 4 farklı azaltma çarpanı, 0.25, 0.50, 0.75 ve 1.00 gibi. Bu çarpanlardan 0.25 hasarlı elemanda elastisite modülünün %75 harcandığını ve geriye $0.25E$ kaldığını ifade etmektedir. Diğer yandan 1.00 çarpanı ise elemanın hasarsız olduğunu göstermektedir. 4 farklı azaltma çarpanı yanı sıra 8 veya daha fazla sayıda da azaltma çarpanı arasından da hasar tespiti aranabilir. Fazla sayıda çarpan Genetik Algoritmadaki bireylerin kod zincir uzunluğunu artırmakta, hasar tespitini daha fazla iterasyon ile gerçekleştirebilmektedir. Tablo 1’de farklı azaltma çarpanı, hasar oranları ve Genetik Algoritmadaki ikilik kodlamaları ile birlikte gösterilmiştir. Buna göre eğer 10 elemanlı bir sistemde dört azaltma çarpanı ile analizler yürütülmek istenirse GA’daki kod zincir uzunlukları $10 \times 2 = 20$ haneli olmaktadır.

Tablo 1. Farklı azaltma çarpanları, hasar oranları ve Genetik Algoritmadaki ikilik kodlamaları

	Azaltma çarpan değerleri	Azaltma çarpan değerlerine karşılık gelen hasar oranları	GA'daki ikilik kodlamaları
2 tane azaltma çarpanı	0.25	75%	0
	1.00	0% (hasarsız)	1
4 tane azaltma çarpanı	0.25	75%	00
	0.50	50%	01
	0.75	25%	10
	1.00	0% (hasarsız)	11
8 tane azaltma çarpanı	0.125	87.5%	000
	0.25	75%	001
	0.375	62.5%	010
	0.50	50%	100
	0.625	37.5%	011
	0.75	25%	101
	0.875	12.5%	110
	1.00	0% (hasarsız)	111

İlk olarak hasarlı modele ait dinamik veriler ve yapı modelinin geometrik verileri MATLAB'a girilmesi ile Genetik Algoritma başlatılır. GA'daki başlangıç nesli rastgele azaltma çarpanlarından oluşmaktadır. Daha sonra her bireyin kod zinciri çözülerek her sistem elemanının rijitlik matrisindeki elastisite modülüne uygun gelen çarpanlar atanır. Her elemanın rijitlik ve kütle matrisleri tanımlandıktan sonra tüm sistemin global rijitlik ve kütle matrisleri belirlenerek sisteme ait gerekli dinamik veriler bulunur. Nümerik modele ait bulunan dinamik veriler ile hasarlı modele ait ve en başta MATLAB'a girilen dinamik verileri içeren amaç fonksiyonları her mod için uygulanır. Daha sonra nesildeki her birey için toplam amaç fonksiyonu belirlenir. Toplam amaç fonksiyon değeri sıfıra yakın bireyler iyi, sıfırdan uzak olanlar kötü bireyler olarak sıralanır. Nesildeki en kötü bireyler nesilden çıkarılır ve yerlerine en iyi bireyler kopyalanmaktadır. Daha sonra çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanmaktadır. Gerekli kriterler sağlanıncaya kadar tüm bu işlemleri içeren iterasyonlar tekrar edilmektedir.

2.7.1. Toplam Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi

Hasarlı ve nümerik modellerin doğal frekans farklarının oranını içeren amaç fonksiyonu (64) nolu bağıntı ile ifade edilmektedir (Zarate ve Caicedo, 2008; Erdoğan, 2007).

$$F_{\text{frekans},i} = \left| \frac{f_i^D - f_i^N}{f_i^D} \right| \quad i = 1, \dots, m \quad (64)$$

Bu bağıntıda m işleme dahil edilen mod sayılarını ifade etmektedir. Bu dinamik kriterin yanı sıra modal uygunluk kriteri (MAC) de kullanılabilir (Ewins, 1984). MAC kriteri (65) nolu bağıntı ile verilmektedir.

$$MAC([\Phi_i^H], [\Phi_i^N]) = \frac{|\left[\Phi_i^H \right]^T \left[\Phi_i^N \right]|^2}{\left(\left[\Phi_i^H \right]^T \left[\Phi_i^H \right] \right) \left(\left[\Phi_i^N \right]^T \left[\Phi_i^N \right] \right)} \quad (65)$$

Bu bağıntıda Φ_i^H ve Φ_i^N sırasıyla, hasarlı ve nümerik modellerin mod şekilleridir. Eğer güncellenen nümerik model ile hasarlı model aynı model ise MAC değeri 1'e eşit olmaktadır. MAC kriterinin yanı sıra özdeğerlerin işleme dahil edildiği modifiye edilmiş toplam modal uygunluk kriteri (MTMAC) de kullanılmaktadır. MTMAC kriteri (66) nolu bağıntı ile ifade edilmektedir (Perera ve Torres, 2006).

$$MTMAC = \prod_{i=1}^m \frac{MAC([\Phi_i^H], [\Phi_i^N])}{\left(1 + \left| \frac{\lambda_i^N - \lambda_i^H}{\lambda_i^N + \lambda_i^H} \right| \right)} \quad i = 1, \dots, m \quad (66)$$

Bu bağıntıda λ_i^N ve λ_i^H sırasıyla nümerik ve hasarlı modellerin özdeğerleridir. Her i . mod için ayrı ayrı MTMAC değeri kullanılarak elde edilen amaç fonksiyonu (67) nolu bağıntıda sunulmaktadır.

$$F_{MAC,i=1} = \frac{MAC([\Phi_i^H], [\Phi_i^N])}{\left(1 + \left| \frac{\lambda_i^N - \lambda_i^H}{\lambda_i^N + \lambda_i^H} \right| \right)} \quad i = 1, \dots, m \quad (67)$$

Her i . mod için amaç fonksiyonu (68) nolu bağıntı ile elde edilebilmektedir. (Liu vd., 2011; Zarate ve Caicedo, 2008).

$$F_i = F_{MAC,i} + F_{frekans,i} \quad (68)$$

(69) nolu bağıntıda görüldüğü gibi her i . mod için elde edilen amaç fonksiyon değeri toplanarak toplam amaç fonksiyon değeri hesaplanmaktadır.

$$F_{t,i} = \sum F_i \quad (69)$$

$F_{MAC,i}$ ve $F_{frekans,i}$ değerleri her i . mod için 0 ile 1 değerleri arasında değişmektedir. Toplam amaç fonksiyon değeri sıfıra eşit olduğu durumda güncellenen nümerik model hasarlı model ile aynı model olmakta ve işlem sonlandırılmaktadır.

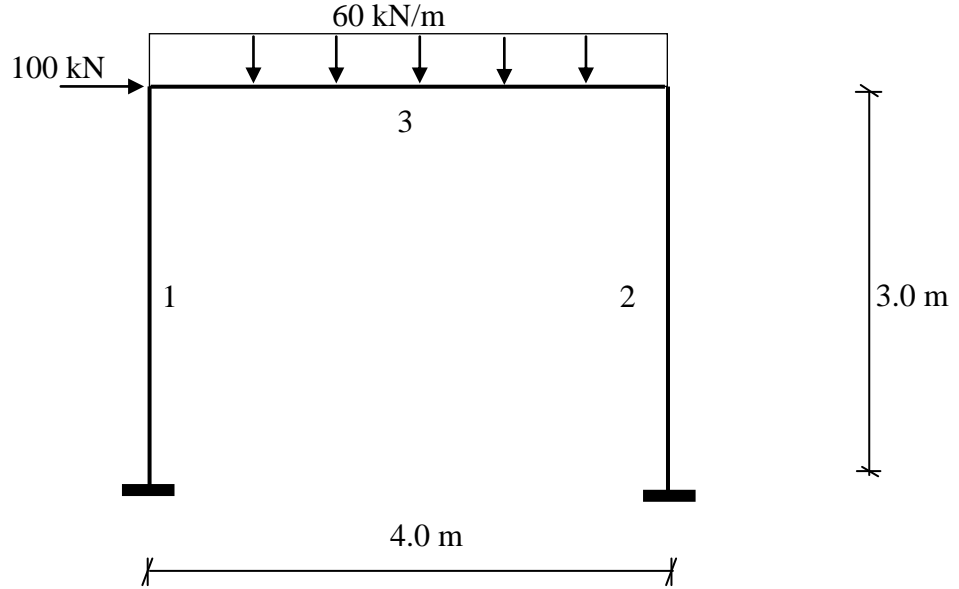
2.8. Kompozit Kirişli Sistemlerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonuna İlişkin Örnekler

Bu bölümdeki örneklerde kompozit kirişli sistemlerin daha hafif olduğu tam rijit ve yarı rijit sistemler için araştırılmıştır. Ayrıca bazı örnekler de sisteme ait doğal frekansların dinamik sınırlayıcılar olarak geleneksel sınırlayıcıların yanı sıra işleme dahil edilerek boyutlandırmayı nasıl etkilediği de araştırılmıştır. Gerilme sınırlayıcıları TS 648 (Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları), AISC-LRFD (American Institute of Steel Construction - Load and Resistance Factor Design) veya AISC-ASD (Allowable Stress Design) standartlarına göre uygulanmıştır. Ayrıca, deplasman ve geometrik sınırlayıcılar da kullanılmıştır. Çerçeve kolonları aksenal basınç ve eğilmeye çalışan çubuklardır ve narinliğe bağlı olarak stabilite ve gerilme kontrolleri yapılmıştır. Çerçeve kirişlerinin de aynı şekilde gerilme ve stabilite yani yanal burkulma denetimleri gerçekleştirilmiştir. Deplasman sınırlayıcıları yine izin verilen maksimum değerler ile karşılaştırılarak uygulanmıştır. Tüm bu uygulamaların pratik olarak yürütülebilmesi için MATLAB'da bir program geliştirilmiştir. Geliştirilen program ile çerçeve sistemlere ilişkin elde edilen sonuçlar SAP2000 programı yardımı ile doğrulanmıştır. Kompozit kirişli çerçevelerin daha hafif olduğu gösterilmiştir.

2.8.1. Kompozit Kirişli Çelik Sistemlerin Geleneksel Sınırlayıcılara Göre Genetik Algoritma ile Optimizasyonuna İlişkin Örnekler

2.8.1.1. Tek Açıklı Tek Katlı Basit Çerçeve Sistem

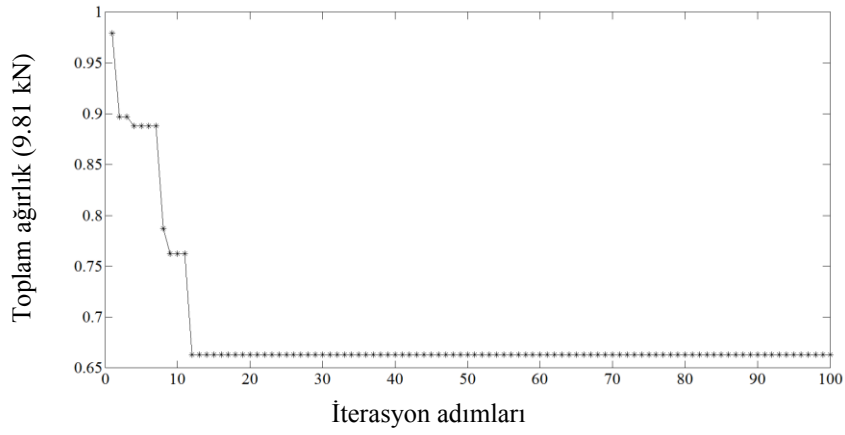
Tek katlı basit çerçeve sistem Şekil 16'da gösterilmiştir. Bu örnekteki çerçeve sistem karşılaştırma yapmak amacıyla literatürden alınmıştır (Armutçu, 1997). Geleneksel sınırlayıcılar ile GA kullanılarak Tablo 2'de gösterilen I profilleri (DIN1025) arasından optimum boyutlandırılmıştır. Bu çalışmada çerçeve sistem geleneksel sınırlayıcılar için TS 648'e göre optimum boyutlandırılmıştır. Ayrıca, çerçeve üzerinde 15 cm kalınlığında beton plak ilave edilerek sistem tekrar boyutlandırılmıştır. Bu örnek için ele alınan dizayn parametreleri $E_s=21000$ kN/cm², $E_c=3000$ kN/cm², yer değiştirme sınır değeri=1.0cm ($L/300 \sim L/400$), $\sigma_{em}=14$ kN/cm². Her iki durum da %65 lik yakınsama kriterine göre 20 bireyli genetik algoritma ile 100 iterasyon adımında çözülmüştür. Çerçeve sistemin optimum boyutları elde edilerek Tablo 3'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. İlk çözüme ilişkin sonuçlar bu tabloda literatür sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Her iki çözümün toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi Şekil 17 ve 18'de sunulmuştur.



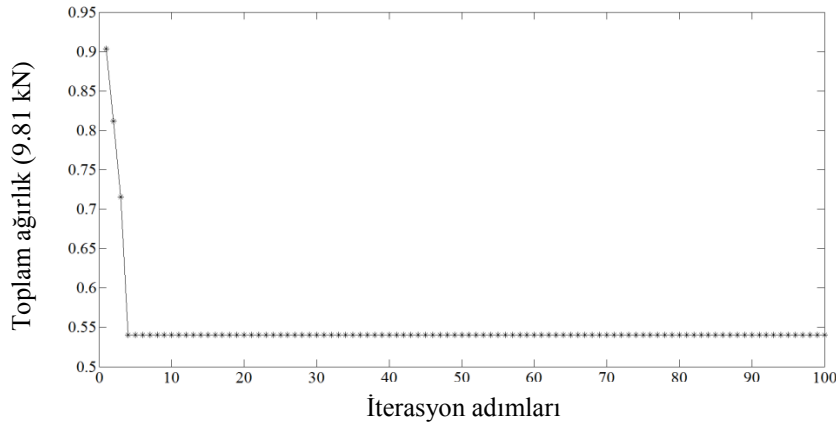
Şekil 16. Tek katlı basit çerçeve sistem

Tablo 2. DIN1025 den alınan 32 adet I profili

HE120A	HE280A	IPE120	IPE300
HE140A	HE300A	IPE140	IPE330
HE160A	HE320A	IPE160	IPE360
HE180A	HE340A	IPE180	IPE400
HE200A	HE360A	IPE200	IPE450
HE220A	HE400A	IPE220	IPE500
HE240A	HE450A	IPE240	IPE550
HE260A	HE500A	IPE270	IPE600



Şekil 17. Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi



Şekil 18. Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi (kompozit kirişli)

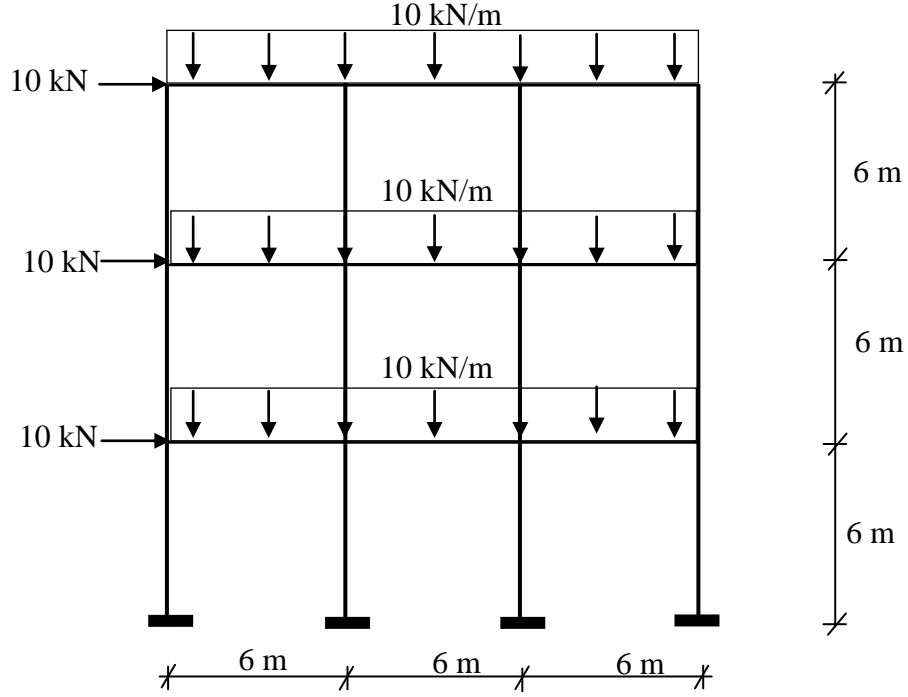
Tablo 3. Her iki tür optimizasyona ait sonuçlar ve literatür sonuçları

	Eleman No.1,2: A1 (cm ²)	Eleman No.3: A2 (cm ²)	Toplam Ağırlık (kN)
Armutçu (1997)	84.5	84.5	6.50
Bu çalışma	IPE400 84.5	IPE400 84.5	6.50
Bu çalışma Kompozit kirişli	IPE400 84.5	HE180A 45.3	5.30

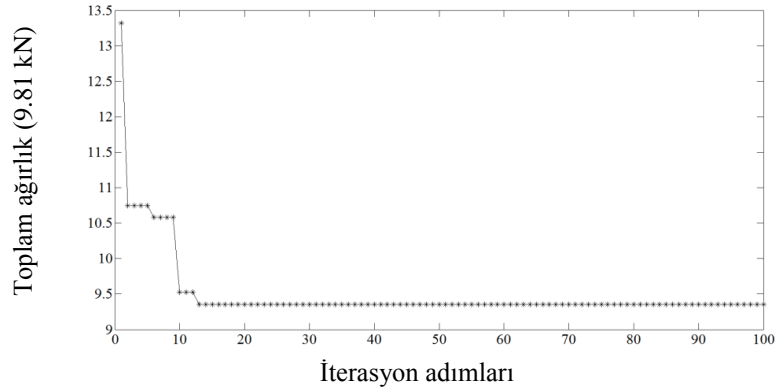
Tablo 3’de görüldüğü gibi bu çalışmada bulunan boyutlar ile literatür sonuçları aynıdır. Bu tabloda ayrıca kompozit kirişli çerçeve sistem için yeniden yapılan boyutlandırma sonuçları görülmektedir. Buna göre kolon boyutunun aynı kaldığı, kiriş kesit boyutunun ise küçüldüğü görülmüştür. Ayrıca Şekil 17 ve 18’de gösterildiği gibi kompozit kesit kirişli sistem optimizasyonu ile toplam çelik ağırlığı 6.50 kN’dan 5.30 kN’a düşmektedir.

2.8.1.2. 21 Çubuklu Çerçeve Sistem

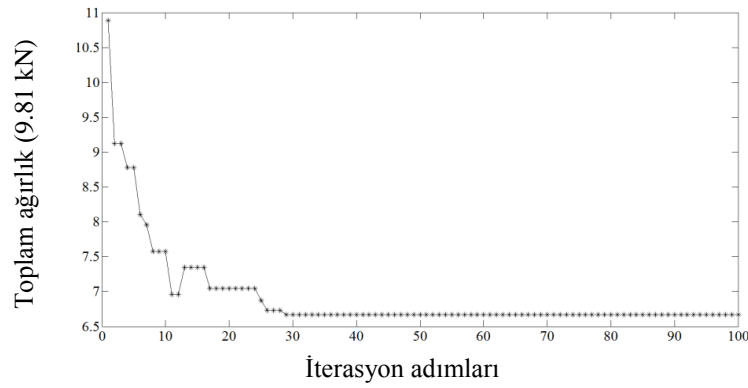
21 çubuklu çerçeve sistem Şekil 19’da gösterilmiştir. Tablo 2’deki 32 profil arasından optimum boyutlandırılmıştır. Çözüm için uygulanan dizayn parametreleri $E_s=21000$ kN/cm², $E_c=3000$ kN/cm², yer değiştirme sınır değeri=2 cm, $\sigma_{em}=14$ kN/cm² dir. Çerçeve sistem geleneksel sınırlayıcılara göre optimum boyutlandırılmıştır. İlk çözümde sadece çelik elemanlı sistem olarak boyutlandırılmıştır. Daha sonra kiriş elemanlar üzerlerinde 15 cm kalınlığında beton plak ile birlikte kompozit kesit olarak çözülmüştür. Sistem kiriş elemanları 1.grup, 1. kat kolon elemanları 2.grup, 2. ve 3.kat kolon elemanları 3.grup olarak boyutlandırılmıştır. Her iki çözümde 20 birey ve %55 yakınsama kriterine göre 100 iterasyon ile çözülmüştür. MATLAB ile elde edilen sonuçlar Tablo 4’de sunulmuştur. Bu tabloda ayrıca MATLAB ile bulunan çubuk boyutlarına göre yapılan SAP2000 analizleri sonuçları da gösterilmiştir. Her iki çözümün toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi Şekil 20 ve 21’de sunulmuştur.



Şekil 19. 21 çubuklu çerçeve sistem



Şekil 20. Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi



Şekil 21. Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi (kompozit kirişli)

Tablo 4. Her iki çözüme ait sonuçlar

	1.kat kolon kesiti	2.ve 3.kat kolon kesiti	Kiriş kesiti	Max yerd. (cm)	Kolonlarda Maksimum iç kuvvetler				Kirişlerde Maksimum iç kuvvetler			
					eksenel kuvvet (kN)	kesme kuvveti (kN)	moment (kNcm)	açıklık moment (kNcm)	kesme kuvveti (kN)	eksenel kuvveti (kN)	uç momenti (kNcm)	
MATLAB	HE320A	HE240A	HE280A	1.9861	-189.9	9.9	3339.2	2283.1	-38.9	-12.6	-5288.7	
SAP2000	HE320A	HE240A	HE280A	2.07	-189.82	9.84	3340.77	2284.78	-38.85	-12.54	-5254.32	
MATLAB (Kompozit kirişli)	HE300A	HE240A	HE160A	1.9887	-190.9	9.0	3098.0	2467.3	-39.7	-12.30	-5428.7	
SAP2000 (Kompozit kirişli)	HE300A	HE240A	HE160A	2.046	-191.03	8.91	3103.81	2479.0	-39.73	-12.26	-5414.99	

Tablo 4’de görüldüğü gibi kompozit kiriş kesitli çözümde 1. kat kolon boyutu HE320A’dan HE300A’ya, kiriş boyutu ise HE280A’dan HE160A’ya düşmektedir. Ayrıca MATLAB ile elde edilen boyutlara göre yapılan SAP2000 analiz sonuçları MATLAB analiz sonuçları ile oldukça yakındır. Şekil 20 ve 21’de görüldüğü gibi kompozit kesit ile çözüm sayesinde toplam çelik ağırlığı yaklaşık 92 kN’dan yaklaşık 66 kN’a düşmektedir.

2.8.2. Çok Katlı Kompozit Kirişli Çelik Çerçevelerin Dinamik Sınırlayıcı Genetik Algoritma ile Optimizasyonuna İlişkin Örnekler

Bu bölümde yapılan örneklerde geleneksel sınırlayıcılar olarak TS 648’e (Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları) göre gerilme ve yer değiştirme sınırlayıcıları kullanılmıştır. Buna ilaveten yapıya ait doğal frekans değerleri dinamik sınırlayıcılar olarak işleme dahil edilmiştir. Çok katlı düzlem çerçeve örnekleri geleneksel sınırlayıcılara ve ayrıca kompozit kirişli durum için optimum boyutlandırılmış daha sonra kompozit kirişli durum için geleneksel sınırlayıcıların yanı sıra dinamik sınırlayıcılara göre tekrar boyutlandırılmıştır.

Çerçeve kolon çubuklarının burkulma boyu, çubuk gerçek boyunun K etkili kolon uzunluk faktörü (burkulma boyu katsayısı) ile çarpılarak bulunur. Literatürde bulunan çalışmaların bazılarında (Saka, 1991; Daloğlu ve Armutcu, 1998) K katsayısı olarak 1-1.2 gibi sabit bir değer kabul edilerek işlemler yürütülürken bazı çalışmalarda (Değertekin vd. 2006a) kolon K değerleri yanal deplasmanın mümkün olduğu çerçevelerde denklem (29)’da verilen bağıntı ile bulunmaktadır (Dumonteil, 1992). Bu çalışmada da bu bağıntı yardımıyla gerçek K değerleri hesaplanarak işlemler yürütülmüştür. G_A ve G_B (kolonların üst ve alt uçları için rijitlik dağıtım faktörleri) ise (30) nolu denklem ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada ele alınan tüm örneklerde ankastre mesnet kullanılmakta olup $G_i=1$ olarak alınmıştır.

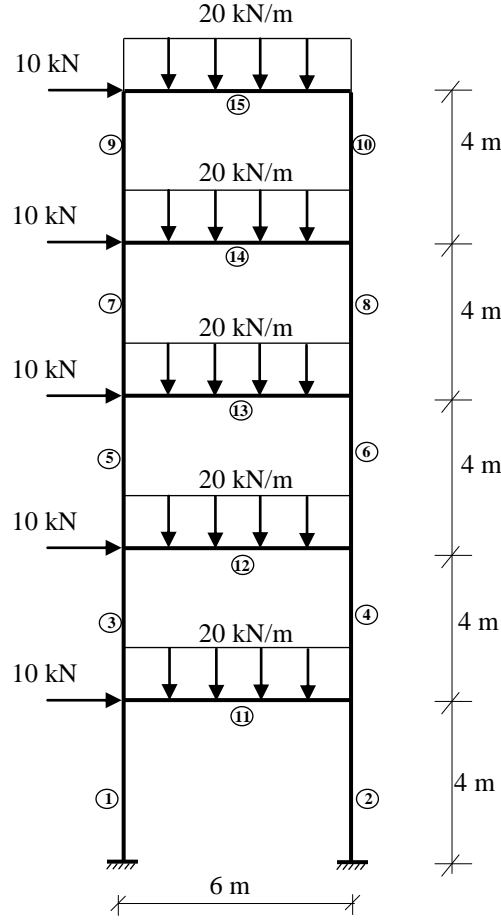
Bu bölümde üç farklı çerçeve örneği ele alınmıştır. İkinci örnekteki sistem, Saka (1991), Daloğlu ve Armutcu (1998) ve Bekiroğlu (2003) tarafından ve üçüncü örnekteki sistem ise Saka (1991) ve Armutcu (1997) tarafından geleneksel sınırlayıcılar ile boyutlandırılmıştır. Bu çalışmada, her üç çerçeve sistemde geleneksel sınırlayıcılar ile ve TS648’de belirtilen kriterlere göre iki kez optimum boyutlandırılmıştır. İkinci boyutlandırmada kiriş elemanlar üzerlerindeki 10 cm kalınlığında ve elastisite modülü $E_c=3000$ kN/cm² olan beton plaklar ile birlikte kompozit kesit olarak düşünülmüştür.

Kompozit kirişli çerçeve sistem daha sonra, geleneksel sınırlayıcıların yanı sıra yapının ilk üç doğal frekans değerleri dinamik sınırlayıcılar olarak dikkate alınıp tekrar boyutlandırılarak üçüncü kez optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tüm analizlerde popülasyon büyüklüğü 20 (birey), çaprazlama olasılığı 0.95 ve mutasyon olasılığı 0.01 olarak alınmıştır. Analizler, topluluktaki bireylerin %75'i aynı oluncaya kadar devam ettirilmiştir. Ele alınan literatür örneklerinde sonuçlar kesit alanları ile verildiği için bu çalışmada da elde edilen sonuçlar tablolarda kesit alanı ve altında profil kesit ile sunulmuştur. Ayrıca her üç örneğe ait çözümlerde MATLAB ile elde edilen çubuk boyutlarına göre yapılan SAP2000 analizleri ile MATLAB ile bulunan iç kuvvetler (kesme, normal ve moment), yer değiştirme ve doğal frekans değerleri doğrulanmıştır.

2.8.2.1. Tek Açıklıklı Beş Katlı Çerçeve

Tek açıklıklı beş katlı çerçeve sistem Şekil 22'de gösterilmiştir. Burada akma ve emniyet gerilmeleri sırasıyla $\sigma_a=24$ kN/cm² ve $\sigma_{em}=14$ kN/cm² olan ST37 ile çalışılmıştır. Elastisite modülü $E_s=20000$ kN/cm², çerçevede en üst katta izin verilen maksimum yatay yer değiştirme değeri H yapı yüksekliğini göstermek üzere H/500 yani 4 cm dir. Yapıya ait geometrik özellikler ve yükleme durumu Şekil 22'de gösterilmiştir. Optimum boyutlandırma için 16 adet HEA (HE120A, HE140A, HE160A, HE180A, HE200A, HE220A, HE240A, HE260A, HE280A, HE300A, HE320A, HE340A, HE360A, HE400A, HE450A, HE500A) ve 16 adet IPE (IPE120, IPE140, IPE160, IPE180, IPE200, IPE220, IPE240, IPE270, IPE300, IPE330, IPE360, IPE400, IPE450, IPE500, IPE550, IPE600) olmak üzere toplam 32 adet profil kullanılmıştır.

Sistem öncelikle TS 648'deki kriterlere uygun olarak geleneksel sınırlayıcılar olarak adlandırılan gerilme, stabilite ve izin verilebilen maksimum deplasman sınırlayıcıları için optimum boyutlandırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 5, ikinci satırda gösterilmiştir. İkinci adımda kompozit kiriş kesitli olarak geleneksel sınırlayıcılara göre optimum boyutlandırma gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 5'in 3. satırında verilmiştir. Son olarak kompozit kiriş kesitli sistem olarak geleneksel ve ilk üç moda ait doğal frekans değerleri sınırlandırılarak dinamik sınırlayıcılara göre optimum boyutlandırılmış ve elde edilen değerler Tablo 5'in son satırında gösterilmiştir. Ayrıca GA ile her üç çözüme ilişkin toplam ağırlığın iterasyon adımlarına göre değişimleri Şekil 23'de verilmiştir.



Şekil 22. Beş katlı tek açıklıklı çelik çerçeve sistem

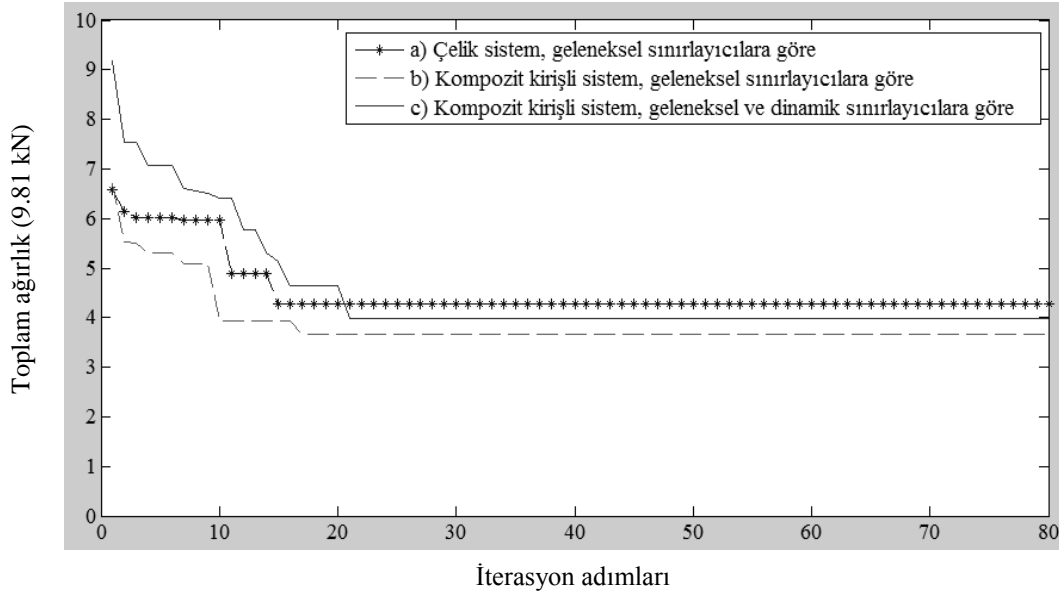
Tablo 5. GA ile optimizasyon sonuçları

Çelik Türü St37	Kolon No 1-6 A_1 (cm^2)	KolonNo 7-10 A_2 (cm^2)	Kiriş No 11-15 A_3 (cm^2)	Toplam Ağırlık (kN)	Maks Yerd. (cm)	İlk üç doğal frekans (Hz)
a) Çelik çerçeve, geleneksel sınırlayıcılar	72.7 (IPE360)	45.9 (IPE270)	98.8 (IPE450)	41.89	3.31	-
b) Kompozit kirişli sistem, geleneksel sınırlayıcılar	72.7 (IPE360)	45.9 (IPE270)	72.7 (IPE360)	35.90	3.07	2.43 6.48 11.40
c) Kompozit kirişli sistem, geleneksel ve dinamik sınırlayıcılar	84.50 (IPE400)	53.8 (IPE300)	72.7 (IPE360)	39.04	2.51	2.65 7.26 13.00

Not: Kompozit kirişli çerçeve analizlerinde beton kütle dinamik analize dahil edilmiştir.

Tablo 5'deki sonuçlar karşılaştırıldığında kirişlerin kompozit kesitli olarak hesaba dahil edilmesi ile kiriş elemanın boyutunun IPE450'den IPE360'a düştüğü ve bunun sistemin toplam ağırlıkta yaklaşık %7.3 azalmayı sağladığı görülmektedir. İlk boyutlandırmada en büyük yanal deplasman değeri 3.31 cm iken kompozit kesit dikkate alınarak yapılan ikinci boyutlandırmada kiriş kesitin azalmasının yanı sıra maksimum yanal deplasman değerinin de 3.07 cm'ye düştüğü görülmektedir. Ayrıca her iki boyutlandırmada birleşik gerilme sınırlayıcılarının aktif rol oynadığı görülmektedir. Üçüncü olarak yapılan boyutlandırmada dinamik sınırlayıcılar olarak doğal frekans değerleri aşağıda verildiği gibi sınırlandırılmıştır.

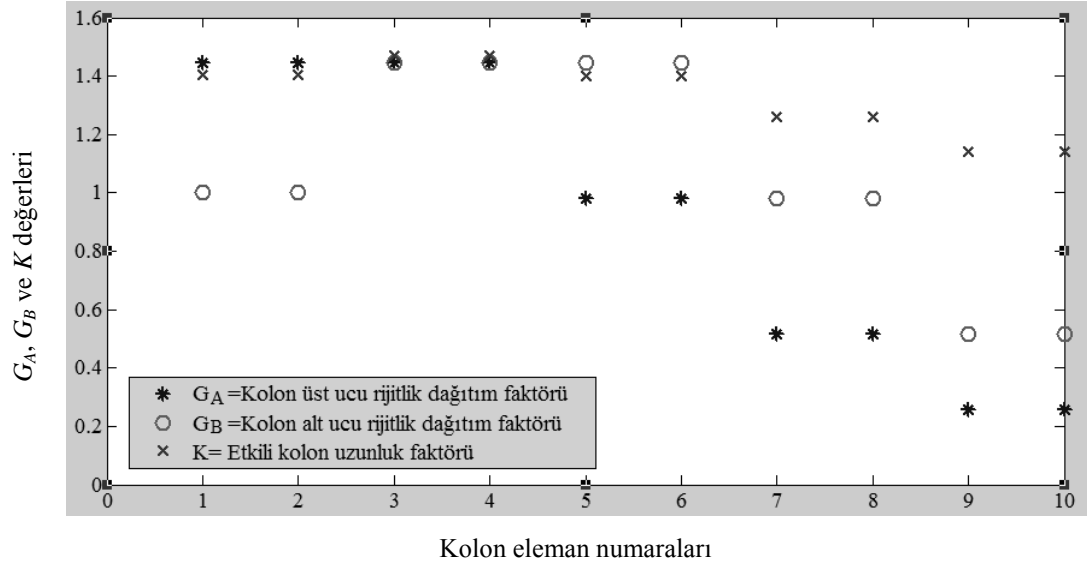
- 1.doğal frekans değeri > 2.5 (Hz)
- 2.doğal frekans değeri > 6.5 (Hz)
- 3.doğal frekans değeri > 11.45(Hz)



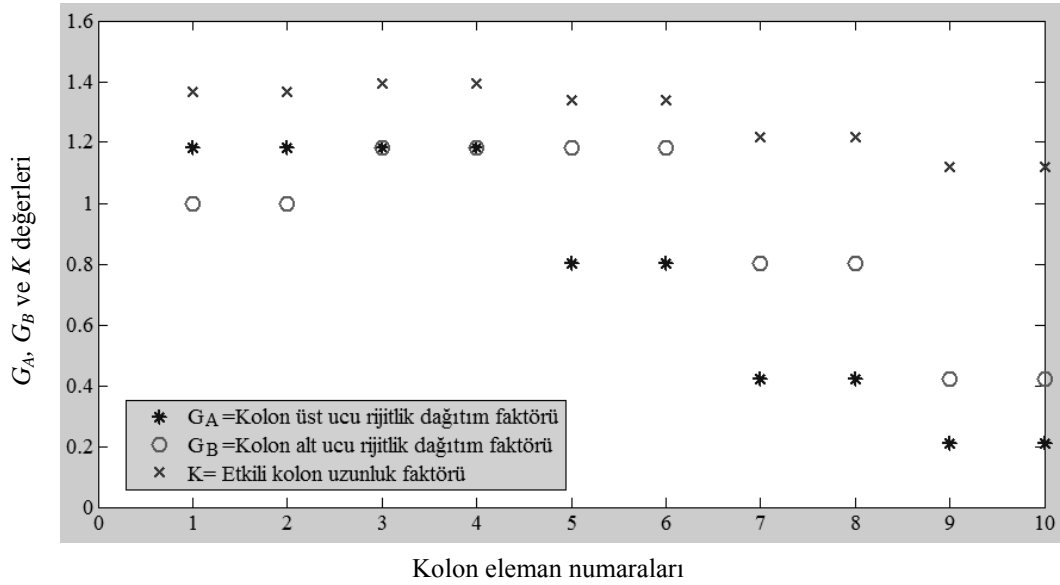
Şekil 23. Toplam ağırlığın iterasyon adımları ile değişimi

Buna göre elde edilen optimum boyutlandırma sonuçları diğer durumlar için elde edilenlerle karşılaştırıldığında ilk üç doğal frekans değerleri için sınırlayıcıların ilavesi ile sistem elemanlarının boyutlandırılmasında geleneksel sınırlayıcılarının yanı sıra dinamik sınırlayıcıların da sağlanması için kolon elemanlarının boyutlarında önemli ölçüde artışlar meydana gelmek suretiyle toplam ağırlığın 35.90 kN'dan 39.04 kN'a yükseldiği ve en

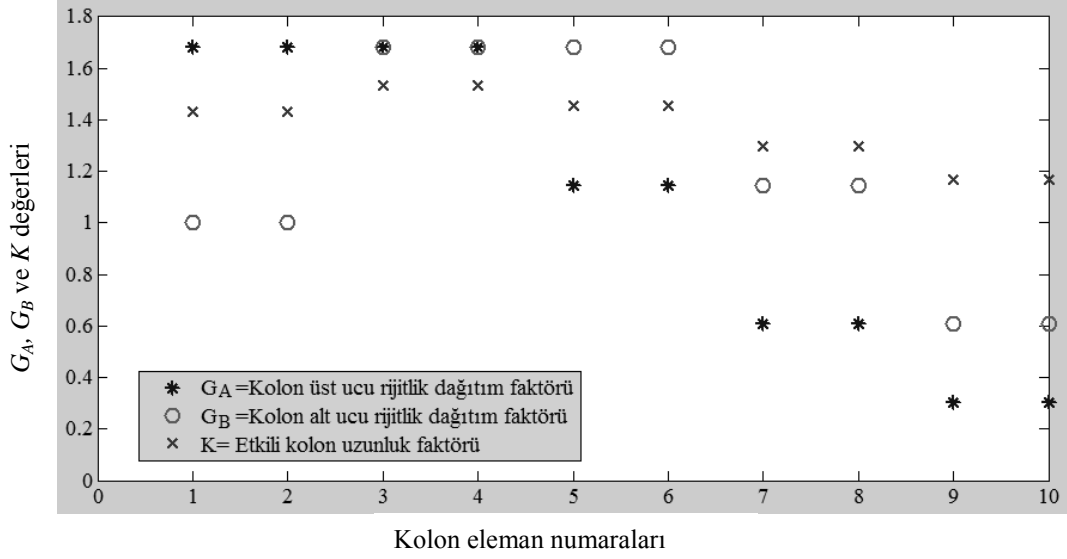
büyük yanal deplasman değerinin de kolon boyutlarının büyümesine bağlı olarak 2.51 cm'ye düştüğü görülmektedir. Ayrıca, bu çalışmada algoritmaya dahil edilerek kullanılan K etkili kolon uzunluk faktörü formülü ile her üç boyutlandırmada kolon elemanlarının G_A , G_B 'ye bağlı olarak elde edilen K değerleri Şekil 24 a,b ve c de sunulmaktadır.



Şekil 24a. Çelik çerçevenin geleneksel sınırlayıcılara göre optimum boyutlandırmasında kolonların G_A , G_B ve K değerleri



Şekil 24b. Kompozit kirişli sistemin geleneksel sınırlayıcılara göre optimum boyutlandırmasında kolonlardaki G_A , G_B ve K değerleri



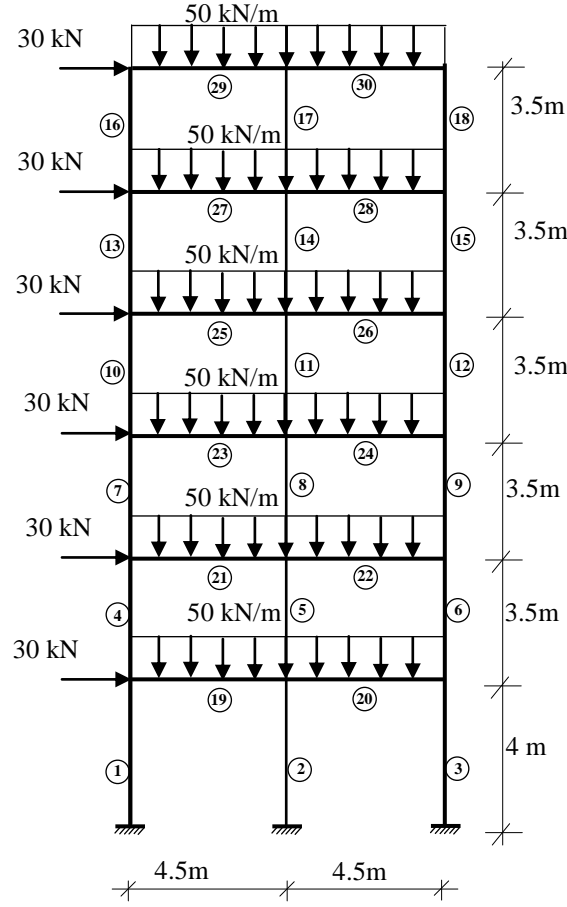
Şekil 24c. Kompozit kirişli sistemin geleneksel ve dinamik sınırlayıcılara göre optimum boyutlandırmasında kolonlardaki G_A , G_B ve K değerleri

Şekil 24a, 24b ve 24c’de sunulan ve (29) denklemi ile elde edilen K değerleri TS 648 de yer alan ötelenmesi önlenmemiş basınç çubuklarında burkulma boyunun kullanılan K değerinin belirlendiği çizelge ile kontrol edilerek (29) denkleminin düzlem çelik çerçevelerde geçerliliğini göstermektedir.

2.8.2.2. Altı Katlı, İki Açıklıklı Çerçeve

Şekil 25’de gösterilen iki açıklıklı altı katlı ve 30 elemanlı çerçeve sistem daha önce Saka (1991), Daloğlu ve Armutcu (1998) ve Bekiroğlu (2003) tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmada alınan tasarım parametreleri Saka (1991) ve Daloğlu ve Armutcu (1998)’nun çalışmalarında kullandıkları gibi St37 çeliği ve elastisite modülü $E_s=21000$ kN/cm² dir. Çerçevede en üst katta izin verilen maksimum yatay yer değiştirme 7.16 (H/300) cm dir.

Etkili kolon uzunluk faktörü, K , değeri Saka (1991) ve Daloğlu ve Armutcu (1998)’nun çalışmalarında sabit olarak 1.2 alınmıştır. Bu çalışmada ise K değerleri her kolon eleman için (29) denklemi ile hesaplanarak boyutlandırmalar yapılmıştır. Yapıya ait geometrik özellikler ve yükleme durumu Şekil 25’de gösterilmiştir. Optimum boyutlandırma sürecinde enkesitler ilk örnekte kullanılan 32 adet profil arasından seçilmiştir.



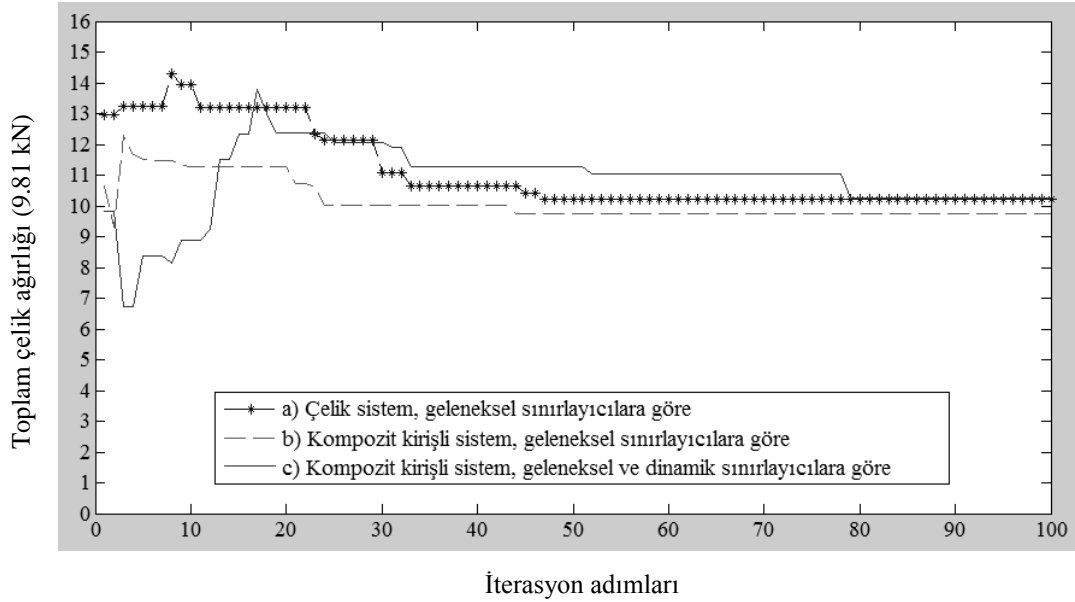
Şekil 25. 30 çubuklu, 6 katlı, iki açıklı çelik çerçeve sistem

Bu örnek, MATLAB’da hazırlanan program yardımı ile her üç durum için; a) çelik sistem-geleneksel sınırlayıcılar, b) kompozit kirişli sistem-geleneksel sınırlayıcılar, c) kompozit kirişli sistem-geleneksel ve dinamik sınırlayıcılar, çözümlenerek, elde edilen çubuk boyutları ve analiz sonuçları Tablo 6’da gösterilmiştir. Genetik algoritma ile her üç farklı çözüme ilişkin toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimleri Şekil 26’da gösterilmiştir. Ayrıca her üç farklı boyutlandırmada bulunan kolon çubuklarının (29) denklemi ile hesaplanan K etkili kolon uzunluk faktörü değerleri Şekil 27’de gösterilmiştir.

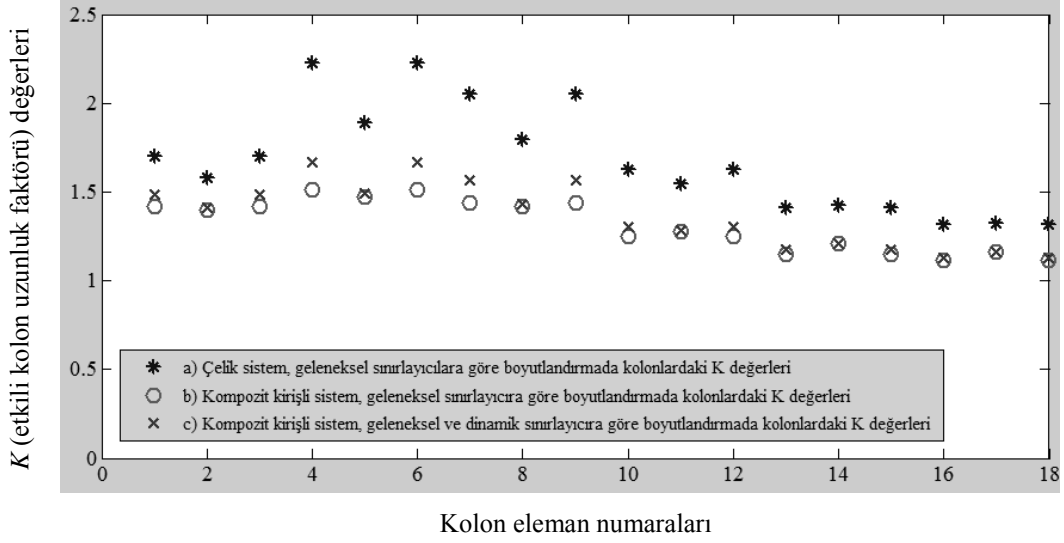
Tablo 6’da Saka (1991) tarafından optimumluk kriteri yöntemi ile yapılmış boyutlandırma sonuçları ve Daloğlu ve Armutcu (1998) tarafından GA ile elde edilmiş iki farklı boyutlandırma (GA-I ve GA-II) sonuçları sunulmuştur. Bu çalışmada, çelik sistemin geleneksel sınırlayıcılara göre yapılan boyutlandırma sonuçları Saka (1991)’e ait sonuçlar ile oldukça benzer, Daloğlu ve Armutcu (1998)’ya ait sonuçlara oldukça yakın olmakla beraber toplam çelik ağırlığı bakımından yaklaşık %12 daha hafif olduğu görülmektedir.

Kirişlerin kompozit kesitli olarak hesaba dahil edilerek geleneksel sınırlayıcılara göre yapılan boyutlandırmada ise kolon boyutlarının küçüldüğü ve toplam çelik ağırlığının yaklaşık % 4.7 azalarak 95.65 kN'a düştüğü görülmektedir. Bunun nedeni, Şekil 12'de gösterildiği gibi kirişlerin üzerlerindeki beton plaklar ile hesaba dahil edilmesi ile K etkili kolon uzunluk faktörü değerlerinde önemli ölçüde azalmalar meydana gelmesidir. Bununla birlikte Şekil 27'de görüldüğü gibi bu çalışmada (29) denklemiyle belirlenen K değerlerinin büyük çoğunluğu Saka (1991) ve Daloğlu ve Armutcu (1998)'nin çalışmalarında aldıkları 1.2 sabit değerinden büyüktür. Bu durum Bekiroğlu (2003)'nin çalışmasında da tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada yapılan her iki boyutlandırmada da birleşik gerilme sınırlayıcıları aktif rol oynamaktadır. Çerçeve, dinamik sınırlayıcılar olarak doğal frekans değerleri aşağıda verildiği gibi sınırlandırılarak bir kez daha optimum boyutlandırılmıştır.

- 1.doğal frekans değeri > 3.95 (Hz)
- 2.doğal frekans değeri > 10.65 (Hz)
- 3.doğal frekans değeri > 18.55 (Hz)



Şekil 26. Ağırlığın iterasyon adımları ile değişimi



Şekil 27. Yapılan her üç farklı optimum boyutlandırmada kolon elemanlardaki K değerleri

Tablo 6. GA ile optimizasyon sonuçları

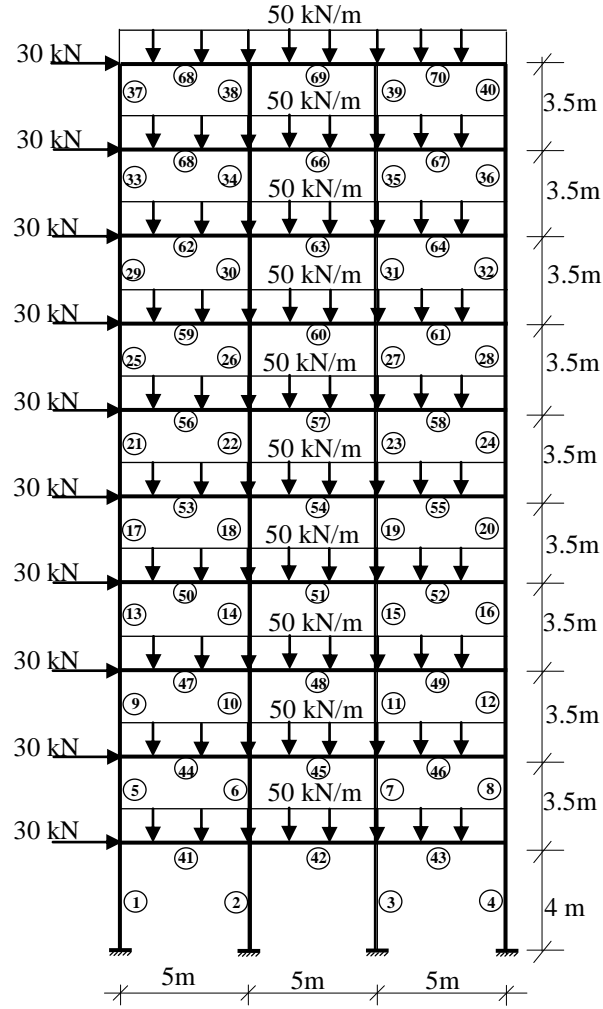
Çelik Türü	Kolon No	Kolon No	Kolon No	Kolon No	Kiriş No	Toplam Ağırlık	İlk üç doğal frek. değ.	
St37	1,3,4, 6,7,9	2,5,8	10,12,13 15,16,18	11,14,17	19-30	(kN)	(Hz)	
	A_1 (cm^2)	A_2 (cm^2)	A_3 (cm^2)	A_4 (cm^2)	A_5 (cm^2)			
Daloğlu ve Armutcu (1998), GA-I	131.00	254.00	91.00	131.00	116.00	117.13	-	
Daloğlu ve Armutcu (1998), GA-II	156.0	254.0	84.5	134.00	98.8	113.40	-	
Saka (1991) Optimumluk kriteri y.	119.67	203.3	74.15	92.51	104.42	100.36	-	
Bu Çalışma	a)Çelik çerçeve, Geleneksel sınırlayıcılar	134.00 (IPE550)	198.00 (HE500A)	72.70 (IPE360)	98.80 (IPE450)	98.80 (IPE450)	100.36	-
	b)Kompozit kesitli sistem, Geleneksel sınırlayıcılar	116.00 (IPE500)	198.00 (HE500A)	62.60 (IPE330)	98.80 (IPE450)	98.80 (IPE450)	95.65	3.89 10.58 18.45
	c) Kompozit kesitli sistem, Geleneksel ve Dinamik sınırlayıcılar	134.00 (IPE550)	156.00 (IPE600)	97.30 (HE280A)	98.8 (IPE450)	98.80 (IPE450)	100.75	3.99 11.01 18.91

Not: Kompozit kirişli analizlerde beton kütle dinamik analize dahil edilmiştir.

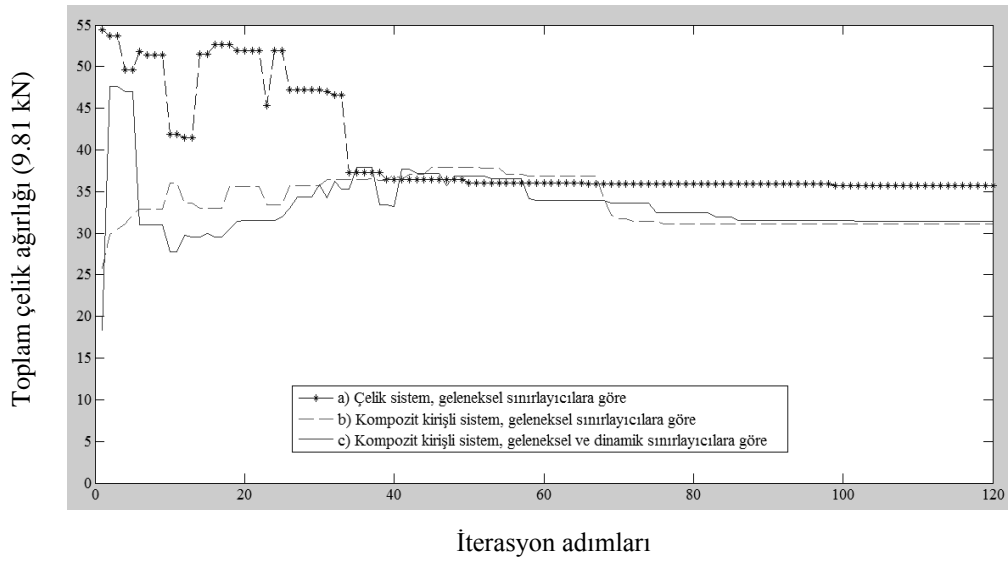
Tablo 6’da sunulan kompozit kesitli sistemin, geleneksel ve dinamik sınırlayıcılar ile yapılan boyutlandırma sonuçlarına göre geleneksel sınırlayıcılarının yanı sıra dinamik sınırlayıcıların da sağlanması için sistem elemanlarının boyutlarında artışlar meydana gelmek suretiyle toplam ağırlığın % 5 artarak 100.75 kN olduğu görülmektedir. Buna göre frekans değerlerinde ki küçük artışların yapının toplam ağırlığında büyük artışlara neden olduğu görülmektedir.

2.8.2.3. On Katlı, Üç Açıklı Çelik Çerçeve Sistem

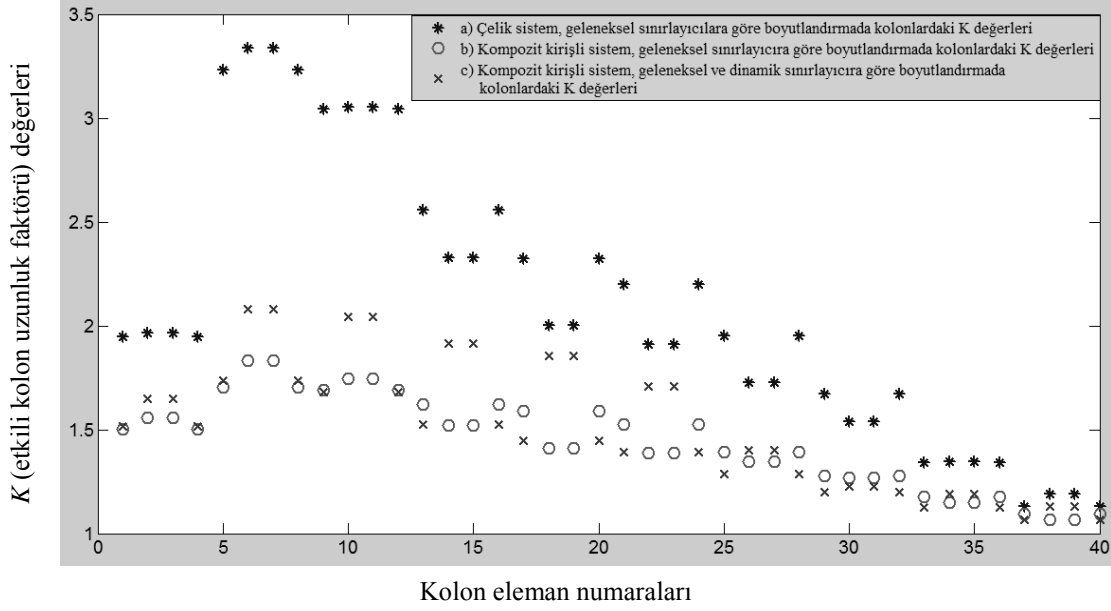
Üç açıklıklı on katlı, 70 elemanlı, çelik çerçeve sistem Saka (1991) ve Armutcu (1997) tarafından çalışılmıştır. Bu örnek için alınan tasarım parametreleri referans çalışmalar tarafından kullanılanlar ile aynı olup, elastisite modülü $E=21000 \text{ kN/cm}^2$, St37 çeliği ve çerçevede en üst katta izin verilen maksimum yatay yer değiştirme değeri 11.83 cm dir. Bu çalışmada ayrıca etkili kolon uzunluk faktörü, K , değerleri Saka (1991) ve Armutçu (1997)’nun çalışmalarında aldıkları sabit değer olan 1.2 yerine (29) denklemi ile hesaplanarak boyutlandırmalar yapılmıştır. Yapıya ait geometrik özellikler ve yükleme durumu Şekil 28’de sunulmuştur. Sistemin optimum boyutlandırılmasında 17 adet HEA (HE180A, HE200A, HE220A, HE240A, HE260A, HE280A, HE300A, HE320A, HE340A, HE360A, HE400A, HE450A, HE500A, HE600A, HE650A, HE700A, HE800A) ve 15 adet IPE (IPE140, IPE160, IPE180, IPE200, IPE220, IPE240, IPE270, IPE300, IPE330, IPE360, IPE400, IPE450, IPE500, IPE550, IPE600) olmak üzere toplam 32 adet profil kullanılmıştır. MATLAB’da hazırlanan program yardımı ile her üç durum için; a) çelik sistem-geleneksel sınırlayıcılar, b) kompozit kirişli sistem-geleneksel sınırlayıcılar, c) kompozit kirişli sistem-geleneksel ve dinamik sınırlayıcılar, elde edilen çubuk boyutları ve analiz sonuçları Tablo 7’de gösterilmiştir. Çelik sistem-geleneksel sınırlayıcılar ile optimum boyutlandırma sonuçları Tablo 7’de Saka (1991) ve Armutçu (1997) tarafından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca GA ile her üç farklı çözüme ilişkin toplam ağırlığın iterasyon adımlarına göre değişimleri Şekil 29’da gösterilmiştir. Her üç farklı boyutlandırmada bulunan kolonların (29) denklemi ile hesaplanan K etkili uzunluk faktörü değerleri de Şekil 30’da sunulmuştur.



Şekil 28. On katlı, üç açıklıklı çelik çerçeve sistem



Şekil 29. Ağırlığın iterasyon adımları ile değişimi



Şekil 30. Yapılan her üç farklı boyutlandırmada kolon elemanlardaki K değerleri

Tablo 7’de, referans çalışma olan Armutcu (1997)’ye ait GA ile iki farklı optimum boyutlandırma değerleri ve ayrıca Saka (1991)’nin optimumluk kriteri yöntemi ile belirlediği optimum kesit alanları bulunmaktadır. Bu çalışmada çelik kesitli sistemin geleneksel sınırlayıcılara göre yapılan boyutlandırma sonuçları Saka (1991) ve Armutcu (1997)’ye ait sonuçlar ile oldukça benzer olmakla birlikte, toplam çelik ağırlığı bakımından Armutcu (1997)’nin bulduğu sonuçlardan yaklaşık % 4 daha hafif, Saka (1991)’nin bulduğu sonuçtan ise yaklaşık % 15 daha ağır olduğu görülmektedir. Ancak Saka (1991) tarafından optimumluk kriteri yöntemi ile elde edilen kesit alanları gerçek profiller değildir ve bu nedenle sonuçların daha hafif olması olağandır.

İkinci olarak, kirişlerin kompozit kesitli olarak hesaba dahil edilerek geleneksel sınırlayıcılara göre gerçekleştirilen boyutlandırmada ise bazı çubuk boyutlarının küçüldüğü ve toplam çelik ağırlığının yaklaşık %11 azalarak 304.96 kN’a düştüğü görülmektedir. Bunun nedeni, Şekil 12’de gösterildiği gibi kirişlerin üzerlerindeki beton plakların hesaba dahil edilmesi ile K , etkili kolon uzunluk faktörü, değerlerinde önemli ölçüde azalmalar meydana gelmesidir. Buna rağmen bu çalışmada (29) denklemi ile belirlenen K değerlerinin büyük çoğunluğunun Saka (1991) ve Armutcu (1997)’nin çalışmalarında 1.2 olarak aldıkları sabit değerden büyüktür. Üçüncü boyutlandırma olarak kompozit kirişli sistemin ilk üç moduna ait doğal frekans değerleri aşağıda verildiği gibi sınırlandırılmıştır.

- 1.doğal frekans değeri > 2.75 (Hz)
- 2.doğal frekans değeri > 7.00 (Hz)
- 3.doğal frekans değeri > 11.75 (Hz)

Tablo 7. GA ile optimizasyon sonuçları

Çelik Türü S437	Kolon No 1,4,5, 8,9,12 A ₁ (cm ²)	Kolon No 2,3,6,7 10,11 A ₂ (cm ²)	Kolon No 13,16,1 7,20,21, 24 A ₃ (cm ²)	Kolon No 14,15, 18,19, 22,23 A ₄ (cm ²)	Kolon No 25,28, 29,32 A ₅ (cm ²)	Kolon No 26,27, 30,31 A ₆ (cm ²)	Kolon No 33,36, 37,40 A ₇ (cm ²)	Kolon No 34,35, 38,39 A ₈ (cm ²)	Kiriş No 40-70 A ₉ (cm ²)	Toplam Ağırlık (kN)	İlk üç doğal frekans değ. (Hz)
	Armutçu [20], GA-I	216.00	334.00	181.00	216.00	91.00	198.00	78.10	198.00	134.00	374.72
Armutçu [20], GA-II	198.00	334.00	181.00	216.00	116.00	156.00	84.50	156.00	134.00	365.53	-
Saka [3] Optim. kriteri yönt.	177.85	292.44	127.81	178.25	88.20	113.14	61.45	63.04	115.78	298.03	-
Bu çalışma	a)Çelik sistem, Geleneksel sınırlayıcılar	226.00 (HE600A)	286.00 (HE800A)	178.00 (HE450A)	198.00 (HE500A)	98.80 (IPE450)	64.30 (HE220A)	72.7 (IPE360)	143.00 (HE360A)	350.66	-
	b)Kompozit kirişli sistem, Geleneksel sınırlayıcılar	198.00 (HE500A)	260.00 (HE700A)	134.00 (IPE550)	198.00 (HE500A)	98.80 (IPE450)	62.6 (IPE330)	72.7 (IPE360)	116.00 (IPE500)	304.96	2.69 6.95 11.69
	c)Kompozit kirişli sistem Geleneksel ve Dinamik sınırlayıcılar	156.00 (IPE600)	286.00 (HE800A)	116.00 (IPE500)	260.00 (HE700A)	84.50 (IPE400)	116.00 (IPE500)	53.8 (IPE300)	98.80 (IPE450)	116.00 (IPE500)	307.74

Not: Kompozit kirişli analizlerde beton kütle dinamik analize dahil edilmiştir.

Tablo 7’de gösterilen kompozit kesitli sistemin, geleneksel ve dinamik sınırlayıcılar ile elde edilen boyutlandırma sonuçlarına göre geleneksel sınırlayıcılarının yanı sıra dinamik sınırlayıcıların da sağlanması için bazı kolon elemanlarının boyutlarında değişiklikler meydana gelerek toplam çelik ağırlığının yaklaşık %1 artarak 307.74 kN olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bu tabloda doğal frekans değerlerinin 2.76 Hz, 7.22 Hz ve 12.86 Hz olduğu da görülmektedir. Bu sonuçlara göre geleneksel sınırlayıcıların yanı sıra dinamik sınırlayıcıların da boyutlandırmada oldukça aktif rol oynadığı görülmektedir.

2.8.3. Yarı Rijit Bağlı ve Kompozit Kirişli Çelik Çerçevelerin Optimizasyonuna İlişkin Örnekler

Bu bölümdeki örneklerde AISC (American Institute of Steel Construction)'den alınmış 64 W profil arasından boyutlandırmalar gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırmada sınırlayıcılar olarak, gerilme sınırlayıcıları (AISC-LRFD veya AISC-ASD), maksimum yanal yer değiştirme ve geometrik sınırlayıcılar kullanılmıştır. Ele alınan düzlem çerçeve sistemler daha önceden literatürde çalışılmış örneklerdir. Bu çalışmada ilk olarak kirişler üzerindeki beton plak etkisi dikkate alınmadan çelik çerçeve sistemler boyutlandırılmış daha sonra kirişler üzerlerindeki beton plak ile kompozit kesit düşünülerek çelik çerçeve sistemlerin boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre çelik çerçeve sistemin boyutlandırmasında kirişleri kompozit kesit olarak hesaba dahil edilmesi daha hafif çelik çerçeve sistemlerin elde edilmesini sağlamıştır.

Bu bölümde iki farklı alt başlıkta örnekler çalışılmıştır. İlki tam rijit ankastre mesnetli ve yarı rijit düğüm noktalardan oluşan sistemlerin AISC-LRFD'ye göre optimum boyutlandırılmasıdır. İkincisi, ankastre mesnete ve diğer düğüm noktalarına yarı rijit bağlı sistemlerin AISC-ASD'ye göre optimum boyutlandırılmasıdır.

2.8.3.1. Tam Rijit Ankastre Mesnetli, Yarı Rijit Kiriş-Kolon Birleşimli Kompozit Kirişli Düzlem Çerçevelerin Optimizasyonuna İlişkin Örnekler

Bu bölümde ele alınan örnekler daha önceden Hadidi ve Rafiee (2014) tarafından çalışılmış iki düzlem çerçeve ele alınmıştır. Bu örnekler ilk olarak literatürdeki gibi

optimum boyutlandırılarak karşılaştırma yapılmış, daha sonra kirişlerin üzerilerindeki beton plakların etkisi dikkate alınarak (kompozit kirişli) yapı elemanları optimum boyutlandırılmıştır. Örneklerde yarı rijit birleşim olarak çift gövde korniyerli birleşim ve kolon berkitmeleri ile destekli uç levhali birleşim ele alınmıştır. Bu birleşim türlerine ait birleşim parametreleri ve dönme rijitlik değerleri (S) Tablo 8'de gösterilmiştir (Hadidi ve Rafiee, 2014).

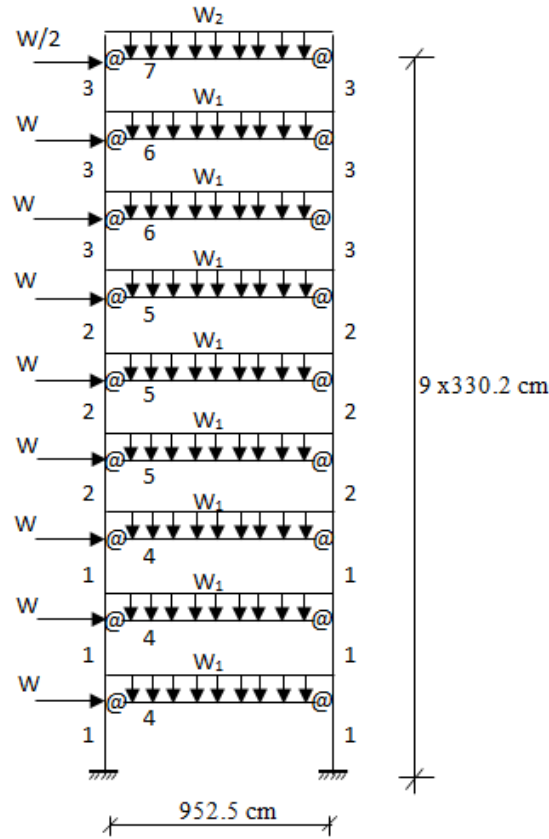
Tablo 8. Ele alınan birleşim türlerine ait parametreler ve dönme rijitlik değerleri

Birleşim türü	Birleşim parametreleri (cm)	Dönme rijitlik değerleri, S , (kN.mm/rad)
Çift gövde korniyerli birleşim	$t_a=2.858, g=25.4$	113×10^6
Kolon berkitmeleri ile destekli uç levhali birleşim	$t_p=2.54$	395×10^6

Yarı rijit birleşimli kompozit kirişli çerçevelerin optimum boyutlandırmasında beton plağın Şekil 12'deki gibi kiriş üzerinde olduğu düşünülmüştür. Kompozit kirişli yarı rijit birleşimli bu örneklerde beton plak kalınlığı 10 cm ve E_c (elastik modülü) 30 GPa alınmıştır. Optimum boyutlandırma AISC (American Institute of Steel Construction) den alınmış 64 W (W8x15, W 8x21, W8x24, W 8x28, W 8x31, W 8x35, W 8x40, W 10x15, W 10x22, W 10x26, W 10x33, W 10x39, W 10x54, W 10x77, W 12x19, W 12x26, W 12x30, W 12x35, W 12x40, W 12x45, W 12x50, W 12x53, W 12x58, W 12x72, W 12x96, W 14x26, W 14x30, W 14x34, W 14x38, W 14x43, W 14x48, W 14x53, W 14x61, W 14x68, W 14x74, W 14x82, W 14x90, W 14x120, W 14x159, W 14x193, W 14x257, W 14x311, W 14x370, W 14x426, W 16x26, W 16x31, W 16x36, W 16x40, W 18x35, W 18x40, W 18x50, W 18x76, W 21x50, W 21x62, W 21x132, W 24x68, W 24x103, W 27x94, W 27x161, W 30x108, W 30x148, W 30x191, W 33x221, W 36x194) arasından gerçekleştirilmiştir.

2.8.3.1.1. Dokuz Katlı Tek Açıklıklı Çerçeve

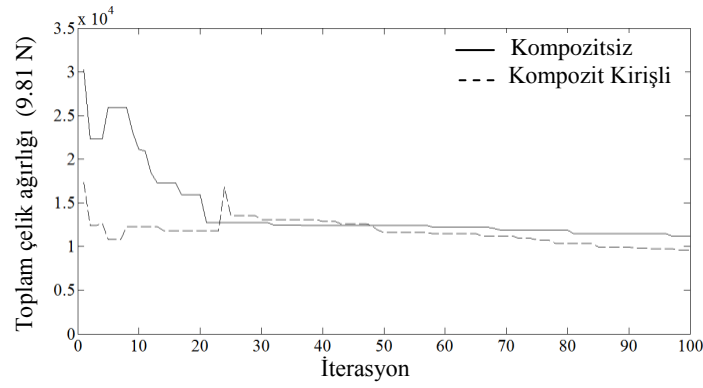
Dokuz katlı tek açıklıklı yarı rijit birleşimli çelik çerçeve Şekil 31’de gösterilmiştir. Bu örnek daha önceden Hadidi ve Rafiee (2014) tarafından Harmoni Arama tabanlı, geliştirilmiş Parçacık Sürü Optimizasyon (HS-PSO) algoritma yöntemi ile optimum boyutlandırılmıştır.



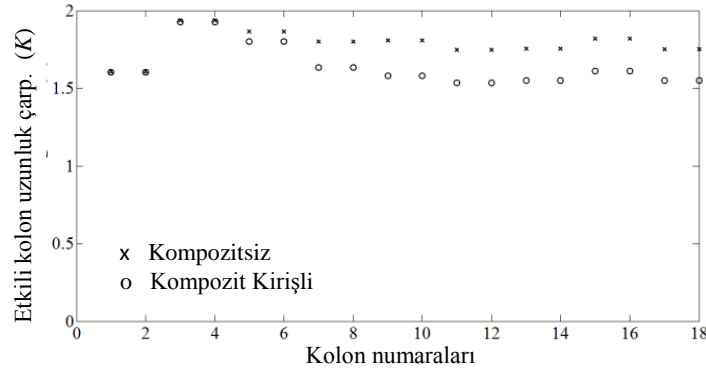
Şekil 31. Dokuz katlı, tek açıklıklı çerçeve

Boyutlandırma sınırlayıcıları; gerilme (AISC-LRFD), maksimum yanal yer değiştirme, kolon-kolon ve kolon-kiriş geometrik sınırlayıcılarıdır. Dokuz katlı tek açıklıklı çelik çerçeve çubuklar Şekil 31’de görüldüğü gibi gruplandırılmıştır. Yükler W , W_1 ve W_2 sırasıyla 17.8 kN, 27.14 kN/m ve 24.51 kN/m dir. Ayrıca dizayn parametreleri $E=200$ GPa, $f_y=248.2$ MPa ve $\rho=7.85$ ton/m³ dir. Maksimum yer değiştirme sınırı 154 mm dir. Optimum boyutlandırma sonuçları rijit birleşim için Tablo 9’da karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu tabloda ayrıca Hadidi ve Rafiee (2014) tarafından iki kere elde edilmiş sonuçlar verilmiştir. Tablo 10’da ise yarı rijit birleşim türlerine (Çift gövde korniyerli

birleşim ve Kolon berkitmeleri ile destekli uç levhali birleşim) göre kompozitli ve kompozitsiz durumlar için elde edilmiş sonuçlar sunulmuştur. Bu tabloda ayrıca Hadidi ve Rafiee (2014) tarafından bu yarı rijit birleşim türlerine göre iki kez yapılmış optimum boyutlandırma sonuçları gösterilmiştir. Şekiller 32a, 33a ve 34a da toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi gösterilirken, Şekiller 32b, 33b ve 34b de etkili kolon uzunluk çarpanının (K) kompozitli ve kompozitsiz durumlar için kolon numaralarına göre aldığı değerler verilmiştir.



a) Toplam çelik ağırlığının değişimi



b) Etkili kolon uzunluk çarpanı (K)

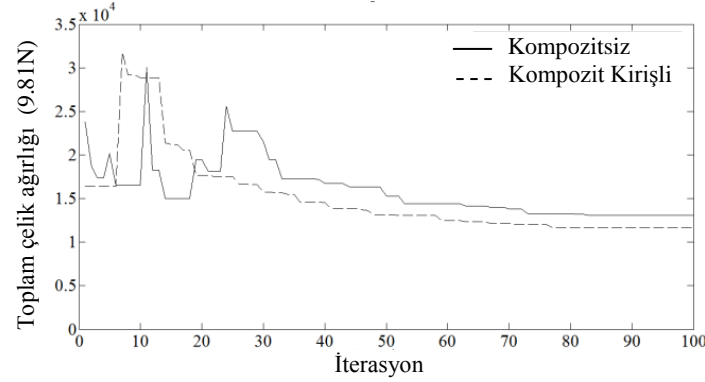
Şekil 32. Tam rijit birleşimli çelik çerçeve

Tablo 9. Tam rijit birleşimli çerçevenin optimum kesitleri

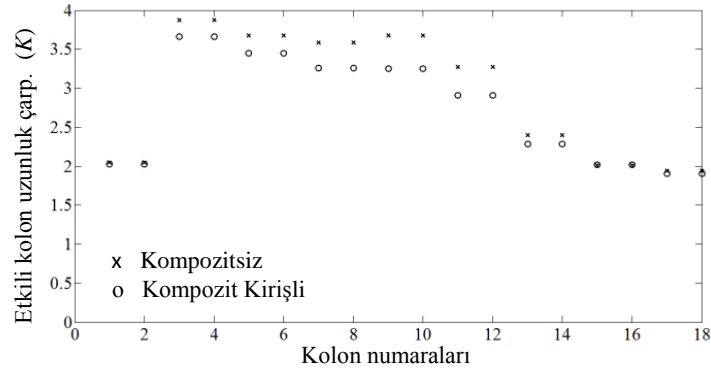
Grup no	Hadidi ve Rafiee (2014)		Bu çalışma	Bu çalışma Kompozit kirişli
1	24x62	14x68	14x74	21x62
2	24x55	14x48	14x48	14x48
3	14x30	14x30	12x40	12x40
4	24x55	24x68	21x62	21x50
5	21x50	24x55	21x50	18x40
6	21x44	21x44	18x40	14x34
7	18x35	18x35	14x38	12x26
Toplam ağırlık N	103289	110666	110166	94117
Maks. yer değiştirme mm	73	74	86	61

Tablo 10. Yarı rijit birleşimli çerçevenin optimum kesitleri

Grup no	Hadidi ve Rafiee (2014)				Bu çalışma			
	Çift gövde korniyerli birleşim		Kolon berkitmeleri ile destekli uç levhali birleşim		Çift gövde korniyerli birleşim		Kolon berkitmeleri ile destekli uç levhali birleşim	
					kompozitsiz	kompozit kirişli	kompozitsiz	komp. kirişli
1	40x149	14x109	33x118	14x99	24x103	27x94	24x68	21x62
2	24x62	14x74	24x55	14x74	24x68	24x68	14x61	12x58
3	12x40	14x30	14x30	14x30	16x36	16x36	14x61	12x58
4	21x44	24x68	21x48	24x68	24x68	21x62	21x62	21x50
5	21x50	24x55	24x55	24x55	21x50	18x40	14x53	14x48
6	16x45	18x46	21x44	18x46	21x50	14x38	12x58	12x58
7	18x35	18x35	18x35	18x35	18x35	12x26	18x35	18x35
Top. ağ. N	129315	130286	119054	127363	128236	114434	124116	113325
Maks. yer değ. mm	73	76	69	77	75	63	98	69



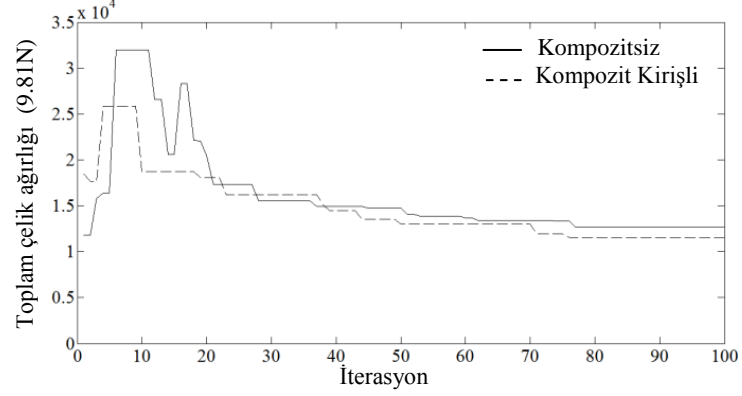
a) Toplam çelik ağırlığının değişimi

b) Etkili kolon uzunluk çarpanı (K)

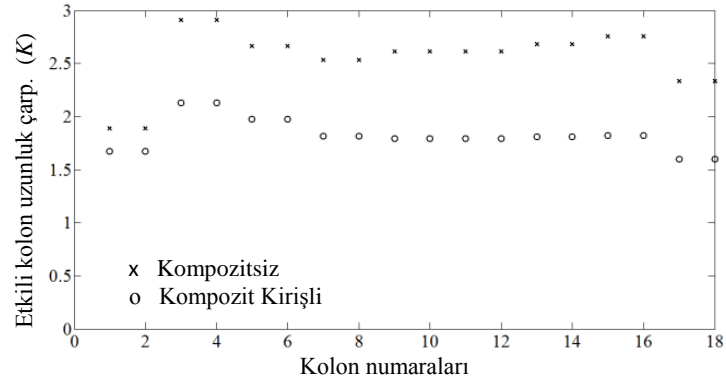
Şekil 33. Çift gövde korniyerli yarı rijit birleşimli çelik çerçeve

Tablo 9 ve 10 da görüldüğü gibi bu çalışmada genetik algoritma ile elde edilen optimum boyutlandırma sonuçları literatürden alınan değerlere oldukça yakındır. Her iki tabloda da görüldüğü gibi maksimum yer değiştirme değerleri sınır değer olan 154 mm'nin oldukça altındadır. Buna göre gerilme sınırlayıcılarının ve geometrik sınırlayıcıların boyutlandırmada oldukça aktif rol oynadığı söylenebilir. Yukarıdaki tablo ve şekillerden anlaşılacağı gibi kompozitsiz durumuna ait tam rijit birleşimli çerçevenin optimum boyutlandırma ağırlığı, kompozitsiz duruma ait diğer yarı rijit birleşimli (Çift gövde korniyerli ve kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı) çerçevelerin optimum ağırlıklarından %16 ve %12.6 daha hafiftir. Her iki yarı birleşimin dönme yay rijitlik değerleri Tablo 8'de gösterilmektedir. Şekiller 32b, 33b ve 34b'ye göre dönme yay rijitlik değerindeki azalma kolon K değerlerini oldukça artırmaktadır. Bu durum ise kolonların

burkulma boylarının büyümesine ve dolayısıyla yapının toplam ağırlığının artmasına neden olmaktadır.



a) Toplam çelik ağırlığının değişimi



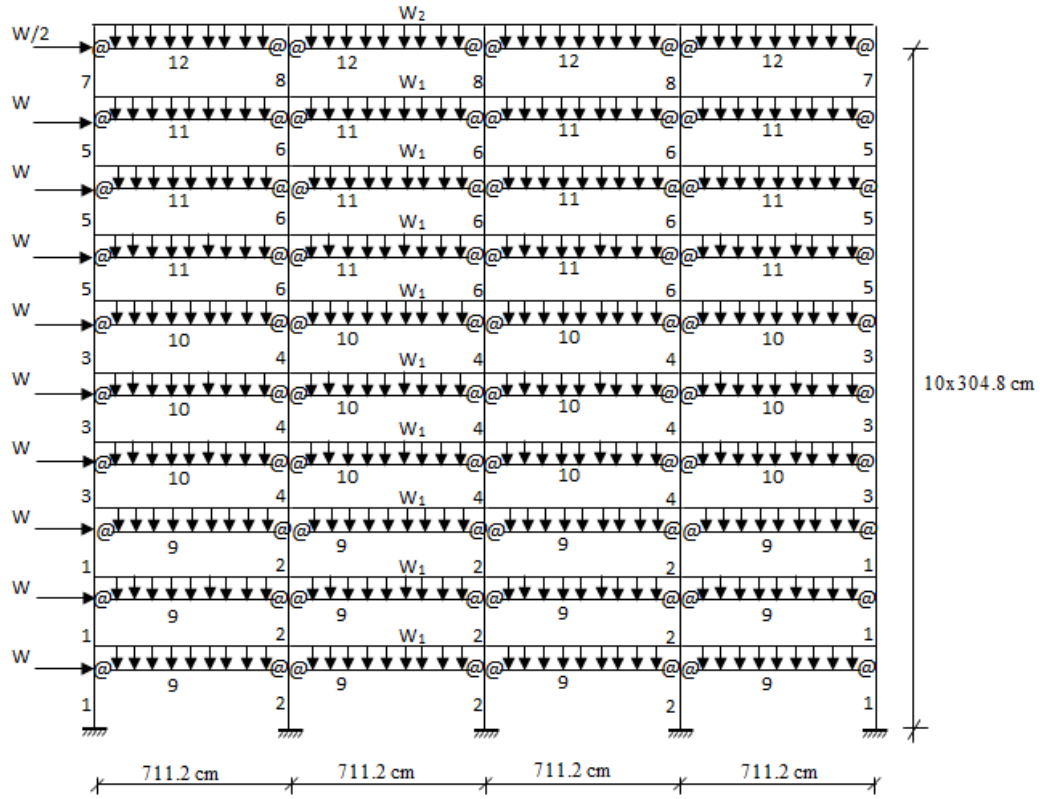
b) Etkili kolon uzunluk çarpanı (K)

Şekil 34. Kolon berkitmeleri ile destekli uç levhali yarı rijit birleşimli çelik çerçeve

Tam rijit birleşimli çözüme ilişkin kompozitli durum ile kompozitsiz durumlarına ilişkin sonuçlarının karşılaştırılması için Tablo 9'a bakıldığında kompozitli çözüme göre toplam ağırlığın %14.6 daha hafif olduğu görülmektedir. Ayrıca maksimum yer değiştirme 86 mm den 61 mm düşmektedir. Aynı şekilde yarı rijit birleşimlerde kompozitli ile kompozitsiz çözümler karşılaştırıldığında kompozitli çözümlerin yaklaşık %8-10 daha hafif olduğu gözlenmektedir. Buna ilaveten kiriş üzerindeki beton plağın hesaplarda dikkate alınması ile (kompozitli durum) kolon K değerlerinin azalmasının sağlandığı yukarıdaki şekillerden görülmektedir. Bu durum kolonların burkulma boylarının küçülmesine neden olmakta ve kolon kesitleri küçülmektedir. Bu nedenle kompozit kirişli durumlara ilişkin çözümlerin daha hafif olduğu anlaşılmaktadır.

2.8.3.1.2. On Katlı Dört Açıklıklı Çerçeve

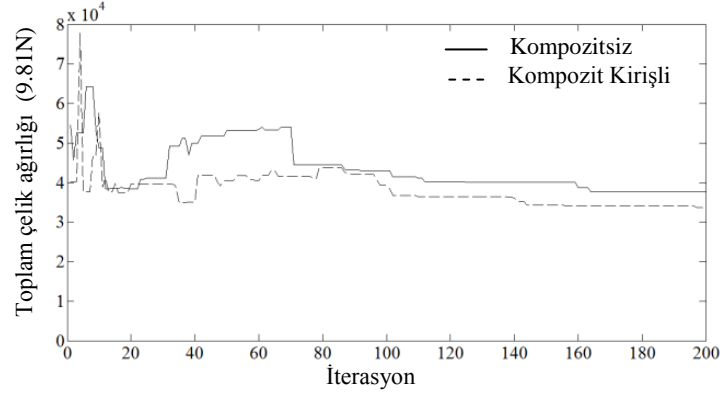
On katlı dört açıklıklı 90 elemanlı çerçeve sistem Şekil 35’de gösterilmiştir. Bu örnek daha önceden Hadidi ve Rafiee (2014) tarafından HS-PSO ile optimum boyutlandırılmıştır. Bu örnek için uygulanan boyutlandırma sınırlayıcıları ve dizayn parametreleri bir önceki örnek ile aynıdır. Şekilde görüldüğü gibi çerçeve elemanlar 12 grupta toplanmıştır. Uygulanan yükler, $W=44.49$ kN, $W_1=47.46$ kN/m ve $W_2=42.91$ kN/m dir. Maksimum yanal yer değiştirme limit değeri 158 mm dir. Bu çalışmada tam rijit ve yarı rijit birleşimlerine ilişkin kompozitli ve kompozitsiz durumları için elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablo ve şekiller ile sunulmuştur.



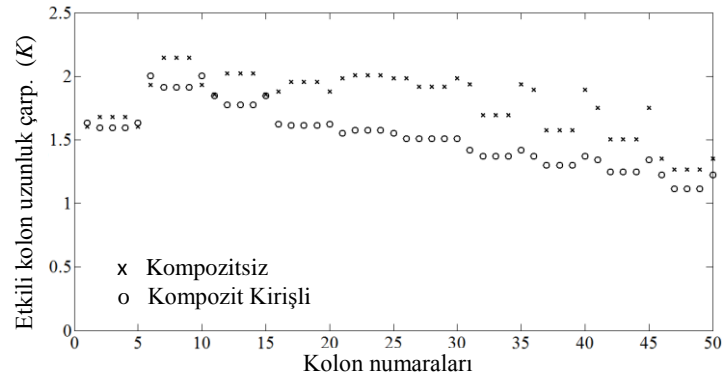
Şekil 35. On katlı, dört açıklıklı yarı rijit çelik çerçeve sistem

Tablo 11. Tam ve yarı rijit birleşimli durumlar için optimum kesitler

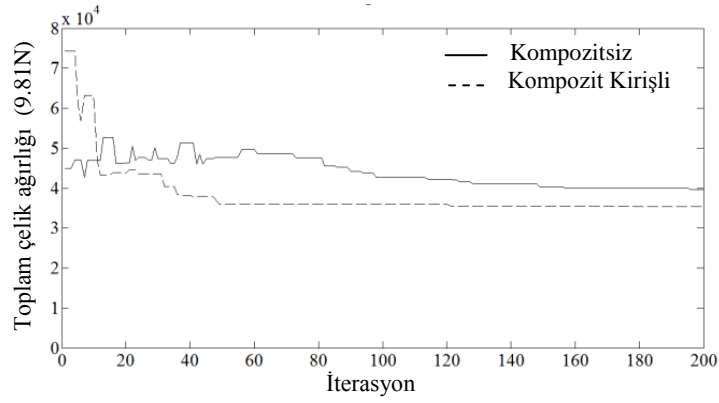
Grup no	Hadidi ve Rafiee (2014)			Bu çalışma					
	Tam rijit	Yarı rijit		Tam rijit		Yarı rijit			
		Çift gövde korniyerli	Kolon berkitmeleri ile destekli uç levhali	kompozitsiz	kompozit kirişli	Çift gövde korniyerli		Kolon berkitmeleri ile destekli uç levhali	
						kompozitsiz	kompozit kirişli	kompozitsiz	kompozit kirişli
1	14x74	14x132	14x132	14x68	24x68	24x103	30x108	14x74	21x62
2	14x132	14x120	14x120	14x159	21x132	30x148	21x132	21x132	30x108
3	14x61	14x61	14x99	12x53	12x58	14x90	14x53	14x61	21x62
4	14x82	14x109	14x82	14x82	14x90	27x94	21x132	14x82	14x74
5	14x43	14x48	14x68	12x53	12x40	14x53	14x48	14x48	12x58
6	14x48	14x61	14x48	14x48	14x48	14x61	14x43	14x48	12x50
7	14x43	14x43	14x68	8x31	10x39	8x35	12x40	14x48	8x24
8	14x43	14x48	14x30	10x39	8x31	12x58	10x33	8x31	8x31
9	21x44	21x48	21x44	21x50	21x50	21x50	21x50	24x68	21x62
10	21x44	16x50	21x44	14x53	16x40	21x50	18x35	14x53	18x40
11	21x44	16x45	16x45	18x40	18x35	16x40	14x34	18x40	14x38
12	18x40	18x40	18x46	18x50	18x35	14x38	14x30	14x38	18x35
Top. ağı. N	344576	386857	375605	369376	330774	388584	347598	379343	337464
Maks. yer değ. mm	56	72	68	61	35	54	45	56	38



a) Toplam çelik ağırlığının değişimi

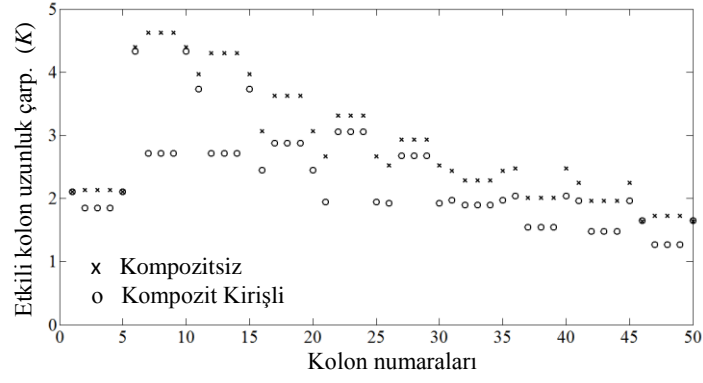
b) Etkili kolon uzunluk çarpanı (K)

Şekil 36. Tam rijit çelik çerçeve

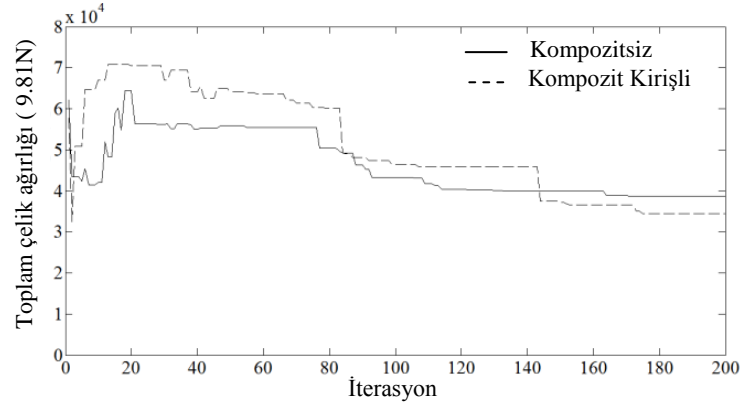


a) Toplam çelik ağırlığının değişimi

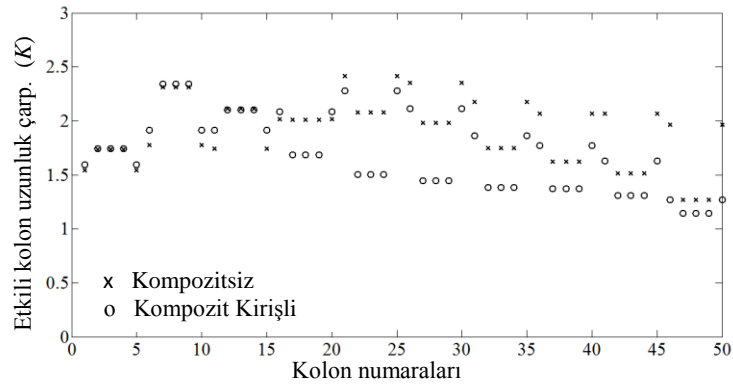
Şekil 37a. Çift gövde korniyerli yarı rijit birleşimli çelik çerçeve

b) Etkili kolon uzunluk çarpanı (K)

Şekil 37b. Çift gövde korniyerli yarı rijit birleşimli çelik çerçeve



a) Toplam çelik ağırlığının değişimi

b) Etkili kolon uzunluk çarpanı (K)

Şekil 38. Kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı yarı rijit birleşimli çelik çerçeve

Tablo 11’de görüldüğü gibi bu çalışmada kompozitsiz durum için bulunan optimum boyutlandırma sonuçları literatür sonuçlarına (Hadidi ve Rafiee 2014) oldukça yakındır. Bir önceki örnekte olduğu gibi maksimum yanal deplasman değerleri limit değerinin oldukça altındadır ve gerilme ve geometrik sınırlayıcılar boyutlandırmalarda oldukça aktif rol oynadığı görülmektedir. Yukarıdaki tablo ve şekillerde görüldüğü gibi tam rijit birleşimli çerçevenin kompozitsiz durumuna ait optimum boyutlandırma ağırlığı kompozitli durumundan yaklaşık %10 ağır ve yarı rijit birleşimli (çift gövde korniyerli ve kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı) çerçevelerin kompozitsiz durumlarına ilişkin boyutlandırma ağırlıklarından %5 ve %2.6 daha hafiftir. Ayrıca yukarıdaki Şekil 36b, 37b ve 38b de dönme yay rijitliğindeki azalmanın K (etkili kolon uzunluk çarpanı) değerlerinde artışa neden olduğu, buna bağlı olarak genellikle kolon kesitlerinde artışa neden olduğu görülmektedir. Ayrıca bu tablo ve şekillerde kompozitli ve kompozitsiz durumlar için sonuçlar karşılaştırıldığında kiriş üzerindeki beton plağın analizlerde hesaba katılması ile K değerlerinde ve maksimum yanal deplasmanlarda ciddi azalmalara neden olduğu anlaşılmaktadır. Buna ilaveten kompozit kirişli çözümlerde genellikle kiriş kesitlerinin küçüldüğü ve toplam çelik ağırlığının her üç çözüm için yaklaşık %10 azaldığı görülmektedir.

2.8.3.2. Yarı Rijit Kolon-Temel ve Yarı Rijit Kiriş-Kolon Birleşimli Kompozit Kirişli Düzlem Çerçevelerin Optimizasyonuna İlişkin Örnekler

Bu bölümde ele alınan örneklerde yarı rijit düğüm noktalarının yanı sıra kolonlar yarı rijit ankastre mesnetler olarak alınmıştır. Bu bölümde üç farklı örnek üzerinde çalışılmıştır. Bunlardan ilk ikisi daha önceden Hayalioğlu ve Değertekin (2004a) tarafından çalışılmıştır. Üçüncü örnekte ise 20 katlı düzlem çerçeve model optimum boyutlandırılmıştır. Çalışılan her üç örnekte AISC-ASD’ye göre gerilme sınırlayıcıları, maksimum yanal yer değiştirme sınırlayıcıları, kolon-kolon ve kolon-kiriş geometrik sınırlayıcıları kullanılmıştır. Ayrıca etkili kolon uzunluk faktörü, K , bir önceki bölümde olduğu gibi Dumonteil (1992) tarafından belirlenmiş (29) nolu denklem ile hesaplanmıştır. Bununla beraber G_A ve G_B değerleri (51) nolu bağıntı ile belirlenmiştir. Her üç örnek kompozit kirişli olarak da çözümlenerek elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablolarda sunulmuştur. Örneklerde yarı rijit düğüm noktaları için, Hayalioğlu ve Değertekin (2004a) tarafından uygulanan yarı rijit birleşim modellerinden kolon berkitmeleri ile destekli ve desteksiz uç

levhali birleşim modelleri uygulanmıştır. Bu birleşim türlerine ait parametreler ve dönme rijitlik değerleri Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12. Ele alınan birleşim türlerine ait parametreler ve dönme rijitlik değerleri (Hayalioğlu ve Değertekin, 2004a)

Birleşim türü	Birleşim parametreleri (cm)	Dönme rijitlik değerleri S (kN.mm/rad)
Kolon berkitmeleri ile desteksiz uç levhali birleşim	$tp=1.746$ $db=2.54$	226×10^6
Kolon berkitmeleri ile destekli uç levhali birleşim	$tp=1.746$	339×10^6

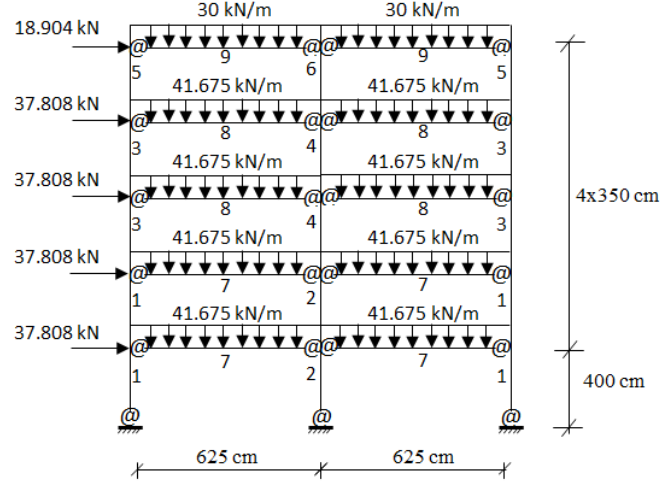
Bunun yanı sıra yarı rijit kolon temel detayı olarak Hayalioğlu ve Değertekin (2004a) tarafından uygulan Şekil 10'da gösterilen model kullanılmıştır.

Yarı rijit birleşimli kompozit kirişli çerçevelerin optimum boyutlandırmasında beton plağın Şekil 12 deki gibi kiriş üzerinde olduğu düşünülmüştür. Kompozit kirişli yarı rijit birleşimli bu örneklerde beton plak kalınlığı bir önceki bölümde olduğu gibi 10 cm ve elastisite modülü E_c 30 GPa alınmıştır. Optimum boyutlandırma AISC (American Institute of Steel Construction) den alınmış 128 W profil kesiti arasından gerçekleştirilmiştir. Maksimum yanal yer değiştirme $H/250$ ile sınırlandırılmıştır. İlk iki örnekte yarı rijit kolon temeli için 1.13×10^8 kNmm/rad (Hayalioğlu and Değertekin, 2004a) ve üçüncü örnekte ise 2.26×10^8 kNmm/rad (Hayalioğlu and Değertekin, 2005a) alınmıştır. Diğer dizayn parametreleri bir önceki bölümde olduğu gibi $E_s=200$ GPa, $f_y=248.2$ MPa ve $\rho=7.85$ ton/m³ alınmıştır.

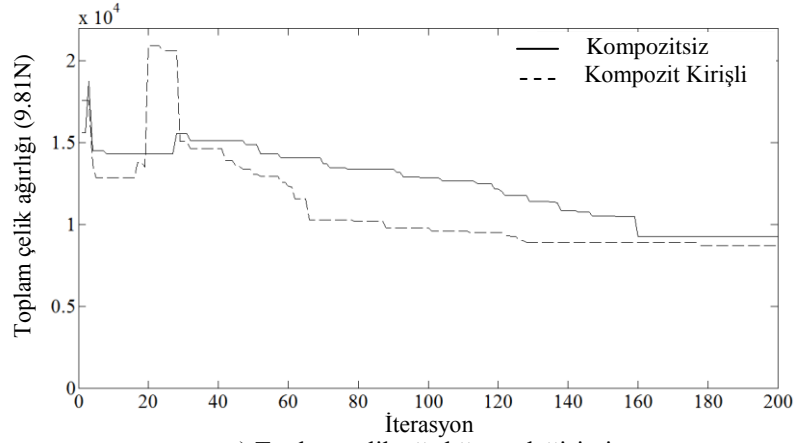
2.8.3.2.1. Beş Katlı İki Açıklıklı Çerçeve

Beş katlı iki açıklıklı çerçeve sistem Şekil 39'da olduğu gibi yüklemesi ve gruplandırması yapılmıştır. Bu örnek daha önceden Hayalioğlu ve Değertekin (2004a) tarafından genetik algoritma kullanılarak $P-\Delta$ etkisinin işleme dahil edildiği ve edilmediği durumlar için çalışılmıştır. Bu çalışmada, gerilme sınırlayıcıları (AISC-ASD), maksimum yanal yer değiştirme, kolon-kolon ve kolon-kiriş geometrik sınırlayıcılar dikkate alınmıştır. Maksimum yer değiştirme limit değeri 7.2 cm dir. Bu çalışmada bu örnek kompozit kirişli

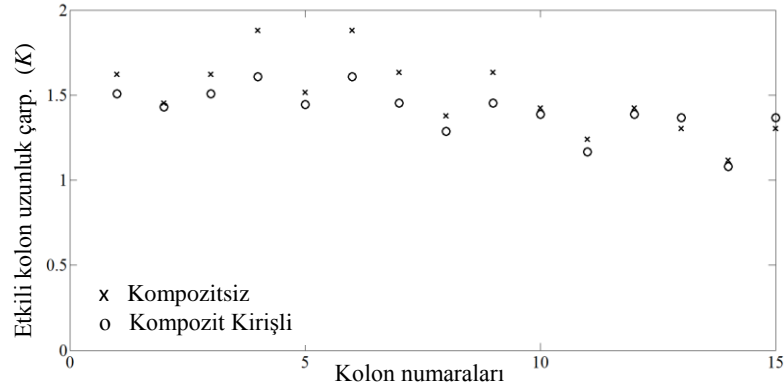
ve kompozitsiz durumlar için ayrı ayrı optimum boyutlandırılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak aşağıdaki Tablo 13, 14 ve Şekil 40, 41, 42 de sunulmuştur.



Şekil 39. Beş katlı, iki açıklıklı çerçeve



a) Toplam çelik ağırlığının değişimi

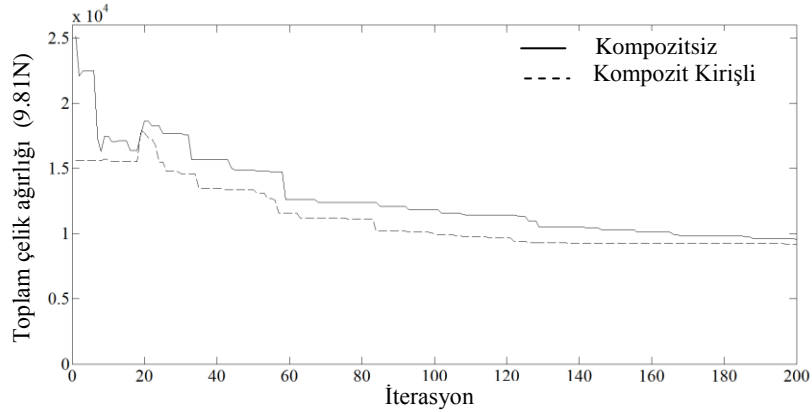


b) Etkili kolon uzunluk çarpımı (K)

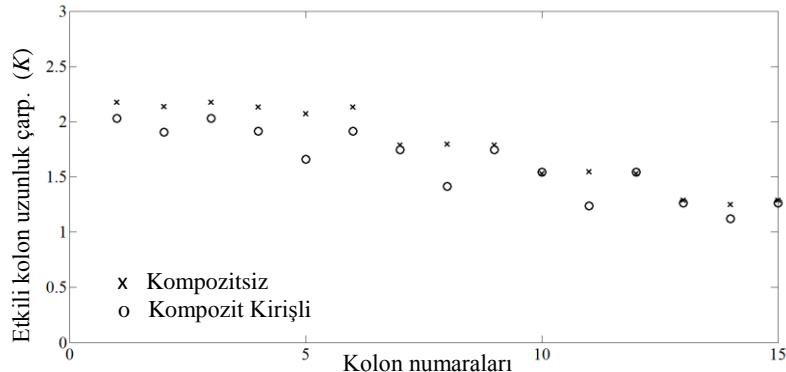
Şekil 40. Tam rijit birleşimli çelik çerçeve

Tablo 13. Tam rijit birleşim için optimum boyutlar

Grup no	Hayalioğlu ve Değertekin (2004a)		Bu çalışma	Bu çalışma Kompozit kirişli
1	14x68	18x55	21x68	21x68
2	16x67	18x65	16x100	24x76
3	8x31	14x61	16x45	14x48
4	14x61	14x43	16x50	14x48
5	8x31	14x43	12x26	14x48
6	10x33	8x31	8x24	8x24
7	18x55	18x50	24x55	18x60
8	16x50	14x43	24x55	18x40
9	21x50	21x50	18x35	16x26
Toplam ağırlık, N	85033	87191	90791	85386
Maksimum yer değiştirme cm	3.53	3.68	2.17	1.83



a) Toplam çelik ağırlığının değişimi

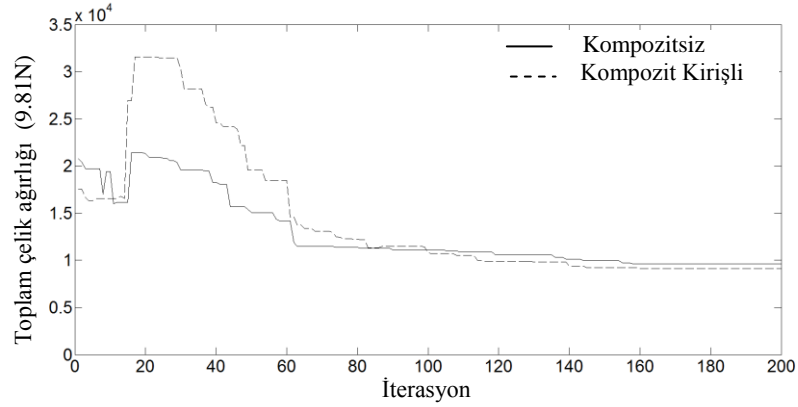


b) Etkili kolon uzunluk çarpmanı (K)

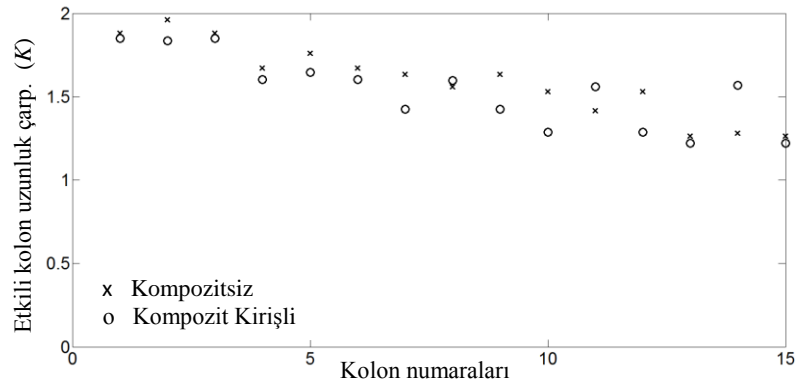
Şekil 41. Yarı rijit birleşimli (kolon berkitmeleri ile desteksiz uç levhali birleşim) çelik çerçeve

Tablo 14. Yarı rijit birleşimler için optimum boyutlar

Grup no	Hayalioğlu ve Değertekin (2004a)		Bu çalışma			
	kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı birleşim	kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı birleşim	kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı birleşim		kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı birleşim	
			kompozitsiz	kompozit kirişli	kompozitsiz	kompozit kirişli
1	21x62	21x62	21x68	21x68	16X67	16x67
2	21x62	21x68	24x94	24x76	21X101	21x83
3	16x67	21x62	12x45	16x50	14X48	14x38
4	21x62	14x61	16x57	14x48	16X50	21x68
5	12x53	14x61	8x28	10x22	8X24	12x26
6	14x61	10x54	8x31	10x22	14X30	21x68
7	18x60	21x62	21x62	18x71	24X68	18x60
8	12x50	21x62	16x57	18x46	21X50	21x50
9	8x40	14x53	18x35	16x31	18X35	16x26
Toplam ağı. (N)	96442	102338	94627	90036	94333	89506
Maks.yer değ. (cm)	4.48	3.30	3.28	2.56	2.75	2.21



a) Toplam çelik ağırlığının değişimi



b) Etkili kolon uzunluk çarpanı (K)

Şekil 42. Yarı rijit birleşimli (kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı birleşim) çelik çerçeve

Bu çerçeve örneği Hayalioğlu ve Değertekin (2004a) tarafından çalışılmıştır ve kullanılan sınırlayıcılar bir önceki örnek ile aynıdır. Maksimum yer değiştirme limit değeri 12.0 cm dir. On katlı tek açıklıklı bu örnek kompozitli ve kompozitsiz durumlar için ayrı ayrı optimum boyutlandırılarak elde edilen sonuçlar Tablo 15 ve 16'da sunulmuştur. Bununla birlikte toplam çelik ağırlığının iterasyon adımları ile değişimleri ve kolonlara ait etkili uzunluk çarpanları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

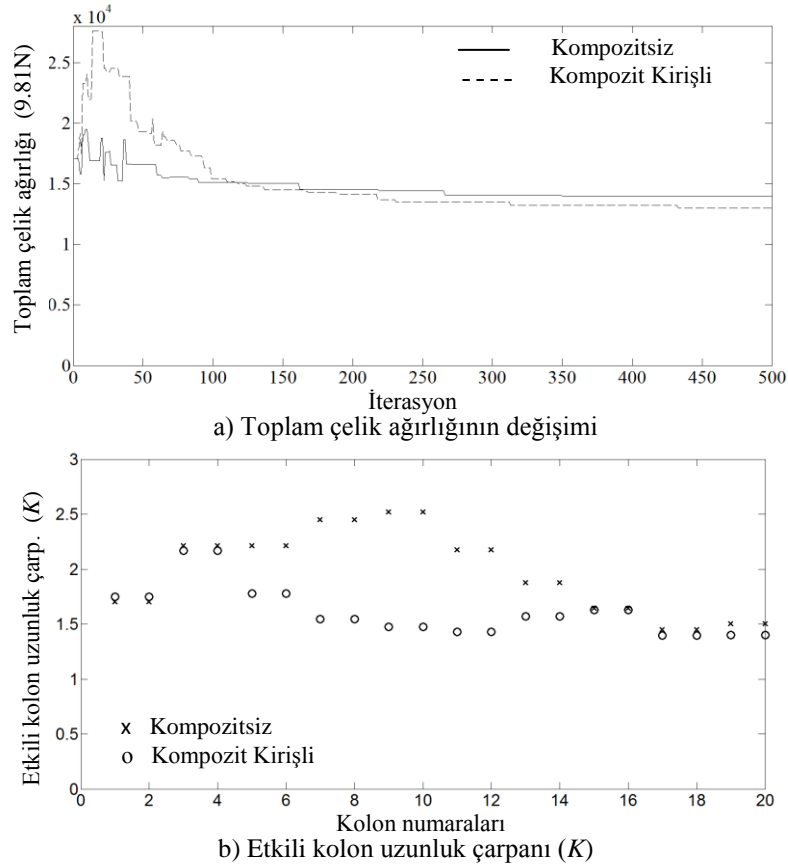
Tablo 15. Optimum boyutlandırmalara ait minimum ağırlıklar (N)

Birleşim türlerine göre çerçeveler		Hayalioğlu ve Değertekin (2004a)		Bu çalışma	Bu çalışma Kompozit kirişli
Tam rijit çerçeve		118887	137997	136859	127412
Yarı rijit çerçeve	kolon berkitmeleri ile desteksiz uç levhalı birleşim	124498	151289	147306	138232
	kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı birleşim	147669	154566	139743	133259

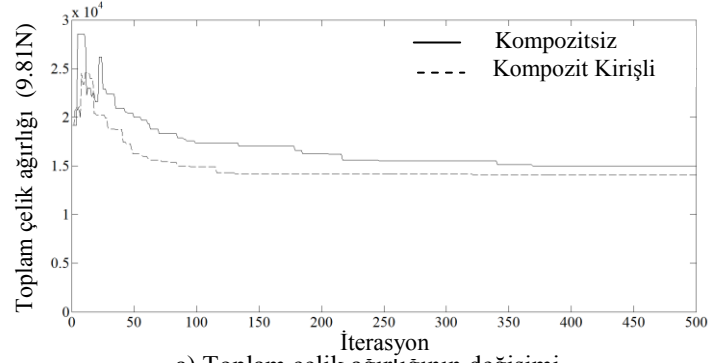
Tablo 16. Tam ve yarı rijit çelik çerçevelerin optimum boyutları

Grup no	Tam rijit		Yarı rijit			
			kolon berkitmeleri ile desteksiz uç levhalı birleşim		kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı birleşim	
	Kompozitsiz	Kompozit kirişli	Kompozitsiz	Kompozit kirişli	Kompozitsiz	Kompozit kirişli
1	24x117	30x108	24x117	24x117	21x101	21x101
2	24x117	16x100	21x101	21x101	21x101	16x100
3	24x68	16x77	21x101	21x68	18x76	16x89
4	16x57	16x67	16x67	16x67	18x60	16x67
5	12x40	14x30	16x67	16x67	16x36	14x30
6	27x94	21x83	24x76	24x84	30x108	21x93
7	21x68	24x68	18x76	21x68	18x76	24x76
8	24x55	18x46	24x68	18x60	21x57	21x44
9	16x26	10x22	16x26	12x19	14x30	10x22
Maks. yer değ. (cm)	5.57	4.76	8.46	6.80	7.55	6.48

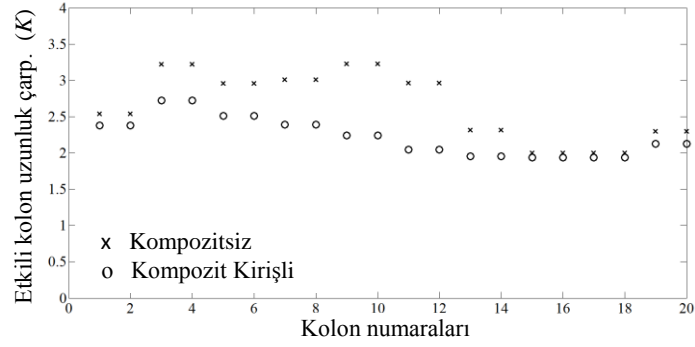
Tablo 15'de görüldüğü gibi bu çalışmada bulunan minimum ağırlıklar Hayalioğlu ve Değertekin (2004a) tarafından bulunan sonuçlara oldukça yakındır. Maksimum yer değiştirme değeri olarak bulunan 8.46 cm sınır değerinde oldukça altındadır. Buna göre gerilme ve geometrik sınırlayıcıların optimum boyutlandırma oldukça belirleyici oldukları söylenebilir. Bununla birlikte yarı rijit çerçeve, yarı rijit kolon temeli yerine tam rijit kolon temeline monte olur ise; maksimum yer değiştirme değeri, 8.46 cm'den 7.63 cm'e düşmektedir. Ayrıca Tablo 15'de görüldüğü gibi kompozit kirişli çözümler, kompozit kirişsiz duruma ait çözümlerden yaklaşık %5-6 daha hafiftir. Bununla birlikte tam rijit çelik çerçevenin kompozitsiz durum için elde edilen minimum ağırlığı, her iki yarı rijit çerçeve türü için bulunan minimum ağırlıklardan yaklaşık %7.6 ve %2.1 daha hafiftir. Şekil 44b, 45b ve 46b 'de görüldüğü gibi dönme yay rijitliğindeki azalma, etkili uzunluk çarpanı K değerlerini ve buna bağlı olarak kolon burkulma boylarını artırmaktadır. Bu durum kolonlar için daha büyük profillerin seçilmesine neden olmakta ve sistemi ağırlaştırmaktadır. Ayrıca Tablo 16'da görüldüğü gibi kompozit kirişli çözümler kompozitsiz çözümler ile kıyaslandığında kirişler için genellikle daha küçük kesitli profiller seçildiği de görülmektedir.



Şekil 44. Tam rijit çelik çerçeve

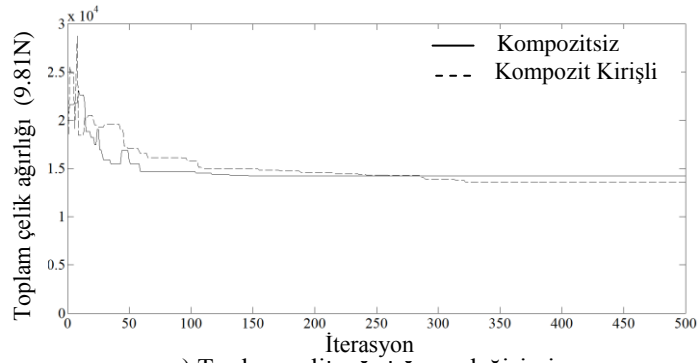


a) Toplam çelik ağırlığının değişimi

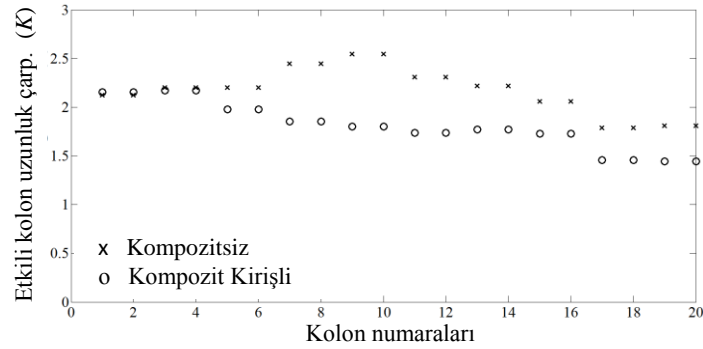


b) Etkili kolon uzunluk çarpanı (K)

Şekil 45. Yarı rijit çelik çerçeve (kolon berkitmeleri ile desteksiz uç levhalı birleşim)



a) Toplam çelik ağırlığının değişimi



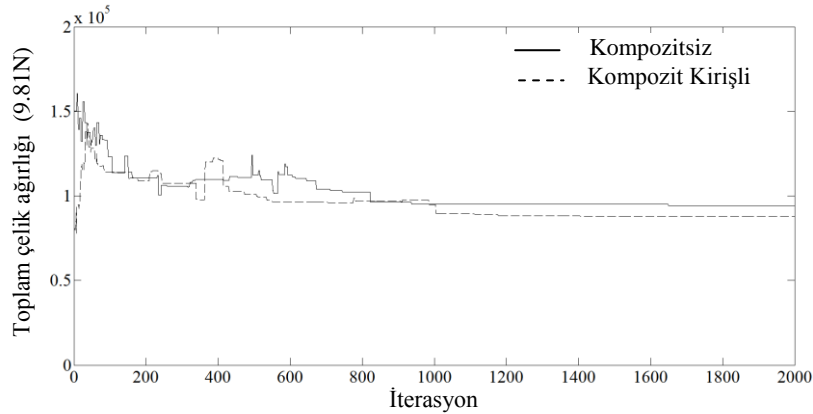
b) Etkili kolon uzunluk çarpanı (K)

Şekil 46. Yarı rijit çelik çerçeve (kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı birleşim)

49a ve 50a'da ve etkili uzunluk çarpanı K değerleri ise Şekil 48b, 49b ve 50b'de kompozit kirişli ve kompozitsiz durumlar için gösterilmiştir.

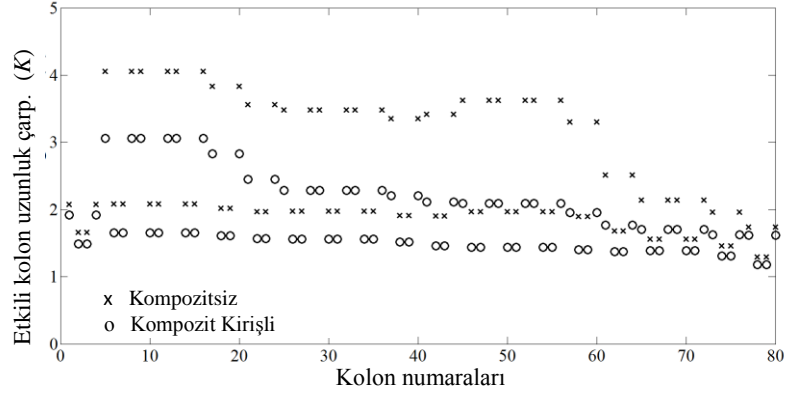
Tablo 17. Tam rijit ve yarı rijit çelik çerçevelerin optimum boyutları

Grup no	Tam rijit		Yarı rijit			
			kolon berkitmeleri ile desteksiz uç levhalı birleşim		kolon berkitmeleri ile destekli uç levhalı birleşim	
	Kompozitsiz	Kompozit kirişli	Kompozitsiz	Kompozit kirişli	Kompozitsiz	Kompozit kirişli
1	27x194	30x173	30x211	24x162	27x161	36x194
2	14x257	14x257	30x211	14x370	30x211	24x207
3	24x146	24x117	30x191	21x122	27x161	30x132
4	14x193	14x193	30x191	14x193	30x211	18x175
5	21x132	21x101	30x148	18x86	27x94	24x117
6	14x132	14x132	14x132	14x132	14x176	18x119
7	18x71	16x67	21x73	14x48	16x67	14x53
8	12x106	12x106	12x106	12x79	14x132	18x65
9	14x30	16x36	16x67	8x24	16x36	8x21
10	10x33	12x19	8x31	12x30	12x30	8x21
11	24x68	21x83	27x94	24x94	30x108	30x108
12	21x68	21x68	24x76	24x68	21x68	24x76
13	16x67	21x57	21x83	24x68	21x68	24x76
14	18x71	18x50	21x62	21x44	14x53	21x44
15	14x30	12x19	12x35	16x26	12x30	14x26
Toplam ağı. (N)	923317	863966	100562	918118	953630	903403
Maks. yer değ. (cm)	9.61	6.52	9.79	9.13	9.86	7.10

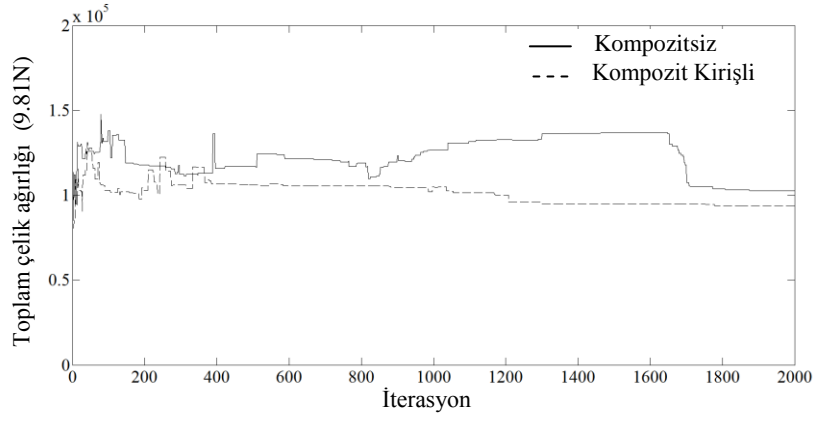


a) Toplam çelik ağırlığının değişimi

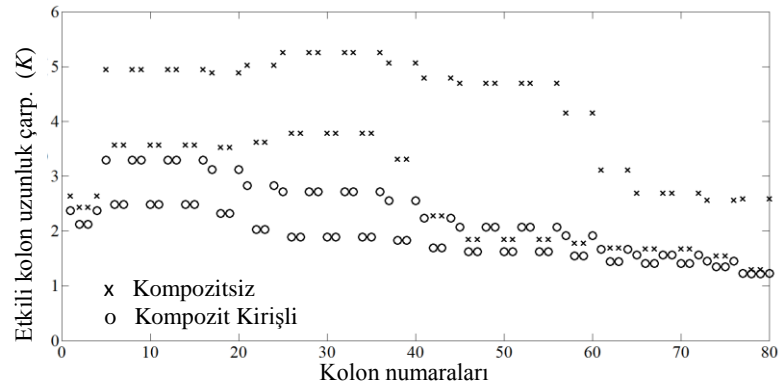
Şekil 48a. Tam rijit çelik çerçeve

b) Etkili kolon uzunluk çarpanı (K)

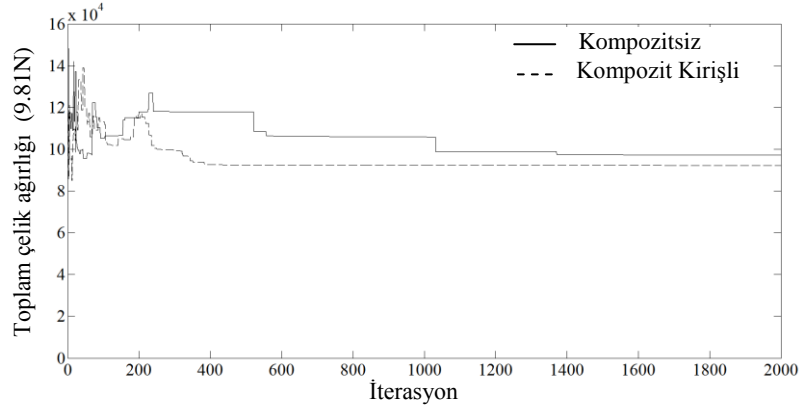
Şekil 48b. Tam rijit çelik çerçeve



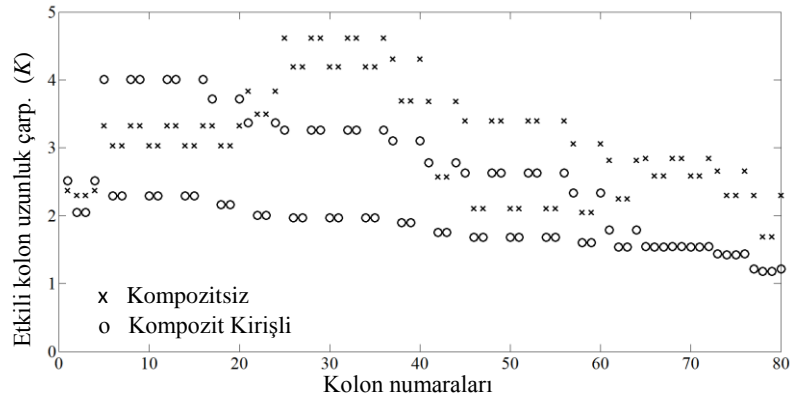
a) Toplam çelik ağırlığının değişimi

b) Etkili kolon uzunluk çarpanı (K)

Şekil 49. Yarı rijit çelik çerçeve (kolon berkitmeleri ile desteksiz uç levhali birleşim)



a) Toplam çelik ağırlığının değişimi

b) Etkili kolon uzunluk çarpanı (K)

Şekil 50. Yarı rijit çelik çerçeve (kolon berkitmeleri ile destekli uç levhali birleşim)

Tablo 17'de görüldüğü gibi maksimum yer değiştirme değerleri sınır değerinin oldukça altındadır. Şekil 48b, 49b ve 50b'de görüldüğü gibi dönme yay rijitliğindeki azalma, K değerlerinde artışa neden olmaktadır. Bu nedenle tam rijit çelik çerçevenin kompozit kirişsiz durum için elde edilen minimum ağırlığı olan 923317 N'ın, her iki yarı rijit çözümünden %8 ve %3 daha hafif olduğu görülmektedir. Bu tabloda ayrıca kompozitli ve kompozitsiz durumlara ait sonuçlar karşılaştırıldığında kompozitli çözümlere ait minimum ağırlıkların %5-8 daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca kompozitli durumlara ait maksimum yer değiştirme değerlerinin de azaldığı görülmektedir.

2.8.4. Uzak Çelik Çerçevelerin Optimizasyonuna İlişkin Örnekler

Bu bölümün birinci kısmında AISC-LRFD gerilme sınırlayıcıları ve diğer sınırlayıcılar (maksimum yanal deplasman ve katlar arası rölatif ötelenme sınırlayıcıları, kiriş sehim sınırlayıcıları ve geometrik (kolon-kolon ve kolon-kiriş) sınırlayıcıları) dikkate alarak kirişler üzerlerindeki beton plak etkisi hesaba katılarak (kompozit kirişli çelik çerçeve) uzak çelik çerçeve sistemlerin boyutlandırmaları gerçekleştirilmiştir. İkinci alt bölümde, çelik uzak çerçeve sistemlerin TS 648 gerilme sınırlayıcıları ve yukarıda belirtilen diğer sınırlayıcılar kullanılarak geleneksel ve dinamik sınırlayıcılara göre optimum boyutlandırmaları irdelenmiştir. Her iki alt bölümde de literatürde çalışılmış örneklere yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar tablo ve şekiller ile sunulmuştur.

2.8.4.1. AISC-LRFD'ye Göre Çözülen Örnekler

Kompozit kirişli uzak çerçevelerin optimum boyutlandırmasında beton plak daha önceki bölümlerde olduğu gibi kiriş üzerinde olduğu düşünölmüştür. Kompozit kirişli bu örneklerde beton plak kalınlığı 10 cm ve elastisite modölü 30 GPa alınmıştır. Optimum boyutlandırma AISC (American Institute of Steel Construction) den alınmış 64 W (W8x15, W 8x21, W8x24, W 8x28, W 8x31, W 8x35, W 8x40, W 10x15, W 10x22, W 10x26, W 10x33, W 10x39, W 10x54, W 10x77, W 12x19, W 12x26, W 12x30, W 12x35, W 12x40, W 12x45, W 12x50, W 12x53, W 12x58, W 12x72, W 12x96, W 14x26, W 14x30, W 14x34, W 14x38, W 14x43, W 14x48, W 14x53, W 14x61, W 14x68, W 14x74, W 14x82, W 14x90, W 14x120, W 14x159, W 14x193, W 14x257, W 14x311, W 14x370, W 14x426, W 16x26, W 16x31, W 16x36, W 16x40, W 18x35, W 18x40, W 18x50, W 18x76, W 21x50, W 21x62, W 21x132, W 24x68, W 24x103, W 27x94, W 27x161, W 30x108, W 30x148, W 30x191, W 33x221, W 36x194) arasından gerçekleştirilmiştir.

2.8.4.1.1. Tek Açıklıklı, Tek Katlı Uzak Çerçeve

Tek katlı 8 elemanlı uzak çerçeve sistem Şekil 51'de gösterilmiştir. Kolonlar bir grupta ve kirişler iki grupta şekildeki gibi toplanmıştır. Bu örnek daha önceden Değertekin (2007), Değertekin ve Hayalioğlu (2009) tarafından Genetik Algoritma (GA), Tabu Arama (TS) ve Benzetilmiş Tavlama (SA) algoritma yöntemleri ile kompozitsiz durum için

çalışılmıştır. Bu araştırmacılar bu uzay çerçeve örneği için AISC-LRFD gerilme sınırlayıcılarını, maksimum yanal deplasman ve katlar arası ötelenme sınırlayıcılarını kullanmışlardır. Uygulanan yükler; D_y (ölü yük)= 3.12 kN/m^2 , L_h (hareketli yük) = 2.40 kN/m^2 , L_r (çatı hareketli yük)= 2.40 kN/m^2 ve rüzgar yüküdür. Rüzgar yükü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır. (Uniform Building Code,1997).

$$p=C_e C_q q_s I_w \quad (70)$$

Burada, p rüzgar basıncı, C_e yüksekliğe bağlı rüzgar katsayısı, C_q basınç katsayısı (rüzgar tarafı 0.8 ve diğer taraf 0.5), q_s rüzgar durgunluk basıncı (0.785 kN/m^2), I_w rüzgar önem çarpanı (1.0) dir. Bu örnek için uygulanan dizayn parametreleri, $E=200 \text{ GPa}$, $G=83 \text{ GPa}$, $f_y=248.2 \text{ MPa}$, $\rho=7.85 \text{ ton/m}^3$ dir. Rüzgar yükleri yapıya x yönünde etkimektedir. Deplasman sınır değeri 1.3 cm dir. Uygulanan yük kombinasyonu aşağıdaki gibidir.

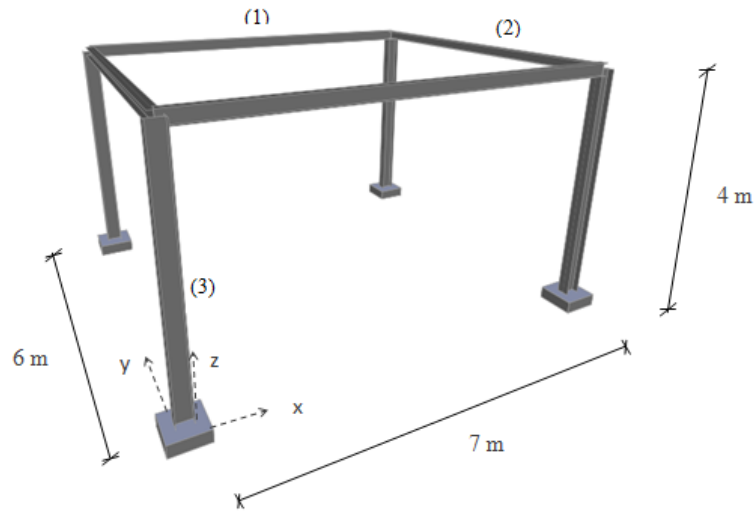
I: $1.4D_y$;

II: $1.2D_y+1.6L_h+0.5L_r$;

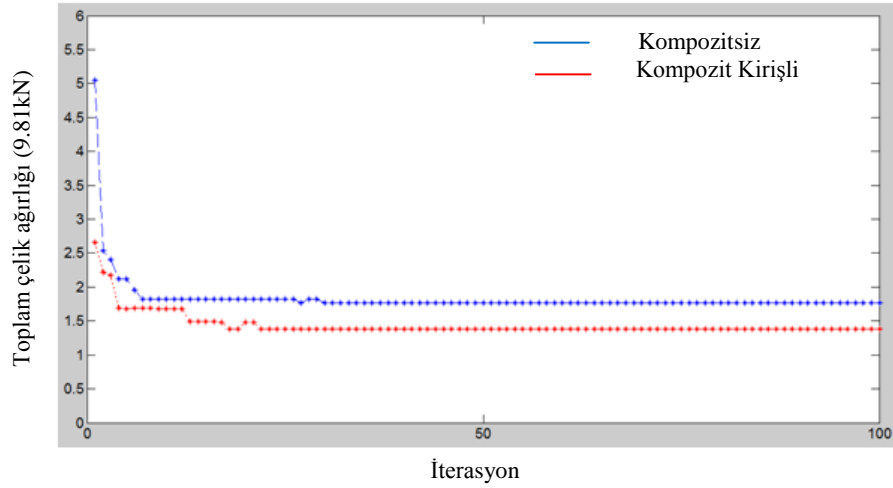
III: $1.2D_y+1.6L_r+0.5L_h$;

IV: $1.2D_y+1.3W_p+0.5L_r+0.5L_h$ (W_p : rüzgar yükü)

Kompozit kirişli ve kompozitsiz durumlara ilişkin elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablo ve şekillerde sunulmuştur.



Şekil 51. Tek katlı 8 elemanlı uzay çerçeve sistem



Şekil 52. Toplam çelik ağırlığının iterasyon ile değişimi

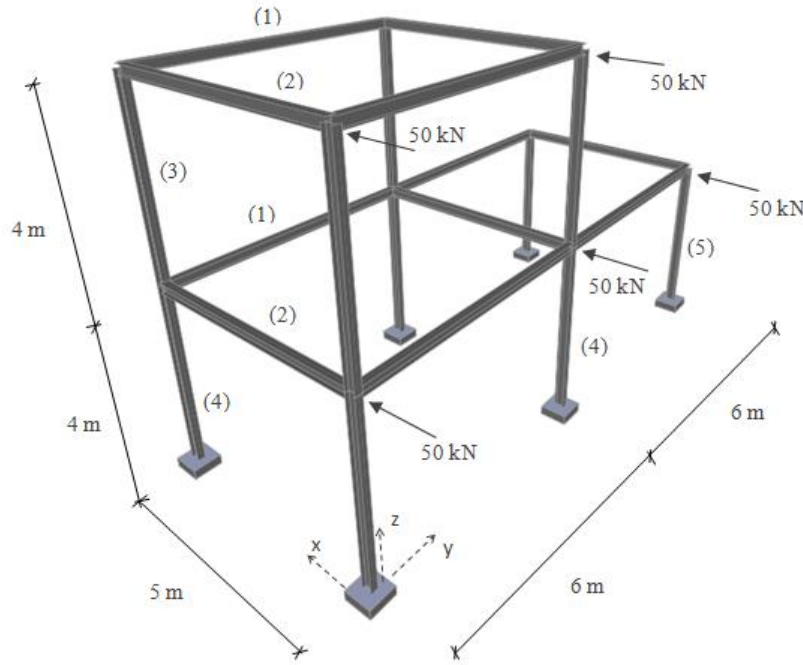
Tablo 18. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler

Grup no.	Bu çalışma Kompozit kirişli (GA)	Bu çalışma (GA)	Literatür çalışmaları		
			(Değertekin 2007) (GA)	(Değertekin 2007) (SA)	(Değertekin ve Hayalioğlu 2009) (TS)
1	W16x26	W18x35	W14x30	W12x30	W16x31
2	W10x15	W14x26	W14x30	W12x30	W16x26
3	W8x24	W8x24	W8x28	W8x24	W8x24
Toplam çelik ağırlığı (kN)	13.59	17.37	17.95	16.95	16.55
Maksimum yer değ. (cm)	0.87	0.90	1.27	1.19	1.24

Tablo 18'de görüldüğü gibi bu çalışmada kompozitsiz durum için bulunan sonuçlar literatür sonuçları ile oldukça paraleldir. Kompozitsiz durum için x doğrultusundaki kirişler için daha büyük bir kesit (W18x35) seçilmiştir. Ayrıca tablodan anlaşılacağı gibi kompozitli çözüm ile daha küçük kesitli kirişler seçilebilmiştir. Buna göre toplam ağırlık 17.37 kN'dan 13.59 kN'a düştüğü görülmektedir.

2.8.4.1.2. İki Katlı 21 Elemanlı Uzay Çerçeve

21 elemanlı iki açıklıklı uzay çerçeve sistem Şekil 53’de gösterilmiştir. Bu örnek daha önceden Aydoğdu (2010) tarafından karınca kolonisi ve harmoni arama algoritması yöntemleri ile kompozitsiz durum için çalışılmıştır. 21 çubuklu sistem şekilde görüldüğü gibi gruplandırılmıştır. Sistem, her kiriş üzerinde düşey (aşağı yönde) 20 kN/m ve şekilde görüldüğü gibi 50 kN luk rüzgar yüküne maruzdur. Maksimum yanal deplasman ve katlar arası rölatif ötelenme limit değerleri sırasıyla 4 cm ve 1 cm dir. Kirişler için maksimum sehim limit değeri 1.39 cm dir. Diğer gerekli dizayn parametreleri $E=200$ GPa, $G=80$ GPa, $f_y=250$ MPa ve $\rho=7.85$ ton/m³ dir.



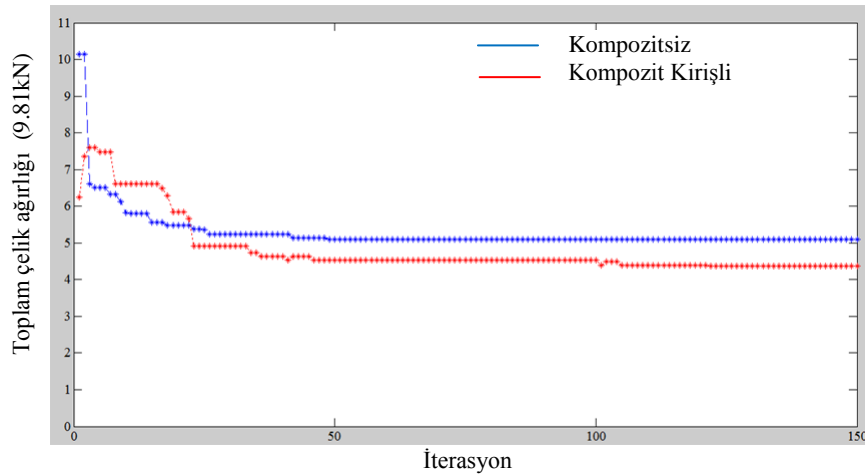
Şekil 53. İki katlı 21 elemanlı uzay çerçeve

Bu çalışmada uygulanan boyutlandırma sınırlayıcılarının tamamı Aydoğdu (2010) tarafından uygulanmıştır. Tablo 19’da kompozit kirişli ve kompozitsiz durumları için bulunan optimum kesitler gösterilmiştir. Ayrıca bu tabloda Aydoğdu (2010) tarafından kompozitsiz durum için ACO ve HS yöntemleri ile belirlenen boyutlarda kıyaslama yapmak amacıyla gösterilmiştir. Tablo 19’da görüldüğü gibi bu çalışmada belirlenen optimum kesitler literatür sonuçlarına oldukça yakındır. Kompozit kirişli ve kompozitsiz durumlar için toplam çelik ağırlığının iterasyon adımları ile değişimi Şekil 54’de sunulmuştur. Aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi kompozit kirişli durum için yapılan

boyutlandırma kompozitsiz durum için yapılan boyutlandırmada yaklaşık %14 daha hafiftir. Ayrıca bu tabloda görüldüğü gibi katlar arası rölatif ötelenme değerleri limit değerlere oldukça yakındır. Buna göre katlar arası ötelenme sınırlayıcıları boyutlandırmada oldukça aktif rol oynadı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte beton plağın etkisinin hesaba dahil edilmesi ile (kompozitli durum) toplam ağırlığın azalmasının yanı sıra yer değiştirme değerlerinin de azaldığı görülmüştür.

Tablo 19. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler

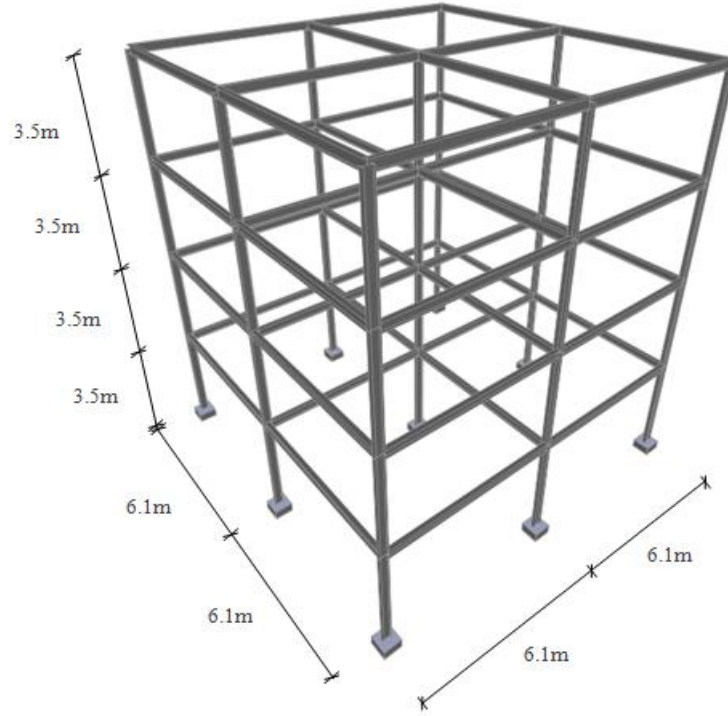
Grup no.	Bu çalışma Genetik Algoritma (GA) Kompozit kirişli	Bu çalışma Genetik Algoritma (GA)	Literatür çalışması (Aydoğdu 2010)	
			Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO)	Harmoni Arama Algoritması (HS)
1	W12x19	W16x26	W460x60 (W18x40)	W460x60 (W18x40)
2	W14x26	W18x35	W360x32.9 (W14x22)	W310x28.3 (W12x19)
3	W18x35	W18x35	W460x52 (W18x35)	W410x60 (W16x40)
4	W21x50	W21x50	W460x68 (W18x46)	W460x60 (W18x40)
5	W14x30	W14x30	W310x44.5 (W12x30)	W410x38.8 (W16x26)
Toplam çelik ağı. (kN)	42.87	49.91	48.68	46.63
Maksimum yer değ. (cm)	1.67	1.75	1.82	1.917
Maksimum katlar arası rölatif ötelenme (cm)	0.87	0.97	0.95	0.956



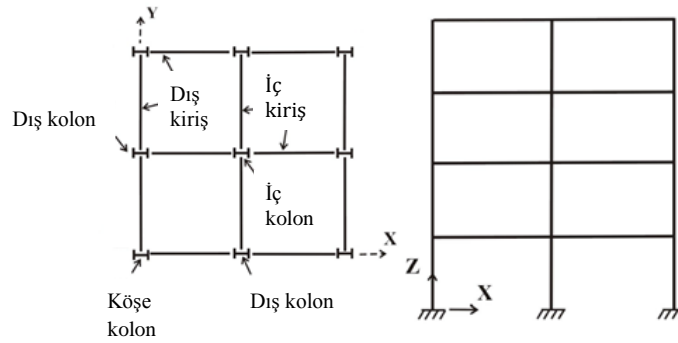
Şekil 54. Toplam çelik ağırlığının iterasyonlar ile değişimi

2.8.4.1.3. Dört Katlı 84 Elemanlı Uzak Çerçeve

Dört katlı 84 elemanlı uzak çerçeve sistem Şekil 55’de gösterilmiştir. Bu örnek daha önceden çeşitli algoritma yöntemlerine göre Değertekin (2007), Değertekin ve Hayalioğlu (2009), Hussein ve Taysi (2013) kompozitsiz durum için çalışılmıştır.



a) 3D görünüş



b) Kat planı ve yan görünüş

Şekil 55. Dört katlı 84 elemanlı uzak çerçeve sistem

Uzak sistemdeki 84 eleman 10 grupta şöyle toplanmıştır; 1.grup: 4.katın dış kirişleri, 2.grup: 1., 2. ve 3.katların dış kirişleri, 3.grup: 4.katın iç kirişleri, 4.grup: 1., 2. ve 3.katların iç kirişleri, 5.grup:4.katın köşe kolonları, 6.grup: 1., 2. ve 3.katların köşe

kolonları, 7.grup: 4.katın dış kolonları, 8.grup: 1., 2. ve 3.katların dış kolonları, 9.grup: 4.katın iç kolonları, 10.grup: 1., 2. ve 3.katların iç kolonlarıdır. Yükleme bilgisi (ölü yük, hareketli yük, çatı hareketli yük ve rüzgar yükü), dizayn parametreleri (E , G , f_y , ρ), bu bölümdeki tek açıklıklı, tek katlı uzay çerçeve örneğindeki ile aynıdır. Rüzgar yükü x doğrultusunda uygulanmıştır. Maksimum yanal yer değiştirme ve katlar arası ötelenme sınır değerleri sırasıyla 4.55 cm ve 1.52 cm dir. Ayrıca bu örnek için uygulanan yükleme kombinasyonları aşağıdaki gibidir.

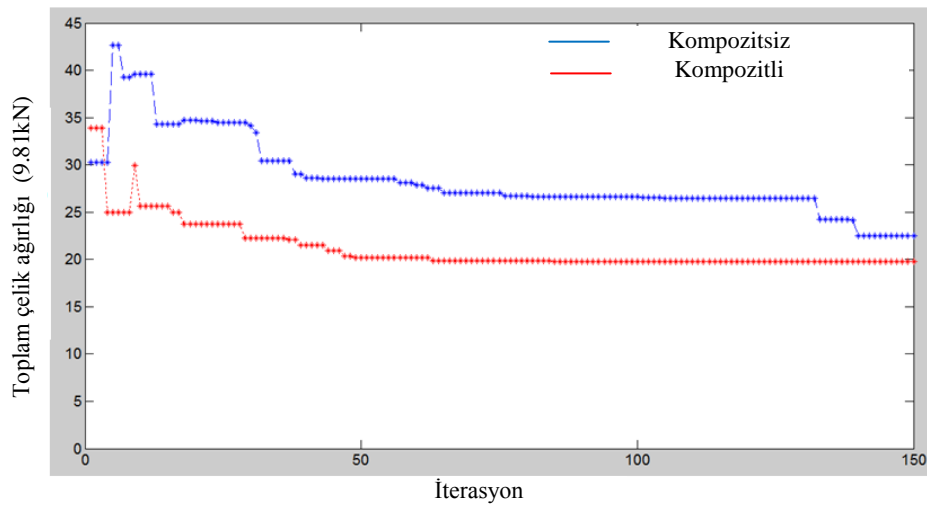
I: $1.4D_y$;

II: $1.2D_y+1.6L_h+0.5L_r$;

III: $1.2D_y+1.6L_r+0.5L_h$;

IV: $1.2D_y+1.3W_p+0.5L_r+0.5L_h$ (W_p : rüzgar yükü)

Tablo 20’de görüldüğü gibi bu çalışmada elde edilen boyutlandırma sonuçları literatür sonuçlarına oldukça yakındır. Ayrıca kompozit kirişli çözüm kompozitsiz çözüme göre %14.3 daha hafiftir. Tablodan da görüldüğü gibi maksimum yer değiştirme ve katlar arası ötelenme değerleri limit değerlerine oldukça yakındır. Bu nedenle bu sınırlayıcılar gerilme sınırlayıcıları gibi boyutlandırmada oldukça belirleyici olmaktadır. Beton plağın etkisinin analizlerde dikkate alınması ile ağırlığın azalmasının yanı sıra yer değiştirme değerlerinde önemli ölçüde azalmaların meydana gelmesini sağlamaktadır. Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımlarına göre değişimi her iki durum için Şekil 56’de gösterilmektedir.



Şekil 56. Toplam çelik ağırlığının iterasyonlar ile değişimi

Tablo 20. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler

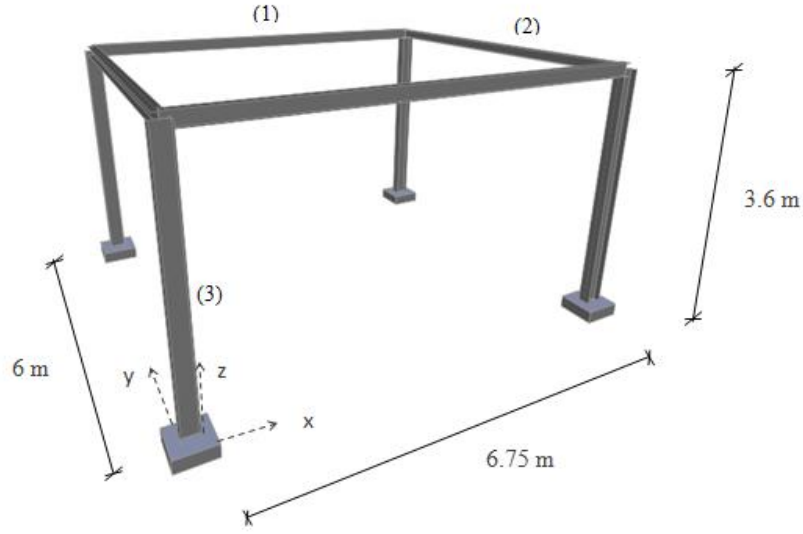
Grup no.	Bu çalışma Kompozit kirişli (GA)	Bu çalışma (GA)	Literatür çalışmaları		
			Hussein ve Taysi (2013) (GA)	Değertekin ve Hayalioğlu (2009) (TS)	(Değertekin 2007) (SA)
1	W12x19	W12x30	W12x26	W 16x31	W 18x35
2	W16x26	W16x36	W16x36	W 16x31	W 18x35
3	W 18x40	W18x35	W18x76	W 18x40	W 18x35
4	W14x34	W16x36	W18x35	W 18x35	W 18x35
5	W12x26	W8x31	W12x30	W 8x35	W 8x31
6	W14x43	W10x39	W16x26	W 14x53	W 12x40
7	W12x30	W12x30	W12x53	W 8x31	W 10x39
8	W16x40	W14x48	W14x43	W 8x35	W 12x45
9	W12x30	W8x24	W6x20	W 8x31	W 8x28
10	W14x68	W14x68	W14x61	W 14x68	W 12x58
Toplam çelik ağ. (kN)	194.33	226.99	225.24	219.79	226.66
Maksimum yer değ. (cm)	3.14	4.23	-	4.33	4.43
Maksimum katlar arası rölatif ötelenme (cm)	1.01	1.31	-	1.30	1.52

2.8.4.2. TS 648'e Göre Çözülen Örnekler

Bu alt bölümde uzay çerçeve sistemlerin geleneksel ve dinamik sınırlayıcılar için optimum boyutlandırmaları incelenmiştir. Bu bölümde TS 648 gerilme sınırlayıcılarının yanı sıra bir önceki bölümde uygulanan yer değiştirme ve geometrik sınırlayıcıları kullanılmıştır. Kullanılan 64 W kesitler; W8x15, W 8x21, W8x24, W 8x28, W 8x31, W 8x35, W 8x40, W 10x15, W 10x22, W 10x26, W 10x33, W 10x39, W 10x54, W 10x77, W 12x19, W 12x26, W 12x30, W 12x35, W 12x40, W 12x45, W 12x50, W 12x53, W 12x58, W 12x72, W 12x96, W 14x26, W 14x30, W 14x34, W 14x38, W 14x43, W 14x48, W 14x53, W 14x61, W 14x68, W 14x74, W 14x82, W 14x90, W 14x120, W 14x159, W 14x193, W 14x257, W 14x311, W 14x370, W 14x426, W 16x26, W 16x31, W 16x36, W 16x40, W 18x35, W 18x40, W 18x50, W 18x76, W 21x50, W 21x62, W 21x132, W 24x68, W 24x103, W 27x94, W 27x161, W 30x108, W 30x148, W 30x191, W 33x221, W 36x194 dir.

2.8.4.2.1. Tek Açıklıklı, Tek Katlı Uzay Çerçeve

Şekil 57'de sekiz elemanlı tek katlı uzay çerçeve sistem gösterilmiştir. Bu örnek daha önceden Değetekin vd. (2006a) tarafından geleneksel sınırlayıcılara (gerilme, yer değiştirme ve kiriş-kolon geometrik sınırlayıcılar) göre çalışılmıştır. Bu çalışmada ayrıca kirişlerde sehim sınırlayıcısı da geleneksel sınırlayıcı olarak kullanılmıştır.



Şekil 57. Tek açıklıklı, tek katlı uzay çerçeve

Şekil 57'de görüldüğü gibi elemanlar iki kiriş ve bir kolon grubunda toplanmıştır. Yükleme referans çalışmada olduğu gibi ölü yük ($D_y=3.36$ kN/m²), hareketli yük ($L_h=2.40$ kN/m²), çatı hareketli yük ($L_r=2.40$ kN/m²) ve rüzgar yükü (TS 498'e göre) uygulanmıştır. Buna göre rüzgar yükü aşağıdaki bağıntı ile belirlenmiştir.

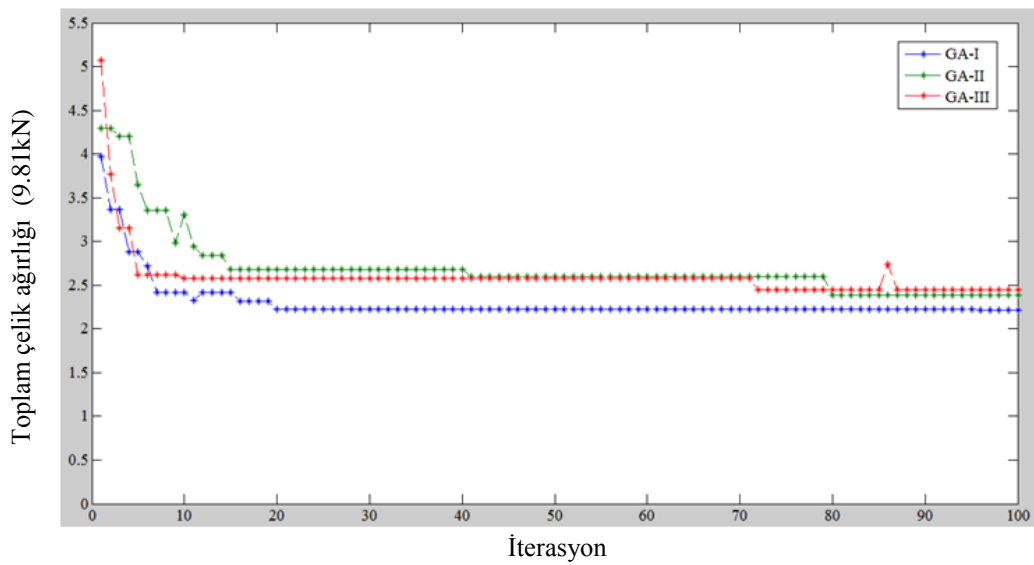
$$W_p = C_x q \quad (71)$$

Burada W_p rüzgar yükü, q yapının yüksekliğine bağlı hız basıncı, C yapı cinsine bağlı bir katsayısı olup 0.8 (basınç yüzü) ve 0.4 (emme yüzü) dir. Rüzgarın pozitif Y yönünde estiği kabul edilmiştir. Diğer tasarım parametreleri; $E=200$ GPa, $G=77$ GPa, $f_y=248.2$ MPa ve $\rho=7.85$ ton/m³ dir. Maksimum yer değiştirme sınır değeri 0.9 cm (H/400) dir. Tek katlı uzay çerçeve ilk olarak geleneksel sınırlayıcılara göre boyutlandırılmıştır. Daha sonra bu sistem geleneksel ve dinamik sınırlayıcılara göre iki kere daha boyutlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve Değetekin vd. (2006a)'ne ait sonuçlar Tablo

21'de sunulmuştur. Bu çalışmada, geleneksel sınırlayıcılara göre yapılan boyutlandırmada bulunan 1. doğal frekans (f_1) değeri 10.249 Hz.'in biraz üstü olarak $f_1 > 10.5$ Hz ve $f_1 > 10.8$ Hz. dinamik sınırlayıcılar olarak seçilmiştir. Ayrıca Şekil 58'de toplam çelik ağırlığının iterasyon adımları ile değişimi gösterilmiştir.

Tablo 21. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler

Grup no.	Literatür Çalışması Değetekin vd. (2006a)			Bu çalışma		
	TA-I	TA-II	GA	GA-I	GA-II $f_1 > 10.5$ Hz (dinamik sınırlayıcı)	GA-III $f_1 > 10.8$ Hz (dinamik sınırlayıcı)
1	W12x35	W18x35	W12x35	W16x26	W14x26	W14x26
2	W14x38	W18x35	W8x31	W16x31	W18x35	W16x26
3	W12x35	W12x35	W14x48	W12x53	W12x58	W14x68
Toplam çelik ağırlığı (kN)	20.94	20.41	22.41	21.75	23.45	24.04
Maks.yer değ. (cm)	0.73	0.76	0.56	0.45	0.40	0.39
f_1 (1. frek.-Hz)	-	-	-	10.249 Hz	10.599 Hz	10.819 Hz



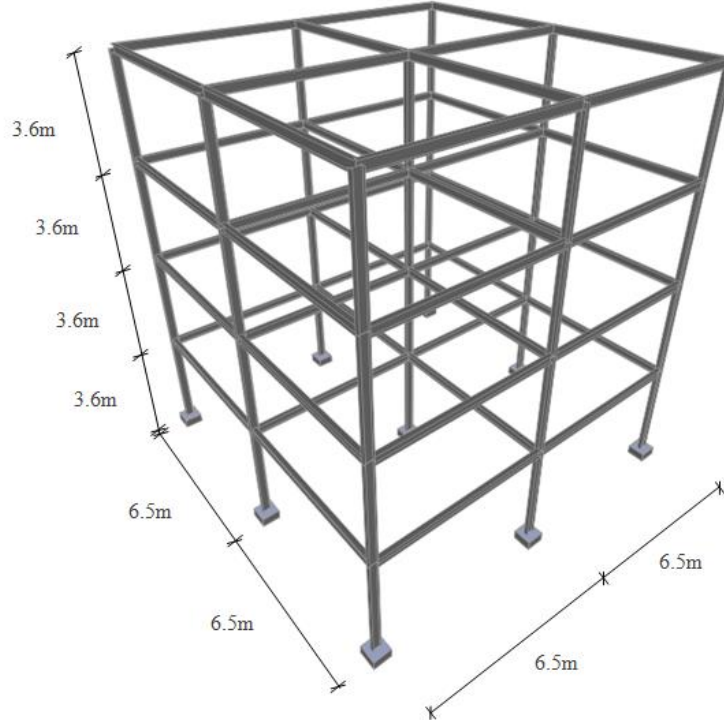
Şekil 58. Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımları ile değişimi

Yukarıda tabloda görüldüğü gibi geleneksel sınırlayıcılara göre bulunan sonuçlar referans çalışmaya ait sonuçlara oldukça yakındır. Maksimum yer değiştirme değerleri limit değerinin oldukça altındadır. Buna göre gerilme sınırlayıcılarının optimizasyonda oldukça aktif belirleyici oldukları söylenebilir. Bu tabloda ayrıca görüldüğü gibi geleneksel sınırlayıcılara göre yapılan çözüme göre 1.doğal frekans değeri 10.249 Hz dir. Buna göre dinamik sınırlayıcılar, $f_1 > 10.5$ Hz ve $f_1 > 10.8$ Hz, geleneksel sınırlayıcıların yanı sıra kullanılmıştır. Geleneksel ve dinamik sınırlayıcıların sağlanması için yapının %7.8 ve %10 ağırlaştığı görülmektedir.

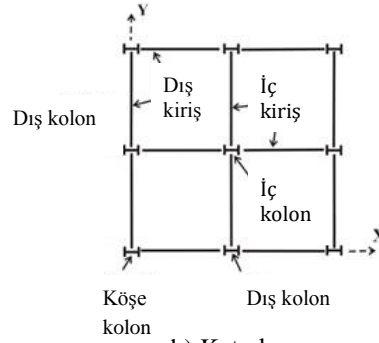
2.8.4.2.2. Dört Katlı 84 Elemanlı Uzay Çerçeve

Şekil 59'da gösterilen dört katlı 84 elemanlı uzay çerçeve daha önceden Hayalioğlu ve Değertekin (2005b) tarafından gerilme ve yer değiştirme sınırlayıcılarını içeren geleneksel sınırlayıcılara göre çalışılmıştır. Bu çalışmada ayrıca geleneksel sınırlayıcı olarak katlar arası rölatif yer değiştirme, kirişlerde sehim, kolon-kolon ve kolon-kiriş geometrik sınırlayıcılar da uygulanmıştır.

Uzay sistemdeki 84 eleman 8 grupta şöyle toplanmıştır; 1. grup: 3. ve 4. katların köşe kolonları, 2. grup: 3. ve 4. katların dış ve iç kolonları, 3. grup: 1. ve 2. katların köşe kolonları, 4. grup: 1. ve 2. katların dış ve iç kolonları, 5. grup: 4. katın dış kirişleri, 6. grup: 4. katın iç kirişleri, 7. grup: 1., 2. ve 3. katların dış kirişleri, 8. grup: 1., 2. ve 3. katların iç kirişleridir. Uzay çerçeve sistem yüklemesi, ölü yük ($D_y=2.78$ kN/m²), hareketli yük ($L_h=2.39$ kN/m²), çatı hareketli yük ($L_r=2.39$ kN/m²) ve rüzgar yüküdür. Rüzgar yükü hesabı (70) nolu bağıntıya göre ($C_e=0.7$; $C_q=0.8$ ve 0.5 ; $q_s=0.622$ kN/m²; $I_w=1$) hesap edilmiştir. Diğer tasarım parametreleri; $E=200$ GPa, $G=77$ GPa, $f_y=344.8$ MPa ve $\rho=7.85$ ton/m³ dir. Rüzgar pozitif Y yönünde estiği kabul edilmiştir. Maksimum yer değiştirme ve katlar arası rölatif yer değiştirme sınır değerleri 5.76 cm ($H/250$) ve 1.2 cm ($h/300$) dir. Yük kombinasyonu referans çalışmada belirtildiği gibi $D_y+L_h+L_r+W_p$ (AISC-ASD) dir.



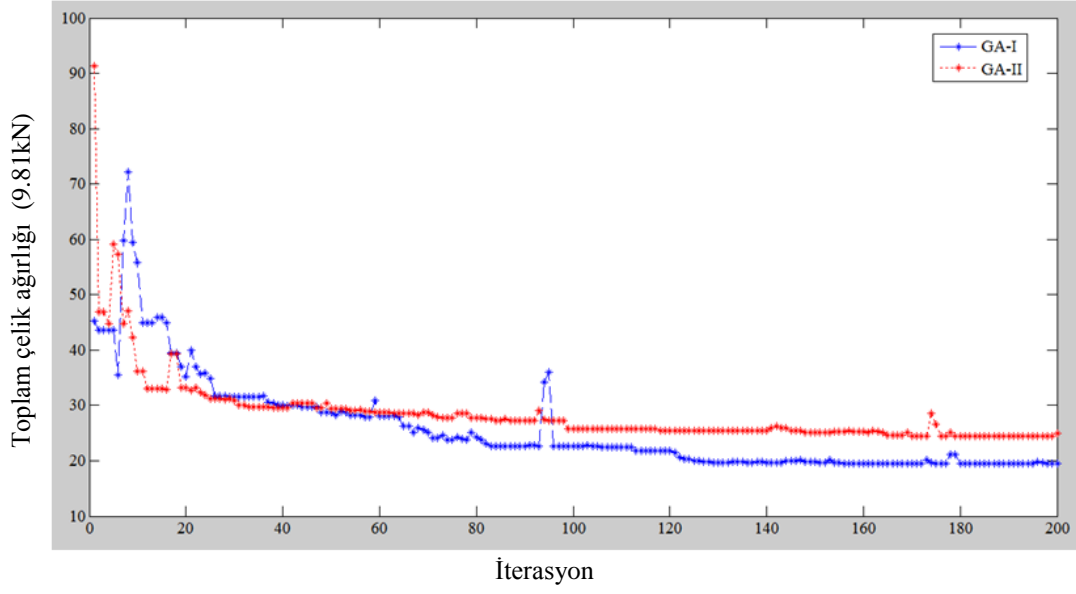
a) 3D görünüş



b) Kat planı

Şekil 59. Dört katlı 84 elemanlı uzay çerçeve

Uzay çerçeve ilk olarak geleneksel sınırlayıcılara göre boyutlandırılarak Tablo 22'de Hayalioğlu ve Değetekin (2005b)'e ait sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Geleneksel sınırlayıcılara göre yapılan boyutlandırmada belirlenen 1. doğal frekans (f_1) değeri 2.502 Hz.in biraz üstü olarak $f_1 > 2.6$ Hz dinamik sınırlayıcı olarak seçilmiştir. Geleneksel ve dinamik sınırlayıcılara göre yapılan ikinci boyutlandırma sonuçları da bu tabloda gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 60'de her iki durum için toplam çelik ağırlığının iterasyon adımları ile değişimi sunulmuştur.



Şekil 60. Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımları ile değişimi

Tablo 22. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler

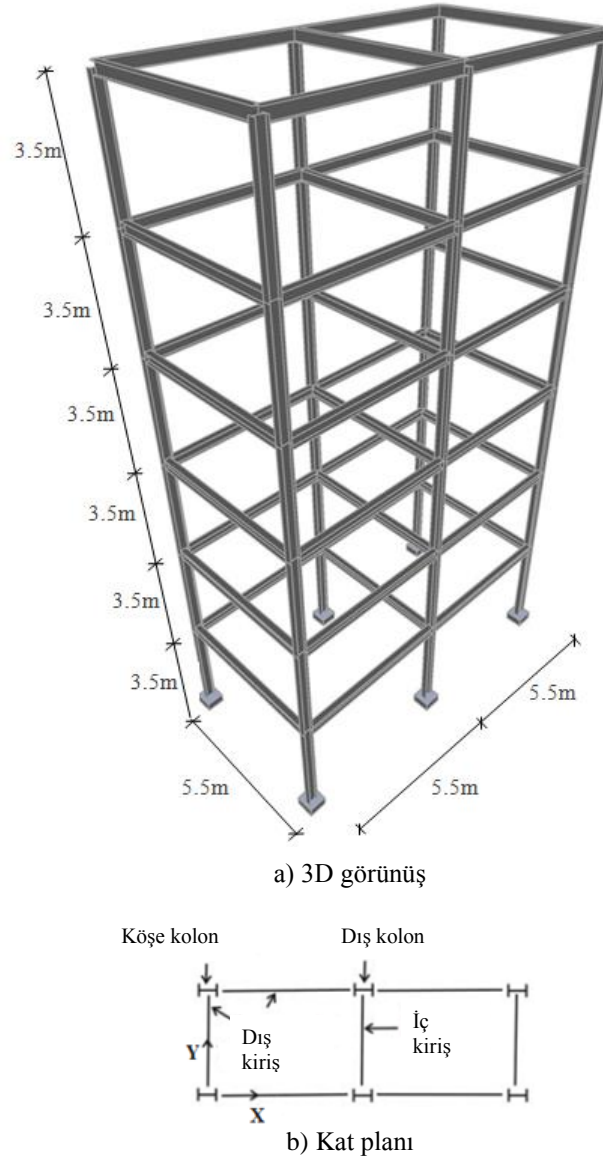
Grup no.	Literatür Çalışması (Hayalioğlu ve Değetekin, 2005b)	Bu çalışma	
	GA	GA-I	GA-II $f_i > 2.60$ Hz (dinamik sınırlayıcı)
1	W8x31	W10x33	W14x30
2	W10x49	W12x50	W12x45
3	W8x35	W12x40	W16x36
4	W8x31	W12x72	W21x132
5	W8x18	W12x19	W12x19
6	W8x35	W12x26	W14x30
7	W12x14	W12x19	W16x26
8	W12x45	W16x26	W14x30
Toplam çelik ağırlığı (kN)	180.16	191.69	240.30
f_1 (1. frek. Hz)	-	2.502	2.617
Maks. yer değ. (cm)	-	3.34	3.05
Maks. katlar arası rölatif yer değ. (cm)	-	1.15	0.93

Tablo 22'de görüldüğü gibi geleneksel sınırlayıcılara göre elde edilen optimum boyutlar referans çalışmaya ait sonuçlara oldukça yakındır. Ayrıca bu sınırlayıcılara göre yapılan çözümde maksimum yer değiştirme değeri 3.34 cm ve katlar arası maksimum rölatif yer değiştirme değeri 1.15 cm dir. Buna göre katlar arası yer değiştirme sınırlayıcılarının optimum boyutlandırma oldukça aktif rol oynadığı söylenebilir. Geleneksel sınırlayıcılara göre elde edilen boyutlara göre uzay çerçevenin 1.doğal frekansı 2.502 Hz dir. Dinamik sınırlayıcı olarak bu değerin biraz üstü olan 2.6 Hz seçilmiştir. Geleneksel ve dinamik sınırlayıcılara göre tekrar yapılan optimum boyutlandırma sonuçlarına göre sistemin yaklaşık %25 daha ağırlaştığı görülmektedir. Buna göre yapı frekansındaki az miktarda yapılan bir artışın sistemin toplam ağırlığında büyük artışlara neden olabileceği görülebilmektedir.

2.8.4.2.3. Altı Katlı 78 Elemanlı Uzay Çerçeve

Altı katlı 78 elemanlı çelik uzay çerçeve Şekil 61'de gösterilmiştir. Bu örnek daha önceden Değertekin vd. (2006b) tarafından gerilme, yer değiştirme, katlar arası rölatif yer değiştirme ve geometrik sınırlayıcılar kullanılarak boyutlandırılmıştır. Bu çalışmada ayrıca kirişlerde sehim sınırlayıcısı da kullanılmıştır.

Uzay çerçeve sistem elemanları 8 grupta şöyle toplanmıştır; 1. grup: 4., 5. ve 6. katların dış kirişleri, 2. grup: 1., 2. ve 3. katların dış kirişleri, 3. grup: 4., 5. ve 6. katların iç kirişleri, 4. grup: 1., 2. ve 3. katların iç kirişleri, 5. grup: 4., 5. ve 6. katların köşe kolonları, 6. grup: 1., 2. ve 3. katların köşe kolonları, 7. grup: 4., 5. ve 6. katların dış kolonları, 8. grup: 1., 2. ve 3. katların dış kolonlarıdır. Yükleme bilgisi; ölü yük $D_y=3.25 \text{ kN/m}^2$, hareketli yük $L_h=2.0 \text{ kN/m}^2$, çatı hareketli yük $L_r=2.0 \text{ kN/m}^2$ ve rüzgar yükü TS 498'e göre (71) nolu bağıntıyla hesaplanarak ($C=+0.8$ ve -0.4) uygulanmıştır. Rüzgarın pozitif Y doğrultusunda estiği kabul edilmiştir. Tasarım parametreleri; $E=200 \text{ GPa}$, $G=77 \text{ GPa}$, $f_y=248.2 \text{ MPa}$ ve $\rho=7.85 \text{ ton/m}^3$ dir. Maksimum yer değiştirme ve katlar arası yer değiştirme sınır değerleri sırasıyla 5.25 cm ($H/400$) ve 1.17cm ($h/300$) dir.



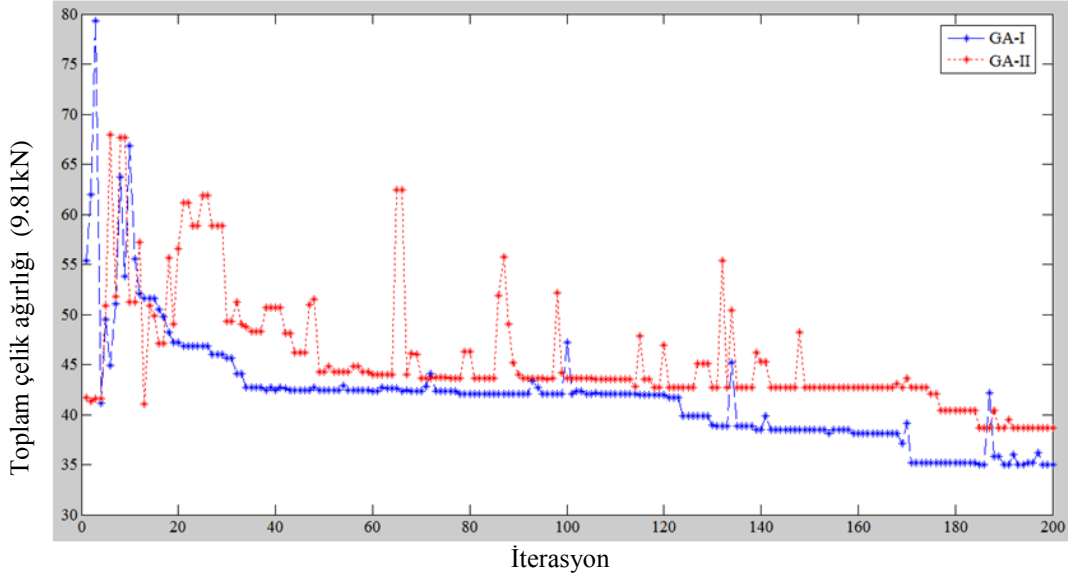
Şekil 61. Altı katlı 78 elemanlı uzay çerçeve

78 elemanlı uzay çerçeve sistem ilk olarak geleneksel sınırlayıcılara göre boyutlandırılarak Tablo 23'de literatür sonuçları ile kıyaslanmıştır. Bu çözümde bulunan 1.doğal frekans değeri 2.634 Hz'den biraz büyük olan 2.80 Hz değeri dinamik sınırlayıcı olarak seçilerek optimum boyutlandırma tekrarlanmıştır. Her iki çözüme ait toplam ağırlık değişimi Şekil 62'de gösterilmiştir.

Tablo 23. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler

Grup no.	Literatür çalışması (Değetekin vd. 2006b)		Bu çalışma	
	TA-I	TA-II	GA-I	GA-II $f_1 > 2.80$ Hz (dinamik sınırlayıcı)
1	W18x35	W16x36	W14x26	W12x26
2	W18x46	W21x44	W14x38	W24x68
3	W21x44	W12x53	W21x50	W18x35
4	W14x120	W21x101	W24x68	W21x50
5	W12x65	W12x65	W12x58	W12x58
6	W21x111	W21x101	W21x132	W36x194
7	W24x104	W24x104	W21x132	W14x90
8	W24x146	W24x131	W30x191	W21x132
Toplam Ağ. (kN)	341.54	327.55	337.09	379.52
f_1 (1.doğal frek. Hz)	-	-	2.634	2.805
Maks. yer değ.(cm)	4.95	5.06	5.13	4.76
Maks. katlar arası rölatif yer değ.(cm)	1.09	1.17	1.16	1.14

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi geleneksel sınırlayıcılara göre yapılan ilk boyutlandırma sonuçları literatür sonuçlarına oldukça yakındır. Ayrıca maksimum yer değiştirme değeri 5.13 cm ve katlar arası maksimum rölatif yer değiştirme değeri 1.16 cm dir. Bu değerler sınır değerlere oldukça yakındır. Bu nedenle bu sınırlayıcıların optimum boyutlandırmada oldukça belirleyici oldukları söylenebilir. Seçilen dinamik sınırlayıcı ile birlikte tekrar yapılan boyutlandırmada yapının yaklaşık %12 ağırlaşmak suretiyle geleneksel ve dinamik sınırlayıcıları sağladığı görülmektedir.



Şekil 62. Toplam çelik ağırlığının iterasyon adımları ile değişimi

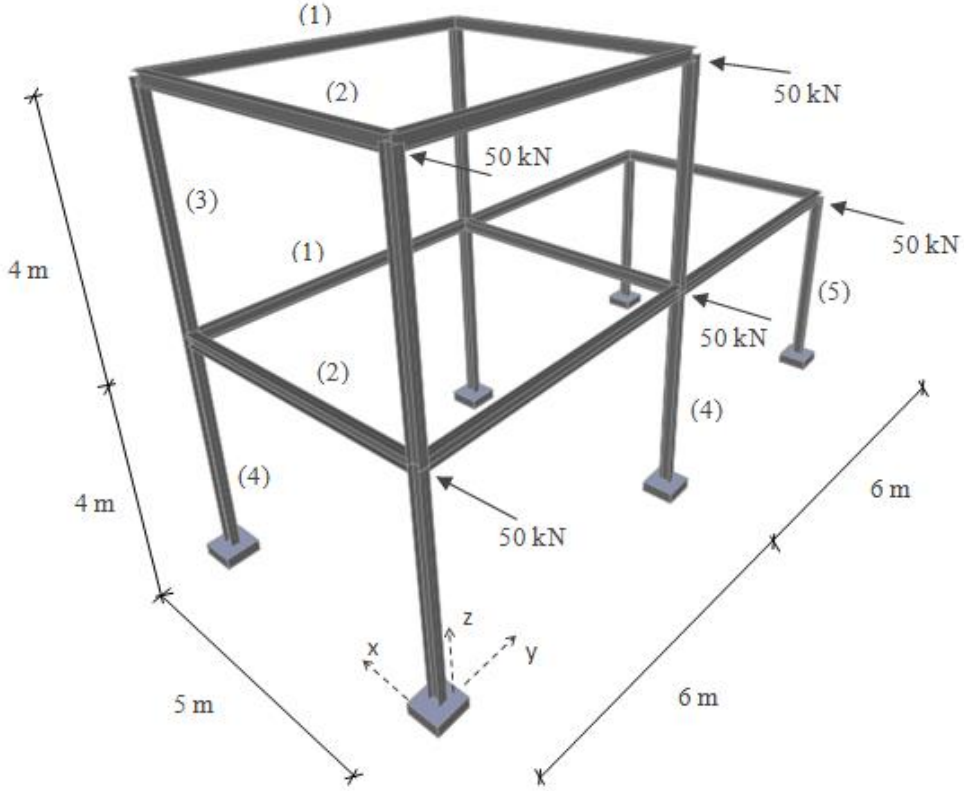
2.8.5. Uzak Çelik Çerçevelerin SAP2000-OAPI ile Optimizasyonuna İlişkin Örnekler

Bu bölümde çeşitli uzak çelik çerçeve sistemler MATLAB-SAP2000 OAPI (Open Application Programming Interface) kullanılarak (kompozitsiz durum için) optimum boyutlandırmaları yapılmıştır. Kullanılan sınırlayıcılar; AISC-LRFD gerilme sınırlayıcıları, maksimum yer değiştirme sınırlayıcıları, katlar arası maksimum rölatif yer değiştirme sınırlayıcıları, kolon-kolon ve kolon-kiriş geometrik sınırlayıcılarıdır. Kullanılan kesit listeleri AISC'den alınan W profillerinden hazırlanmıştır. Bu bölümde literatürden alınan üç farklı örnek irdelenmiştir. İlk iki örnek 21 ve 84 elemanlı sistemler olup 64 W profil arasından boyutlandırılmışlardır. Son örnek ise 20 katlı, 460 elemanlı bir sistem olup 128 W profil arasından optimum boyutlandırılmıştır. Her üç örnekte kullanılan tasarım parametreleri $E_s=200$ GPa, $f_y=250$ MPa ve $\rho=7.85$ ton/m³ dir.

2.8.5.1. İki Katlı 21 Elemanlı Uzak Çerçeve Sistem

Aydoğdu (2010) tarafından daha önceden çalışılan bu örnek bölüm 2.8.4.1.2'de kompozitli ve kompozitsiz durumlar için MATLAB ile boyutlandırması yapılmıştır. Bu bölümde ise MATLAB-SAP2000 OAPI ile kompozitsiz durum için tekrar boyutlandırılmıştır. Gerekli yükleme ve diğer bilgiler bölüm 2.8.4.1.2'de mevcuttur.

Maksimum yer değiştirme ve katlar arası maksimum rölatif yer değiştirme sınır değerleri 4 cm ve 1 cm dir. Elde edilen sonuçlar, bölüm 2.8.4.1.2'de kompozitsiz durum için elde edilen ve literatürden alınan (Aydoğdu, 2010) sonuçlar ile karşılaştırılmıştır Tablo 24.



Şekil 63. İki katlı 21 elemanlı uzay çerçeve sistem

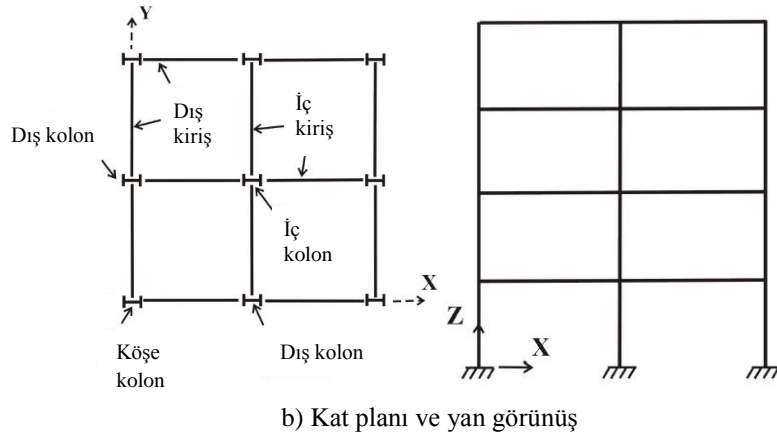
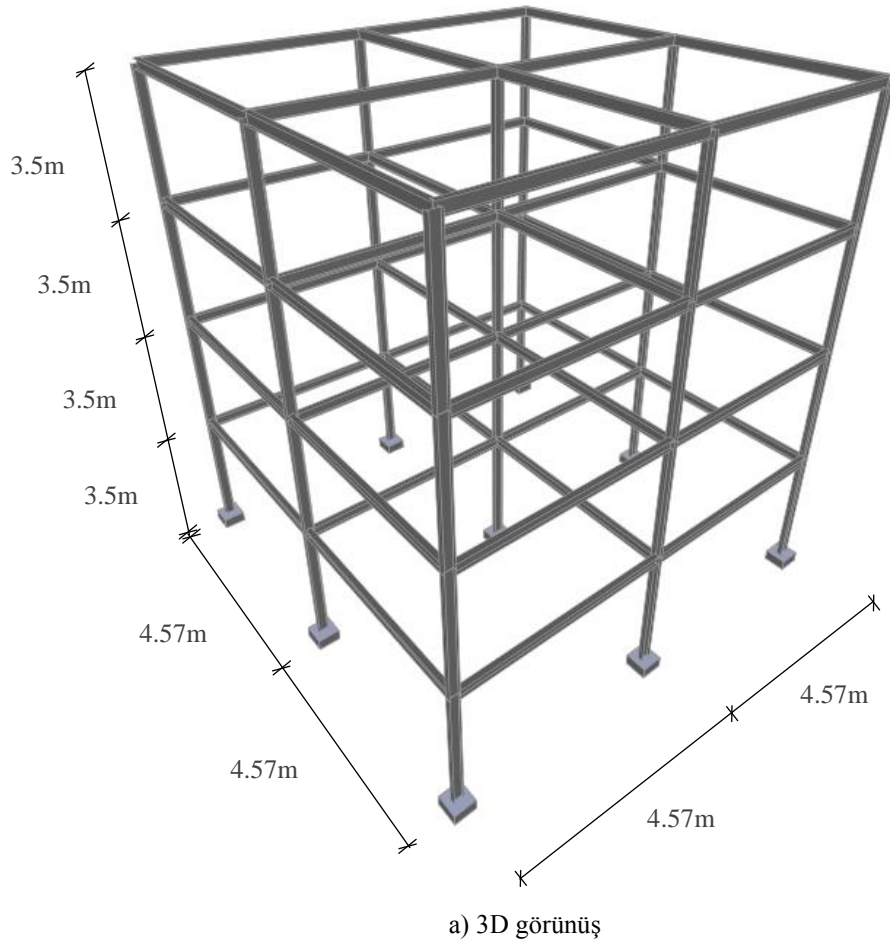
Tablo 24'de görüldüğü gibi MATLAB-SAP2000 OAPI ile elde edilen sonuçlar, bölüm 2.8.4.1.2'de elde edilen sonuçlara ve Aydoğdu (2010)'a ait sonuçlara oldukça yakındır. Ayrıca katlar arası maksimum rölatif yer değiştirme değeri 1.017 cm limit değere oldukça yakındır. Buna göre bu sınırlayıcının optimum boyutlandırma oldukça belirleyici olduğu söylenebilir.

Tablo 24. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler

Grup no	Bu çalışma MATLAB- SAP2000 OAPI	Bu çalışma Bölüm 2.8.4.1.2'ye ait sonuçlar	Referans çalışma Aydoğdu (2010)	
	GA	GA	ACO	HS
1	14X26	W16X26	W460X60 (W18X40)	W460X60 (W18X40)
2	18X40	W18X35	W360X32.9 (W14X22)	W310X28.3 (W12X19)
3	14X48	W18X35	W460X52 (W18X35)	W410X60 (W16X40)
4	18X40	W21X50	W460X68 (W18X46)	W460X60 (W18X40)
5	12X30	W14X30	W310X44.5 (W12X30)	W410X38.8 (W16X26)
Toplam ağı. (kN)	52.48	49.91	48.68	46.63
Maks yer değ. (cm)	2.031	1.75	1.82	1.917
Katlar arası maks. rölatif yer değ. (cm)	1.017	0.97	0.95	0.956

2.8.5.2. Dört Katlı 84 Elemanlı Uzay Çerçeve Sistem

Şekil 64'de gösterilen dört katlı 84 elemanlı örnek daha önceden Değertekin vd. (2008) tarafından Tabu Arama ve Genetik Algoritma metotları ile boyutlandırılmıştır. Uzay sistemdeki 84 eleman 10 grupta şöyle toplanmıştır; 1. grup: 4. katın dış kirişleri, 2. grup: 1., 2. ve 3.katların dış kirişleri, 3. grup: 4. katın iç kirişleri, 4. grup: 1., 2. ve 3.katların iç kirişleri, 5. grup: 4. katın köşe kolonları, 6. grup: 1., 2. ve 3.katların köşe kolonları, 7. grup: 4. katın dış kolonları, 8. grup: 1., 2. ve 3. katların dış kolonları, 9. grup: 4. katın iç kolonları, 10. grup: 1., 2. ve 3. katların iç kolonlarıdır.



Şekil 64. Dört katlı 84 elemanlı uzay çerçeve sistem

Uzay çerçeve sistemin yüklemesi, ölü yük ($D_y=3.84 \text{ kN/m}^2$), hareketli yük ($L_h=2.40 \text{ kN/m}^2$), çatı hareketli yük ($L_r=2.40 \text{ kN/m}^2$) ve rüzgar yüküdür. Rüzgar yükü hesabı (70) nolu bağıntıya göre ($C_q=0.8$ ve 0.5 ; $q_s=0.785 \text{ kN/m}^2$; $I_w=1$) hesap edilmiştir. Rüzgar pozitif X yönünde estiği kabul edilmiştir. Maksimum yer değiştirme ve katlar arası rölatif yer

değiştirme sınır değerleri 3.50 cm ve 1.17 cm dir. Yük kombinasyonu; I: $1.4D_y$; II: $1.2D_y+1.6L_h+0.5L_r$; III: $1.2D_y+1.6L_r+0.5L_h$; IV: $1.2D_y+1.3W_p+0.5L_r+0.5L_h$ (W_p : rüzgar yükü). Elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

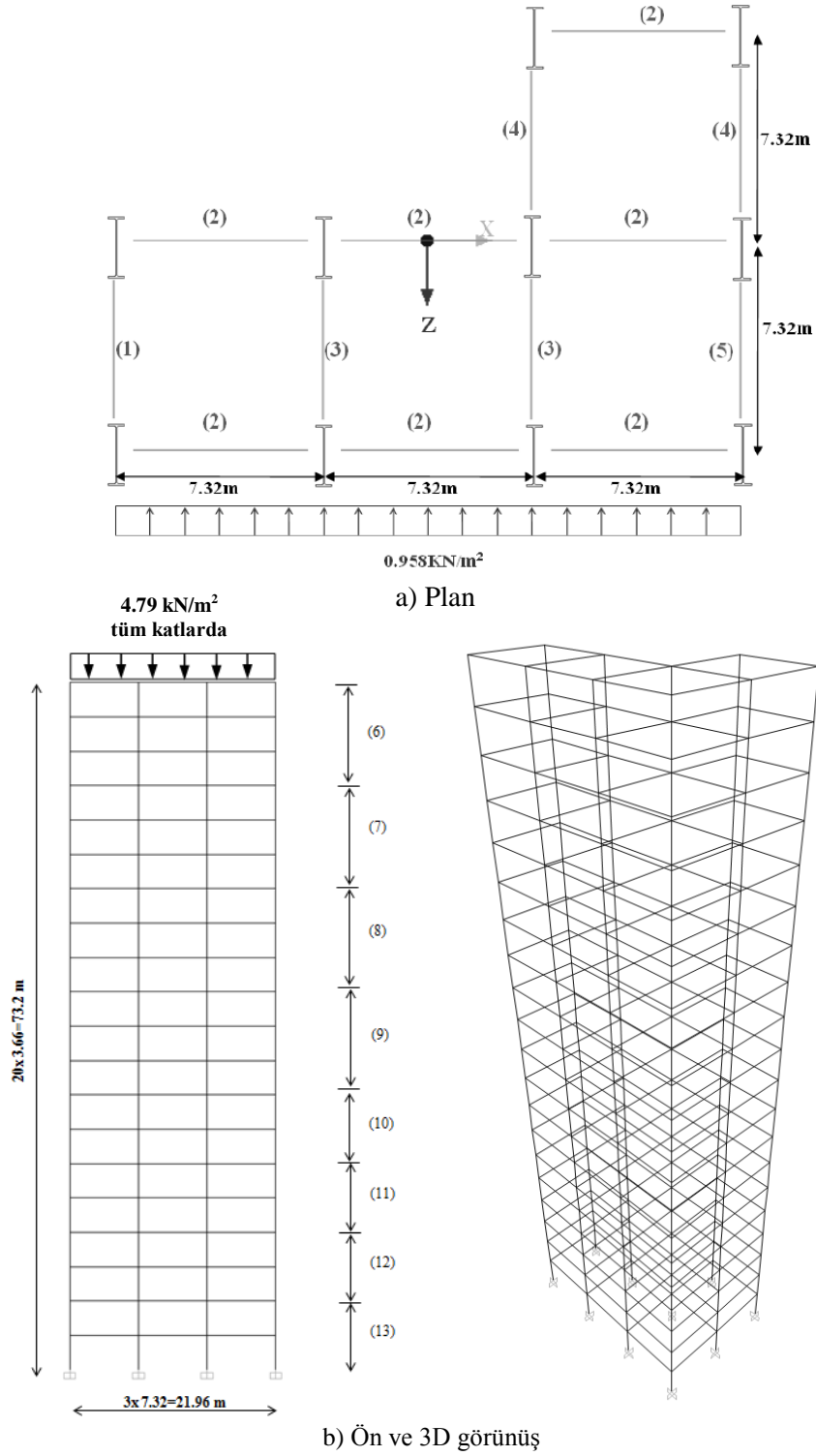
Tablo 25. Uzay çelik çerçeve sistem için optimum kesitler

Grup no	Referans çalışma Değertekin vd.(2008)		Bu çalışma
	Tabu Arama (TA)	Genetik Algoritma (GA)	Genetik Algoritma (GA) MATLAB-SAP2000 OAPI
1	W21X44	W16X31	W16X31
2	W14X30	W16X31	W16X31
3	W14X30	W16X50	W14X26
4	W14X30	W24X55	W14X30
5	W12X45	W10X39	W10X26
6	W14X43	W14X48	W18X40
7	W14X43	W8X31	W16X40
8	W14X43	W10X33	W24X68
9	W10X33	W8X31	W16X26
10	W14X33	W14X48	W16X36
Toplam çelik ağı. (kN)	182.83	196.79	184.33
Maks. yer değ.(cm)	3.50	3.32	3.32
Katlar arası maks. rölatif yer (cm)	1.17	1.08	1.05

Tablo 25'de görüldüğü gibi bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatür sonuçlarına oldukça yakındır. Maksimum yer değiştirme ve katlar arası maksimum rölatif yer değiştirme değerleri 3.32 cm ve 1.05 cm sınır değerlere oldukça yakındır. Bu durum yer değiştirme sınırlayıcılarının optimizasyonda oldukça aktif rol oynadığını göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen minimum ağırlık 184.33 kN değeri literatür çalışmasında Genetik Algoritma ile elde edilen minimum ağırlıktan daha az, Tabu Arama yöntemi ile elde edilen minimum ağırlığa ise oldukça yakındır.

2.8.5.3. 20 Katlı 460 Elemanlı Uzay Çerçeve Sistem

20 katlı 460 elemanlı uzay çelik çerçeve sistem Şekil 65'te gösterilmiştir.



Şekil 65. 20 katlı 460 elemanlı uzay çerçeve sistem

Bu çalışma daha önceden Aydoğdu (2010), Aydoğdu ve Saka (2012) tarafından Karınca Kolonisi ve Harmoni Arama Algoritması yöntemleri kullanılarak boyutlandırılmıştır. Bu şekilde elemanların gruplandırılması ve yükleme bilgisi (tüm katlarda düşey yük 4.79 kN/m^2 ve rüzgar yükü 0.958 kN/m^2) gösterilmiştir. Maksimum yer değıştirme ve katlar arası maksimum rölatif yer değıştirme sınır değerleri sırasıyla 24.40 cm ve 1.22 cm dir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 26. Uzak çelik çerçeve sistem için optimum kesitler

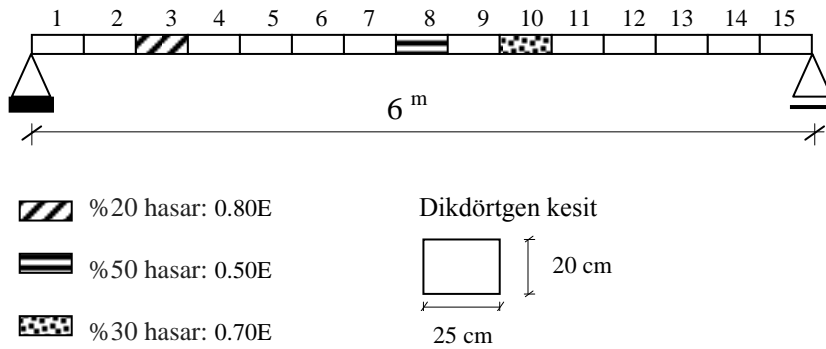
Grup No	Aydoğdu ve Saka (2012) ACO	Aydoğdu (2010) HS	Bu çalışma (GA) MATLAB-SAP2000 OAPI
1	W610X92 (24X62)	W690X125 (27X84)	27X84
2	W310X28.3 (12X190)	W460X82 (18X55)	16X57
3	W760X196 (30X132)	W690X125 (27X84)	30X90
4	W460X68 (18X46)	W610X101 (24X68)	21X44
5	W530X66 (21X44)	W460X89 (18X60)	18X46
6	W310X202 (12X136)	W690X125 (27X84)	18X86
7	W360X237 (14X159)	W760X134 (30X90)	30X99
8	W360X237 (14X159)	W760X134 (30X90)	40X149
9	W610X262 (24X176)	W760X134 (30X90)	40X149
10	W760X314 (30X211)	W760X161 (30X108)	40X149
11	W760X314 (30X211)	W760X173 (30X116)	44X198
12	W760X314 (30X211)	W1000X222 (40X149)	44X198
13	W840X329 (33X221)	W1000X272 (40X183)	44X198
Toplam çelik ağ. (kN)	3191.15	2943.81	3273.79
Maks. yer değ. (cm)	17.9	19.64	21.45
Katlar arası maks. rölatif yer değ. (cm)	1.13	1.21	1.19

Tablo 26'da görüldüğü gibi bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatür sonuçları ile oldukça paraleldir. Ayrıca bu çalışmada elde edilen minimum ağırlık 3273.79 kN değeri Karınca Kolonisi yöntemine göre elde edilen literatür sonucundan yaklaşık %2.5 ve Harmoni Arama yöntemine göre elde edilen literatür sonucundan ise yaklaşık %10 daha fazladır. Katlar arası maksimum yer değiştirme değeri olan 1.19 cm sınır değere oldukça yakındır. Bu durum bu sınırlayıcıların optimum boyutlandırmada oldukça aktif rol oynadığını göstermektedir.

2.8.6. Genetik Algoritma ile Hasar Tespiti Örnekleri

2.8.6.1. Basit Kiriş

Bu örnek literatürden alınmış olup, daha önceden Liu vd. (2011) ve Jaishi ve Ren (2006) tarafından çalışılmıştır. 15 elemana bölünmüş basit kiriş Şekil 66'da gösterilmiştir. Ele alınan tasarım parametreleri $E=3200 \text{ kN/cm}^2$ ve $\rho=2.50 \text{ ton/m}^3$ dir. 3, 8 ve 10 numaralı elemanlarda Şekil 66'da gösterildiği gibi hasarlar senaryo edilmiştir.



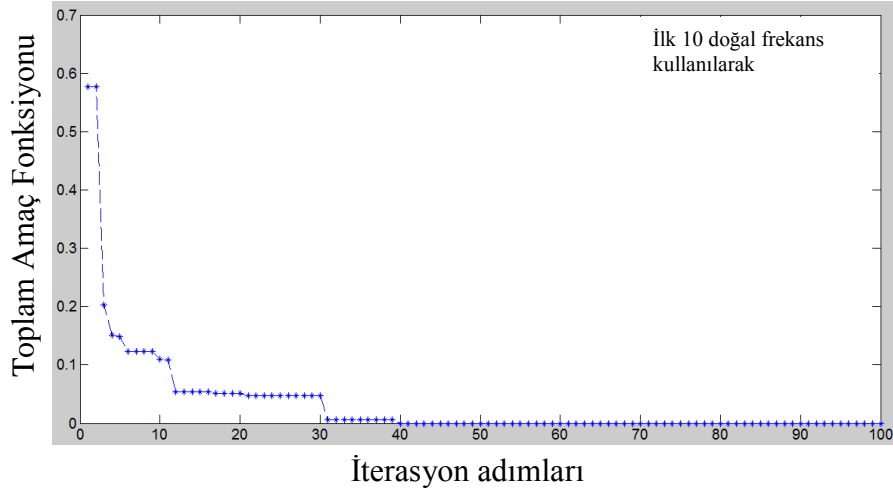
Şekil 66. 15 elemanlı kiriş ve çok hasarlı senaryo

Bu örneğin çözümünde 8 farklı azaltma çarpanı (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7, 0.8 ve 1.0) ile Genetik Algoritma analizleri gerçekleştirilmiştir. Liu vd. (2011) çalışmalarında Genetik Algoritma için uyguladıkları analiz parametreleri; popülasyon büyüklüğü=100, çaprazlama olasılığı=0.80, mutasyon=0.05 ve maksimum nesil sayısı=100 dir. Diğer taraftan bu çalışmada uygulan popülasyon büyüklüğü =60, çaprazlama olasılığı=0.90, mutasyon=0.05 ve maksimum nesil sayısı=100 dir. GA analiz sonuçları Şekil 67 ve 68'de

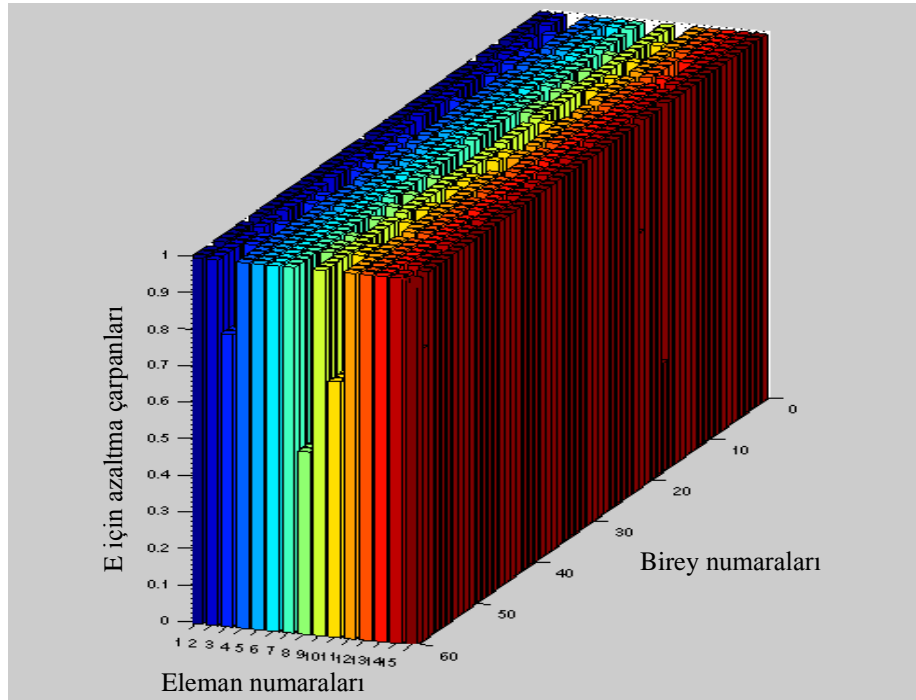
sunulmuştur. Şekil 67’de toplam amaç fonksiyonun iterasyon adımlarına göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 68’de ise son popülasyondaki her bireyin eleman numarasına göre elastisite modülü azaltma çarpanları sunulmuştur. Elastisite modülü azaltma çarpanı 1 değeri olmayan elemanlarda hasar tespit edilmiştir. Bu çalışmada amaç fonksiyonu sadece doğal frekans farkları oranı içermektedir. Bunun için hasarlı modele ait gerekli doğal frekans değerleri literatür çalışmasından (Jaishi ve Ren, 2006) elde edilerek MATLAB’a girilmiştir. Hasarsız ve hasarlı modele ait ve literatürden elde edilen doğal frekans değerleri Tablo 27’de gösterilmiştir. Ayrıca bu tabloda MATLAB ile elde edilen hasarsız modele ait doğal frekans değerleri de gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi Jaishi ve Ren (2006) tarafından elde edilen hasarsız modele ait değerler ile MATLAB’den elde edilen değerler arasındaki fark oldukça küçüktür. Bu durum MATLAB’da yapılan Sonlu Elemanlar Yöntemi analizlerinin geçerliliğini göstermektedir.

Tablo 27. Hasarsız ve hasarlı durumlar için doğal frekans değerleri (Hz)

Mod	Literatür çalışması (Jaishi ve Ren, 2006)		Bu çalışma (MATLAB)	Rölatif hata % $ (a-b)/a *100$
	Hasarsız durum (Hz) (a)	Hasarlı durum (Hz)	Hasarsız durum (Hz) (b)	
1	8.990	8.245	8.9948	0.0534
2	35.914	34.920	35.9783	0.179
3	80.632	75.08	80.9434	0.3862
4	142.930	137.508	143.8585	0.6496
5	222.532	209.028	224.6279	0.9418
6	319.16	313.581	323.0112	1.2067
7	432.532	405.839	438.4683	1.3725
8	562.405	547.260	569.8782	1.3288
9	708.677	671.483	715.0550	0.9
10	871.146	836.938	869.9803	0.134



Şekil 67. Toplam amaç fonksiyonunun iterasyon adımlarına göre değişimi



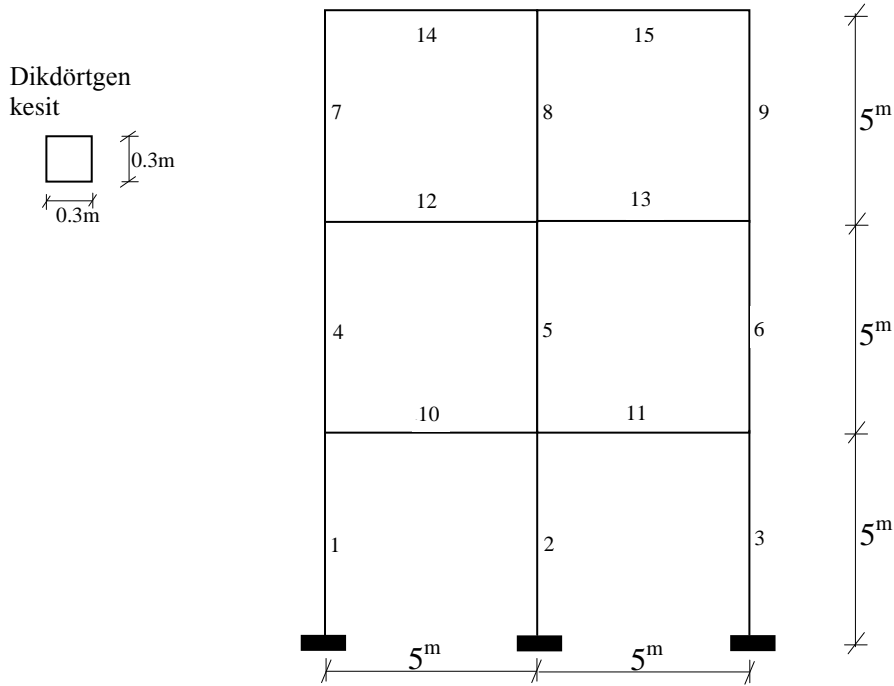
Şekil 68. Son iterasyondaki her bireyin eleman numaralarına göre elastisite modülü azaltma çarpanları

Şekil 67’de görüldüğü gibi toplam amaç fonksiyonu değeri 40. iterasyon adımında sıfır değerine eşittir. Buna göre güncellenen nümerik model ile hasarlı simülasyon modeli arasındaki fark Genetik Algoritma kullanılarak minimize edilmiştir. Bu sayede hasar senaryosundaki hasarlı elemanların yerleri ve hasar şiddetleri nümerik model üzerinde görülebilmektedir. Şekil 68’de son iterasyondaki her bir bireyde bulunan elemanların numaralarına göre elastisite modülü katsayıları (azaltma çarpanları)

görülebilmektedir. Şekil 68’de görüldüğü üzere 60 numaralı bireyde 3, 8 10 numaralı elemanlarda sırasıyla %20, %50 ve %30 hasarlar mevcuttur. Bu durum Şekil 68’de görüldüğü üzere diğer bireylerin çoğunda görülmektedir.

2.8.6.2. 15 Çubuklu Düzlem Çerçeve Sistem

15 çubuklu düzlem çerçeve sistem Şekil 69’da gösterilmiştir.



Şekil 69. 15 çubuklu düzlem çerçeve sistem

Örnek için ele alınan tasarım parametreleri $E=3200 \text{ kN/cm}^2$, $\rho=2.5 \text{ ton/m}^3$ dir. Tüm elemanlar için dikdörtgen kesit ($b \cdot h=0.3\text{m} \cdot 0.3\text{m}$) seçilmiştir. Hasar senaryosu olarak 2 numaralı elemanda %50'lik ve 6 numaralı elemanda %75'lik hasarlar senaryo edilmiştir. Bu örnekte çözüm için 8 farklı azaltma çarpanı (0.1, 0.25, 0.35, 0.5, 0.6, 0.75, 0.85 ve 1.0) kullanılmıştır. Bu örneğin çözümü 3 farklı amaç fonksiyonu türüne göre gerçekleştirilmiştir.

Bu amaç fonksiyonları;

- İlk dört doğal frekans değeri ve mod vektörlerine göre,

- Sadece ilk beş doğal frekans değerine göre,
- Sadece altı doğal frekans değerine göre,

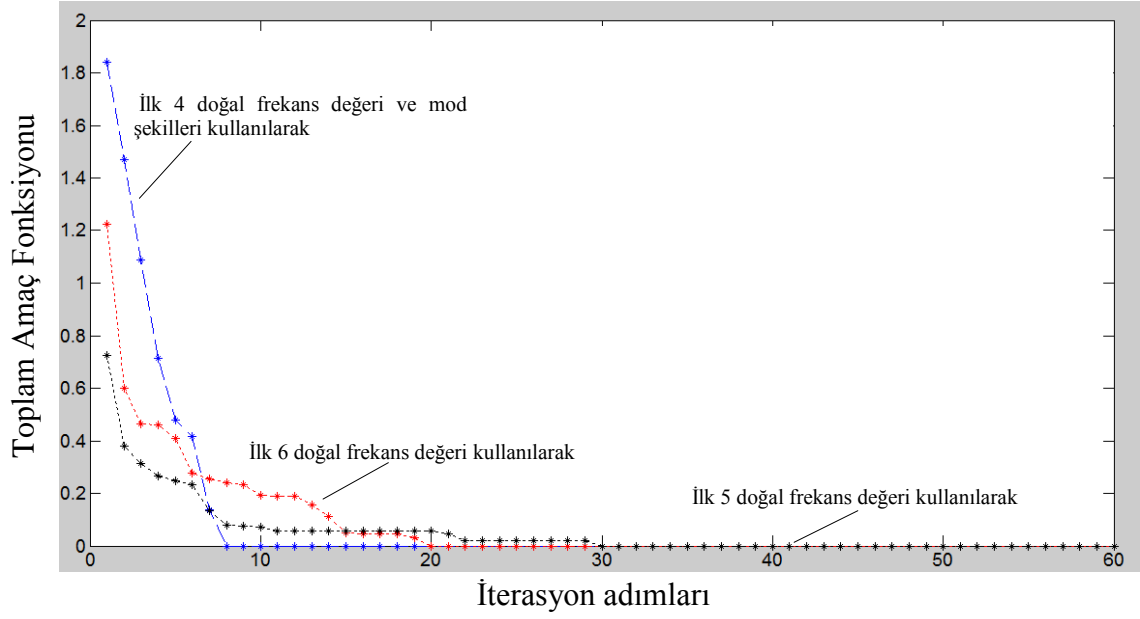
Genetik Algoritma analiz sonuçları Şekil 70 ve 71’de gösterilmiştir. Şekil 70’de her üç farklı toplam amaç fonksiyonun iterasyon adımları ile değişimleri verilmiştir. Şekil 71’de ilk dört doğal frekans değeri ve mod şekillerine göre son iterasyon adımında her bireydeki eleman numaralarına göre azaltma çarpanları sunulmuştur.

Bu çalışmada ayrıca sadece ilk dört doğal frekans değerine göre yapılan analizlerde çözüm elde edilememiştir. Bu örneğin çözümünde hasarlı modele ait gerekli dinamik veriler Tablo 28’de gösterildiği gibi SAP2000 programı ile elde edilmiştir. Tablo 28’de ayrıca hasarsız modele ait SAP2000 ve MATLAB sonuçları da gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi hasarsız modele ait SAP2000 ve MATLAB sonuçları arasındaki fark oldukça azdır.

Tablo 28. Çerçeve sistemin hasarlı ve hasarsız modellerine ait doğal frekans değerleri (Hz)

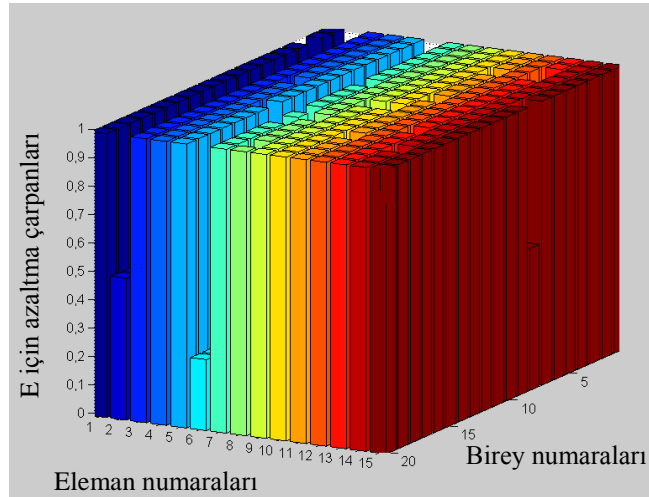
Mod	SAP2000		MATLAB	Rölatif hata % $ (a-b)/a * 100$
	Hasarsız durum (Hz) (a)	Hasarlı durum 2 numaralı elemanda %50 hasar + 6 numaralı elemanda %75hasar	Hasarsız durum (Hz) (b)	
1	1.8199	1.7016	1.8293	0.517
2	5.5702	5.2369	5.5973	0.487
3	9.0082	8.1311	9.0546	0.515
4	38.982	30.903	38.9754	0.017
5	45.803	31.799	45.7874	0.034
6	45.929	45.861	45.9205	0.019

Şekil 70’de görüldüğü gibi ilk 4 doğal frekans değerleri ve mod vektörlerine göre hesaplanan toplam amaç fonksiyona ait başlangıç değeri 1.8-2.0 arasında olmasına rağmen çözüm yaklaşık 10. iterasyon adımında gerçekleşmektedir. Bu çözümde toplam 8 adet amaç fonksiyonu kullanılmakta ve bu amaç fonksiyonları mod vektörleri ve doğal frekans değerlerinden elde edilmektedir. Ayrıca, Şekil 70’de görüldüğü gibi sadece ilk 5 doğal frekans değerine göre yapılan çözümde başlangıç değeri 0.6-08 civarında olmasına rağmen çözüme en son ulaşılabilmiştir (30. iterasyon adımında). Bunun nedeni toplam amaç fonksiyonunun sadece doğal frekans değeri içeren 5 adet amaç fonksiyonundan oluşmasıdır.



Şekil 70. Hasarlı durum için 3 farklı toplam amaç fonksiyonun iterasyon adımlarına göre değişimleri

Şekil 71’de görüldüğü gibi son iterasyondaki 20 numaralı bireyde bazı elemanların elastisite modülü azaltma çarpanları 1.00 değildir. Buna göre bu şekilde 2 numaralı elemanda %50 ve 6 numaralı elemanda %75 hasarlar görülmektedir. Ayrıca bu durum Şekil 71’deki diğer bireylerin çoğunda da aynıdır.



Şekil 71. Son iterasyondaki her bireyin eleman numaralarına göre elastisite modülü azaltma çarpanları

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu doktora tez çalışmasında, genetik algoritma yöntemi ile farklı birçok çelik sistemin optimizasyonu araştırılmıştır. İlk olarak Genetik Algoritma yönteminin aşamaları ve boyutlandırmalarda kullanılacak sınırlayıcılar detaylı bir şekilde (farklı yönetmelikleri de kapsayacak şekilde; TS 648, AISC-LRFD, AISC-ASD) incelenmiştir. Bunun yanı sıra birbirlerinden oldukça farklı örnekler çözülerek elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur. Geleneksel sınırlayıcıların yanı sıra dinamik sınırlayıcıların boyutlandırma sonuçlarını ne derece etkileyebileceği araştırılmıştır. Boyutlandırma optimizasyonlarında ayrıca çelik kiriş profilin üzerindeki beton plak hesaba dahil edilerek kirişin basınç başlığında bulunan betonun dayanımından yararlanılması ve dolayısıyla daha hafif çerçeve elde edilmesi düşünülmüştür. Tüm bu optimizasyonlar için MATLAB program dilinde program geliştirilmiştir. Geliştirilen bu program sayesinde ele alınan çelik sistemlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile statik ve dinamik analizleri yürütülerek optimum boyutlandırmalar elde edilmiştir. Bu çalışmada çözülen örneklerden elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca sunulmuştur;

1. Kompozit kirişli çelik sistemlerin geleneksel sınırlayıcılara göre genetik algoritma ile optimizasyonuna ilişkin örnekler olarak tek açıklı tek katlı basit çerçeve sistem ve 21 çubuklu çerçeve sistem kompozit kirişli ve kompozitsiz durumlar için optimum boyutlandırılmıştır. Kompozitsiz durumlar için elde edilen boyutlandırma sonuçları literatür veya SAP2000 sonuçları ile tablolar halinde karşılaştırılmış ve oldukça yakın oldukları görülmüştür. Bununla birlikte kompozit kirişli durumuna ait sonuçlar kompozitsiz durumuna ait sonuçlar ile karşılaştırıldığında toplam çelik ağırlığının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür.
2. Çok katlı kompozit kirişli çelik çerçevelerin dinamik sınırlayıcı genetik algoritma ile optimizasyonuna ilişkin örnekler olarak tek açıklıklı beş katlı çerçeve, altı katlı, iki açıklıklı çerçeve ve on katlı, üç açıklıklı çelik çerçeve sistemler kompozit kirişli ve kompozitsiz durumlar için geleneksel sınırlayıcıların (TS 648 gerilme sınırlayıcıları, yer değiştirme sınırlayıcıları) yanı sıra dinamik sınırlayıcılar ile çözülmüştür. Literatür örnekleri olan ikinci ve üçüncü örneklerde etkili kolon uzunluk faktörü katsayısı, K , 1.2 gibi sabit bir değer kabul edilmiştir. Bu çalışmada ise yanal deplasmanın mümkün olduğu çerçeveler için bağıntı (29) ile gerçek K değerleri

hesaplanarak çerçeve kolon çubuklarının burkulma boyları bulunmuştur. Bu bölümdeki ilk örnekte optimum boyutlandırma sonuçlarına bakıldığında geleneksel sınırlayıcılara göre kompozit kirişli durumu için yapılan çözümde toplam ağırlığın %15 civarında azaldığı, maksimum yer değiştirme değerinin %7 civarında azaldığı ve maksimum K değerinin 1.5 den 1.4'e düştüğü gözlenmiştir. Daha sonra bu kompozit kirişli çözüme ait doğal frekans değerindeki %3 civarındaki bir artışın dinamik sınırlayıcı olarak işleme dahil edilmesi ile toplam çelik ağırlığında %9 civarında bir artışa neden olduğu görülmüştür. Ayrıca bu bölümdeki ikinci ve üçüncü örneklerde kompozit kirişli duruma ait çözümlerde toplam çelik ağırlıklarının sırasıyla %4.7 ve %11 azaldıkları gözlenmiştir.

3. Tam rijit ankastre mesnetli, yarı rijit kiriş-kolon birleşimli kompozit kirişli düzlem çerçevelerin optimizasyonuna ilişkin örnekler olarak dokuz katlı tek açıklıklı çerçeve sistem ve on katlı dört açıklıklı çerçeve sistem olarak iki literatür örneği gerilme, maksimum yanal yer değiştirme, kolon-kolon ve kolon-kiriş geometrik sınırlayıcıları dikkate alınarak çözülmüştür. Bu bölümde ilk örnekte kompozitsiz durumuna ait tam rijit birleşimli çerçevenin diğer yarı rijit birleşimli çözümlere göre optimum boyutlandırma ağırlığı %16 ve %12.6 daha hafiftir. Bu değerler ikinci örnek için %5 ve %2.6 dir. Her iki örnekte de tam rijit ve yarı rijit birleşimli tüm çerçevelerin çözümlerinde kompozit kirişli durumuna ait sonuçların kompozitsiz duruma göre %8-14 daha hafif oldukları görülmüştür. Ayrıca maksimum yer değiştirme değerlerinin de %20 civarında azaldığı gözlenmiştir.
4. Yarı rijit kolon-temel ve yarı rijit kiriş-kolon birleşimli kompozit kirişli düzlem çerçevelerin optimizasyonuna ilişkin örnekler olarak beş katlı iki açıklıklı çerçeve sistem, on katlı tek açıklıklı çerçeve sistem ve yirmi katlı üç açıklıklı çerçeve sistem AISC-ASD'ye göre gerilme sınırlayıcıları, maksimum yanal yer değiştirme sınırlayıcıları, kolon-kolon ve kolon-kiriş geometrik sınırlayıcıları kullanılarak çözülmüştür. Bu bölümdeki ilk iki örnek literatürde kompozitsiz durum için daha önceden çözülmüştür. Bu çalışmada kompozitsiz durum için elde edilen sonuçlar literatür sonuçlarına oldukça yakındır. Bununla birlikte kompozitli durumuna ait sonuçların %5-8 daha hafif oldukları gözlenmiştir.
5. Uzak çelik çerçevelerin optimizasyonuna ilişkin örnekler olarak AISC-LRFD gerilme sınırlayıcılarına ve diğer sınırlayıcılara göre literatürden alınan tek açıklıklı, tek katlı uzay çerçeve sistem, iki katlı 21 elemanlı uzay çerçeve sistem ve dört katlı

84 elemanlı uzay çerçeve sistem çözülmüştür. Her üç örnekte de kompozitsiz durum için elde edilen sonuçların literatür sonuçları ile oldukça paralel olduğu ve kompozit kirişli durum için elde edilen toplam çelik ağırlıklarının %14-20 daha hafif olduğu görülmüştür.

6. Ayrıca uzay çelik çerçevelerin optimizasyonuna ilişkin örnekler olarak literatürden alınan diğer üç farklı uzay çerçeve sistemin optimum boyutlandırmaları TS 648'e göre gerilme, yer değiştirme ve geometrik boyutlar gibi geleneksel sınırlayıcıların yanı sıra yapıya ait doğal frekans değerleri gibi dinamik sınırlayıcılar için yapılmıştır. Her üç örnekte de geleneksel sınırlayıcılara göre elde edilen sonuçlar literatür sonuçları ile oldukça benzerdir. Ayrıca her üç örnekte de doğal frekans değerlerinde %3-6 civarında bir artışın dinamik sınırlayıcı olarak işleme dahil edilmesi ile toplam çelik ağırlığında %8-20 civarında artışa neden olduğu görülmüştür. Buna göre dinamik sınırlayıcıların boyutlandırmada oldukça önemli bir rol oynadığı anlaşılmıştır.
7. Uzay çelik çerçevelerin SAP2000-OAPI ile optimum boyutlandırılmasında literatürden alınan iki katlı 21 elemanlı uzay çerçeve sistem, dört katlı 84 elemanlı uzay çerçeve sistem ve 20 katlı 460 elemanlı uzay çerçeve sistem, AISC-LRFD gerilme sınırlayıcıları, maksimum yer değiştirme sınırlayıcıları, katlar arası maksimum yer değiştirme sınırlayıcıları, kolon-kolon ve kolon-kiriş geometrik sınırlayıcılar dikkate alınarak çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar literatür sonuçlarına oldukça yakındır. Ayrıca bu sonuçlar SAP2000-OAPI yönteminin optimum boyutlandırma için oldukça uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir.
8. Genetik Algoritma Optimizasyonu ile hasar tespiti için yapılan örnekler 15 parçaya bölünmüş basit kiriş ve 15 çubuklu düzlem çerçevedir. Ele alınan bu örneklerden ilki literatürden alınmıştır ve elde edilen sonuçlar literatür sonuçlarına oldukça yakındır. Her iki örnekte de senaryo edilen hasarlar Genetik Algoritma kullanılarak sonlu eleman modeli güncelleme yöntemi ile başarılı bir şekilde tespit edilebilmiştir.

Yapılan bütün bu çalışmalar ışığında bundan sonraki çalışmalar için şu hususlar önerilebilir:

- Genetik algoritma yöntemi aşamaları daha geliştirilebilir ya da diğer başka algoritma yöntemleri ile birlikte daha güçlü bir algoritma yöntemi elde edilebilir.

- Kompozit kirişli sistem çelik kiriş üzerinde yer alan beton döşeme ile modellenmiştir. Kiriş basınç başlığının veya tamamının, beton içine gömülü olma hali için çalışma geliştirilebilir.
- Yarı rijit birleşimli uzay çerçeve sistemlerin optimum boyutlandırmaları araştırılabilir.
- MATLAB-SAP2000 OAPI yöntemi ile çerçeve dışındaki diğer birçok yapı modelinin (asma köprüler, istinat duvarları vb.) analizleri yürütülebilir.

4. KAYNAKLAR

- AISC-ASD, 1989. Allowable Stress Design American Institute of Steel Construction, Chicago.
- AISC-LRFD, 2001. Manual of Steel Construction: Load and Resistance Factor Design, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- Aminifar, F., Aminifar, F.ve Nazarpour, D., 2013. Optimal Design of Truss Structures via an Augmented Genetic Algorithm, Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences, 37, 56 – 68.
- Armutçu M., 1997. Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Artar, M. ve Daloğlu, A., 2014. Çelik Sistemlerin Genetik Algoritma ile Dinamik Sınırlayıcı Optimizasyonu, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3,9-24.
- Artar, M. ve Daloğlu, A., 2015. Çok Katlı Kompozit Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma ile Dinamik Sınırlayıcı Optimizasyonu, Teknik Dergi, 434, 7077-7098.
- Aydın, Z., 1997. Düzlem Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile Minimum Ağırlıklı Boyutlandırılması, Bitirme Tezi, K.T.Ü., İnşaat Müh. Bölümü, Trabzon.
- Aydoğdu, İ. ve Saka, M.P., 2012. Ant Colony Optimization of Irregular Steel Frames Including Elemental Warping Effect, Advances in Engineering Software, 44, 150–169.
- Aydoğdu, İ., 2010. Optimum Design Of 3-D Irregular Steel Frames Using Ant Colony Optimization and Harmony Search Algorithms, Phd. Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Azad, S.K., Azad, S.K. ve Kulkarni, A.J., 2012. Structural Optimization Using A Mutation-Based Genetic Algorithm, International Journal of Optimization in Civil Engineering, 2, 81-101.
- Bekiroğlu, S., 2003. Genetik Algoritma ile Çelik Çerçevelerin Optimum Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Camp, C.V., Pezeshk, S. ve Hansson, H., 2003. Flexural Design of Reinforced Concrete Frames Using A Genetic Algorithm, Journal of Structural Engineering-ASCE, 129,105-115.
- Coello, C.C., Hernandez, F.S. ve Farrera, F.A.,1997. Optimal Design of Reinforced Concrete Beams Using Genetic Algorithms, Expert Systems with Applications, 12, 101-108.

- Chen, S.Y. ve Rajan, S.D., 1999. Using Genetic Algorithm as An Automatic Structural Design Tool, Short Paper Proceedings of 3rd World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization, Buffalo, NY., 1, 263-265.
- Choi, S.H. ve Kim, S.E., 2006. Optimal Design of Semi-Rigid Steel Frames Using Practical Nonlinear Inelastic Analysis, Steel Structures, 6, 141-152.
- Chou, J.H. ve Ghaboussi, J., 2001. Genetic Algorithm in Structural Damage Detection, Computers and Structures, 79, 1335-1353.
- Daloğlu, A. ve Aydın, Z., 1999. Kafes Sistemlerin Uygulamaya Yönelik Optimum Tasarımı, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5,1, 951-957.
- Daloğlu, A. ve Armutcu M., 1998. Genetik Algoritma ile Düzlem Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı, Teknik Dergi, 116, 1601-1615.
- Deb, K. ve Gulati, S., 2001. Design of Truss-Structures for Minimum Weight Using Genetic Algorithms, Kanpur Genetic Algorithms Laboratory (KanGAL), Indian Institute of Technology, Kanpur, India, KanGAL Report No. 99001.
- Dede, T., 2003. Değer Kodlaması Kullanarak Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile Minimum Ağırlıklı Boyutlandırılması ,Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dede, T., Bekiroğlu, S. ve Ayvaz, Y., 2011. Weight Minimization of Trusses with Genetic Algorithm, Applied Soft Computing, 11, 2565–2575.
- Dede, T. ve Ayvaz, Y., 2013. Structural Optimization with Teaching Learning-Based Optimization Algorithm, Structural Engineering and Mechanics, 47, 495-511.
- Değertekin, S.Ö., Ülker, M. ve Hayalioğlu, M.S., 2006a. Uzay Çelik Çerçevelerin Tabu Arama ve Genetik Algoritma Yöntemleriyle Optimum Tasarımı, Teknik Dergi, 259, 3917-3934.
- Değertekin, S.Ö., Hayalioğlu, M.S. ve Ülker, M., 2006b. Optimum Design of Nonlinear Steel Space Frames via Tabu Search Method, Journal of Engineering and Natural Sciences- Sigma, 1, 117-128.
- Değertekin, S.Ö., 2007. A Comparison of Simulated Annealing and Genetic Algorithm for Optimum Design of Nonlinear Steel Space Frames, Structural and Multidisciplinary Optimization, 34, 347–359.
- Değertekin, S.Ö., Saka, M.P. ve Hayalioğlu, M.S., 2008. Optimal Load and Resistance Factor Design of Geometrically Nonlinear Steel Space Frames via Tabu Search and Genetic Algorithm, Engineering Structures, 30,197–205.

- Değertekin, S.Ö. ve Hayalioğlu, M.S., 2009. Optimum Design of Steel Space Frames: Tabu Search vs. Simulated Annealing and Genetic Algorithms, International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS), 1, 34-45.
- Değertekin, S.Ö. ve Hayalioğlu, M.S., 2010. Harmony Search Algorithm for Minimum Cost Design of Steel Frames with Semi-Rigid Connections and Column Bases, Structural and Multidisciplinary Optimization, 42, 755-768.
- Değertekin, S.Ö., Hayalioğlu, M.S. ve G6rg6n, H., 2009. Optimum Design of Geometrically Non-Linear Steel Frames with Semi-Rigid Connections Using A Harmony Search Algorithm, Steel and Composite Structures, 9, 535-555.
- Değertekin, S.Ö., Hayalioğlu, M.S. ve G6rg6n, H., 2011. Geometrik Bakımdan Lineer Olmayan Yarı-Rijit Birleşimli Çelik Çerçevelerin Gelişmiş Armoni Arama Yöntemiyle Optimum Tasarımı, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 2, 45-56.
- Deliktaş, B., Türker, H.T., Coşkun, H., Bikçe, M. ve Özdemir, E., 2005. Genetik Algoritma Parametrelerinin Betonarme Kiriş Tasarımı Üzerine Etkisi, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, Bildiriler Kitabı, 1524-1531.
- Dhillon, B.S. ve O'Malley, J.W. 1999. Interactive Design of Semirigid Steel Frames, Journal of Structural Engineering-ASCE, 125, 556-564.
- Doğan, E. 2010. Optimum Design of Rigid and Semi-Rigid Steel Sway Frames Including Soil- Structure Interaction, Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Dumonteil, P., 1992. Simple Equations for Effective Length Factors, Engineering Journal, AISC, 29, 111-115.
- Erbatur, F., Hasancebi, O., Tutuncu, I. ve Kılıc, H., 2000. Optimal Design of Planar and Space Structures with Genetic Algorithms, Computers and Structures, 75, 209-224.
- Esen, Y. ve Ülker, M., 2008. Malzeme ve Geometrik Özellikler Bakımdan Lineer Olmayan Çok Katlı Çelik Uzay Çerçevelerin Optimizasyonu, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 485-494.
- Erdoğan, Y.S., 2007. Genetik Algoritmalar Kullanılarak Sonlu Eleman Güncellemesi Yöntemiyle Hasar Tespiti ve Parametre Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ewins, D. J., 1984. Modal Testing: Theory and Practice, Wiley, New York.
- Fang, S.E., Perera, R. ve Roeck G.D., 2008. Damage Identification of a Reinforced Concrete Frame by Finite Element Model Updating Using Damage Parameterization, Journal of Sound and Vibration, 313, 544-559.

- Filho, M.S., Guimaraes, M.J.R., Sahlit, C.L. ve Brito, J.L.V., 2004. Wind Pressures in Framed Structures with Semi-Rigid Connections, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 26, 180-189.
- Gao, Y. ve Spencer, B.F.Jr., 2002. Damage Localization Under Ambient Vibration Using Changes in Flexibility, Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 1, 136–144.
- Gao, F. ve Lu, Y., 2009. An Acceleration Residual Generation Approach for Structural Damage Identification, Journal of Sound and Vibration, 319, 163–181.
- Ge, M. ve Lui, E.M., 2005. Structural Damage Identification Using System Dynamic Properties, Computers and Structures, 83, 2185–2196.
- Gero, M.B.P., Garcia, A.B. ve Diaz, J.J.D.C., 2006. Design Optimization of 3D Steel Structures: Genetic Algorithms vs. Classical Techniques, Journal of Constructional Steel Research, 62, 1303–1309.
- Goldberg, D.E., 1989. Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company, New York.
- Görgün, H. ve Yilmaz, S., 2012. Geometrically Nonlinear Analysis of Plane Frames with Semi-Rigid Connections Accounting for Shear Deformations, Structural Engineering and Mechanics, 44, 539-569.
- Guerra, A. ve Kioussis, P.D., 2006. Design Optimization of Reinforced Concrete Structures, Computers and Concrete, 3, 313-334.
- Günbay, S., 2005. Çelik-Beton Kompozit Enkesitli, Kirişlerin Gerilme ve Şekil Değişimlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Hadidi, A. ve Rafiee, A., 2014. Harmony Search Based, Improved Particle Swarm Optimizer for Minimum Cost Design of Semi-Rigid Steel Frames, Structural Engineering and Mechanics, 50, 323-347.
- Hayalioğlu, M.S., 2001. Optimum Load and Resistance Factor Design of Steel Space Frames Using Genetic Algorithm, Structural and Multidisciplinary Optimization, 21, 292–299.
- Hayalioğlu, M.S. ve Değertekin, S.Ö., 2004a. Design of Non-Linear Steel Frames for Stress and Displacement Constraints with Semi-Rigid Connections via Genetic Optimization, Structural and Multidisciplinary Optimization, 27, 259–271.
- Hayalioğlu, M.S. ve Değertekin, S.Ö., 2004b. Genetic Algorithm Based Optimum Design of Non-Linear Steel Frames with Semi-Rigid Connections, Steel and Composite Structures, 4, 453-469.

- Hayalioğlu, M.S. ve Değertekin, S.Ö., 2005a. Minimum Cost Design of Steel Frames with Semi-Rigid Connections and Column Bases via Genetic Optimization, Computers and Structures, 83, 1849-1863.
- Hayalioğlu, M.S. ve Değertekin, S.Ö., 2005b. Çelik Uzaysal Çerçeve Yapıların Optimum Tasarımı, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya, Bildiriler Kitabı, 22 Eylül 2005.
- Hussein, G. ve Taysi, N., 2013. Genetic Algorithm Optimization of Space Frame, 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE, Epoka University, Tirana, Albania.
- Ismail, M.A., 2007. Design Optimization of Structural Concrete Beams Using Genetic Algorithms, Master Thesis, Department of Civil Engineering, The Islamic University of Gaza, Gaza.
- Isenberg, J., Pereyra, V. ve Lawver, D., 2002. Optimal Design of Steel Frame Structures, Applied Numerical Mathematics, 40, 59–71.
- Jaishi, B. ve Ren W.X., 2006. Damage Detection by Finite Element Model Updating Using Modal Flexibility Residual, Journal of Sound and Vibration, 290, 369–387.
- Kameshki, E.S. ve Saka, M.P., 2001. Optimum Design of Nonlinear Steel Frames with Semi-Rigid Connections Using a Genetic Algorithm, Computers and Structures, 79, 1593–1604.
- Kaveh, A. ve Talatahari, S., 2007. A Discrete Particle Swarm Ant Colony Optimization for Design of Steel Frames, Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), 9, 563-575.
- Kaveh, A. ve Talatahari, S., 2012. A Hybrid CSS and PSO Algorithm for Optimal Design of Structures, Structural Engineering and Mechanics, 42, 783-797.
- Leps, M. ve Sejnoha, M., 2003. New Approach to Optimization of Reinforced Concrete Beams, Computers and Structures, 81, 1957–1966.
- Liu, H., Xin, K. ve Qi, Q., 2011. Study of Structural Damage Detection with Multi-Objective Function Genetic Algorithms, Procedia Engineering, 12, 80–86.
- Majumdar, A., Maiti, D.K. ve Maity, D., 2012. Damage Assessment of Truss Structures from Changes in Natural Frequencies Using Ant Colony Optimization, Applied Mathematics and Computation, 218, 9759–9772.
- Malekzehtab, H. ve Golafshani, A.A., 2013. Damage Detection in an Offshore Jacket Platform Using Genetic Algorithm Based Finite Element Model Updating with Noisy Modal Data, Procedia Engineering, 54, 480 – 490.
- MATLAB, 2009. The Language Of Technical Computing, The Mathworks Inc., Natick, MA.

- Perera, R. ve Torres, R., 2006. Structural Damage Detection via Modal Data with Genetic Algorithms, Journal of Structural Engineering-ASCE, 132, 1491–1501.
- Rafiee, A., Talatahari, S. ve Hadidi, A., 2013. Optimum Design Of Steel Frames with Semi-Rigid Connections Using Big Bang-Big Crunch Method, Steel and Composite Structures, 14, 431-451.
- Rajeev, S. ve Krishnamoorthy, C.S., 1992. Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms, Journal of Structural Engineering, ASCE, 118, 1233-1250.
- Reynolds, G.S., 2009. Genetic Optimisation of Structural Systems, Graduation Thesis, Department of Civil Engineering, The University of Glasgow, Glasgow.
- Ruiyi, S., Liangjin, G. ve Zijie, F., 2009. Truss Topology Optimization Using Genetic Algorithm with Individual Identification Technique, Proceedings of the World Congress on Engineering, London, U.K.
- Saka, M.P., 1991. Optimum Design of Steel Frames with Stability Constraints, Computers and Structures, 41, 1365-1377.
- Saka, M.P., 2009. Optimum Design of Steel Sway Frames to BS5950 Using Harmony Search Algorithm, Journal of Constructional Steel Research, 65, 36–43.
- SAP2000, 2008. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- Salajegheh, E., 2000. Optimum Design of Steel Space Frames with Frequency Constraints Using Three Point Rayleigh Quotient Approximation, Journal of Constructional Steel Research, 54, 305–313.
- Salmon C.G. ve Johnson J.E., 1980. Steel Structures-Design and Behavior Book, 2nd Edition, Harper&Row, New York.
- Sergeyev, O. ve Mroz, Z., 2000. Sensitivity Analysis and Optimal Design of 3D Frame Structures For Stress And Frequency Constraints, Computers and Structures, 75, 167-185.
- Simoës, L.M.C., 1996. Optimization of Frames with Semi Rigid Connections, Computers and Structures, 60, 531-539.
- Sousa F.L.D ve Takahashi W.K., 2005. Discrete Optimal Design Of Trusses By Generalized Extremal Optimization, 6th World Congresses of Structural and Multidisciplinary Optimization, Rio de Janeiro, Brazil.
- Tang, T. ve Xie, X., 2014. Structural Damage Identification Using Virtual Flexibility Matrix I :Simulation Verification, Solids and Structures (SAS), 3, 1-8.
- Taskınoğlu, E.E, 2006, A Genetic Algorithm for Structural Optimization, Yüksek Lisans Tezi, Middle East Technical University, Ankara.

- Teughels, A., Maeck, J. ve Roeck, G.D., 2002. Damage Assessment by FE Model Updating Using Damage Functions, Computers and Structures, 80, 1869–1879.
- Toğan, V. ve Daloğlu, A., 2006. Genetik Algoritma ile Üç Boyutlu Kafes Sistemlerin Şekil ve Boyut Optimizasyonu, Teknik Dergi, 251, 3809 -3825.
- Toğan, V. ve Daloğlu, A.T., 2008. An Improved Genetic Algorithm with Initial Population Strategy and Self-Adaptive Member Grouping, Computers and Structures, 86, 1204–1218.
- Toğan, V., Daloğlu, A.T. ve Karadeniz, H., 2011. Optimization of Trusses Under Uncertainties with Harmony Search, Structural Engineering and Mechanics, 37, 543-560.
- Toğan, V., 2012. Design of Planar Steel Frames Using Teaching–Learning Based Optimization, Engineering Structures, 34, 225–232.
- Tong, W.H. ve Liu, G.R., 2001. An Optimization Procedure for Truss Structures with Discrete Design Variables and Dynamic Constraints, Computers and Structures, 79, 155-162.
- Topçu, A., 2013. Bilgisayar Destekli Nümerik Analiz Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 202 s.
- TS 648, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 498, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turgut, P., Gümüşçü, M. ve Arslan A., 2002. Genetik Algoritmalar ve Çalışma Prensipleri, GAP IV. Mühendislik Kongresi, Şanlıurfa, Bildiriler Kitabı, 1173-1179.
- Uniform Building Code, 1997. International Conference of Building Officials, Whittier, California.
- Wang, J.F. ve Li, G.Q., 2007. Stability Analysis of Semi-Rigid Composite Frames, Steel and Composite Structures, 7, 119-133.
- Wang, X., Hu, N., Fukunaga, H. ve Yao, Z.H., 2001. Structural Damage Identification Using Static Test Data and Changes in Frequencies, Engineering Structures, 23, 610–621.
- Wu, J.R. ve Li, Q.S., 2006. Structural Parameter Identification and Damage Detection for A Steel Structure Using A Two-Stage Finite Element Model Updating Method, Journal of Constructional Steel Research, 62, 231–239.

- Yoshioka, T., Takahashi, M., Yamaguchi, H. ve Matsumoto, Y., 2011. Damage Assessment of Truss Diagonal Members Based on Frequency Changes in Local Higher Modes, Procedia Engineering, 14, 3119–3126.
- Zarate, B.A. ve Caicedo, J.M., 2008. Finite Element Model Updating: Multiple Alternatives, Engineering Structures, 30, 3724-3730.

ÖZGEÇMİŞ

Musa ARTAR, 1981 yılında Almanya’da doğdu. İlköğrenimini 1986-1989 yılları arasında Bayburt Merkezde ve 1989-1991 yılları arasında İstanbul Pendik ilçesinde, ortaokul ve lise eğitimini 1991-1997 yılları arasında yine İstanbul Pendik’te tamamladı. 1997 yılında girdiği İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2002 yılında başarı ile mezun oldu. Aynı yıl Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı ve 2006 yılında başarı ile mezun oldu. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı’nda doktora programına başladı. İyi derecede İngilizce bilen Musa ARTAR evli ve bir çocuk babası olup, halen Bayburt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Öğretim Görevlisi olarak ders vermektedir.

Yayınlar:

1. Artar, M., Daloğlu, A.T., Optimum Design of Steel Space Frames with Composite Beams Using Genetic Algorithm, Steel and Composite Structures, 2015 (SCI Expanded). (kabul edildi)
2. Artar, M., Daloğlu, A.T., Optimum Design of Steel Frames with Semi-Rigid Connections and Composite Beams, Structural Engineering and Mechanics, 55, 299-313, 2015 (SCI Expanded).
3. Artar, M., Daloğlu, A.T., Optimum Design of Composite Steel Frames with Semi-Rigid Connections and Column Bases via Genetic Algorithm, Steel and Composite Structures, 2015 (SCI Expanded). (kabul edildi)
4. Artar, M., Daloğlu, A., Çok Katlı Kompozit Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma ile Dinamik Sınırlayıcı Optimizasyonu, İMO Teknik Dergi, 434, 7077-7098, 2015 (SCI Expanded).
5. Daloğlu, A.T., Artar, M., Özgan, K., Karakas A.İ., Optimum Design of Steel Space Frames Including Soil-Structure Interaction, Structural and Multidisciplinary Optimization, 2015 (SCI Expanded). (hakem incelemesinde)
6. Artar, M. ve Daloğlu, A.T., Damage Detection in Simulated Space Frames Using Genetic Algorithms, Sigma-Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 33, 166-187, 2015.
7. Artar, M. ve Daloğlu, A., 2014. Çelik Sistemlerin Genetik Algoritma ile Dinamik Sınırlayıcı Optimizasyonu, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3, 9-24, 2014.
8. Daloğlu, A.T., Artar, M., Özgan, K., Karakas A.İ., Yapı-Zemin Etkileşimini İçeren Uzay Çelik Çerçevelerde Optimum Boyutlandırma, 19. Ulusal Mekanik Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Ağustos 2015, Trabzon.
9. Artar, M., Daloğlu, A.T., Yarı-Rijit Bağlı Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma Kullanılarak Optimum Boyutlandırılması, 19. Ulusal Mekanik Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Ağustos 2015, Trabzon.