

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ÇERÇEVE SİSTEMLERİN SEZGİSEL ALGORİTMA TEKNİKLERİYLE
OPTİMUM TASARIMI**

Erkin EREN
Yüksek Lisans Tezi

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Mekanik Bilim Dalı

ŞUBAT, 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekanik Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**ÇERÇEVE SİSTEMLERİN SEZGİSEL ALGORİTMA
TEKNİKLERİYLE OPTİMUM TASARIMI**

Tez Yazarı
Erkin EREN

Danışman
Prof. Dr. Mehmet ÜLKER

ŞUBAT, 2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Çerçeve Sistemlerin Sezgisel Algoritma Teknikleriyle Optimum Tasarımı
Yazarı:	Erkin EREN
İlk Teslim Tarihi:	28.12.2021
Savunma Tarihi:	03.02.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Mehmet ÜLKER Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	İmza Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Ömer KELEŞOĞLU Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Esen EREN Turgut Özal Üniversitesi, Darende MYO	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Çerçeve Sistemlerin Sezgisel Algoritma Teknikleriyle Optimum Tasarımı” yüksek lisans tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

03.02.2022

Erkin EREN



ÖNSÖZ

Yapı tasarımlarının optimizasyonu, inşaat mühendisliğinin temel konularından biri olup geliştirilmesi gereken bir konudur. Bu konu üzerine pek çok çalışma ve proje hayata geçirilmiş ve pek çokları da hala devam etmektedir.

Süreç boyunca bana danışmanlığı ve insaniyetiyle destek olan danışman hocam Prof. Dr. Mehmet ÜLKER'e gönülden teşekkür ederim. En zor anlarımda bile yanımda oldukları için anneme, babama, kız kardeşlerime ve daha nicelerine en içten teşekkürlerimle...

Yüksek lisans eğitimim süresince, 2210-A protokol numaralı Genel Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı ile beni destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkürü borç bilirim.

Erkin EREN

ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
EKLER LİSTESİ	xi
SİMGELER	xii
KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. TAŞIYICI SİSTEMLER VE YAPISAL OPTİMİZASYON	9
2.1. Yapısal Çelik ve Çelik Yapılar	9
2.2. Çerçeve Sistemler	12
3. YAPISAL OPTİMİZASYON VE SEZGİSEL ALGORİTMALAR	13
3.1. Yapı Mühendisliği ve Yapısal Optimizasyon	13
3.2. Sezgisel Algoritmalar	14
3.3. Genetik Algoritma	16
3.4. Genetik Algoritma Bileşenleri	16
3.4.1. Amaç Fonksiyonu	16
3.4.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması	17
3.4.3. Uygunluk Kriteri	17
3.4.4. Tekrar Üreme Operatörü	18
3.4.5. Çaprazlama Operatörü	19
3.4.6. Mutasyon Operatörü	19
3.4.7. Kontrol Parametreleri	20
3.5. Çerçeve Sistemler için Genetik Algoritmanın Uygulanması	20
3.6. SAP2000 OAPI	23
4. TASARIM ESASLARI	27
4.1. Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)	27
4.2. Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT)	27
4.3. Malzeme	28
4.4. Kesit Özellikleri	28

4.5. Çekme Çubuklarının Tasarımı	30
4.6. Stabilite Tasarımı	31
4.6.1. Yaklaşık İkinci Mertebe Analizi	32
4.6.3. Burkulma Yöntemi İle Tasarım	34
4.7. Basınç Çubuklarının Tasarımı	35
4.8. Eğilme Etkisindeki Elemanların Tasarımı	37
4.9. Kesme Kuvvet Etkisindeki Elemanların Tasarımı	40
4.10. Kullanılabilirlik Sınırlayıcıları	42
5. SAYISAL ÇALIŞMA VE BULGULAR	43
5.2. İki Açıklıklı Altı Katlı Çelik Çerçeve Tasarımı	43
5.3. Üç Açıklıklı On Katlı Çelik Çerçeve Tasarımı	46
6. SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR	50
EKLER	52
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Çerçeve Sistemlerin Sezgisel Algoritma Teknikleriyle Optimum Tasarımı

Erkin EREN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Şubat 2022, Sayfa xv+58

Yapısal optimizasyon günümüz şartları göz önünde bulundurulduğunda üzerinde durulması gereken bir konudur. Yapılar tasarlanırken birçok parametrenin olması optimum tasarımın önemini arttırmıştır. Optimum tasarım ise güvenlik, maliyet, sürdürülebilirlik ve estetik faktörlerini desteklemelidir. Literatür incelendiğinde optimum tasarımı elde etmek amacıyla birçok metot denenmiştir. Klasik metotların yanında bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle yapay zekâ ve sezgisel algoritmaların kullanımı giderek artmıştır.

Tez çalışması, çelik malzemeli çerçeve sistemlerin kesit optimizasyon tasarımı üzerinedir. Bu amaç doğrultusunda “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına dair Yönetmelik, 2016” esas alınmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan kod tasarımıyla, çerçeve sistemdeki her eleman, tasarım sınırlayıcılarını sağlarken kesit havuzundan seçim yapması amaçlanmıştır. Tasarım problemi olarak iki açıklıklı, altı katlı ve otuz elemanlı çerçeve sistem ile birlikte üç açıklıklı, on katlı ve yetmiş elemanlı çerçeve sistem, SAP2000 programı kullanılarak tasarlanmıştır. Ayrıca sezgisel algoritmalar incelenmiş ve genetik algoritma kullanımı üzerinde durulmuştur. SAP2000 programının içeriği olan The Open Application Programming Interface (OAPI) bağlantısı ve sağladığı imkânlar hazır kaynaklı bir model tasarımına yardım etmektedir. Böylece VB.Net ortamında, SAP2000 OAPI bağlantısı sağlanmış ve sistem analiz verilerinin akışı sağlanmıştır. Sağlanan veri akışıyla genetik algoritma yapısı, optimizasyon algoritması yazılımına adapte edilmiş ve analizler yapılmıştır.

Sonuç olarak kullanılan modellere ait optimum kesitler ve kütle-zaman grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, SAP2000 programı tasarım menüsü sonuçları ve literatür sonuçlarıyla kıyaslanarak kullanılan yöntemin uygunluğu tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çerçeve Sistemler, Optimizasyon, Sezgisel Algoritma, SAP2000, OAPI

ABSTRACT

Optimum Design of Frame Systems with Heuristic Algorithm Techniques

Erkin EREN

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering
February 2022, Page xv+58

Structural optimization is an important issue to focus on when considering today's conditions. The fact that there are many parameters while designing the structures has increased the importance of optimum design. The optimum design should support the factors of safety, cost, sustainability and aesthetics. When the literature is examined, many methods have been tried in order to obtain the optimal design. With the development of computer technologies in addition to classical methods, the use of artificial intelligence and heuristic algorithms has gradually increased.

The thesis is on the section optimization design of steel frame systems. For this purpose, “the 2016 Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures” has been taken into account. With the code design created within the scope of the study, it is aimed that each element in the frame system selects from the section pool while providing the design constraints. As a design problem, a two-span, six-storey and thirty-element frame system and a three-span, ten-storey and seventy-element frame system were designed using the SAP2000 program. In addition, heuristic algorithms have been studied and the use of genetic algorithms has been focused on. The Open Application Programming Interface (OAPI) connection, which is the content of the SAP2000 program, and the facilities it provides help design a ready-made source model. Thus, in the VB.Net, SAP2000 OAPI connection was provided and the flow of system analysis data was provided. With the provided data flow, the genetic algorithm structure was adapted to the optimization algorithm software and analyzes were performed.

As a result, the optimal cross sections and the mass-time graphs of the models used were obtained. The obtained results were compared with the SAP2000 program design menu results and the literature results, and the suitability of the method used was discussed.

Keywords: Frame Systems, Optimization, Heuristic Algorithm, SAP2000, OAPI

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Çelik sınıfları için gerilme – şekil değiştirme ilişkisi.....	10
Şekil 2.2.	Taşıyıcı Sistem Analizleri.....	11
Şekil 2.3.	Çerçeve sistem imal edilen ofis binası.....	12
Şekil 3.1.	Tasarım Konfigürasyonları için Değerlendirme	14
Şekil 3.2.	Rulet Çarkı Temsili	18
Şekil 3.3.	Tek Noktalı Çaprazlama Operasyonu.....	19
Şekil 3.4.	Mutasyon Operatörü	19
Şekil 3.5.	Genetik Algoritma ve OAPI akış diyagramı.....	22
Şekil 3.6.	Yapı Analizinde SAP2000 OAPI bağlantısı	24
Şekil 4.1.	ÇYTHY'ye göre ikinci merteye etkiler.....	32
Şekil 4.2.	Yanal öteleme önlenmiş sistemlerde burkulma boyu katsayısı.....	34
Şekil 4.3.	Yanal öteleme önlenmemiş sistemlerde burkulma boyu katsayısı	35
Şekil 4.4.	Eğilme Momentinin Basınç Bileşeni Etkisi için Tanımlar	38
Şekil 4.5.	Yerel burkulma sınır durumları.....	39
Şekil 4.6.	Efektif Kayma Alanı.....	41
Şekil 5.1.	İki Açıklıklı Altı Katlı Çelik Çerçeve.....	44
Şekil 5.2.	İki Açıklıklı Altı Katlı Çelik Çerçeve İterasyon Ağırlık Grafiği	44
Şekil 5.3.	İki Açıklıklı Altı Katlı Çelik Çerçeve Genetik Algoritma İterasyon Ağırlık Grafiği	45
Şekil 5.4.	Üç Açıklıklı On Katlı Çelik Çerçeve.....	46
Şekil 5.5.	Üç Açıklıklı On Katlı Çelik Çerçeve İterasyon Ağırlık Grafiği	47
Şekil 5.6.	Üç Açıklıklı On Katlı Çelik Çerçeve Genetik Algoritma İterasyon Ağırlık Grafiği	48

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Çeliklerin sınıflandırılması [23].....	9
Tablo 3.1. GA için önerilen kontrol parametreleri [33-35].....	20
Tablo 3.2. Araştırma Uzayını Oluşturan W Profillerin Tam Sayı Karşılanması.....	21
Tablo 3.3. SAP2000 OAPI kayıtlı dosya açılış komutları [31]	25
Tablo 3.4. Eleman analiz sonuçlarının Sap2000 OAPI ile çekilmesi [31].....	26
Tablo 3.5. Programa kesit verilerinin girilmesi ve bağlantısının koparılması [31]	26
Tablo 4.1. Yapısal Çelik Sınıfları [23].....	28
Tablo 4.3. Eğilme Momentinin Basınç Bileşim Etkisindeki En kesit Parçaları İçin Narinlik Oranları [23]	29
Tablo 4.4. Gerilme Düzensizliği Etki Katsayısı [23].....	31
Tablo 4.5. Burkulma boyu katsayıları [23]	36
Tablo 5.1 S355 çeliği malzeme özellikleri	43
Tablo 5.2. İki Açıklıklı Altı Katlı Çelik Çerçeve Tasarım Sonuçları	45
Tablo 5.3. Üç Açıklıklı On Katlı Çelik Çerçeve Tasarım Sonuçları	47

EKLER LİSTESİ

	Sayfa
Ek- 1. Basınçta Etkisinde I Ve U Profilleri Sınıflandırması	52
Ek- 2. Burkulma Boyu Katsayısı Hesabı Algoritma Şeması	53
Ek- 3. Yaklaşık İkinci Mertebe Analizi Hesabı	54
Ek- 4. Çekme Dayanımı Hesabı	55
Ek- 5. Basınçta Çalışan Elemanların Kontrolü	56
Ek- 6. Kesme Etkisindeki Elemanların Analiz.....	57
Ek- 7. Eğilme ve Basınç Etkisindeki, Tek ve Çift Simetri Eksenli Elemanların Analizi	58

SİMGELER

ϕ_b	: Basınç etkisi için dayanım katsayısı,(=0.90).
Ω_b	: Basınç etkisi için güvenlik katsayısı,(=1,67).
Ω_c	: Eğilme momenti etkisi için güvenlik katsayısı,(=1,67).
ρ	: Çeliğin özgül ağırlığını
ϕ_c	: Eğilme momenti etkisi için dayanım katsayısı,(=0.90).
λ_f	: En kesitin başlık parçası narinliği
M_n / Ω_b	: güvenli eğilme momenti dayanımı
λ_{pf}	: Kompakt başlık parçasının narinlik sınır değeri
λ_{rf}	: Kompakt olmayan başlık parçasının narinlik sınır değeri
$\phi_b M_n$	: tasarım eğilme momenti dayanımı
ϕ	: Dayanım katsayısı.
a	: Levhalar arası net uzaklık
Ae	: Etkin net en kesit alan(mm ²)
Afc	: Başlık basınç en kesit alanı
Aft	: Başlık çekme en kesit alanı
Ag	: Kayıpsız en kesit alan(mm ²)
A _g	: Kayıpsız en kesit alanı
A _i	: Eleman en kesitini
A _w	: Gövde alanı(=dtw)
b	: I- ve T-en kesitlerde başlık genişliğinin yarısı
B1	: Yataya ötelenmesi önlenmiş sistemin elemanlarındaki (P – δ) etkilerini göz önüne alan artırma katsayısı
B2	: Yataya ötelenmesi önlenmemiş sistemin elemanlarındaki (P – δ) etkilerini göz önüne alan artırma katsayısı
bf	: Başlık genişliği
bfc	: Gövde en kesit alanı
bft	: Gövde en kesit alanı
Cb	: Moment düzeltme katsayısı
C _m	: Eşdeğer sabit moment dönüştürme katsayısı
C _m	: Eşdeğer sabit moment dönüştürme katsayısı
C _{v1}	: Gövde kesme kuvveti dayanım katsayısı
C _{v2}	: Kayma etkisinde gövde burkulma katsayısı
C _{v2}	: Kayma etkisinde gövde burkulma katsayısı, h/t _w yerine b/t _f kullanılarak
C _w	: Çarpılma sabiti
d	: En kesit yüksekliği
E	: Deprem etkisi
E	: Çelik elastisite modül(200000MPa)

$E_c L_c$	: Kolon en kesiti eğilme rijitliği
$E_g L_g$	: Kiriş en kesiti eğilme rijitliği
E_I	: Azaltılmış rijitlik
E_I	: Azaltılmış rijitlik
F_{cr}	: Kritik burkulma gerilmesi
F_e	: Elastik burkulma gerilmesi
F_u	: Yapısal çelik karakteristik çekme gerilmesi
F_u	: Çekme gerilmesi
F_y	: Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
F_y	: Akma gerilmesi
F_y	: Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
G	: Sabit yük
h	: Bölüm 0'e göre belirlenmiş en kesit ölçüsü
H	: Kat kesme kuvveti
h	: Net yükseklik
h_0	: En kesit başlıklarının ağırlık merkezleri arası uzaklık
I	: Elemanın eğilme düzlemindeki atalet momenti
I	: Elemanın eğilme düzlemindeki atalet momenti
I_y	: y-ekseni etrafında atalet momenti
i	: Atalet Yarıçapı
i_{ts}	: Etkin atalet momenti
i_y	: y-ekseni atalet momenti
J	: Burulma sabiti
K	: Burkulma boyu katsayısı
K_1	: Eğilme düzlemindeki burkulma katsayısı
K_1	: Eğilme düzlemindeki burkulma katsayısı
k_c	: Rijitleştirilmemiş narin elemanlar için katsayı
k_v	: Gövde levhası burkulma katsayısı
L	: Eleman boyu
L	: Eleman boyu
L	: Eleman boyu
L	: Kat yüksekliği
L_b	: Stabilitate bağlantısı ile desteklenmeyen elemen uzunluğu
L_c	: Eleman burkulma boyu (=KL)
L_c	: Kolon boyu
L_g	: Kiriş boyu
L_i	: Eleman uzunluğunu
L_p	: Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk
L_r	: Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma sınır uzunluk
M_{1t}	: Yapı sisteminde sadece yanal ötelenmesi sonucu, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında ilgili elemanda oluşan birinci mertebe eğilme momenti
M_A	: Yanal destekler arasındaki dörtte bir moment (N.mm)
M_B	: Yanal destekler arasındaki orta nokta moment (N.mm)
M_C	: Yanal destekler arasındaki dörtte üç moment (N.mm)
M_c	: Bölüm 0' a göre eğilme moment dayanımı
M_{max}	: Yanal destekler arasındaki maksimum moment (N.mm)
M_n	: Karakteristik eğilme momenti dayanımı

Mnt	: Yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe eğilme momenti
Mr	: YDKT ve GKT birleşimleri için eğilme moment dayanımı
Mr	: YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan ikinci mertebe etkileri içeren gerekli eğilme momenti dayanımı
nm	: Sistemdeki eleman sayısını
P1t	: Yapı sisteminde yatay yer değiştirmelerinden dolayı, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında ilgili elemanda oluşan birinci mertebe eksenel kuvvet
Pc	: Eksenel basınç kuvvet dayanımı
Pcl	: Eğilme düzlemindeki elastik burkulma yükü
Pcl	: Eğilme düzlemindeki elastik burkulma yükü
Pe,kat	: Kata etkilenen elastik burkulma yükü
Pkat	: YDKT veya KGT yük birleşimleri için söz konusu kata etkileyen düşey taşıyıcı yük
Pmf	: Moment aktaran çerçevelerde kat kolonlarına etkileyen düşey yük
Pnt	: Yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe eksenel kuvvet
Pr	: YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan ikinci mertebe etkileri içeren gerekli eksenel kuvvet dayanımı
Q	: Hareketli yük
Qr	: Çatı hareketli yükü
R	: Yağmur yükü
Ra	: GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım.
Rd	: Tasarım dayanımı ($= \phi R_n$)
Rg	: Güvenli dayanım ($= R_n / \Omega$).
RM	: Alan katsayısı
Rn	: Karakteristik dayanım.
Ru	: YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım.
S	: Kar yükü
tf	: Başlık kalınlığı
tt	: Gövde en kesit alanı
tw	: Gövde Kalınlığı
Vn	: Karakteristik kesme kuvvet dayanımı
W	: Rüzgar yükü
W(x)	: Çerçeve sistemin ağırlığını
Wex	: x-ekseni etrafında elastik mukavemet momenti
x	: Kuvvetli eksen gösteren alt indis
y	: Zayıf eksen gösteren alt indis
ΔH	: Birinci mertebe görelî kat ötelemesi
Ω	: Güvenlik katsayısı.

KISALTMALAR

AISC	: American Institute of Steel Construction
API	: The Open Application Programming Interface
ASD	: Allowable Stress Design
ÇÇS	: Çelik Çerçeve Sistemler
ÇYTHYİY	: Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği 2016
GA	: Genetik Algoritma
LRFD	: Load And Resistance Factor Design
MS-Studio	: Microsoft Studio 2017
OAPI	: The Open Application Programming Interface
SAP2000	: Structural Analysis Program
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TS 498	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS 648	: Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
VB	: Visual Basic

1. GİRİŞ

Yapı; konum, çevre faktörü, hayal gücü, malzeme vb. etkenler ile tasarım sürecinin sonunda ortaya çıkarılan üründür. Pek çok kullanım alanı için çeşitli özellikte bina tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Yapısal tasarım süreci pek çok çalışmanın ana oluşturmaktadır. Günümüzde modern yapı sistemlerinin; boyutların giderek artması, inşa edildikleri ekstrem durumlar vb. şartlar tasarımı giderek zorlaştırmaktadır. Bunlara ek olarak kullanılan malzemelerin tasarım özellikleri, yapı sistemlerin avantaj ve dezavantajları gibi durumlarda düşünüldüğünde, yapı tasarımı dikkatle yapılmalıdır. Tasarım dikkatle incelenmeli ve optimum şekilde yapılması gereken bir süreç haline getirmiştir. İyi tasarlanmayan yapılar; can kayıpları, imalat sürecinde malzeme ve dolaylı ekonomik kayıplara sebep olabilmektedir. İyi tasarlanmış bir yapı; insan hayatını koruyacak, ekonomik kayıpları azaltacak ve süreç yönetimini de kolaylaştıracaktır. . Bu sebeplerden dolayı yapısal optimizasyon sürekli gelişen ve önem arz etmektedir.

Bir yapının optimum tasarımı ise bilgisayar bilimi, buluşsal yöntemler, tasarım ve yaratıcı yapı mühendisliği kavramlarının süreç içinde bütünleştirildiği, disiplinler arası bir araştırma alanıdır. Yapı tasarlanırken var olan pek çok parametre sebebiyle optimum sonuca ulaşılması zorlaşmaktadır. Bu zorluğun atlatılabilmesi, sistemlerin kolaylıkla incelenmesi ve kontrolü büyük problem oluşturmakta ve tasarım yöntemlerinin giderek çeşitlenmesine sebep olmaktadır. Yapı optimizasyonu için optimizasyon metotları giderek ön plana çıkmış, klasik yöntemler pek çok şekilde kullanılmıştır. Ancak kullanılan klasik metotları problemin büyüklüğü ve çözüm süresi düşünüldüğünde optimum sonuçlara ulaşmayı zorlaştırmıştır. Bununla beraber sezgisel algoritma metotlarının kullanılması ise zaman geçtikçe ön plana çıkmaktadır. [1] Sezgisel algoritmalar ile ilgili çeşitli konularda çalışmalar bulunmakta, yapı tasarımı için kullanım oranı giderek artarken ve sürekli yeni metotlar geliştirilmektedir.

Tezin Amacı

Optimum yapısal tasarım, bilgisayar bilimi, buluşsal yöntemler, tasarım ve yaratıcı yapı mühendisliği kavramlarının süreç boyunca bütünleştirildiği ve dönüştürüldüğü, disiplinler arası bir araştırma alanıdır. Bu alanda yıllarca süren araştırmalardan sonra önemli miktarda bilgi üretilmiştir. Çalışmada akademide ve tasarım ofislerinde yaygın olarak kullanılan sonlu eleman modelli paket programlara; yapısal optimizasyon rutinlerini dahil ederek, uygulamalı yapısal tasarıma aktarmak amaçlanmaktadır. Günümüzde SAP2000 programı, en çok kullanılan sonlu elemanlar temelli analiz programlarından biridir. Programdan veri giriş-çıkışı, CSI Open Application Interface (OAPI) arabirimi sayesinde otomasyonel bir şekilde yapılabilir. SAP2000 üzerinde hazırlanacak sistemlerin; optimizasyon algoritmasına, OAPI arabirimi sayesinde veri kaynağı görevi görebilmektedir. Bu tez çalışmasının temel amacı, çerçeve sistemlerin optimum tasarımına hazır model tabanlı bir optimizasyon yaklaşımı sunmaktır.

Materyal ve Metot

Çalışma süresince; yapısal optimizasyon kavramı üzerine durulmuş ve tasarım probleminin çözümlenmesinde gerekli olan, yönetmelik tasarım esasları incelenmiştir. Çelik malzemelerin özellikleri ve çelik yapılar ile oluşturulan sistemler incelenmiş ve ilgili yönetmelik detayları irdelenmiştir. Bu çalışmaya konu olan çerçeve sistemlerin tasarımının; ülkemizde çelik yapıların tasarımı için kullanılan Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYEY) esasları doğrultusunda yapılması amaçlanmıştır. ÇYTHYEY, Amerikan Yapısal Çelik Binalar için Yönetmelik, AISC 360-16,(Specification for Structural Steel Buildings) başlıklı yönetmelik esasları düzenlenerek hazırlanmış, ulusal bir yönetmeliktir. Tasarım problemi çelik çerçeve sistem teşkil ettiğinden takip edilecek esaslar; ÇYTHYEY bölümlerinden alınmıştır. Tasarımda; Yük ve Dayanım Katsayıları (YDKT) ve Güvenlik Katsayıları (GKT) tasarımları ele alınmış, çözüm havuzunda kullanılacak I kesitli profiller için gerekli yönetmelik esasları kullanılmıştır. Tasarım optimizasyonu yapılabilmesi amacıyla sezgisel algoritmalar incelenmiş ve Genetik Algoritma(GA) yapısı detaylandırılmıştır.

Örnek olarak 30 ve 70 elemanlı çelik çerçeve sistemler literatürde [2] numaralı kaynaktan alınan ve genel olarak kullanılan bir sistemlerdir. Bu sistemlerin üzerine etki edecek yükleme tipleri yapı sistemlerinde sıkça karşılaşılabilecek genel yükleme durumlarına göre belirlenmiştir. Tasarımda kullanılan modeller SAP2000 programı üzerinde, program modelleme esaslarına göre hazırlanmıştır. SAP2000 OAPI dökümanı incelenerek gerekli bağlantıların yapılması ve veri akışının sağlanması üzerine çalışılmıştır.SAP2000 OAPI bağlantısı ile sağlanan veri akışı, sistem ile ilgili parametrelere kaynaklık etmesi amacı gütmektedir. Çalışmada; Microsoft Studio programlama arayüzü ve Visual Basic programlama dili kullanılarak, optimizasyon algoritması geliştirilmiş, sistemin ağırlıkça optimizasyonunu yapacak şekilde kodlanmıştır. Geliştirilen algoritma GA tabanlı olup, yönetmelik esasları sistem üzerinde işlenmiş, kesit sonuçları ve ağırlık-iterasyon tablolarına ait sonuçlar elde edilmiştir. Model üzerinde tekrar SAP2000 design menüsü tasarımı da yapılmış. Literatür çalışmalarından alınan tasarım sonuçları ve elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

Literatür Çalışması

Son yıllarda yapısal optimizasyona yönelik çalışmalar oldukça yaygın bir biçimde yapılmaktadır. Optimum yapı tasarımıyla mekanik ve dinamik sınırlayıcıları ile sınırlandırılan amaç fonksiyonunu problemin durumuna göre optimize ederek en iyi tasarım elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu kapsamda Çelik Çerçeve Sistemler ve Yapısal Optimizasyon hakkında bugüne kadar pek çok çalışma yapılmıştır.

Toropov ve Mahfouz [3], yapmış oldukları bu çalışmada değiştirilmiş genetik algoritmaya (GA) dayalı yapısal optimizasyon tekniğini sunmuşlardır. Teknik, yapısal çelik işçiliğinin ayrık tasarım optimizasyonunu ele almak için geliştirilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında, bir kolonun

etkin burkulma uzunluğunun belirlenmesinde kullanılan farklı yaklaşımların optimum tasarım üzerindeki etkisini tartışmışlardır. Gerçekçi çelik tasarım problemlerini göz önünde bulundurmak için, değiştirilmiş bir GA, sonlu elemanlar paketi ile etkileşime giren bir yapısal tasarım kuralları sistemine (İngiliz Standartları BS 5950 ve BS 6399) bağlanmıştır. Sonuç olarak ortaya çıkan tasarım optimizasyonunun, yapısal elemanların etkin burkulma uzunluğunun değerlendirilmesi için kullanılan belirli bir teknik seçiminden önemli ölçüde etkilendiği gösterilmiştir.

Baradaran ve Madhkhan [4] yapmış oldukları çalışmada, çelik çerçeve tasarımlarının optimizasyonu için oluşturulan ve Genetik Algoritmanın (GA)'nın değiştirilmiş bir versiyonunu (Geliştirilmiş Genetik Algoritma (GGA)) kullanmıştır. Bu algoritma popülasyon oluşturma, çaprazlama, mutasyon, değerlendirme ve seçim olmak üzere beş aşamadan oluşmuştur. Çerçeve analizleri için gerekli sınırlayıcılar LRFD yönetmeliğinden alınmıştır. Tasarım problemi olarak 10 ve 24 katlı çerçeve tasarımı yapılmıştır. MATLAB programlama dili ile yazılmış bir program kodlanarak; yapısal analiz, tasarım ve optimizasyon gerçekleştirmişlerdir. GGA'nın, çerçeve optimizasyonu için kullanılmasının hesaplama hacmini azalttığını ve yakınsama oranını arttırdığı görülmüştür. Birkaç yinelemede optimuma yakın ağırlıklara sahip çerçeve tasarımlarına ulaşılabileceği tespit edilmiştir.

Torregosa ve Kanok-Nukulchai [5], yapmış oldukları bu çalışmada, ayrık değişkenli tasarım problemlerde Genetik Algoritma (GA)'nın en iyi sonucu veren optimizasyon tekniği olduğunu belirtmiştir. Optimum kombinasyonun belirlenmesinde en uygun felsefenin hayatta kalma oluşu kullanılmıştır. GA optimizasyon prosedürü, farklı yük durumlarına maruz kalan çelik düzlem çerçevelerin ağırlık optimizasyonu için uygulanmış elik çerçevelerin toplam ağırlığını optimize etmek için hem seçkinci, hem de seçkinci olmayan arama prosedürleri kullanışlar. Kullanılan çaprazlama türleri yüzde 20 ve yüzde 50 tek tiptir. Popülasyon büyüklükleri 10, 20 ve 40 kullanılarak optimizasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Elitist arama prosedürü, daha hızlı yakınsama oranı nedeniyle daha yüksek popülasyon boyutları için elitist olmayan arama ile karşılaştırıldığında üstün sonuçlar gösterdi. Genetik algoritmaların performansını incelemek için, değişken gruplarla vaka çalışmaları yapılmış ve sonuçlar diğer optimizasyon tekniklerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Genetik optimizasyon, özellikle az değişken gruplaması olan problemlerde diğer tekniklere kıyasla üstün sonuçlar göstermiştir.

Bekiroğlu ve Ayvaz [6],Yapmış oldukları tez çalışmasında Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma (GA) ile Optimizasyon Tasarımı üzerine çalışmışlardır. GA'nın yapısal optimizasyonda varolan, kullanımı muhtemel bir yöntem olduğu ve tekniğin işleyişi hakkında bilgiler verilmiş ve literatürde sıkça kullanılan çerçeve sistem örnekleri üzerinde durmuşlardır. Tasarım probleminin çözümlenmesindeki amaçları minimum ağırlığı tespit etmek iken; bu amaç doğrultusunda gerilme, sehim, yer değiştirme ve geometrik etkenler gibi sınırlayıcılar kullanılmıştır. Bu sınırlayıcılarla dahil edildiği, Matris-Deplasman Metodu ile çalışan genetik algoritma tasarımı FORTRAN dili ile

kodlanmış ve çözümlenmiş bulunmaktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında GA'nın yapı tasarımındaki kullanımı için önerilerde bulunmuş ve yöntemin uygunluğu değerlendirilmiştir. Çalışma; GA'nın temel taşları olan başlangıç popülasyonu, çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerinin performansı etkilediğini gösteren kıyaslamalarda bulunmuştur. Yakınsama kriteri ile beraber ikinci bir bitirme kriterin gerekliliği anlatılmış ve bu durumun rastsal bir yöntem olan GA'nın sonuca ulaşabilmesini etkilediği çalışmanın içeriği dâhilindedir.

Hayalioğlu ve Değertekin yapmış oldukları çalışmada yarı rijit bağlantıya sahip lineer olmayan çelik çerçeveler için genetik algoritma tabanlı bir optimum tasarım yöntemini incelemişlerdir. [7]Tasarım algoritmasını, Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü (AISC) standartlarına dayanarak seçilen çelik kesitler için eleman ve bağlantı elemanlarının toplam maliyetlerinden oluşan minimum toplam maliyet esas alınarak geliştirmişlerdir. Optimizasyon yöntemi olarak reproduksiyon (reproduction) çaprazlama ve mutasyon uygulamalarını kullanan bir genetik algoritma kullanmışlardır. Çelik çerçevelerin tasarımında hem gerilme ve yer değiştirme için hem de kolon ve kirişlerin boyut sınırları için AISC standartlarında yer alan sınırlar dikkate alınmıştır. Çerçevelerin lineer olmayan analizlerinde $P-\Delta$ etkilerini ve kolon kiriş bağlantılarındaki lineer olmama durumlarını göz önünde bulundurmışlardır. Yarı rijit bağlantıların modeli için Frye ve Morris polinom modellerini kullanmışlardır. Kullanılan algoritmanın etkinliğini göstermek amacıyla rijit ve yarı rijit bağlantı türlerini kıyaslamışlardır. Yarı rijit bağlantı ile modellenen çerçevelerin daha ekonomik olduğunu belirlemelerine rağmen bu bağlantı türünün çerçevelerin salınımlarını artırdığını tespit etmişlerdir.

Usluoğulları ve Ülker [8], Yapmış oldukları tez çalışmasında optimizasyon yöntemlerinin aşamaları ve bu aşamalarda ki bazı kavramlar(Tasarım değişkenleri, amaç fonksiyonları vb.) üzerine durulmuştur. Çalışma bir yapı yüzeyinde daha düzgün gerilme formu oluşturup daha verimli bir oluşumu amaçlamaktadır. Bu amaçla beraber yeni geliştirilen metotlardan Evrimsel Yapı Optimizasyonu (ESO) incelenmiş ve bunun üzerine çalışılmıştır. Tasarım problemi, sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir program olan ANSYS'te modellenmiştir. İki çubuklu bir çerçeve yapı ve Mitchell kirişlerinden oluşan modelin ESO ile optimizasyonu sağlanmıştır. Sonuçların tayin edilmesi ve etkisi olmayan malzemenin çıkarılması sağlanmış ve optimum sonuçlar elde edilmiştir. Alınan sonuçlardan ESO yönteminin karmaşıklığından uzak ve anlaşılır bir yapısı olduğu görülmüş, uygulamanın kolaylığı ifade edilmiştir.

Saka [9] , yapmış olduğu çalışmada tasarım problemlerine çözüm bulmaya yönelik optimizasyon tekniklerindeki son gelişmelerin, çelik tasarımcılarına yeni yetenekler sağladığını söylemiştir. Çalışma sezgisel algoritmalar açısından temel teşkil etmektedir. Bu yeni optimizasyon teknikleri, karmaşık mühendislik problemlerini çözmek için yeni prosedürler geliştirmek için doğayı bir ilham kaynağı olarak kullanır. Çalışma da çeşitli sezgisel algoritma metotları incelemiş ve bunlarla ilgili açıklamalarda bulunulmuştur. Bu yeni tekniklerin kullanılmasıyla, çerçeve

elemanları için gereken optimum çelik bölümleri, mevcut ayrı bölüm listelerinden bulan yapısal optimizasyon yöntemleri geliştirmek mümkün olmuştur. Çerçeve sistemlerin maliyeti veya ağırlığı azalırken tasarım kodlarının dayattığı tasarım kısıtlamaları karşılanmış ve en az miktara indirgenmiştir. Ardından, doğal olarak esinlenilmiş hesaplama yöntemlerine dayanan en son yapısal optimizasyon algoritmalarını gözden geçirir. Çalışma kısıtlamaların çelik tasarım kodlarından uygulandığı çelik çerçeve optimizasyon probleminin formülasyonu tanıtmaktadır. 91 elemanlı çerçeve sistem BS5950 ve LRFD-ASD yönetmeliklerine göre tasarımı ele alınmıştır. Tavlama benzetimi, genetik ve harmoni algoritmaları ile optimize edilmiştir. Alınan sonuçlarda tavlama benzerimi algoritmasının, genetik algortima tasarımı ile LRFD' nin daha hafif sonuç verdiği görülmüştür.

Degertekin, Ülker ve Hayalioğlu, [10], yapmış oldukları bu çalışmada uzay çelik çerçeve sistemlerin optimum tasarımı üzerine durmuştur. 40 ve 64 elemandan oluşan iki adet çerçeve sistem modeli kullanılmış ve minimum ağırlık optimizasyonu amaçlanmıştır. Çalışmada 2 adet sezgisel algoritma metodu (Tabu Arama Algoritması ve Genetik Algoritması) karşımıza çıkmaktadır. Tabu arama algoritması çalışmanın ana konusu iken genetik algoritma kıyaslama amacıyla kodlanmıştır. Tasarım sınırlayıcıları olarak yanıl deplasmanlar, katlar arası öteleme, eksenel kuvvetler ve eğilme etkileri AISC_ASF yönetmeliğine göre uygulanmıştır. Alınan sonuçlarda tabu araştırmanın %11.1- %13.9 daha ekonomik sonuçlar elde ettiğı görülmüştür. İki yönteminde maksimum iterasyona ulaşmadığı ve yakınsama konusunda da hızlı bir biçimde çalıştıkları gösterilmiştir.

Şeker ve Aldemir [11], hazırladıkları tez çalışmasında Genetik Algoritma metodunu kullanarak düzlemsel çelik çerçevelerin en uygun değerinin tasarımı üzerinde durmuşlardır. Tez çalışmasında yapay zeka algoritmaları ile yapı tasarım problemlerinin çözümlenmesi ve bu gibi çalışmaların performansı yüksek oluşundan bahsedilmiştir. Bu kapsamda geliştirilen GA yapısında TS648 şartnamesinden almış oldukları stabilite, gerilme ve izin verilen öteleme sınırları kısıtlayıcı olarak kullanılmıştır. Çözümleme için MATLAB programında GA kodlanmış ve araştırma uzayı olarak standart W profilleri kullanılmıştır. İki boyutlu düzlem çerçeve sistemin uygun değer kesit alanları belirlenmiş ve GA'nın çalışma kapsamındaki nesil üretim başarısı tablolaştırılmıştır. GA'nın etkin kullanılabilmesi için çözüm kümesi ve topluluk büyüklüğünün, uygunluk kriterinin hassasiyetin ve çözüme ulaşma hızı söz konusu olduğunda çözüm uzayının büyüklüğünün sonuçları da çalışma kapsamında ele alınmıştır.

Doğan ve Saka [2] yapmış oldukları çalışmada LRFD-AISC yönetmelikleri baz alarak çelik çerçeve sistemlerin, av-arama optimizasyon yöntemini kullanarak ağırlıkça optimum tasarımını incelemişlerdir. Gruplar halinde yaşamakta olan bazı hayvan gruplarının av arama prensiplerini temel alan bu metot ile iki boyutlu çerçevelerin yönetmelik sınırlayıcıları ile tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapısal elemanların Amerikan şartnamelerine uygun olarak 272 kesit içerisinden seçimi sağlanmış ve sonuçlar yine Doğan ve Saka'nın yapmış oldukları bir başka

çalışmadan [12] alınan Parçacık Küme Optimizasyon Yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Av-Arama metodunun %3.4 daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Katlar arasındaki öteleme ve maksimum deplasman sınırlayıcılarının verilmiş sınırları geçmeden alt seviyelerde seyrettiği görülürken, gerilme sınırlayıcılarının üst seviyelere kadar aktif bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

Sevim ve Sönmez, [13], 3 açıklı ve 24 katlı düzlemsel çerçeve sistemin ve 10 elemanlı çelik kafes sistemin, son yıllarda çokça kullanılan sürü zekası tabanlı sezgisel algoritmaları(karınca koloni optimizasyonu ve parçacık sürü optimizasyonu) kullanarak optimum tasarımını ait çalışmayı sunmuşlardır. Sistemlerin tasarımında SAP2000 programı kullanılmış ayrıca geliştirilen optimizasyon algoritmalarında C# yazılım dilinden faydalanılmıştır. Sistemler hazırlanırken kullanılan yüklemeler ve kısıtlamalar AISC-LRFD şartnamesine başvurulmuş ve analizler buna uygun yapılmıştır. Kullanılan sistemler ile yapılmış olan diğer çalışmalarla kıyaslamalar yapılmış ve bu çalışma ile ilgili iyileştirme verileri paylaşılmıştır.

Ülker ve Savaş [14] yapmış oldukları tez çalışmasında AISC 360-10 yönetmeliğini ait prensiplerini, ASD ve LRFD esaslarını ve Türk Deprem Yönetmeliğini (DBYBHY- 2007) ,“Çelik Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları- Bölüm 4” adlı kısımların kapsamı üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çerçeve sistemler, çelik çaprazlı perde ve moment aktaran çerçevelerle ilgili açıklamalar yapmış ve detaylar vermişlerdir. Literatürde sıkça kullanılan altı katlı çelik yapının; bahsi geçen yönetmeliklere uygun şekilde, SAP2000 programı üzerinde modeli oluşturulmuş ve analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde tasarım için gerekli prensipler AISC 360-10 yönetmeliğinden alınmış ve son bölümde DBYBHY-2007 ile beraber sonuçları irdelenmiştir. Elasto plastik özellik sergileyen çelik ile ilgili yapı tasarımında taşıma gücü yöntemi ile tasarım yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Özellikle deprem bölgelerinde, çelik yapıların “süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik çaprazlı perdeli” ve “süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerle” olacak şekilde tasarlanması üzerine durulmuştur.

Artar ve Daloğlu [15], araştırmalarında tek açıklıklı beş katlı, iki açıklıklı altı katlı ve üç açıklıklı on katlı olarak tasarlanan çelik çerçevelerin dinamik sınırlayıcılar kullanarak optimizasyonu üzerinde çalışmıştır. Tasarım problemini çözümleyebilmek için sezgisel algoritmalar içinde etkin bir rolü olan GA yapısını kullanmışlar ve sonuç olarak minimum ağırlığı hedefleyen optimizasyon çalışması yapmışlardır. Ortaya çıkarılan GA, Matlab programı üzerinde kodlanmış ve boyutlandırmaya gerekli sınırlayıcıları TS648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları yönetmeliğine uygun olacak şekilde kullanmışlardır. Bu sınırlayıcılara ek olarak yerdeğiştirme ve doğal frekanslarda dinamik sınırlayıcı olarak eklenmiştir. Elde ettiklerin sonuçlardan frekanslardaki küçük değişimlerin toplam ağırlıktaki etkileri görülmüş, sistemlerin GA ile ağırlıkça optimizasyonu sağlanmıştır.

2015 yılında yapılan diğer bir çalışmada rijit veya yarı rijit birleşimlere sahip çelik çerçevelerin ağırlık optimizasyonu genetik algoritma ve bulanık mantık kombinasyonları kullanılarak yapılmıştır. [16] Bu çalışmada daha iyi yakınsama sağlamak amacıyla genetik algortmada üniform çaprazlama ve ikili kodlama kullanılmıştır. Kullanılan bağlantı türü çelik çerçevelerin davranışını doğrudan etkilediğinden kıyaslama amacıyla kolon-kiriş birleşimlerinin rijit ve yarı rijit olduğu iki farklı durum değerlendirilmiştir. Çelik çerçeveler için lineer tasarım ve analiz yapılmıştır. Çerçevelerin analizi için OpenSees programı ile birlikte optimizasyon işlemi için Matlab programı kullanılmıştır. Kolon ve kirişler için Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü (AISC) de bulunan geniş başlıklı profil gibi standart çelik kesitlerden profiller seçilmiştir. Yarı rijit birleşim modeli için Frye ve Morris polinom modeli kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada önerilen algoritma, daha hızlı yakınsama sağlayan bir uygunluk fonksiyonunu dikkate almaktadır. Çalışmada önerilen yaklaşımın etkinliğinin gözlemlenmesi amacıyla çeşitli bağlantı türlerine sahip üç farklı tasarım örneği incelenmiştir. Sonuç olarak, hafif yapılar için bulanık genetik algoritmanın basit genetik algortmaya kıyasla hesaplama süresi açısından daha verimli olduğu belirlenmiştir.

Cicconi ve çalışma arkadaşları [17] yapmış oldukları çalışmada; çelik yapıların, binalar, mağazalar, fabrikalar ve enerji santralleri gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanıldığını belirtmiştir. Araştırmanın kapsamı, proje düzeninin çoğunluğunun tanımlandığı aşama olan erken tasarım aşamasında büyük çerçeve çelik yapılarla ilgili ağırlığı ve maliyeti azaltmak için bir metodoloji amaçlamışlardır. Makalede, sanal prototipleme araçları ve genetik algoritmaları kullanılarak bir çelik yapının optimizasyonu üzerine çalışılmıştır. Odak noktası, petrol ve gaz santralleri için ağır çelik yapıların tasarımıdır. Bu çalışmada, tasarım metodolojisini ayrıntılı olarak açıklamış ve bir test senaryosunu yeniden tasarım sürecinesokup, ilgili ağırlık tasarrufunu tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmada SAP2000 optimizasyon aracı VB.net ile entegre edilerek bir kod ortaya çıkarılmış. Çalışma sonucunda ortalama yüzde beş olacak şekilde ağırlık kazancı sağlanmıştır. Makalede ele alınan tasarım durumları, işletimle ilgili olanlardır.

2018 yılında yapılan diğer bir çalışmada İspanya, Avrupa ve Amerika deprem yönetmelikleri ile uyumlu olarak bir genetik algoritma. [18] Çalışmada, her bir yönetmelikte bulunan sınırlamalar hesaba katılmıştır. Kullanılan genetik algoritma için amaç fonksiyonları tanımlanarak ceza sayısı yazılmıştır. Daha sonra üç farklı yönetmeliğe göre aynı çelik yapı için genetik algoritmanın bazı parametreleri (mutasyon olasılığı, çapraz geçiş olasılığı, seçim olasılığı ve popülasyon büyüklüğü) genetik algoritmanın optimum davranışına göre tanımlanmıştır. Üç farklı tasarım koduna göre elde edilen optimizasyon sonuçları karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir. Elitist genetik algoritmayı tanımlayan parametrelerin değerinin analizi üç farklı tasarım kodu için bir çalışma aralığı oluşturulmasını sağlamıştır. Ağır yapılar için Amerika tasarım kodunun diğer tasarım kodlarına kıyasla daha tutarlı sonuçlar verdiği tespit edilirken Avrupa tasarım kodu ise hafif yapılar için daha tutarlı sonuçlar vermiştir.

Ülker Peker ve İnce [1] yapmış oldukları çalışmada Kompozit Çelik I-Kiriş Köprülerin tasarımı üzerinde incelemeler yapmışlardır. Çalışmalarında optimum tasarım üzerine sezgisel algoritmalar ve API kullanımı üzerinde de durmuşlardır. Tasarım sınırlayıcıları olarak AASHTO LRFD şartnamesi üzerinde durulmuş ve köprü tasarımı üzerine benimsenmiş yöntemlere değinilmiştir. Tasarıma esas olan durumları CSiBridge ve SAP2000 programları üzerinde incelemiş ve hareketli yük dağıtım katsayılarının, Çizgisel-Kiriş analiz sonuçlarına uygulanması ve hassasiyetinin gösterilmesi üzerinde durmuşlardır. Doktora tezinin ikinci aşamasında VB.Net yazılımın platformu üzerinde SAP2000 API komutları eşliğinde genel amaçlı ve optimum tasarım gerçekleştirilmesi açısından etkin bir yöntem olan Armoni Arama Metodu ile bir yazılım geliştirilmişlerdir. Yapılan programın geçerliliğini göstermek amacıyla MS-Excel programı eklentisi olan çözücü üzerinde Açılım ve Doğrusal Olmayan GRG yöntemleri ile de problemin çözümü sağlanıp sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Armoni arama algoritması ile karşılaştırılmış ve Çelik I-Kiriş köprülerin tasarımında sehimin ana sınırlayıcısının olduğu belirtilmiştir.

Rabczuk, ES-haghi ve Shishegaran, [19] yapmış oldukları çalışmada, çelik çerçeveli sistemlerin en uygun şekle sokma problemlerini çözmek için Asimetrik Genetik Algoritma Yöntemini (AGA) kullanmışlardır. AGA, Genetik algoritmanın popülasyonun en iyi neslini bulmaya yardımcı olan gelişmiş bir ceza fonksiyonuna dayanan metottur. Çalışmada tasarım değişkenleri Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü (AISC) tarafından yapısal çelik binalar için tanımlanan nihai yükler kısıtlaması altında seçilmiş ve tüm çelik yapının ağırlığını en aza indirmişlerdir. İlk olarak; Parçacık Sürü Algoritması (PSO), Particle Swarm Optimizer with Passive Congregation (PSOPC), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (HPSACO), Emperyalist Rekabet Algoritması (ICA) ve Charged System Search (CSS) gibi algoritmalarla daha önce çalışılmış, 15 katlı üç bölmeli çelik düzlemsel çerçeveyi AGA yöntemiyle optimize etmişlerdir. Sonuç olarak (AGA)'nın analiz süresini, analiz sayısını ve yapının toplam ağırlığını azaltabileceğini göstermişlerdir. Asimetrik Genetik Algoritma Yöntemi (AGA), SAP2000'in optimize edilmiş sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, düzenli ve düzensiz çelik çerçevenin toplam ağırlığını sırasıyla yaklaşık %11,1 ve %26,4 oranında azalttığını belirlemişlerdir.

2. TAŞIYICI SİSTEMLER VE YAPISAL OPTİMİZASYON

Taşıyıcı sistemler; tasarlanan bir yapının ayakta, sağlam bir şekilde durmasını sağlayan, tasarımdaki biçimlendirici nitelikleriyle yapının kimliğini veren, çeşitli malzemelerin ve elemanların bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Pek çok taşıyıcı sistem bulunmakla beraber, imal edilmekte olan pek çok yapı çerçeve sistemler ile tasarlanmaktadır. Çelik malzeme bu yapılarda güçlü bir yer edinmekte ve pek çok ihtiyaca karşılık vererek; hafif çözümler ve sünek yapı tasarım imkânı sağlamaktadır. [20] Çelik Çerçeve Sistemler (ÇÇS) ise günümüzde var olan yapıların büyük bir yüzdesinde sıklıkla kullanılmakta ve yapılan çalışmalar açısından temel bir konu özelliği göstermektedir.

2.1. Yapısal Çelik ve Çelik Yapılar

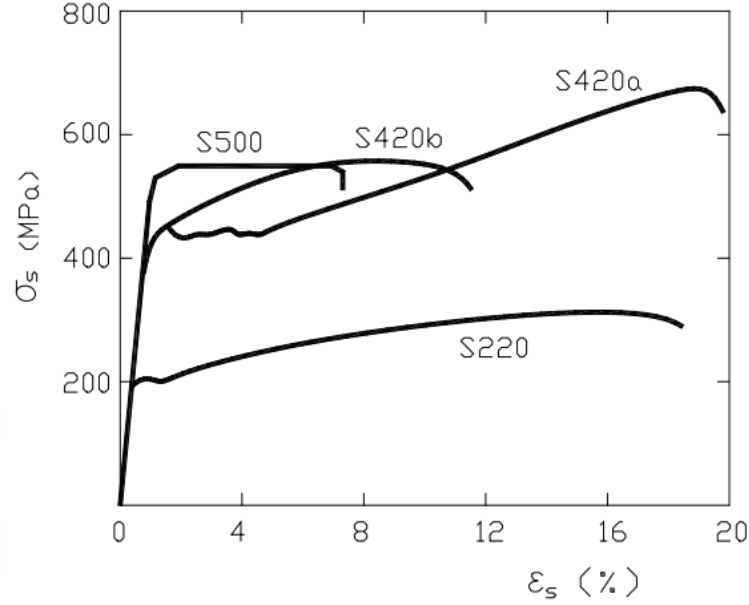
Yapılarda demirin malzeme olarak kullanılması insanlık tarihinin çok eski dönemlerine dayanmaktadır. Mekanik olarak işlenebilen, demir alaşımlarına çelik denilmektedir. Kullanım alanlarının fazla olması çelik malzemeleri yaşadığımız yıllarda lokomotif malzemelerden biri haline getirmiştir. Günümüzde kullanılan taşıyıcı sistem materyallerinden yapısal çelik, doğada bulunan demir cevherinin eriyik haline getirilip saf demirin elde edilmesi ve sonrasında haddelenip istenilen şekillerde üretilmesiyle oluşan demir karbon alaşımıdır. Ayrıca çelik, çekme ve basınç dayanım oldukça yüksek işlevsel bir malzemedir. [21] Çelik, ahşap ve betonda farklı olarak homojen ve izotropik bir yapıya sahip bir malzemedir. Elastisite modülü (210 GPa), ortalama olarak ahşaptan 20 (10 GPa), normal betondan ortalama 10 kat (20- 30 GPa) daha büyüktür. [22]

Tablo 2.1. Çeliklerin sınıflandırılması [23]

Tip	Düz Yüzeyle		Nervürlü				Profilli
Sınıf	S220	S420	B420B	B420C	B500B	B500C	B500A
Akma dayanımı (N/mm ²)	220	420	420	420	500	500	500

Çeşitli yapı çeliklerine ait tip sınıfları Tablo 2.1’de, bazı çelik sınıflarına ait gerilme şekil değiştirme grafikleri Şekil 2.1’ de verilmiştir. Çelik pek çok alanda kullanılmakla beraber en çok yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Dünyada üretilmekte olan çeliğin neredeyse yarısı inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Çelik malzeme ile yapılan üretiminin genel olarak sağladığı katma değer içerisinde, çelik yapıların oranı yaklaşık %25 kadardır. Türkiye inşaat sektöründe çelik yapıların kullanıldığı alanlar içerisinde endüstri yapıları, köprüler, ticari yapılar, konut olarak

kullanılan yapılar ve daha pek çok yapı türü bulunmaktadır. [20] Çeliğin yapı sürecindeki genel kullanım alanı geniş açıklıkların geçilebilmesi ve hafif tasarımlar ortaya çıkarmasıdır.



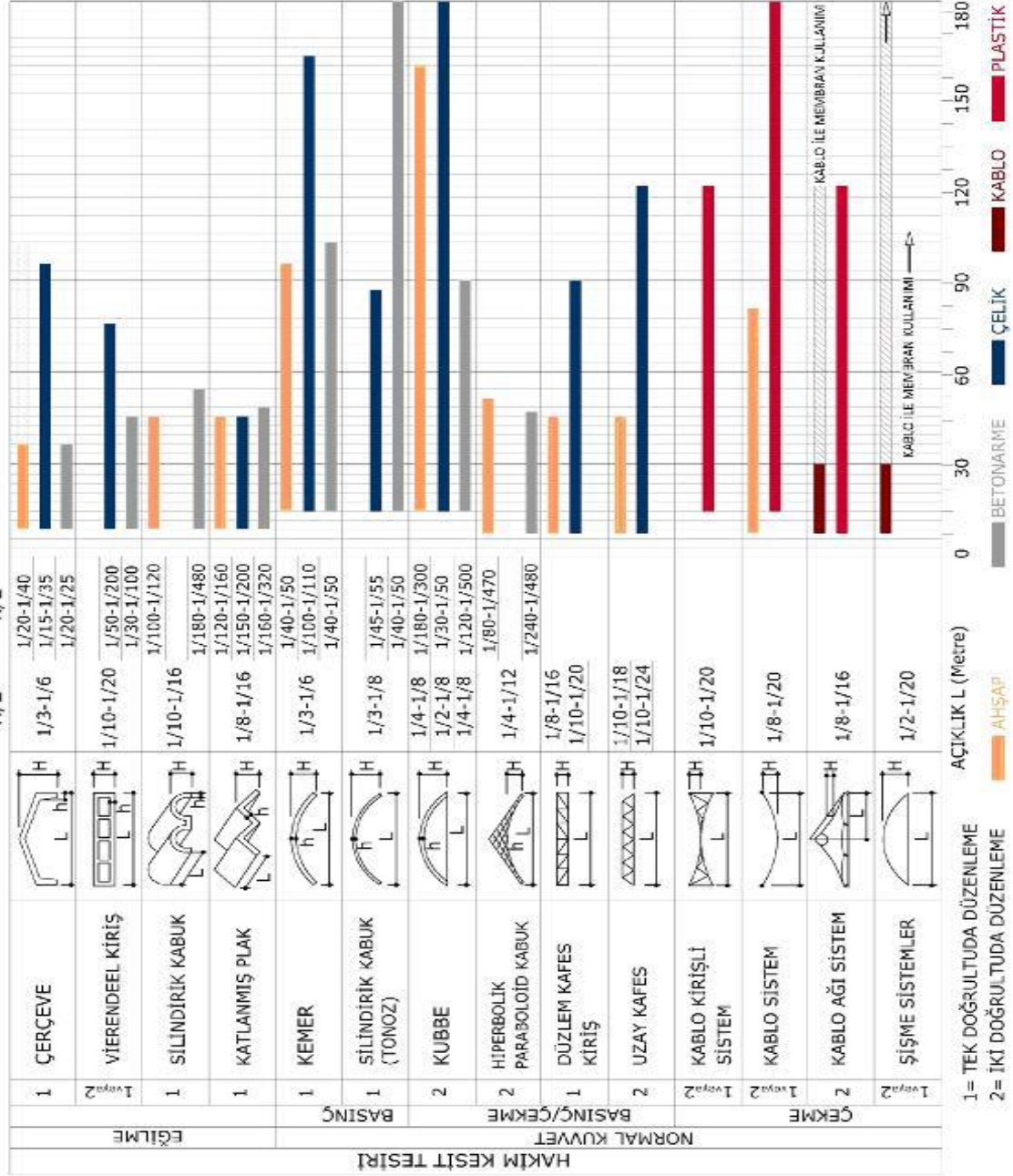
Şekil 2.1. Çelik sınıfları için gerilme – şekil değiştirme ilişkisi [21]

Çelik malzeme ile ortaya çıkarılan yapılar, son derece kullanışlı ve çeşitli amaçlara yönelik tasarlanmaktadır. Dünyanın pek çok yerinde çelik yapı üzerine çeşitli örnekler görülmektedir. Çelik; köprü, fabrika, depo, konut, okul, hastane, depo, yurt, otel vb. kullanım amacı değişik pek çok yapı türünün inşaatında yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. İşlenmiş çelik ile oluşturulan taşıyıcı sistemlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Çerçeve sistemler
- Kemer sistemler
- Uzay kafes sistemler
- Kablo sistemler
- Plak Sistemler
- Kirişli Sistemler

Çelik yapıların, tasarım açısından bilinmesi gereken başlıca üstünlükleri arasında ; güvenli bir yapı örneği sergilemesi, dayanım seviyesinin yüksek olması, homojen ve elastik bir malzeme özelliği sergilemesi, sünek davranışının iyi olması ,kullanım ömrü açısından bakım koşullarının sağlanması ile süreklilik arz etmesi, yapım sürecinin hızlı olması, özel durumlar için çeşitli yapma kesit ve tasarım imkânları sunması ve bunu sağlarken hafif yapıları ortaya çıkarması vb. şekilde sıralanabilir. Çelik yapıların dikkat edilmesi gereken sakıncaları ise; Su ve havaya karşı bakım gereksinimi, yangın dayanıklılığın az olması, burkulma etkilerine karşı zayıf olması, çelik

haddelenmesi sırasında oluşan hataların kapasitesini olumsuz etkilenmesi gibi olumsuz etkileri görülebilmektedir. Çeşitli taşıyıcı sistemler ile ilgili [22, 24] kaynaklarda verilen analiz şeması Şekil 2.2’de verilmiştir



Şekil 2.2. Taşıyıcı Sistem Analizleri [22, 24]

2.2. Çerçeve Sistemler

Çerçeve yapı sistemleri, kiriş, kolon ve döşeme gibi yapısal elemanlarından oluşmaktadır. Çerçeve sistemler; kemerler ve basit kirişlerden farklı olarak, yüksek süneklik düzeyine sahip sistemlerdir. Kesit tesirlerinin, tüm sisteme yayılması nedeni ile daha hafif kesit ve ekonomik tasarımı sağlamaktadır. Çerçeveler daha çok düşey yük taşıyıcı sistemler olmalarına rağmen yatay yüklere karşı sağlamlığı rijit bağlantı noktalarıyla sağlanabilir. Yönetmeliklerde öngörülen emniyetlerinin sağlanması ile desteklenmektedir. Tekrar eden elemanlar ile üretim hızını artırmak, hızlı ve kolay montaj imkânı da mümkündür. Planlamada pek çok avantaj sağladığı için sıklıkla kullanılırlar. Betonarme olarak imal edilebildiği gibi yüksek dayanımlı çelik malzemelerden de üretilen bir yapı sistemidir. Şekil 2.3'te çelik çerçeve sistemler ile imalatı yapılmış bir yapı sistemi görülmektedir.



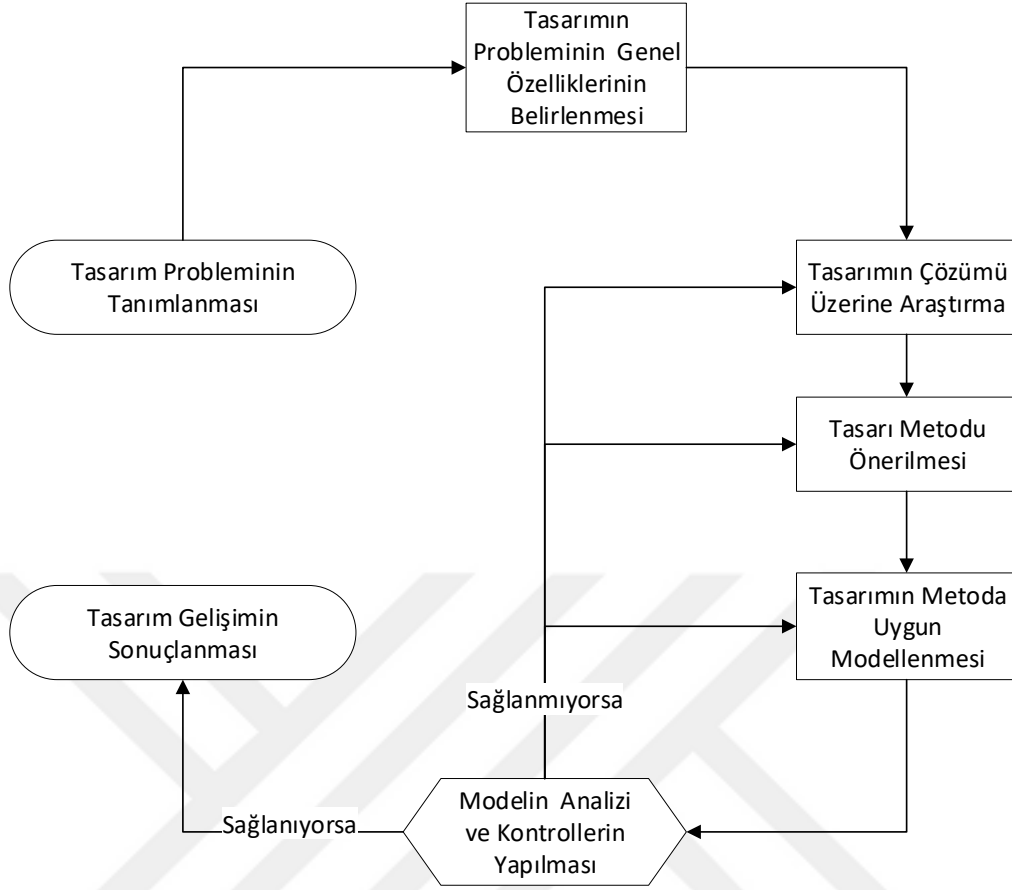
Şekil 2.3. Çerçeve sistem imal edilen ofis binası

3. YAPISAL OPTİMİZASYON VE SEZGİSEL ALGORİTMALAR

3.1. Yapı Mühendisliği ve Yapısal Optimizasyon

Yapısal mühendislik; binalar, köprüler, toprak işleri ve endüstriyel yapılar için yapısal destek sistemlerinin tasarımı üzerine çalışmalardır. Bu mühendislik dalı, yükü güvenli bir şekilde desteklemeye odaklanır. Desteklerin tasarlanması, fizik ve matematik ilkelerine dayandırılır. Yapılar gittikçe daha karmaşık hale gelmektedir. Burada ki ciddi sorunlardan biri ekonomik nedenlerdir. Yapıların inşaatı sırasında kullanılan malzemelerin stok durumları, fiyatlarında ki artış vb. durumlar ciddi problemlere sebep olmaktadır. Bunun karşısında, inşaat mühendisleri ve üreticiler inşaat maliyetlerini azaltmak ve rekabet güçlerini korumak için uygulama süresini kısaltmasını, kalitesiz malzeme kullanılmasını istemektedir. Ekonomik sebeplerin yanında tasarımda yapılan hatalarda, tasarım sürecini zorlayan bir başka sebeptir. İyi tasarlanmamış bir yapı, kullanım ömrü boyunca verimli bir şekilde geçirememekte, hatta insan hayatı ve çevreye zarar verecek sonuçlar doğurmaktadır. Analizlerin yapılmasındaki zorluklar parametre sayısı ile beraber artmakta, yapı tasarımını ve yapısal optimizasyon öncelikli bir konu haline gelmektedir.

Yapıların optimizasyon tasarımı bu problemleri gidereceği gibi, uygulanması incelik isteyen bir süreçtir. Buradaki zorluk tasarım değişkenleri, optimizasyon problemi kısıtlamaları ve tasarım alanının büyük boyutları arasındaki karmaşık ilişkilere bağlı olarak artmaktadır. [24] Bu sorunlarla başa çıkmak için verimli algoritma uygulamaları kullanmak kolaylaştırıcı ve günümüz teknolojileri açısından her geçen gün daha basit hale gelmektedir. Yapılan uygulamaların; çeşitli sezgisel algoritma yöntemleri ile tasarım süresini azalttığı, çözüm arama kapasitesini artırdığı ve değerlendirmelerde bütünlük kazandırdığı görülmüştür. [10] Genel olarak bu yöntemler, yapısal tasarım problemleri için oldukça iyi uyarlanmış ve kullanılan yöntemlerdir. Değişken özellik gösteren pek çok sistemde, optimizasyon algoritmaları hala kullanılmaktadır. Yapısal problemin değerlendirme süreci, tasarım çözümünü analiz etmekten, nihai cezayı hesaplamak için tasarım kısıtlamalarını kontrol etmek ve modele uygun sonucu hesaplamaktan oluşur. [25] Şekil 3.1’de tasarım geliştirme süreci genel prosedür olarak gösterilmektedir. Değerlendirme prosedüründe, gerilmeleri ve yer değiştirmeleri belirlemek için her yapısal çözüm analiz edilmelidir. [26]



Şekil 3.1. Tasarım Konfigürasyonları için Değerlendirme

Problemin tanımlanması, genel olarak özelliklerinin belirlenmesi, tasarım için uygun metodun seçilmesi ve kontrollerin yapılarak sonuç alınması, yapısal tasarımın sürecinin temel taşlarıdır. Optimum tasarlanmış bir yapı, fiziksel ve dinamik sınırlayıcılarıyla kısıtlanan amaç fonksiyonunu, minimize eden en ideal tasarım çözümüdür. Tasarım konfigürasyonları için değerlendirme adım adım Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Amaç fonksiyonu; değişkenlerle oluşturulan matematiksel bir ifade olup, yapı tasarımı için en emniyetli, en az maliyet ve en kullanılabilir tasarımı amaçlamaktadır.

3.2. Sezgisel Algoritmalar

Sezgisel algoritmalar, bir sorunu geleneksel yöntemlerden daha hızlı ve daha verimli bir şekilde çözmek için optimal sonucu amaçlayan, doğruluğu ve kesinliği yüksek veya süreç hızı konusunda fedakarlık yapmadan tasarlanmış bir algoritmalar. Bu yöntemler, tek tek bir çözüm üretebilir veya iyi bir temel sağlamak için kullanılabilir ve algoritmalar ile desteklenir. Sezgisel optimizasyon algoritmaları, yöneylem araştırmalarında optimizasyon problemlerine çözüm bulmak için yer alır. Bu problemlerde, algoritmalar en iyi çözümü garanti etmez. Yine de bu metotlar; iyi

bir çözüme çabuk ulaşım konusun da çok etkili olarak kabul edilir. Sezgisel algoritmalar çoğunlukla yaklaşık çözümlerin yeterli görüldüğü ve kesin çözüme ulaşılmasının zor ve zahmetli olduğu problemlerde kullanılır. Tasarım kümesinde çok sayıda yerel optimum bulunan yapısal analiz problemlerinin optimum tasarımı için sıklıkla kullanılmaktadırlar. [1]

Son yıllarda pek çok çalışmada sezgisel algoritmalarla çalışılmıştır. Bu çalışmalarda farklı temellere oturtulan pek çok algoritma çeşidi kullanılmıştır. Yapılmış çalışmalardan örnek olarak genetik algoritma, tabu arama metodu, yunus ekolokasyon algoritmaları, evrimsel algoritmalar, sürü zekası algoritmaları, tavlama benzetimi vs. gibi algoritmalar görülmektedir. Bu algoritmalarından bazılarını açıklamak gerekirse; evrimsel algoritmalar biyolojiyi taklit ederek, sayısal bir arama algoritması oluşturmak için en uygun olanın hayatta kalması ilkesini kullanmaktadır. Bağışıklık sistemi algoritmasında, omurgalı bağışıklık sisteminde olduğu gibi bir dizi antijeni kapsayacak şekilde bir antikor popülasyonu geliştirilir. Tavlama benzetimi, tavlama yoluyla erimiş metallerin soğutma sürecini taklit eder. Sürü zekası, kuş sürülerinin veya balık sürülerinin toplu davranışına dayanır. Karınca kolonisi optimizasyon yöntemi, karınca kolonilerinin sosyal etkileşimini simüle eder. Karıncaların tamamen körken, yuvaları ile besin kaynakları arasında en kısa yolu izleyerek başarılı bir şekilde gidip geldikleri keşfedildi. Karınca kolonisi optimizasyonu, zor hesaplamalar elde etmek için gerçek karınca kolonisinin bu davranışını taklit eder. Armoni arama yöntemi, bir müzisyen daha iyi bir armoni durumu aradığında gerçekleşen müzikal performans sürecine dayanmaktadır. Caz doğaçlaması, optimum çözümü bulmaya çalışan optimum tasarım sürecine benzer, müzikal olarak hoş bir armoni bulmaya çalışır. [9]

Kullanılan bu yöntemlerim problem çözümünü basitleştirdiği ve yeni çalışmalar için uygunlukları sıkça belirtilmiştir. Ayrıca kullanılan algoritma yönteminin uygunluğuna göre çeşitli çalışmalarda genel bir sistemin ya da belirli bir parametrenin çözümlenmesinden yararlanan çalışmalar bulunmaktadır. [27] Bu tarz çalışmalar ile çerçeve sistemlerde dinamik analizler yapıldığı, sistemlerin optimum boyutlarda boyutlandırıldığı, maliyet analizlerinin yapıldığı vb. uygulamalar görülmüştür. Tasarım sırasında yazılım dili olan MATLAB, Visual Basic vb. diller ile kodlama yapılmış ve programlar yardımıyla doğrulanmış ve çıkan sonuçlar değerlendirilerek sezgisel algoritmaların bu çalışmalar için olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Sezgisel algoritmalarda genel prensip, türeve dayalı arama yolunu tercih etmeden yerel optimumu yakalanma olasılığını azaltıp genel optimuma ulaşmaktır. [27]

Yapılan çalışma taraması sonucunda Genetik Algoritmaların (Genetic Algorithms) yaygın bir şekilde kullanıldığı ve popüler bir optimizasyon metodu olduğu görülmüştür. Çeşitli çalışmalarda yapısal optimizasyona problemlerine kolaylıkla adapte edildiği ve iyi tasarım sonuçları verdiği görülmüştür.

3.3. Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar, stokastik arama algoritmaları sınıfına ait olan evrimsel arama yöntemlerindendir. Genetik algoritma fikri ilk olarak John Holland tarafından önerildi. [28] Ancak yöntemin başarısı Goldberg'in çalışmasına dayanmaktadır. [29] Genetik Algoritmalar, optimal çözümler sağlamak için büyük ve karmaşık arama uzayını ile çalışabilen sağlam algoritmalar. 1990'ların başından beri yapısal optimizasyon problemlerini çözmek için verimli bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bu sebeple problemi çözmek için GA kullanmayı seçtik. [25,31]

Bu algoritma popülasyon oluşturma, çaprazlama, mutasyon, değerlendirme ve seçim olmak üzere beş aşamadan oluşmaktadır. GA önce sabit büyüklükte bir birey popülasyonu oluşturur. GA'da, popülasyon oluşturma sürecini iki aşamaya bölerek optimal çözüme yakınsama oranı artırılır. İlk aşamada, başlangıç popülasyonu, ÇYTHY'ye kullanılan profilleri arasından rastgele seçilen üyelerle oluşturulur. Oluşturulan popülasyon daha sonra tasarım kısıtlamalarını karşılamayan üyenin daha büyük kesit alanına sahip daha güçlü üyelerle değiştirildiği başka bir aşamada değerlendirilir. Bu süreç, tüm tasarım kısıtlamaları karşılanana kadar devam eder. Bu süreç sayesinde, tasarım kısıtlamalarının izin verilen aralık içinde kalması için başlangıç popülasyonunu akıllıca iyileştirilecektir. Her birey rastgele oluşturulmuş ve analiz edilen çerçeve için olası bir tasarım çözümüne karşılık gelir. Her birey daha sonra amaç fonksiyonuna göre değerlendirilir ve bir uygunluk değeri atanır. Rastsal seçimden sonrasında çaprazlama ve mutasyon ile devam edilir. İterasyon belirlenen sonlandırıcıya ulaştığında en uygun seçim yapılır. GA'yı kullanmak varolan arama alanını kabul edilebilir çözümler alanıyla sınırlar. Tasarım optimizasyonu için önerilen yöntemin (GA) kullanılmasının hesaplama hacmini azalttığını ve yakınsama oranını arttırdığını, böylece sadece birkaç yinelemede optimuma yakın ağırlıklara sahip çerçeve tasarımlarına erişime olanak sağladığı, yapılan literatür çalışmasında pek çok kez görülmüştür. [4-6]

3.4. Genetik Algoritma Bileşenleri

3.4.1. Amaç Fonksiyonu

Genetik algoritmalar sınırlayıcı olmayan problemler için uygundur. Çalışmada yapılacak işlem ise sınırlayıcısı olan bir problem olduğu için, sınırlayıcısız optimizasyon problemine dönüştürülmelidir. Herhangi bir bireyin sınırlayıcısız amaç fonksiyonu:

$$W(x) = \sum_{i=1}^{nm} \rho A_i L_i \quad (3.1)$$

$$\varphi_i(x) = W(x)_i(1 + RC) \quad (3.2)$$

R probleme uygun bir ceza sabiti olup, çalışmalarda R=10 olarak kullanılmıştır. C ise sınırlayıcı zorlama sayısıdır.

$$C = \sum_{j=1}^{ns} C_j \quad (3.3)$$

Şeklinde hesaplanmaktadır. Burada:

$$g_j(x) > 0 \quad \text{ise} \quad c_j = g_j(x) \quad \text{ve} \quad j=1, \dots, n \quad (3.4)$$

$$g_j(x) \leq 0 \quad \text{ise} \quad c_j = 0 \quad (3.5)$$

$$g_j(x) = \frac{g_j(x)}{R} - 1 \leq 0 \quad (3.6)$$

burada n sınırlayıcı sayısıdır. Tüm sınırlayıcılar sağlanmışsa C=0 olacağı için fonksiyonun değeri yapı ağırlığına eşit olacaktır. Buda ağırlığın minimum olduğu ve sınırlayıcıların sağlandığı optimum çözümü verir. [30]

$$g_j(x) = \frac{g_j(x)}{R} - 1 \leq 0 \quad (3.7)$$

3.4.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Araştırma ve uygulama çalışmalarında genetik algoritmaların başlangıç popülasyonunu oluşturmada takip edilen yollar, yapılan çalışmanın içeriğine göre değişmektedir. Genellikle rastsal sayı üretimiyle başlamaktadır. Ancak kabaca çözümler biliniyorsa bu çözümler kullanılarak başlangıç popülasyonu oluşturulabilir. [25,30] Çalışmada başlangıç popülasyonu tamsayı değişkenlerden oluşturulmuş ve kesit havuzuyla eşleştirilmiştir.

3.4.3. Uygunluk Kriteri

Çözümlerin kalitesinin saptanmasında kullanılan teknik, GA'nın performansında önemli ölçüde etkilidir. Amaç fonksiyonundan elde edilen ham sonuçlar, başlangıçta yeterli olabilmektedir. Ancak araştırma devam ettikçe daha iyi veya kötü çözümleri arasındaki farkı ayırt etmek zorlaşmaya başlamaktadır. Bu GA'nın çözümleme potansiyelini düşürmektedir. Bu sebeple

kalite değerlendirmesi yapılmalı ve normalizasyon sağlanmalıdır. Bu işlemin doğru yapılması algoritmanın küresel optimum noktasına ulaşmasına (yeterli ıraksamayı sağlamasına) yardımcıdır. Aksi durumda erken yakınsama olup tüm araştırma uzayının araştırılması önlenecektir. [24]

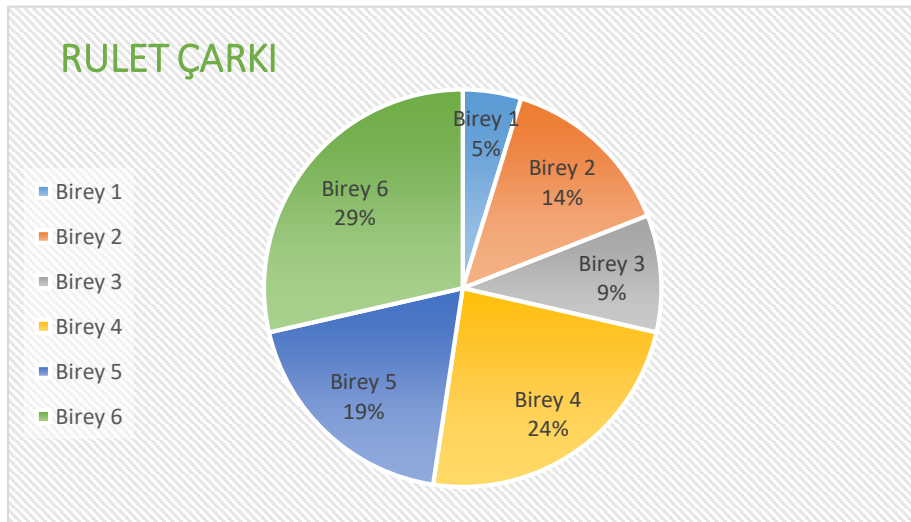
Topluluktaki i'nci birey için uygunluk ifadesi:

$$F = [\varphi(x)_{max} - \varphi(x)_{min}] - \varphi(x)_i \quad (3.8)$$

Burada bireylerin uygunluk hesabı yapılırken , $\varphi(x)_{max}$ ibaresi sınırlayıcısız maksimum amaç fonksiyonu değeridir. $\varphi(x)_{min}$ ibaresi ise sınırlayıcısız minimum amaç fonksiyonunu ifade eder.

3.4.4. Tekrar Üreme Operatörü

Tekrar Üreme operatörü, doğal seçim işlemi olarak adlandırılır. Yüksek kalitesi bireylerin, hayatta kalmaları ve sayılarının artması amaçlanır. Bu seçme işlemi çevre tarafından ve yapay sistemlerde, amaç fonksiyonu ve diğer değerlendirme kriterleri tarafından kontrol edilir. Bu operatör; kaliteli çözümlerin giderek baskın bireyler haline gelmesini sağlarken, kalitesiz çözümlerin giderek kaybolmasına sebebiyet vermektedir. Operatörün uygulanmasında pek çok yöntem bulunmakla beraber çalışmada Şekil 3.2'de görüldüğü üzere rulet çarkı metodu kullanılmıştır. Rulet çarkı bireylerin uygunluk değerlerinin toplam uygunlukça oranını ifade edecek şekilde hazırlanmıştır. Bu teknikte kalite değerinin, popölasyonun ortalama kalite değerine oranına göre bir yerleşim görülür. Kalite oranı yüksek bireylerin çarkta seçilip ilerlemesi amaçlanmaktadır. [24]



Şekil 3.2. Rulet Çarkı Temsili

3.4.5. Çaprazlama Operatörü

Bu operatör GA'ya; melez olarak adlandırılan yapıların üretilmesine eşdeğer özellik kazandırır. Eşleşme havuzunda bulunan yapıların birer çifti rastgele seçilir ve bu operatörün işlemi sonucunda iki yeni birey oluşur. Eski yapılar (ebeveyn) ve işlem sonrası oluşan yapılar (çocuk) mevcut mevcut popülasyonda tutulabilir veya eski yapının yerine yenisi koyulabilir. İkinci durumda kalitesiz durumlar çıkarılırken, popülasyon boyutu sabit tutulur.

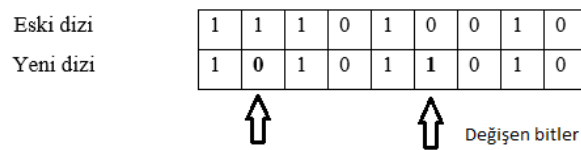
Çaprazlama operatöründe en basit form; dizi içerisinde rastgele bir yer seçilip buradan kesilmesi ve yapılar arasında gen değişimi şeklinde meydana gelir. Şekil 3.3'te çaprazlama operatörünün uygulanmasına yönelik tek noktalı çaprazlama metodu örneklendirilmiştir. [24]



Şekil 3.3. Tek Noktalı Çaprazlama Operasyonu

3.4.6. Mutasyon Operatörü

Mutasyon Operatörü, doğal genetik mutasyon olayının bir varyasyonudur. Bu işlem sırasında, yeni popülasyonda bulunan bireylerin her biri tek tek kontrol edilerek mutasyon oranına göre 0 ise 1, 1 ise 0 olacak şekilde çevrim yapılır. GA'da mutasyon operatörünün olmaması halinde; elemanların tekrar üreme ve çaprazlama sonucu değişmediği durumlarda, optimal çözüm ancak başlangıç popülasyonu içerisinde ise bulunabilir. Bu durum benzer çözümlerin üretilmesine ve sonucun belirli bir bölgede kalmasına sebebiyet verir. Mutasyon operatörünün bulunmadığı genetik algoritma iyi bir performansı ancak popülasyon çok büyük tutulursa sergileyebilir. Mutasyon; yeni, görülmemiş, daha önce keşfedilmemiş ve araştırılmamış noktaların algoritmaya kazandırılmasını sağlar. [24] Şekil 3.4 te çok noktalı Mutasyon Operatörü gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Mutasyon Operatörü

3.4.7. Kontrol Parametreleri

GA söz konusu olduğunda kullanılan kontrol parametreleri, Popülasyon büyüklüğü, maksimum jenerasyon sayısı, mutasyon ve çaprazlama oranlarıdır.

- Popülasyon büyüklüğünün gerektiğinden küçük olması durumunda çözüm uzayı yetersiz kalacak ve sonuç alt optimal bir noktaya ilerleyecektir. Aşırı yüksek olması durumunda ise jenerasyonların gelişimi oldukça uzun süreye yayılacaktır. Gerçek zamanlı tasarımların uygulamasında hiç istenmeyen bir durum oluşu sebebiyle, popülasyon büyüklüğü olumsuz bir etki olarak görülmektedir.
- Çaprazlama oranı popülasyona yeni birey üretiminde kullanılan parametredir. Düşük çaprazlama oranı, yeni kuşağa çok az yeni birey katılmasını sağlarken, tekrar üreme operatörü daha etkin hale gelmekte ve yakınsama oranına etki etmektedir. Yüksek çaprazlama olması durumunda araştırmanın çok hızlı bitmesine ve daha kuvvetli yapılar üretilmeden bitmesine sebebiyet vermektedir.
- Yüksek mutasyon oranı, çalışmaya aşırı derece rastsalılık kazandırıp, ıraksamayı artırır. Popülasyonun gelişmesine mani olan bir etkendir. Düşük mutasyon oranı ise ıraksamayı tamamen düşürken, çözüm uzayının iyice araştırılmasını engelleyecektir. Dolayısıyla algoritma alt optimum bir sonuca ilerler.

Kontrol parametrelerinin seçiminde yapmış olduğu çalışmada, Tablo 3.1' de GA için önerilen kontrol parametreleri için yapılmış çalışmaların derlemesini sunmuştur. Yapılan literatür çalışmasında da genetik algoritmanın uygulanması esnasında kontrol parametrelerinin buna uygun seçildiği görülmüştür. [24]

Tablo 3.1. GA için önerilen kontrol parametreleri [33-35]

Kontrol Parametreleri	Grefenstette	Schaffer	De Jong	Bu Çalışma
Popülasyon Büyüklüğü	30	20-30	50-100	30
Çaprazlama Oranı	0.95	0.75-0.95	0.60	0.95
Mutasyon Oranı	0.01	0.005-0.01	0.001	0.005

3.5. Çerçeve Sistemler için Genetik Algoritmanın Uygulanması

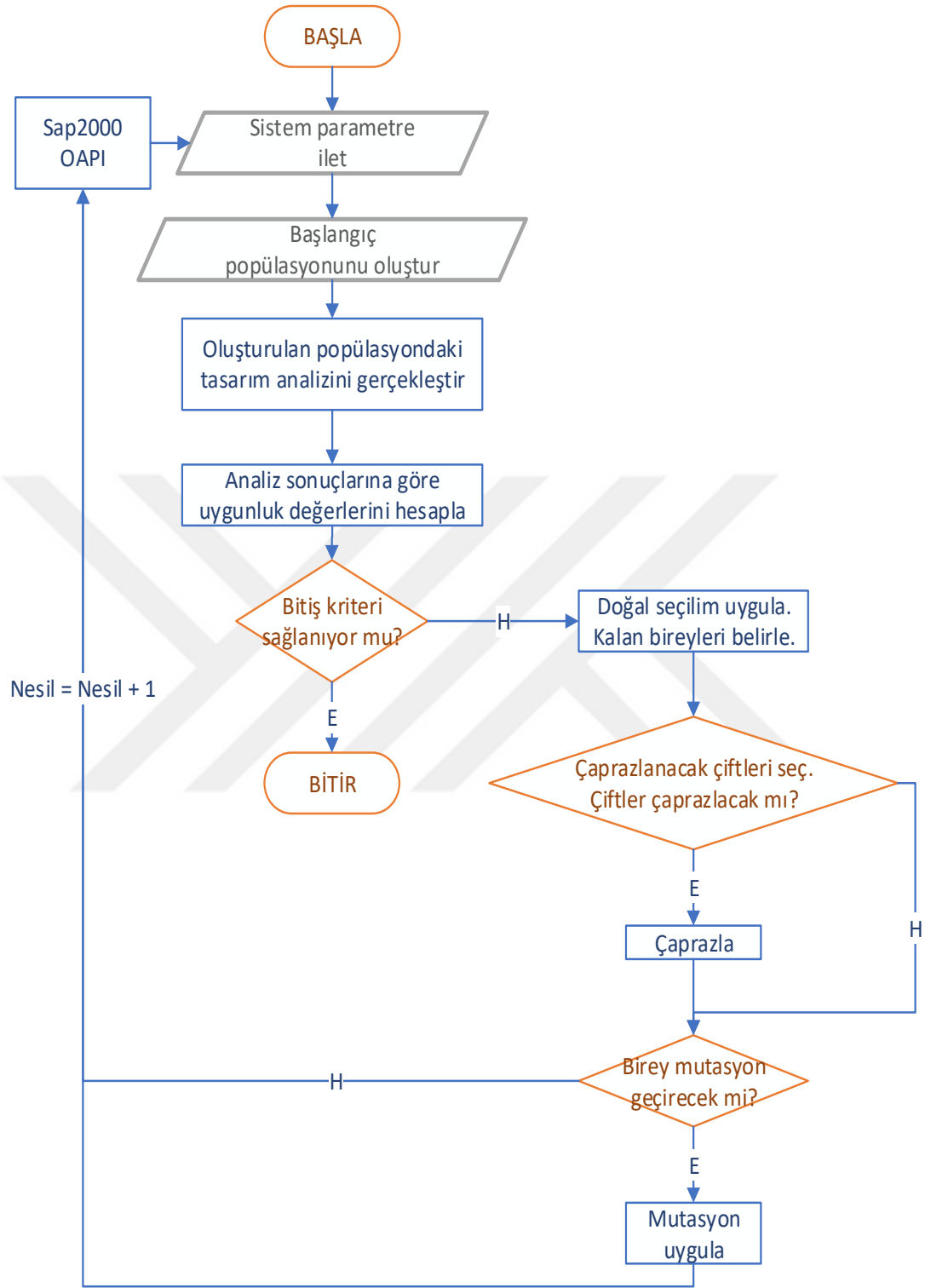
Çelik çerçevelerin, genetik algoritma yöntemiyle tasarımı için geliştirilen algoritma aşağıdaki verilen adımları içermektedir. Bu adımların açıklanmasında [25, 30, 31] kaynaklarından faydalanılmıştır.

Genetik algoritmanın çerçeve sistemlerin ağırlıkça optimizasyonu probleminin üzerinde uygulanması aşağıdaki adımları izleyerek kodlanmıştır. Sıralanan bu adımlar için genetik algoritma şeması Şekil 3.5'de verilmektedir.

1. Tasarım modelini SAP2000 üzerinde oluştur.
2. SAP2000 OAPI ve Microsoft Studio bağlantısını oluştur.
3. Genetik Algoritmada yapılan kabuller; gen sistemi olarak tam sayılardan oluşan sistem kullanılmıştır. Popölasyon sayısı 30 olarak, çaprazlama oranı 0.95 ve mutasyon oranları 0.005 olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonuna ait ceza katsayısı, P, iki olarak belirlenmiştir.
4. Başlangıç için kesit listesi oluşturulur ve genlerle eşleştirilir eşleştirilen genlerle ilgili eşleştirme örneği Tablo 3.2’de verilmiştir.
5. Başlangıç popölasyonunu oluştur ve genlerle eşleştirilir.
6. Popölasyon ile ilgili veri SAP2000 OAPI aracılığı ile ie aktar.
7. Popölasyondaki her birey için tasarım kontrollerini yap.
8. Her bireyin sınırlayıcısız amaç fonksiyonu (3.1) denklemiyle hesapla. Hesaplanan amaç fonksiyonlarının maksimum ve minimum değerlerini belirle.
9. Popölasyondaki her bireyin tasarım problemine göre uygunluk oranı hesapla.
10. Direyleri doğal seçilimi için üreme operatörünü uygulanır. Her bireye uygunluk oranı ile orantılı olarak (Rulet arkı) eşleşme havuzuna kopyalanır. Uygunluk oranı düşük olan bireyleri topluluktan çıkar. Bu yeni bireyler rastgele eşleştirilir.
11. Her ifte üniform çaprazlama uygulayarak yavrular ile yeni topluluğu elde et.
12. Yeni topluluktaki bireylere rastsal tek noktalı mutasyon operatörü uygula.
13. Yavru topluluğu başlangıç topluluğu olarak ata. SAP2000 OAPI ile yavru topluluk bilgilerini modele aktar.
14. 4-13 arası adımlardaki işlemleri, en son elde edilen popölasyonda ki maksimum uygunluk ile ortalama uygunluk oranları arasındaki fark yakınsama değerin altına düşene veya maksimum iterasyon sayısına ulaşınca sonlandırılır. Bu durumda maksimum uygunluk değerine sahip eleman en ideal ağırlıklı çerçeveyi verir. Sıralanan bu adımlar ile ilgili genetik algoritma şeması şekil 3.5’te verilmiştir.

Tablo 3.2. Araştırma Uzayını Oluşturan W Profillerin Tam Sayı Karşılanması

Profil Adı	Tam Sayı Karşılık	Profil Adı	Tam Sayı Karşılık
W 100 x 100 x 19.3	1	W 150 x 150 x 37.1	9
W 130 x 130 x 23.8	2	W 200 x 100 x 15.0	10
W 130 x 130 x 28.1	3	W 200 x 100 x 19.3	11
W 150 x 100 x 13.5	4	W 200 x 100 x 22.5	12
W 150 x 100 x 18.0	5	W 200 x 135 x 21	13
W 150 x 100 x 24.0	6	W 200 x 135 x 26.6	14
W 150 x 150 x 22.5	7	W 200 x 135 x 31.3	15
W 150 x 150 x 29.8	8	W 200 x 165 x 35.9	16



Şekil 3.5. Genetik Algoritma ve OAPI akış diyagramı

3.6. SAP2000 OAPI

SAP2000 programı, günümüzde sonlu elemanlar temeline dayanan analiz programları içerisinde en yaygın olanlardan birisidir. SAP2000’de yapıların modellenmesi, analiz edilmesi ve raporlanması mümkündür. Programda statik ve dinamik yapıda pek çok analiz çeşidi yüksek doğruluk oranı ile uygulanabilmektedir. Çalışmada, akademide ve tasarım ofislerinde yaygın olarak kullanılan bu programa; yapısal optimizasyon rutinlerini dahil ederek, uygulamalı yapısal tasarım gerçekleştirmek istenmektedir. Bunun için hazırlanana aloritmaya, Sap2000 programı içerisinde veri giriş-çıkışı, CSI Open Application Interfece (OAPI) arabirimi sayesinde otomasyonel bir şekilde yapılmıştır. Son yıllarda piyasaya sürülen SAP2000 ve CSiBridge programlarına, CSI tarafından OAPI (CSi Open Application İterfece) arabirimi adapte edilmiştir. Bu ara birim programlama dilleri ile ortak çalışmayı esas almaktadır OAPI kullanıcıların model oluşturmak, analiz etmek ve tasarlamak için gereken birçok işlemi otomatikleştirmesine, probleme özgü analiz ve tasarım sonuçları elde edilmesine olanak tanıyan bir araçtır. Ayrıca, kullanıcıların SAP2000 veya CSiBridge’i üçüncü taraf yazılımlarla ilişkilendirmesine izin vererek, programlama dilleri yardımıyla iki yönlü model bilgisi alışverişi için bir yol sağlamaktadır. [31]

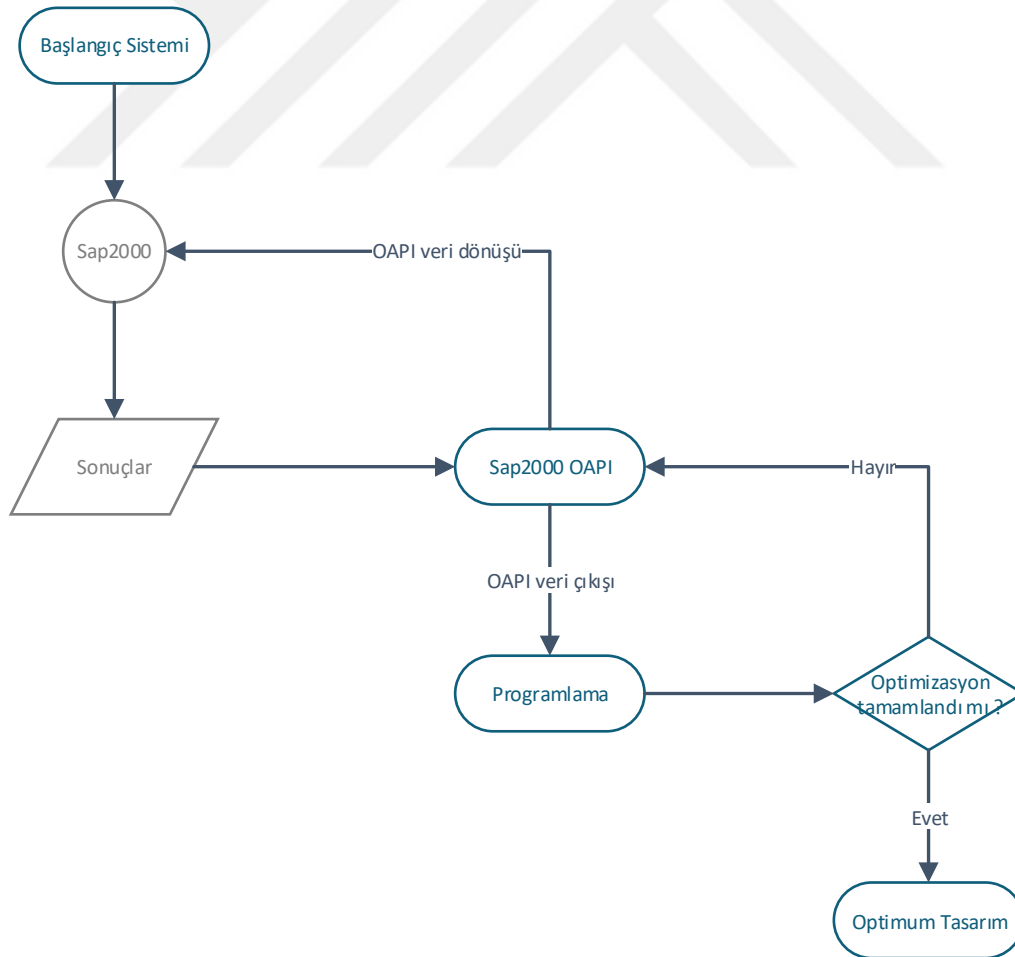
Yapısal tasarımda yeni, daha verimli ve daha zorlu sistemlerin çözümüne yardımcı yöntemlerin geliştirilmesi karmaşık bir işlemdir. Bu zorluk karşısında çok çaba sarf etmeden, teknolojik araç ve gereçlerin daha işlevsel kullanılabilmesi araştırmacıların en büyük isteğidir. Bu amaçla pek çok araştırmacı yeni araç ve metotlar araştırmakta ve geliştirmektedir. Teknolojinin gelişmesi de daha iyi tasarlanmış ve etkin hesap metotlarının kullanıldığı tasarım modellerini meydana getirmede fayda sağlamaktadır. Bunun yanında mevcut yöntemlerin uygulamaları giderek uygulanabilir hale gelirken, bu yöntemler daha etkin kullanılabilir hale gelmiştir. [8] SAP2000, CSiBridge gibi uygulamalar pratikte üretkenliği artırmakta ve kaliteyi geliştirmektedirler. Yapılan OAPI entegrasyonu da bu gelişmelerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Programın işlevselliğini artırmakta ve programlama metotlarının da kullanılmasıyla geniş araştırma alanları meydana getirmektedir.

OAPI’yi programlara uyarlamak; ana programın kurulumu sırasında içerdiği tüm bileşenlerin yüklenmesinden ve SAP2000 kurulumundan başka bir şey gerektirmediğinden basittir. Ayrıca, OAPI’nin kullanılabilmesi, geliştiricinin istediği programlama diline ve ortamına bağlıdır. Birbirinden farklı geliştirme ortamları, programlama projesinin OAPI ile başarılı bir şekilde bağlantı kurması için çeşitli seçenekler sunmaktadır. [1] SAP2000 OAPI’nin sağladığı bazı önemli özelliklerine aşağıda maddeler halinde değinilmiştir;

- Analiz ve tasarım işlemlerinde kullanmak amacıyla SAP2000 programıyla bağlantı kurabilmek,
- SAP2000 program desteğiyle yapı tasarımı söz konusu olduğunda kullanılan yöntemlerin uygulanmasını kolaylaştırmak,

- Büyük modellerle ilgili çalışmalarda veri giriş ve çıkışlarının basitleştirilmesini sağlamak,
- Birçok programlama dili (VB.NET ,PYTHON, FORTRAN, C# ve MATLAB gibi) ile uyumlu çalışmaktadır.
- Eş zamanlı model kontrolü yaparak veri aktarımını sağlayabilmektedir.

Çoğu ana programlama dili, OAPI aracılığıyla SAP2000 ve CSiBridge'e erişmek için kullanabilmektedir. Microsoft Excel gibi programlarda bulunan C#, Python, MATLAB ve Visual Basic for Applications (VBA) dahil olmak üzere birçok popüler programlama dili için ayrıntılı örnekler C:\Program Files\Computers and Structures\SAP2000 21\CSI_OAPI_Documentation yolunda verilen doküman dosyasında mevcuttur. Çalışmada OAPI aracı tanıtılmış ve SAP2000 OAPI'ye ait bazı özelliklerden bahsedilmiştir. Çelik çerçeve sistemlerin analizini yapmak için genel amaçlı bir genetik algoritma, VB.Net programlama dilinde kodlanmış ve SAP2000 etkileşimli olarak kullanılmıştır. [31] SAP2000 OAPI bağlantısının çalışma prensibi Şekil 3.6'da şemalanmıştır.



Şekil 3.6. Yapı Analizinde SAP2000 OAPI bağlantısı

Tez çalışması içeriğinde, SAP2000 programından aldığı sonuçları işleyip optimizasyon yapacak algoritma geliştirilecektir. Bunun mümkün kılınmasında özellikle CSI_OAPI_Documentation.chm dokümanı ve fonksiyonları ayrıntılı olarak incelenmiştir. OAPI arabirimi ile aktif kullanılabilmek açısından, özellikle VB.Net algoritma dili pratik ve işlevseldir. Bu algoritma dili ile kodlanacak yazılım, “Microsoft Studio 2017” platformunda geliştirilmiştir. Microsoft tarafından geliştirilen; MS Studio programı kurulduğunda çeşitli dillerin bulunduğu bir geliştirme ortamıdır. MS studio’da açılacak konsol uygulamasında, SAP2000 kütüphanesi Visual BASIC dili yardımıyla OAPI kullanımı mümkündür. Yaratılan projeye referans olarak C:\Program Files (x86)\Computers and Structures\SAP2000 21\SAP2000v1. dosyası eklenmelidir. Bu aşamanın devamında geliştirilecek uygulama için bir SAP2000 nesnesinin oluşturulması gerekmektedir. Bu işlem ardından programı çalıştırma ve modeli başlatma komutları kullanılacak ve kayıtlı dosyanın açılması için gerekli OAPI komutları kullanılacaktır. VB’de bu işlem aşağıdaki gibi yapılmaktadır. [31] SAP2000 OAPI kayıtlı dosya açılış komutları ile ilgili komutlar Tablo 3.3’de verilmektedir.

Tablo 3.3. SAP2000 OAPI kayıtlı dosya açılış komutları [31]

```
Sub OpenSDB()  
    Dim SapObject as cOAPI  
    Dim mySapModel As cmySapModel  
    Dim FileName as String  
    Dim ret as Long  
  
    Set SapObject = CreateObject("CSI.SAP2000.API.SapObject")// sap objesi oluşturulması  
    SapObject.ApplicationStart // programı çalıştırır  
    Set mySapModel = SapObject.mySapModel // sap modeli oluşturulması  
    ret = mySapModel.InitializeNewModel // modeli başlatır  
    FileName = "C:\SapAPI\ornek1.sdb"  
    ret = mySapModel.File.OpenFile(FileName) // kayıt dosyasını açar
```

Analizi yapılan Sap2000 modeli (başlangıç popülasyonu); optimizasyon için eksenel kuvvetler, momentler, ötelemeler vb. verilere kaynaklık etmektedir. Modele ait analiz çıktılarının genetik algoritmaya bağlantısı sağlanmalıdır. Sap2000 OAPI yardımıyla verilerin alınması için önce yük kombinasyonu çıktısı seçilir. Yük kombinasyonu için seçim yapıldıktan sonra çubuk elemanlar için sonuçlar çekilebilmektedir. Modelden alınan bu verilerle; GA elemanları tasarım

esaslarına göre kontrolünü sağlayacaktır. Eleman analiz sonuçlarının Sap2000 OAPI ile çekilmesi ile ilgili komutlar Tablo 3.4’da verilmektedir.

Tablo 3.4. Eleman analiz sonuçlarının Sap2000 OAPI ile çekilmesi [31]

<code>ret = mySapModel.Results.Setup.DeselectAllCasesAndCombosForOutput</code>
<code>ret = mySapModel.Results.Setup.SetCaseSelectedForOutput("G")// G yüklemesi sonuçları</code>
<code>ret = mySapModel.Results.FrameForce("1", Object, NumberResults, Obj, ObjSta, Elm, ElmSta, LoadCase, StepType, StepNum, P, V2, V3, T, M2, M3) // 1 numaralı çubuk analiz sonuçları</code>
<code>ret = mySapModel.Results.JointDispl("1", GroupElm, NumberResults, Obj, Elm, LoadCase, StepType, StepNum, U1, U2, U3, R1, R2, R3) // 1 numaralı nokta analiz sonuçları</code>

GA’da; Sap2000 OAPI ile alınan veriler yardımıyla tasarım analizi yapılmaktadır. Popülasyondaki elemanların uygunlukları hesaplanıp bitirme kriterine göre işlem sonlandırılmaktadır. Bitirme kriterinin sağlanmaması durumunda GA’ya ait doğal selekyon (yeniden üreme), çaprazlama ve mutasyon işlemleri ile yeni popülasyon oluşturulmaktadır. Yeni popülasyona ait kesit verisi, Sap2000 modeline işlenmeli ve tekrar analiz yapılması için kaydedilmelidir. Bu verilerin girilmesinden önce analizi yapılan modelin kilidi açılmalıdır. GA Sap2000 modelinde verileri girilen yeni popülasyon için GA protokolü tekrar gerçekleştirilir. Bitirme şartı sağlana kadar devam eden bu işlem hazır modelin aktif şekilde algoritmaya dahil edilmesini sağlamaktadır. Bitirme kriterinin sağlanması ile GA ve Sap2000 model bağlantısının kesilmesi için öncelikle analiz yapılan modelin kilidi açılmalıdır. Daha sonra bağlantı kesilebilmektedir. Programa kesit verilerinin girilmesi ve bağlantısının koparılması işlemi ilgili komutlar Tablo 3.5’de verilmektedir.

Tablo 3.5. Programa kesit verilerinin girilmesi ve bağlantısının koparılması [31]

<code>ret = MySapModel.PropFrame.GetISection("FSEC1", FileName, MatProp, t3, t2, tf, tw, t2b, tfb, Color, Notes, GUID)// I kesitlere ait verilerinin Sap2000’de atanması</code>
<code>ret=mySapModel.File.Save("C:\SapAPI\ornek1.sdb")// dosyanın kaydedilmesi</code>
<code>ret = mySapModel.Analyze.RunAnalysis//Analyze başla</code>
<code>ret = mySapModel.SetModelIsLocked(False) // kilit açık</code>
<code>ret = mySapModel.SetModelIsLocked(True) // kilit kapalı</code>
<code>SapObject.ApplicationExit False// Programdan çıkış</code>

4. TASARIM ESASLARI

Bu bölümde çerçeve sistemlerin optimizasyonu için gerekli olan ÇYTHYEY-2016 'nın tasarım ve analizi için genel olarak bazı tasarım sınırlayıcıları ve hesap ilkeleri verilmiştir. Yapıyı oluşturan elemanlar çelik malzeme kullanılacağı için bu yönetmelik esas alınacaktır. Tasarımı esnasında yapılan analizlerin temel varsayımları, öngörülen kullanım ve davranış birbiriyle uyumlu olmalıdır. Tasarlanan yapıda amaç işletme ömrünü, kendisinden beklenen bütün görevleri belirli bir güvenlik, dayanım ve rijitliğe sahip bir biçimde ve kararlılıkla(stabilite) tamamlamasıdır. [23] ÇYTHYEY-2016 esasları önem arz etmektedir.

4.1. Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)

Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) prensibine göre , herhangi bir yapı biriminin tasarımında ki tasarım dayanımı, ϕR_n 'nin bu tasarım yöntemi için öngörülen ve Yönetmelik 5.3.1 de verilen YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım, R_u , değerine denklem (4.1)'deki gibi eşit büyük olması prensibine dayanmaktadır. Buna göre, tasarım;

$$R_u \leq \phi R_n \quad (4.1)$$

koşuluna uygun olarak gerçekleştirilir. Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

R_u : Yük birleşimi (YDKT) altında hesaplanan gerekli dayanım.

R_n : Karakteristik dayanım.

ϕ : Dayanım katsayısı.

R_d : Tasarım dayanımı ($= \phi R_n$)

4.2. Güvenlik Katsayıları ile Tasarım(GKT)

Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) prensibine göre, herhangi bir yapı biriminin tasarımında ki güvenli dayanım, R_n/Ω 'nın, Yönetmelik 5.3.2 de verilen GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım, R_a , değerine denklem (4.2)'deki gibi eşit veya daha büyük olması durumuna dayanmalıdır. Buna göre tasarım;

$$R_a \leq R_g = \frac{R_n}{\Omega} \quad (4.2)$$

koşuluna uygun olarak gerçekleştirilir. Burada; R_a , GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım, R_n , Karakteristik dayanım, Ω , Güvenlik katsayısı, R_g , Güvenli dayanım ($= R_n/\Omega$) olarak tanımlanmaktadır.

4.3. Malzeme

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği 2016, yapı için kullanılacak çelik malzemenin özellikleri TS EN standartlarına uygun olması gerektiğini belirtmiştir. Yapı çeliklerinin sınıfları ÇYTHYEEY'ye göre Tablo 2.1A ve Tablo 2.1B'den alınmış. Buna göre yaygın olarak kullanılan yapı çelikleri için F_y (akma gerilmesi) ve F_u (çekme gerilmesi) değerleri Tablo 4.1'te verilmiştir.

Tablo 4.1.Yapısal Çelik Sınıfları [23]

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, t (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

4.4. Kesit Özellikleri

Elemanların en kesitleri ilgili detaylar ÇYTHYEEY-Bölüm 5.4 içerisinde verilmektedir. Bu bölüme burkulma ve eğilme sınır durumları için en kesit detaylarını içermektedir. Bu bölümde elemanlar en kesitleri özelliklerine göre ayrılmıştır;

- Eksenel basınç etkisi altındaki en kesitler, yerel sınır burkulma durumu esas alınarak narin olmayan en kesitler ve narin en kesitler olarak ikiye ayrılırlar.
- Eğilme momenti etkisi altındaki en kesitler, yerel sınır burkulma durumu esas alınarak narin en kesitler kompakt en kesitler ve kompakt olmayan en kesitler olarak üçe ayrılırlar.

Bu sınıflandırma eleman en kesitini oluşturan, kesit parçalarının genişlik/kalınlık oranları göz önünde bulundurularak tanımlanır. Yönetmelikte, rijitleştirilmemiş ve rijitleştirilmiş en kesit parçaları için yukarıdaki sınıflandırmaya ait sınır değerler tablolar halinde verilmiştir. Rijitleştirilmemiş en kesit parçaları basınç kuvveti eksenine paralel sadece bir kenarı boyunca en kesitin diğer parçası ile bağlanır. Rijitleştirilmiş en kesit parçaları her iki kenarı boyunca en kesitin başka parçaları ile bağlanan en kesit parçalarıdır. [23]Eksenel basınç etkisindeki en kesit parçaları

için narinlik değerleri ÇYTHYEV Tablo 4.2'ye göre verilmiştir. Üniform eğilme momentinin basınç bileşeni etkisindeki narinlik değerleri ÇYTHYEV'e göre Tablo 4.3'e göre verilmektedir.

Tablo 4.2. Eksenel Basınç Kuvveti Etkisindeki Enkesit Parçaları İçin Genişlik/Kalınlık Oranları[23]

	Durum	Tanım	Genişlik / Kalınlık Oranı, λ	Genişlik / Kalınlık Oranı Sınır Değeri, λ_r	Enkesit
Rijitleştirilmemiş Enkesit Parçası	1	Hadde I- profillerinin başlıkları, bu profillere bağlanan levhalar, boşluksuz olarak sürekli birleştirilen çift korniyerlerin dış kolları, U- ve T- profillerin başlıkları	b/t	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Yapma I-profillerin başlıkları, bu profillere bağlanan levhalar ve korniyerlerin dış kolları	b/t	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ ^(a)	
	3	Tek korniyerlerin kolları, birbirlerine boşluklu olarak bağlanan çift korniyerlerin kolları ve tüm rijitleştirilmemiş elemanlar	b/t	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Tablo 4.3. Eğilme Momentinin Basınç Bileşim Etkisindeki En kesit Parçaları İçin Narinlik Oranları [23]

Durum	Çekme Elemanı Tanımı	Gerilme Düzensizliği Etki Katsayısı, U	Örnek
1	Çekme elemanlarının birleşim bölgesine tüm enkesit parçalarıyla bağlanması durumu	$U = 1.0$	-
2	Çekme kuvvetinin, boru ve kutu enkesitli elemanlar hariç olmak üzere, bulonlu birleşimlerle veya boyuna ve enine kaynakların birlikte kullanıldığı kaynaklı birleşimlerle aktarıldığı tüm çekme elemanları	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$	
3	Kuvvetin çekme doğrultusuna dik kaynaklarla aktarıldığı birleşim	$U = 1.0$ A_n : doğrudan birleşen enkesit parçasının alanı	-
4 ^(a)	Çekme kuvvetinin sadece boyuna doğrultudaki kaynaklarla aktarıldığı levhalar, korniyerler, U-profiller, T-enkesitli elemanlar ($\bar{x}$ nin tanımı için Durum 2 ye bakınız)	$U = \frac{3l^2}{(3l^2 + b^2)} \left(1 - \frac{\bar{x}}{l}\right)$	
5	Bir birleşim levhasına bağlanan boru enkesitli profiller ^(a)	$l \geq 1.3D \rightarrow U = 1.0$ $D \leq l < 1.3D \rightarrow U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = D/\pi$	
6	Birleşim levhasına bağlanan kutu enkesitli profiller ^(a)	$l \geq H \rightarrow U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B + H)}$	
	Yan kenarlarda iki adet birleşim levhası kullanılması durumu	$l \geq H \rightarrow U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B + H)}$	

4.5. Çekme Çubuklarının Tasarımı

Eksenel çekme etkisindeki elemanların tasarımı ÇYTHYEEY- Bölüm 7’de incelenmektedir. Eksenel çekme etkisi statik bir kuvvettir. En kesitin ağırlık merkezine etki ettiği kabul edilir. Bölümde sunulan kurallar bu tip yüklemeler için geçerlidir. Bu elemanların stabilite tasarım kriteri yoktur. Ancak yine de yönetmelik $L/i \leq 300$ olmasını öne koşmaktadır. (L: çubuk uzunluğu, i: atalet yarıçapı)

Net en kesit alanı

$$A_n = A_g - \sum d_e t + \sum \frac{s^2 t}{4g} \quad (4.3)$$

A_g : Kayıpsız en kesit alanı

A_n : Kayıplı en kesit alanı

d_e : Etkin delik çapı

g : Kuvvete dik doğrultuda ardışık iki delik aralığı

t : Eleman kalınlığı

Akma sınır durumu için kayıpsız en kesit alanı:

$$T_n = F_y A_g \quad (4.4)$$

$$\phi_t = 0.90 \text{ (YDKT)} \quad \text{veya} \quad \Omega_t = 1.67 \text{ (GKT)}$$

Kırılma sınır durumu için etkin net en kesit alanı:

$$T_n = F_u A_g \quad (4.5)$$

$$\phi_t = 0.75 \text{ (YDKT)} \quad \text{veya} \quad \Omega_t = 2.00 \text{ (GKT)}$$

bulunur. Bu ifadeler yardımıyla, çekme tasarım dayanımı $\phi_t T_n$ (YDKT) ile güvenli çekme kuvveti dayanımı T_n / Ω_t (GKT) hesaplanır. Burada;

A_e : Etkin net en kesit alan(mm²)

A_g : Kayıpsız en kesit alan(mm²)

F_y : Akma gerilmesi yapısal çelik karakteristik

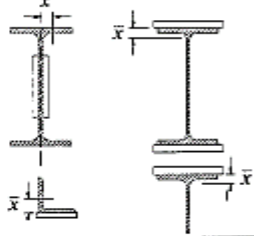
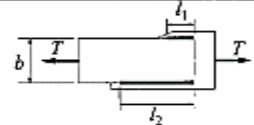
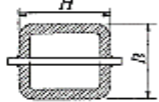
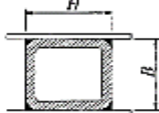
F_u : Yapısal çelik karakteristik çekme gerilmesi

Etkin net en kesit alanı:

$$A_e = U A_n \quad (4.6)$$

formülü ile hesaplanır. Burada gerilme düzensizliği etki katsayısı, $U \leq 1$ olup ve Tablo 4.4 alınmaktadır. Tabloda gerilme düzensizliği katsayıları, çekme elemanları durumları için verilmiştir.

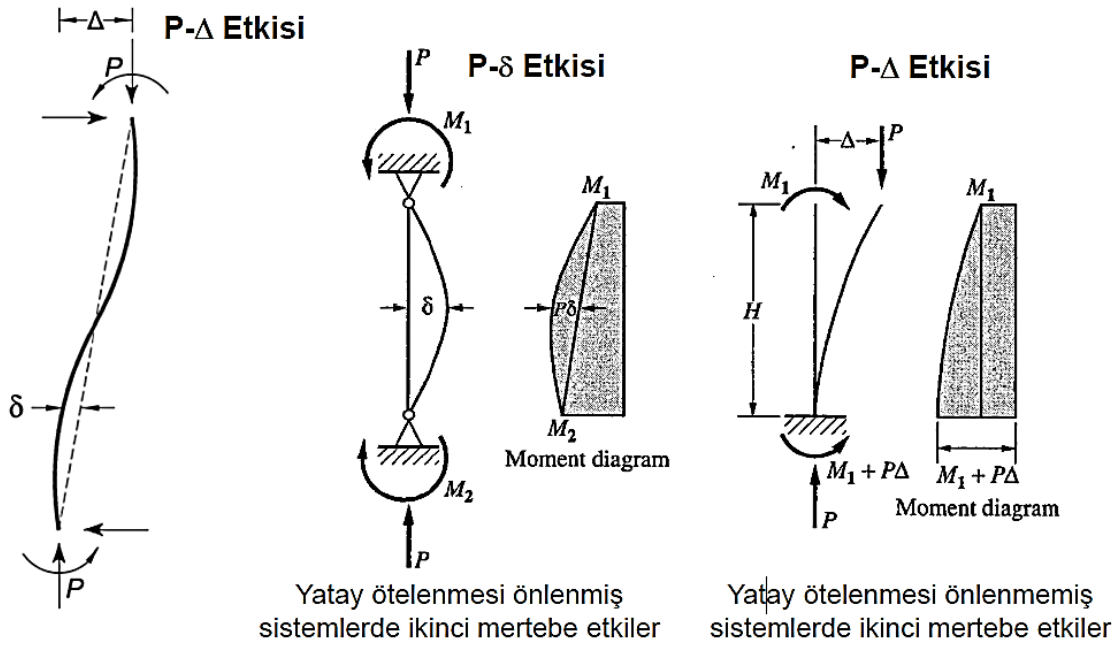
Tablo 4.4. Gerilme Düzensizliği Etki Katsayısı [23]

Durum	Çekme Elemanı Tanımı	Gerilme Düzensizliği Etki Katsayısı, U	Örnek
1	Çekme elemanlarının birleşim bölgesine tüm enkesit parçalarıyla bağlanması durumu	$U = 1.0$	-
2	Çekme kuvvetinin, boru ve kutu enkesitli elemanlar hariç olmak üzere, bulonlu veya boyuna ve enine kaynakların birlikte kullanıldığı kaynaklı birleşimlerle aktarıldığı tüm çekme elemanları	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$	
3	Kuvvetin çekme doğrultusuna dik kaynaklarla aktarıldığı birleşim	$U = 1.0$ A_n : doğrudan birleşen enkesit parçasının alanı	-
4 ^[a]	Çekme kuvvetinin sadece boyuna doğrultudaki kaynaklarla aktarıldığı levhalar, korniyerler, U-profiller, T-enkesitli elemanlar	$U = \frac{3l^2}{(3l^2 + b^2)} \left(1 - \frac{\bar{x}}{l} \right)$	
5	Bir birleşim levhasına bağlanan boru enkesitli profiller ^[b]	$l \geq 1.3D \rightarrow U = 1.0$ $D \leq l < 1.3D \rightarrow U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = D/\pi$	
6	Birleşim levhasına bağlanan kutu enkesitli profiller	Bir adet merkezi birleşim levhası kullanılması durumu ^[c] $l \geq H \rightarrow U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B + H)}$	
	Yan kenarlarda iki adet birleşim levhası kullanılması durumu	$l \geq H \rightarrow U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B + H)}$	

4.6. Stabilité Tasarımı

Stabilite tasarımı ile ilgili esaslar ÇYTHYAY'nın 6. Bölümünden alınmıştır. “Stabilite tasarımı, eleman ve sistemin geometri değişikliklerinin; denge denklemleri üzerindeki etkisini göz önüne alan ikinci mertbe teorisine göre analizini yapılmasını öngören ve sonucu alınan iç kuvvetlerin, elemanların dayanımları ile karşılaştırılmasını öngörmektedir.” olarak yönetmelikte tanımlanmıştır. [23] Yapı sistemlerinin stabilitesini etkileyen başlıca faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- Elemanların; aksel şekil değiştirmeleri, eğilme ve kayma ile birlikte, yapı sisteminin ötelemesinde etkili olabilen şekil değiştirmeler.
- Geometrik ön kusurlar (ilkel kusurlar).
- Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler.
- Sistem yer değiştirmesine ait ($P - \Delta$) ve eleman şekil değiştirmesine ait ($P - \delta$) ikinci mertbe etkileri yer alırken bu etkiler Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. ÇYTHY'ye göre ikinci mertebe etkiler

4.6.1. Yaklaşık İkinci Mertebe Analizi

Sistem elemanlarının ikinci mertebe etkilerini barındıran eğilme momenti dayanımı, M_r , ve eksenel kuvvet dayanımı, P_r , sırasıyla denklem (4.7) ve (4.8) ile verilmiştir.

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{1t} \quad (4.7)$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{1t} \quad (4.8)$$

B_1 : (P- δ) etkilerini baz alan, yatay ötelenmesi önlenmiş tasarımların elemanlarındaki artırma katsayısı

B_2 : (P- δ) etkilerini baz alan, yatay ötelenmesi önlenmemiş tasarımların elemanlarındaki artırma katsayısı

M_r : İkinci mertebe etkilerini barındıran ve yük birleşimleri (YDKT veya GKT) altında hesaplanan eğilme momenti dayanımı

P_r : İkinci mertebe etkilerini barındıran ve yük birleşimleri (YDKT veya GKT) altında hesaplanan eksenel kuvvet dayanımı

M_{nt} : Birinci mertebe eğilme momenti; yük birleşimleri (YDKT veya GKT) altında, yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde hesaplanan

P_{nt} : Birinci mertebe eksenel kuvvet; yük birleşimleri (YDKT veya GKT) altında, yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde hesaplanan

M_{1t} : Birinci mertebe eğilme momenti; yapı sisteminde sadece yanal ötelenmesi sonucu, yük birleşimleri (YDKT veya GKT) altında ki elemanlarda oluşan

P_{1t} : Birinci mertebe eğilme momenti; yapı sisteminde sadece yanal ötelenmesi sonucu, yük birleşimleri (YDKT veya GKT) altında ki elemanlarda oluşan

B_1 katsayısı, (P- δ) etkileri için;

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_r}{P_{e1}}} \geq 1 \quad (4.9)$$

$$\alpha = 1.0 \text{ (YDKT)} \quad \text{veya} \quad \alpha = 1.6 \text{ (GKT)}$$

$$C_m = 0.6 - 0.4(M_1/M_2) \quad (4.10)$$

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2} \quad (4.11)$$

denklemleri ile hesaplanır. Buradaki ifadeler;

C_m :Eşdeğer sabit moment dönüştürme katsayısı

P_{cl} :Eğilme düzlemindeki elastik burkulma yükü

EI :Azaltılmış rijitlik

I :Elemanın eğilme düzlemindeki atalet momenti

L :Eleman boyu

K_1 :Eğilme düzlemindeki burkulma katsayısı

(P- Δ) etkileri için B_2 katsayısı ;

$$B_2 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_{kat}}{P_{e,kat}}} \geq 1 \quad (4.12)$$

$$\alpha = 1.0 \text{ (YDKT)} \quad \text{veya} \quad \alpha = 1.6 \text{ (GKT)}$$

$$P_{e,kat} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} \quad (4.13)$$

$$R_M = 1 - 0.15(P_{mf}/P_{kat}) \quad (4.14)$$

denklemleri ile hesaplanır. Buradaki ifadeler;

P_{kat} :YDKT veya KGT yük birleşimleri için söz konusu kata etkileyen düşey taşıyıcı yük

$P_{e,kat}$:Kata etkilenen elastik burkulma yükü

R_M :Alan katsayısı

L	:Kat yüksekliği
P _{mf}	:Moment aktaran çerçevelerde kat kolonlarına etkiyen düşey yük
Δ _H	:Birinci mertebe görelî kat ötelemesi
H	:Kat kesme kuvveti

4.6.3. Burkulma Yöntemi İle Tasarım

Burada burkulma katsayısının (K) hesabı aşağıda verilen denklemler ve nomogramlar ile yapılabilir. Nomogramlarda verilen G_A ve G_B büyüklükleri sırasıyla söz konusu olan kolonun üst ve alt düğüm noktalarında birleşen, kolon ve kirişlerin eğilme rijitlikleri toplamalarının oranına bağlı olarak denklem (4.15) ile hesaplanır.

$$G = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{(E_g I_g / L_g)} \quad (4.15)$$

E_cL_c : Kolon en kesiti eğilme rijitliği

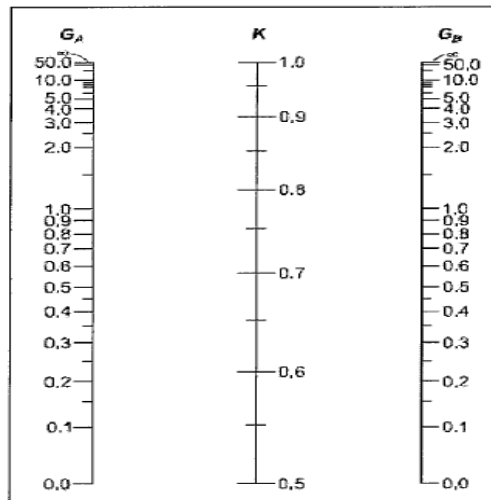
L_c :Kolon boyu

E_gL_g :Kiriş en kesiti eğilme rijitliği

L_g :Kiriş boyu

Yanal ötelenmesi önlenmiş (düğüm noktaları sabit) moment aktaran çerçeveler ve benzeri sistemlerde burkulma boyu katsayısı, K, önceden belirlenen G_A ve G_B büyüklüklerine bağlı olarak denklem (4.16) veya Şekil 4.2’de verilen nomograndan faydalanarak hesaplanabilir

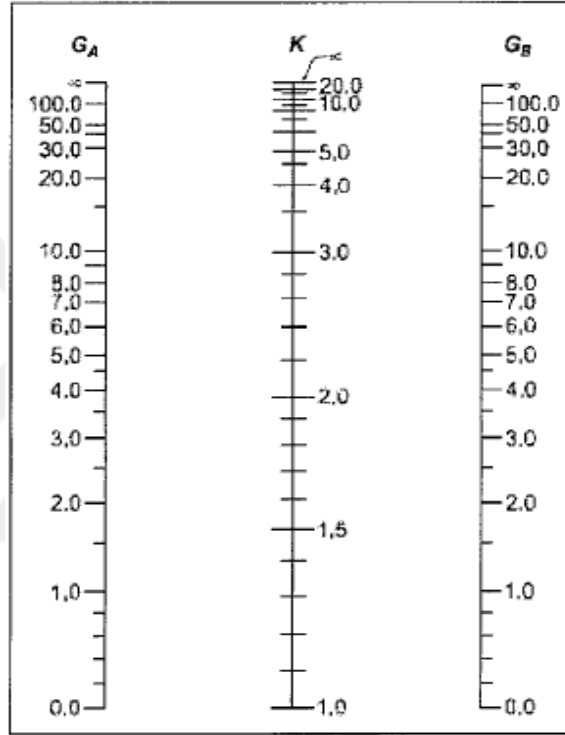
$$K = \frac{3G_A G_B + 1.4(G_A + G_B) + 0.64}{3G_A G_B + 2(G_A + G_B) + 1.28} \quad (4.16)$$



Şekil 4.2. Yanal ötelenmesi önlenmiş sistemlerde burkulma boyu katsayısı, K [23]

Yanal ötelemesi önlenmemiş(düğüm noktaları hareketli) moment aktaran çerçeveler ve benzeri sistemlerde burkulma boyu katsayısı, K, önceden belirlenen G_A ve G_B büyüklüklerine bağlı olarak denklem (4.17) ve şekil Şekil 4.3'te verilen nomogram yardımıyla hesaplanabilir

$$K = \sqrt{\frac{G_A(1.6G_B + 4) + 4(G_B + 7.5)}{G_A + G_B + 7.5}} \quad (4.17)$$



Şekil 4.3. Yanal ötelemesi önlenmemiş sistemlerde burkulma boyu katsayısı, K [23]

4.7. Basınç Çubuklarının Tasarımı

Basınç çubukları tasarımı ÇYTHY'Y'nin 8. Bölümünden esas alınmıştır. [23] Basınç kuvveti esasına dayalı tasarım yapılırken; bütün elemanlarında, basınç kuvvet dayanımı, $\phi_c P_n$, (YDKT) veya güvenli basınç dayanımı, P_n / Ω_c (GKT),

$$\phi_c = 0.90 \text{ (YDKT)} \quad \text{veya} \quad \Omega_c = 1.67 \text{ (GKT)}$$

alınır. Basınç elemanları için burkulma boyu ($L_c = KL$) kullanılarak hesaplanan narinlik oranı $L_c / i \leq 200$ olmalıdır.

L_c : Elemanın burkulma boyu (=KL)

i :Atalet Yarıçapı

K :Burkulma boyu katsayısı

L :Eleman boyu

Burkulma boyu katsayısının hesabı pratik olarak Tablo 4.5'ten de alınabilir.

Tablo 4.5. Burkulma boyu katsayıları [23]

Kesikli çizgiler basınç çubuğunun burkulmuş şeklini gösterir.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
						
	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Önerilen tasarım burkulma boyu katsayısı	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
Bilgi	 Dönme ve öteleme önlenmiş  Dönme serbest, öteleme önlenmiş  Dönme önlenmiş, öteleme serbest  Dönme ve öteleme serbest					

Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.2'ye göre eksenel basınç kuvveti altındaki narin o lmayan elemanların karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı, P_n , denklem (4.18)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (4.18)$$

Burada kritik burkulma, F_{cr} , denklem (4.19) veya (4.20) ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{L_c}{i} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{veya} \quad \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25)$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (4.19)$$

$$\frac{L_c}{i} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{veya} \quad \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25)$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (4.20)$$

A_g :Kayıpsız en kesit alanı

F_e :Elastik burkulma gerilmesi

F_y :Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi

F_{cr} :Kritik burkulma gerilmesi

Burada ki elastik burkulma gerilmesi, F_e , denklem (4.21) ile hesaplanmaktadır.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i} \right)^2} \quad (4.21)$$

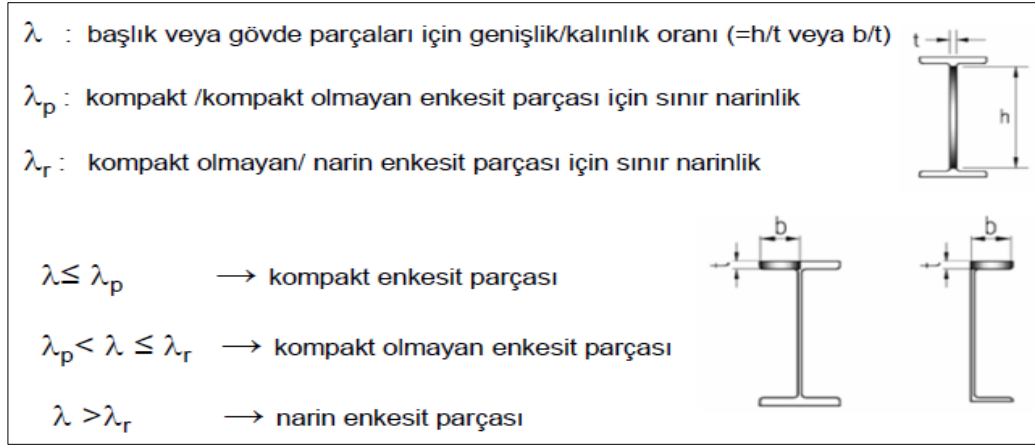
4.8. Eğilme Etkisindeki Elemanların Tasarımı

Eğilmese etkisinin incelenmesi ile ilgili esaslar ÇYTHYİY'nin 9. Bölümünden esas alınmıştır. [23] Eğilme etkisindeki elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , tüm eğilme elemanları için,

$$\phi_b = 0.90 \text{ (YDKT)} \quad \text{veya} \quad \Omega_b = 1.67 \text{ (GKT)}$$

Alınarak, tasarım eğilme momenti dayanımı, $\phi_b M_n$, (YDKT) veya güvenli eğilme momenti dayanımı, M_n / Ω_b , (GKT) aşağıdaki koşullar dikkate alınarak belirlenecektir. [23]

Elemanın asal eksenlerine paralel düzlelerden birinde yük etkisinde olması veya doğru eksenleri çevresinde burulmasının yük etkiye noktalarında ve mesnetlerde önlendiği varsayımına dayanmaktadır. Basit eğilme etkisinde ki çubuklar incelenirken, eğilmenin ana eksen (güçlü eksen) etrafında olduğu; kuvvetin, burulma yapmaması için, kayma merkezine etki ettiği kabul edilir. ÇYTHYİY'de bu elemanların kesit davranışları Tablo 4.3'ye göre narin, kompakt veya kompakt olmayan olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca eğilme momentinin basınç bileşeni etkisi için profil yapısı üzerindeki tanımlar Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Eğilme Momentinin Basınç Bileşeni Etkisi için Tanımlar [23]

Tüm I kesit gibi (çift simetri eksenli kesitler) ve tek simetri eksenli, tek eğrilikli çubuklar için, yanal burulmalı burkulma değişim katsayısı (moment değişim katsayısı);

$$C_b = \frac{12M_{maks}}{2.5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (4.22)$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır. Burada,

C_b :Moment düzeltme katsayısı

M_{maks} : Maksimum moment yanal destekler arasındaki (N.mm)

M_A : Yanal destekler arasındaki dörtte bir moment (N.mm)

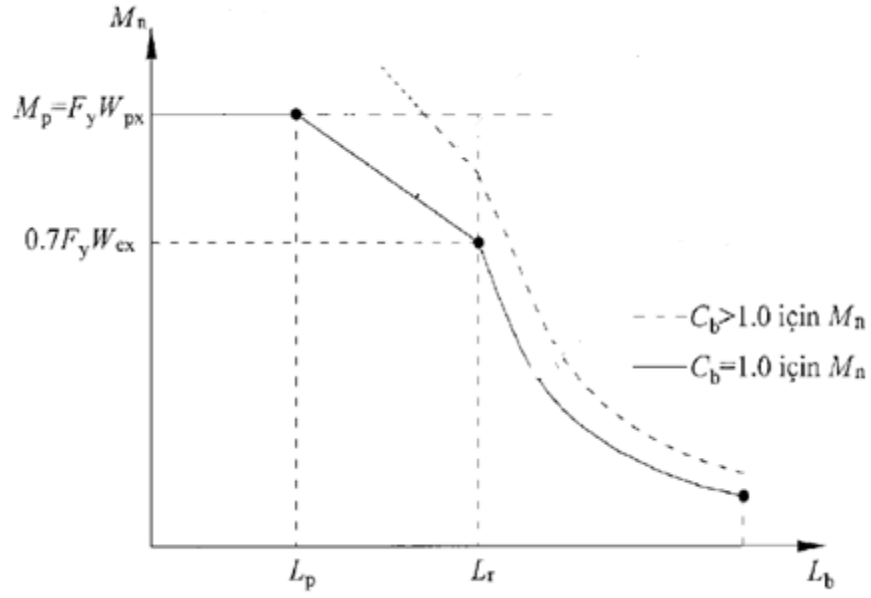
M_B : Yanal destekler arasındaki orta nokta moment (N.mm)

M_C : Yanal destekler arasındaki dörtte üç moment (N.mm)

Eğilme momenti etkisi, kuvvetli asal eksenleri etrafında olan ve Tablo 4.3'e göre kompakt sınıfında olan I ve U en kesitli elemanların eğilme momenti dayanımı, M_n hesabı için esaslar irdelenecektir. Akma durumu için karakteristik eğilme momenti ;

$$M_n = M_p = F_y W_{px} \quad (4.23)$$

Burada ki terimler; M_n : Karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_p :Plastik eğilme momenti, F_y :Karakteristik akma gerilmesi yapısal çelik için, W_{px} : Plastik mukavemet momenti, x-ekseni etrafında olarak tanımlanır.



Şekil 4.5. Yerel burkulma sınır durumları [23]

Yerel burkulma açısında sınır durumları Şekil 4.5'te verilmektedir. Buna göre;

- $L_p \leq L_r$ ise sınır durum alınmaz
- $L_p < L_b \leq L_r$ ise karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ;

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (4.24)$$

- $L_b > L_r$ olması durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ;

$$M_n = F_{cr} W_{ex} \leq M_p \quad (4.25)$$

şeklinde hesaplanır. Buradaki terimlerden;

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J_c}{W_{ex} h_o} \left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2} \quad (4.26)$$

L_p ve L_r sınır durumları ise;

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{E / F_y} \quad (4.27)$$

$$L_r = 1.95 i_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}} \quad (4.28)$$

Burada c katsayısı çift simetri eksenli I-en kesitler için:

$$c = 1.0 \quad (4.29)$$

Şeklinde hesaplanırken, etkin atalet yarıçapı, i_{ts} , aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 + \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h t_w}{b_f t_f}\right)}} \quad (4.30)$$

Burada verilen ifadeler aşağıda açıklanmıştır.

W_{ex}	:x-ekseni etrafında elastik mukavemet momenti
E	:Çelik elastisite modül(200000MPa)
I_y	:y-ekseni etrafında atalet momenti
L_b	:Stabilite bağlantısı ile desteklenmeyen elemen uzunluğu
L_p	:Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk
L_r	:Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma sınır uzunluk
i_y	:y-ekseni atalet momenti
i_{ts}	:Etkin atalet momenti
J	:Burulma sabiti
C_w	:Çarpılma sabiti
h_0	:Enkesit başlıklarının ağırlık merkezleri arası uzaklık

4.9. Kesme Kuvvet Etkisindeki Elemanların Tasarımı

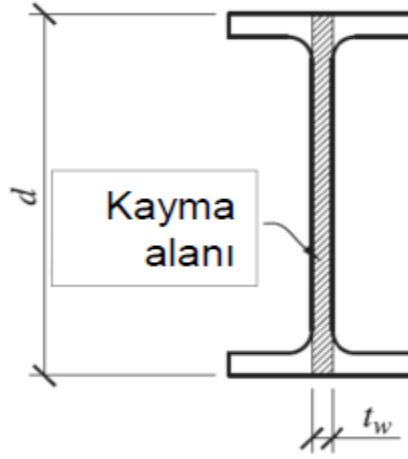
Kesme kuvveti etkisi için tasarım esasları ÇYTHYİY'nin 10. Bölümünden esas alınmıştır. [23]
Kesme kuvveti etkisindeki elemanın karakteristik kesme kuvveti dayanımı, V_n , kesme kuvveti etkisindeki elemanların tasarım kesme kuvveti dayanımı, $\phi_v V_n$ (YDKT) veya güvenli kesme kuvveti dayanımı, $V_n \Omega_v$ (GKT) yönetmeliğin 10.2.1(a) bölümü haricindeki bütün elemanları için;

$V_n \phi_n$: tasarım kesme kuvveti dayanımı

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_{v1} \quad (4.31)$$

$$\phi_b = 0.90 \text{ (YDKT)} \quad \text{veya} \quad \Omega_b = 1.67 \text{ (GKT)}$$

V_n : Karakteristik kesme kuvvet dayanımı



Şekil 4.6. Efektif Kayma Alanı

Kayma etkisi altındaki etkin gövde alanı Şekil 4.6 ile gösterilmektedir. Burada, verilen formül ve açıklamalar, tek veya çift simetri düzlemlı I kesitler ve U kesitleri kapsamaktadır.

$$A_w = dt_w \quad (4.32)$$

I enkesitli hadde profillerinin $h/t \leq 2.24\sqrt{E/F_y}$ olması durumunda $\phi_v = 1.0$ (YDKT) veya $\Omega_v = 1.50$ (GKT) ve $C_{v1} = 1.0$ olacaktır. Denklem (4.32) te; A_w gövde alanı(= dt_w), d enkesit yüksekliği, t_w gövde kalınlığıdır. Buna ek olarak h net yükseklik, C_{v1} gövde kesme kuvveti dayanım katsayısını ifade etmektedir.

1.1. Eğilme Momenti ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Elemanlar

Geometrik eksenleri etrafında eğilme etkisindeki tek ve çift simetri eksenine sahip elemanlarda eğilme momenti ve basınç kuvveti etkileşimi ;

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad \frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ için} \quad (4.33)$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad \frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ için} \quad (4.34)$$

ile sınırlandırılır. Denklem (4.)’da bahsedilen terimler herhangi bir yükleme koşulunda eksenel basınç ve eğilme etkisindeki elemanların kapasite kontrolünü yapmaktadır. P_r yük birleşimleri (GKT veya YDKT) için elde edilen eksenel kuvvet dayanımını ifade ederken, P_c eksenel basınç dayanımı ($=\phi_c P_n$ veya P_n / Ω_c) ifade etmektedir. M_r yük birleşimleri (GKT veya YDKT) için eğilme moment dayanımı, M_c bölüm 0’ a göre eğilme moment dayanımı ($=\phi_b M_n$ veya

M_n / Ω_b) ifade eder. Kuvvetli eksen gösteren x, zayıf eksen gösteren y alt indisdir. YDKT için, ϕ_c : Dayanım katsayısı eğilme momenti etkisi için, (=0.90), ϕ_b : Dayanım katsayısı basınç etkisi için, (=0.90 ve GKT için Ω_c : Eğilme momenti etkisi için güvenlik katsayısı, (=1,67), Ω_b : Basınç etkisi için güvenlik katsayısı (=1,67) alınır.

4.10. Kullanılabilirlik Sınırlayıcıları

Katlar arası öteleme sınırlayıcılarını denklemler (4.35) ve (4.36) yatay deplasman sınırlayıcılarını açıklamaktadır.

$$(\delta_j - \delta_{j-1})/h_j \leq \delta_{ju} \quad j=1, \dots, ns \quad (4.35)$$

$$\delta_j \leq \delta_{ju} \quad j=1, \dots, nd \quad (4.36)$$

Buna göre δ_{j-1} ve δ_j birbiri ardına gelen katları belirtirken h_j kat yüksekliğini ifade etmektedir. Maksimum yatay deplasmanı δ_{ju} ve toplam kat sayısında ns belirtmektedir. nd deplasmanı sınırlanmış noktaların sayısıdır. Çok katlı yapılar için kolonların yatay deplasman değeri; kolonun yüksekliği/300 ile kirişlerin maksimum sehim değeri ise açıklık/300 ile sınırlıdır.

5. SAYISAL ÇALIŞMA VE BULGULAR

Bu çalışmada çelik çerçeve sistemlerin SAP2000 OAPI tabanlı genetik algoritma tasarımı ile optimum tasarımı programı geliştirilmiştir. Tasarım değişkenleri olarak W çelik profillerin kesit özellikleri güncel profil listesinden alınarak listelenmiştir. Tüm problemlerde S355 çeliği kullanılmış ve bu çeliğe ait özellikler Tablo 5.1’de verilmiştir.

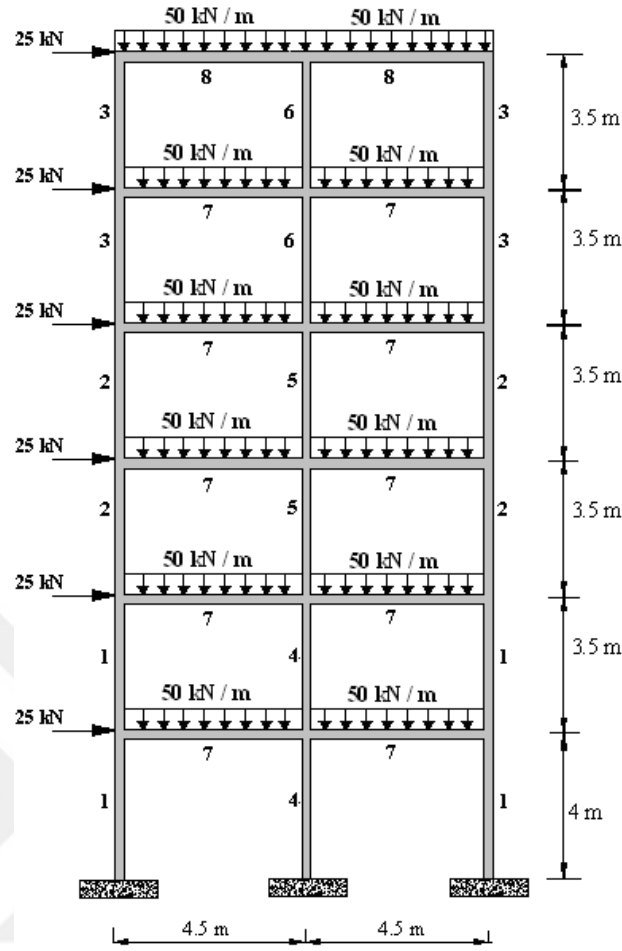
Tablo 5.1 S355 çeliği malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	
Akma gerilmesi	$F_y = 355 \text{ N/mm}^2$
Çekme gerilmesi	$F_u = 510 \text{ N/mm}^2$
Özgül ağırlık	$\rho = 76,9729 \text{ kN/m}^3$
Elastisite modülü	$E = 20000000 \text{ kN/m}^2$
Poison oranı	$\nu = 0.3$

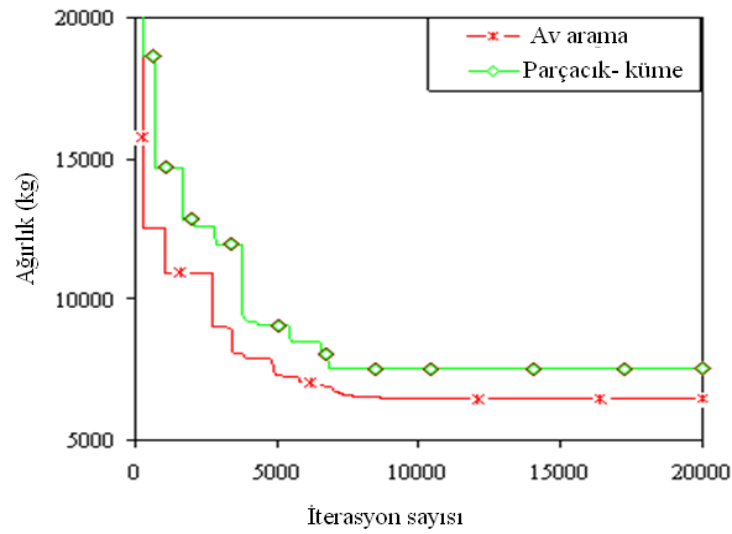
5.2. İki Açıklıklı Altı Katlı Çelik Çerçeve Tasarımı

Seçilen çerçeve sistem literatürde kullanılan bir sistem olup kaynak [2] alınmıştır. 2 açıklıklı, 6 katlı ve 30 elemanlı çelik çerçeve sistem Şekil 5.1’de, sistem için [2]’de verilen av arama ve parçacık küme optimizasyonuna ait ağırlık-iterasyon grafiği Şekil 5.2’te verilmiştir. Sistem SAP2000 programının modelleme ilkelerine göre modellenmiş ve analizi yapılmıştır. Tasarım optimizasyonu sırasında elemanların kapasiteleri ÇYTHYEH hesap esasları göz önüne alınarak incelenmiştir. Çerçeve kirişlerinin üzerine 50kN/m yük uygulanmış, yatay doğrultu da 25kN/m rüzgâr yükü uygulanmıştır. Tasarım sırasında yönetmeliğin kabul ettiği I kesitli profiller kullanılmıştır. Analizde S355 çeliği kullanılmıştır. S355 çeliğinin malzeme özellikleri;

Doğan ve Saka, hazırladıkları sistemi şekilde görüldüğü gibi 8 grup için incelemiştir. Katlar arası ötelenme 1,17 cm, üst katın yanal yer değiştirmesi ise 7,17 cm ile sınırlamışlar. Çalışma da sisteme av arama ve parçacık-küme optimizasyonları uygulamış ve bu gruplar için kesit sonuçları, toplam kütle ve maksimum analiz sayılarını vermiştir.



Şekil 5.1. İki Açıklıklı Altı Katlı Çelik Çerçeve [2]

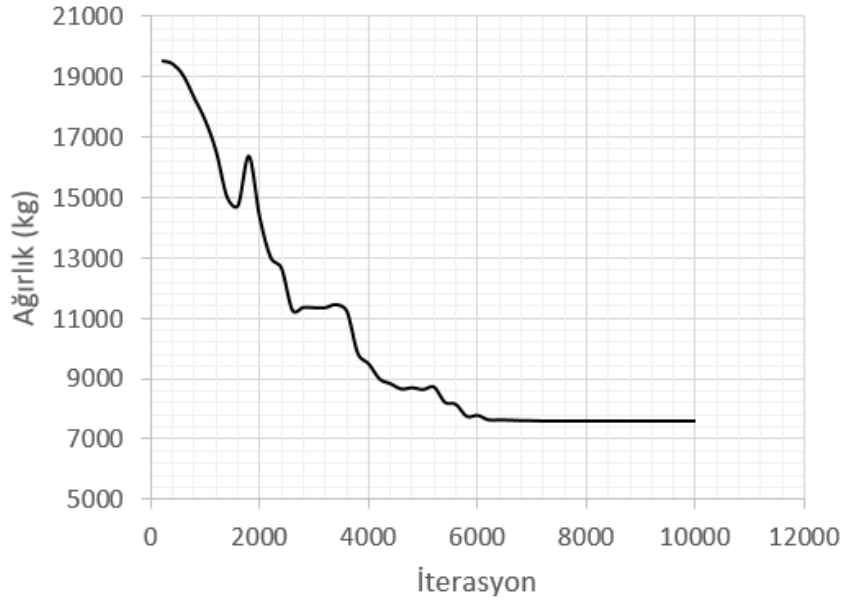


Şekil 5.2. İki Açıklıklı Altı Katlı Çelik Çerçeve İterasyon Ağırlık Grafiği [2]

Kaynak olarak alınan bilgiler ve önceki kısımlarda açıklanan tasarım ilkeleri doğrultusunda açıklanan yapılan çalışmaya ait sonuçlar Tablo 5.2.'de genetik algoritma için alınan ağırlık-iterasyon grafiği Şekil 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.2. İki Açıklıklı Altı Katlı Çelik Çerçeve Tasarım Sonuçları

Grup Numarası	Av Arama Algoritması	Parçacık Küme Algoritması	Bu Çalışma
1	W24x55 =104.52 cm ²	W21x50 =94.84 cm ²	W 530 x 210 x 92 =115.5 cm ²
2	W18x35 =66.45 cm ²	W12x35 =66.45 cm ²	W 460 x 150 x 60 =72.73 cm ²
3	W8x24 =45.68 cm ²	W8x28 =53.26 cm ²	W 360 x 130 x 39.0 =49.84 cm ²
4	W16x45 =85.81 cm ²	W18x60 =113.55 cm ²	W 250 x 250 x 80 =102.01 cm ²
5	W16x36 =68.38 cm ²	W18x60 =113.55 cm ²	W 410 x 180 x 85 =108,30cm ²
6	W14x30 =57.10 cm ²	W14x48 =90.97 cm ²	W 200 x 165 x 41.7 =53,17cm ²
7	W18x35 =66.45 cm ²	W18x40 =76.12 cm ²	W 460 x 190 x 67 =84.46 cm ²
8	W18x35 =66.45 cm ²	W18x46 =87.10 cm ²	W 460 x 190 x 67 =84.46 cm ²
Ağırlık(Kg)	6451	7532	7595
Analiz Sayısı	9280	6890	7380

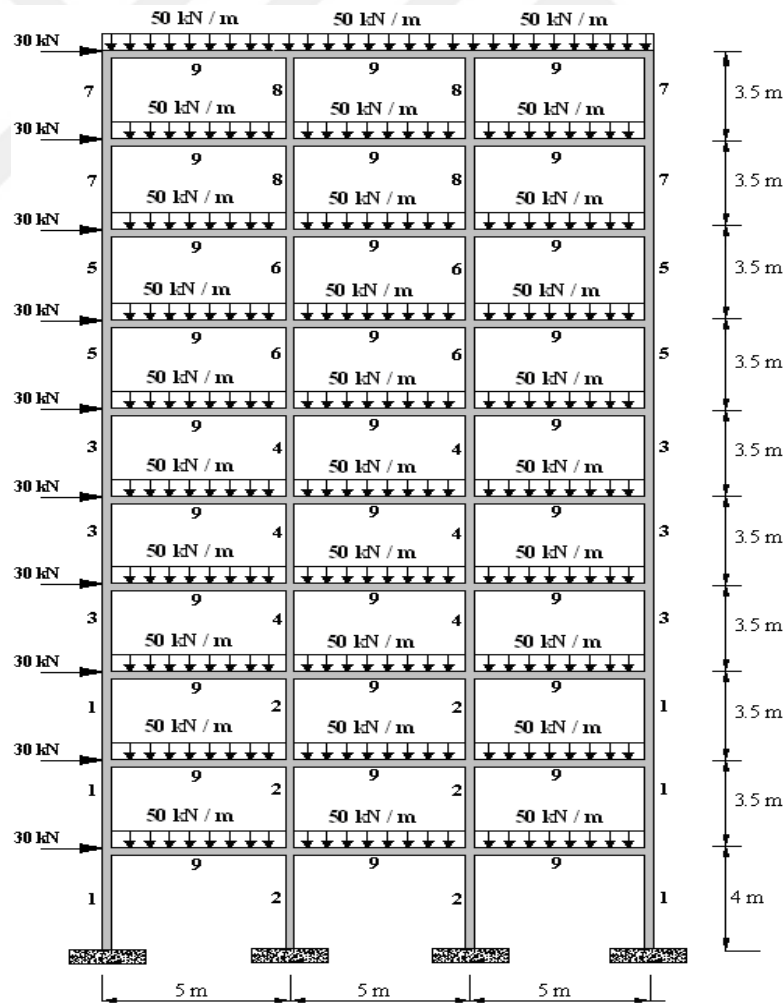


Şekil 5.3. İki Açıklıklı Altı Katlı Çelik Çerçeve Genetik Algoritma İterasyon Ağırlık Grafiği

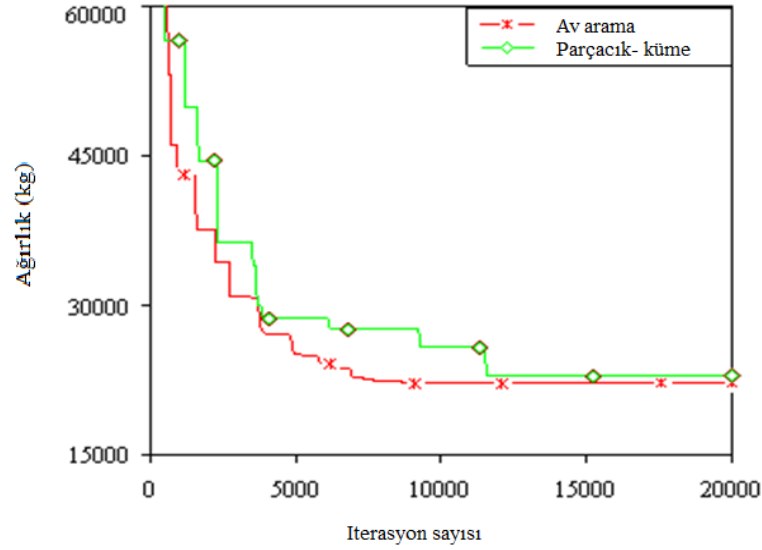
İki açıklıklı çerçevede tasarım geçmişi Şekil 5.3'te verilen ağırlık iterasyon grafiğinde gösterilmiştir. Tablo 5.2. ' göre SAP2000 OAPI tabanlı genetik algoritma ile yapılan tasarım av arama algoritmasına göre %6, parçacık küme optimizasyonuna göre neredeyse denklik sağlanmıştır.

5.3. Üç Açıklıklı On Katlı Çelik Çerçeve Tasarımı

Seçilen çerçeve sistem literatürde kullanılan bir sistem olup kaynak [2] alınmıştır. 3 açıklıklı, 10 katlı ve 70 elemanlı çelik çerçeve sistem Şekil 5.4’de, sistem için [2]’de verilen av arama ve parçacık küme optimizasyonuna ait ağırlık-iterasyon grafiği Şekil 5.5’te verilmiştir. Sistem SAP2000 programının modelleme ilkelerine göre modellenmiş ve analizi yapılmıştır. Tasarım optimizasyonu sırasında elemanların kapasiteleri ÇYTHYEH hesap esasları göz önüne alınarak incelenmiştir Çerçeve kirişlerinin üzerine 50kN/m yük uygulanmış, yatay doğrultu da 25kN/m rüzgâr yükü uygulanmıştır. Tasarım sırasında yönetmeliğin kabul ettiği I kesitli profiller kullanılmıştır. Analizde S355 çeliği kullanılmıştır. Doğan ve Saka, hazırladıkları sistemi şekilde görüldüğü gibi 9 gruba ayırarak incelemiştir. Katlar arası ötelenme 1.17cm ve en üst katın maksimum yatay deplasmanını 11.8cm olarak sınırlandırmışlardır. Çalışma da sisteme av arama ve parçacık-küme optimizasyonları uygulamış ve bu gruplar için kesit sonuçları, toplam kütle ve maksimum analiz sayılarını vermiştir.



Şekil 5.4. Üç Açıklıklı On Katlı Çelik Çerçeve [2]

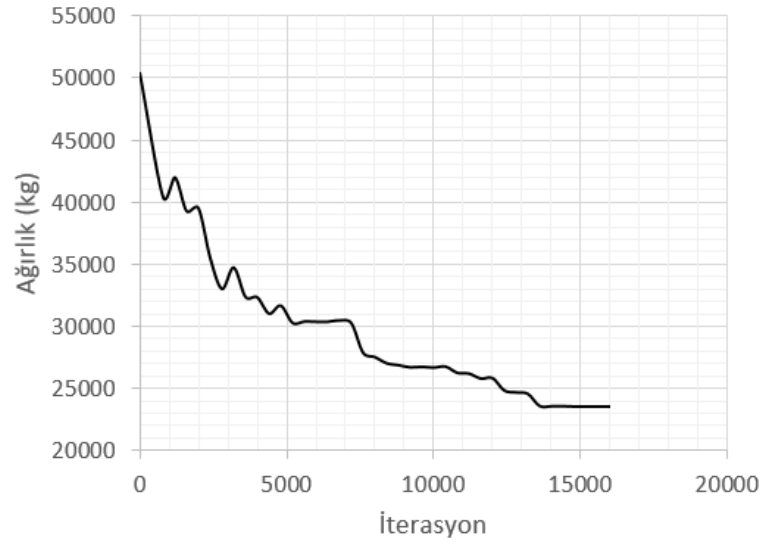


Şekil 5.5. Üç Açıklıklı On Katlı Çelik Çerçeve İterasyon Ağırlık Grafiği [2]

Kaynak olarak alınan bilgiler ve önceki kısımlarda açıklanan tasarım ilkeleri doğrultusunda açıklanan yapılan çalışmaya ait sonuçlar Tablo 5.3’de, genetik algoritma için alınan ağırlık-iterasyon grafiği Şekil 5.6’te verilmiştir.

Tablo 5.3. Üç Açıklıklı On Katlı Çelik Çerçeve Tasarım Sonuçları

Grup Numarası	Av Arama Algoritması		Parçacık Küme Algoritması		Bu Çalışma	
1	W24x104	=197.4 cm ²	W24x104	=197.4 cm ²	W 760 x 265 x 161	= 221,3 cm ²
2	W24x68	=129.67 cm ²	W24x76	=144.52 cm ²	W 310 x 310 x 117	=149,7 cm ²
3	W21x62	=118,06 cm ²	W21x62	=118.06 cm ²	W 310 x 310 x 97	=123,3 cm ²
4	W18x50	=94,84 cm ²	W18x55	=107.10 cm ²	W 250 x 250 x 80	=102,1 cm ²
5	W16x40	=76.13 cm ²	W12x40	=76.13 cm ²	IW 410 x 180 x 60	=75,80 cm ²
6	W14x34	=64.52 cm ²	W16x36	=68.38 cm ²	W 410 x 180 x 60	=75,80 cm ²
7	W16x40	=76.13 cm ²	W12x40	=76.13 cm ²	W 410 x 180 x 60	=75,80 cm ²
8	W14x34	=64.52 cm ²	W16x36	=68.38 cm ²	W 200 x 200 x 59	=75,68 cm ²
9	W21x44	=83.87 cm ²	W18x46	=87.10 cm ²	W 460 x 190 x 82	=104,4cm ²
Ağırlık(Kg)	22127		22879		23203	
Analiz Sayısı	12370		13600		13580	



Şekil 5.6. Üç Açıklıklı On Katlı Çelik Çerçeve Genetik Algoritma İterasyon Ağırlık Grafiği

İki açıklıklı çerçevede tasarım geçmişi Şekil 5.6'te verilen ağırlık iterasyon grafiğinde gösterilmiştir. Tablo 5.1'e göre SAP2000 OAPI tabanlı genetik algoritma ile yapılan tasarım arama algoritmasına göre %2, parçacık küme optimizasyonuna göre %3 daha ağır yapı olarak davranış sergilemiştir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada SAP2000 OAPI arabirimi kullanılarak, GA yardımıyla çerçeve sistemlerin minimum ağırlıklı optimizasyonunu yapılmıştır. SAP2000 OAPI desteği araştırılmış ve SAP2000 programında hazırlanan modellerin GA ile optimum tasarım elde edilmiştir. SAP2000 OAPI temelli geliştirilen algoritma ile yapılan tasarım aşamalarının (veri giriş-çıkışı, sonlu elemanlar yönteminin içeriğe dahil edilmesi, modellemenin kolaylaştırılması) uygulanmasını kolaylaştırmasını sağlamıştır. Bu doğrultuda OAPI'nin etkin bir araç olduğu görülmektedir.

Çalışma, ülkemizde çelik yapıların tasarımı için kullanılan Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYEEY) esasları doğrultusunda yapılmıştır. ÇYTHYEEY, Amerikan Yapısal Çelik Binalar için Yönetmelik, AISC 360-16,(Specification for Structural Steel Buildings) başlıklı yönetmelik esasları düzenlenerek hazırlanmış ulusal bir yönetmelik olup alınan sonuçlar bunu destekler niteliktedir. Geliştirilen program genel amaçlı olup, ÇYTHYEEY'nin tasarım esasları problem sınırlayıcılarını oluşturmaktadır.

GA metodunun bileşenleri olan; tek noktalı çaprazlama, mutasyon ve popülasyon karakterlerini içeren bir kodlama kullanılmıştır. GA üzerine yapılan bir çalışma olan kaynak [24]'de bahsedilen, bu değişkenlerin GA performansı üzerine etkileri görülmüştür. GA optimizasyonu kaynak [2]'ten alınan iki ayrı sistem ile örneklendirilmiştir. Alınan sonuçlar Doğan ve Saka'nın çalışmasında kullandığı av arama ve parçacık küme optimizasyonlarına oranla %3 daha ağır tasarım sergilemiştir. Optimizasyon metotları incelenirken en ideal metodun, bulunması, ilk denemelerde iyi sonuç alınması garanti edilememektedir. Bu sebeple kullanılan metodun uygulanabilirliği ve keskinliğinin daha iyi olacak şekilde geliştirilebilir.

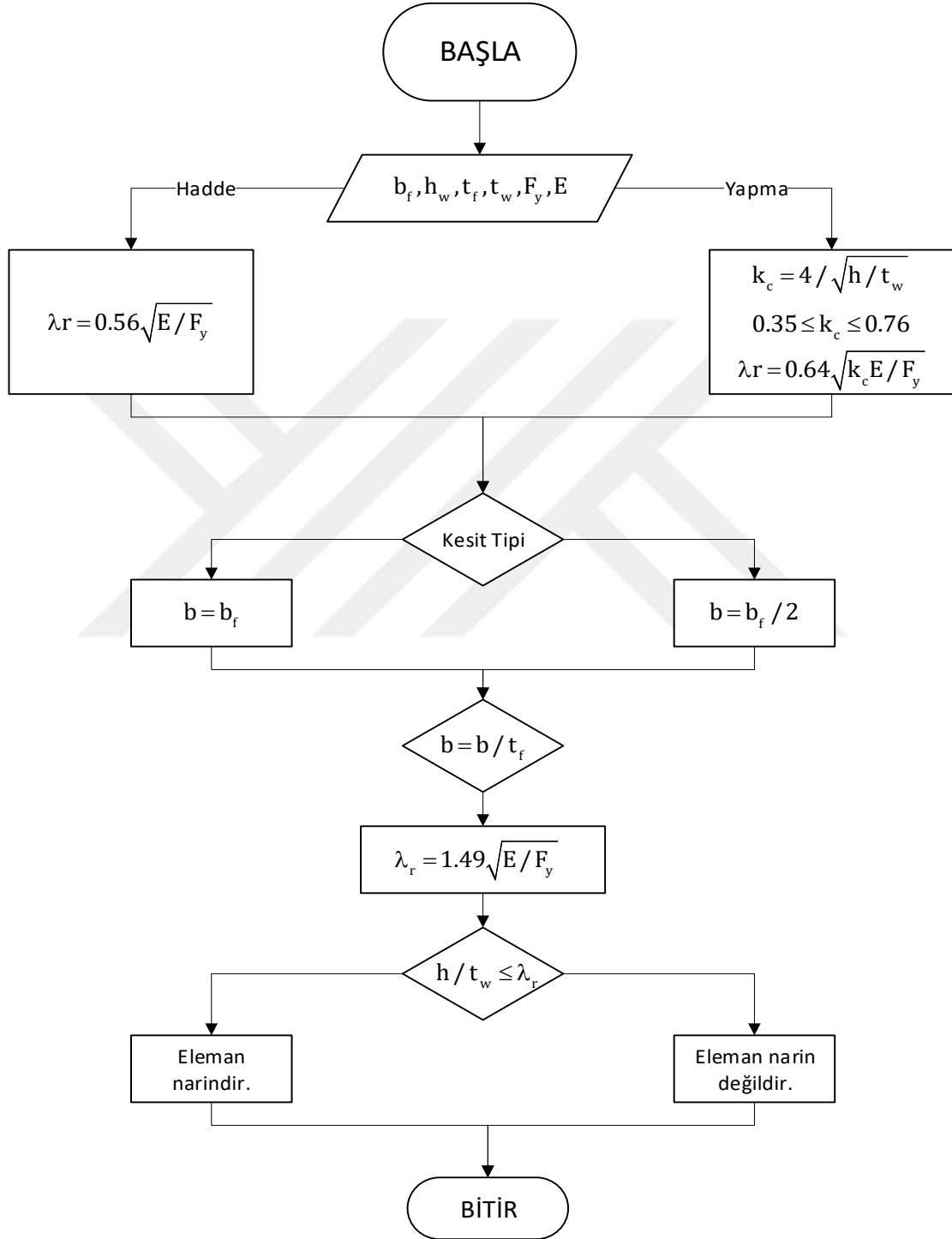
KAYNAKLAR

- [1] F. Ülker Peker ve R. İnce, «Kompozit Çelik I-Kiriş Köprülerin Sezgisel Algoritma Teknikleriyle,» Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2019.
- [2] E. Doğan ve M. P. Saka, Çelik Çerçevelerin LRFD_AISC Şartnamelerine Göre Av Arama Optimizasyon Yöntemi Kullanılarak Optimum Boyutlandırılması, 18. Ulusal Mekanik Kongresi, Manisa, 2013.
- [3] V. Toropov ve S. Y. Mahfouz, Design Optimization Of Structural Steelwork Using A Genetic Algorithm, FEM And A System Of Design Rules, *Engineering Computations*, cilt 38, no. 10, 2001.
- [4] M. R. Baradaran ve M. Madhkan, *Application of an Improved Genetic Algorithm for Optimal Design of Planar Steel Frames*, Periodica Polytechnica Civil Engineering.
- [5] R. Torregosa ve W. Kanok-Nukulchai, Weight Optimizastion of Steel Frames Using Genetic Algorithm, *Advances in Structural Engineering*, 2002.
- [6] S. Bekiroğlu ve Y. Ayvaz, *Genetik ALgoritma İle Çelik Çerçevelerin Optimum Boyutlandırılması*, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [7] M. S. Hayalioğlu ve S. Ö. Değertekin, Design of non-linear steel frames for stress and displacement constraints with semi-rigid connections via genetic optimization, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, pp. 259-271, 2004.
- [8] Ö. F. Usluoğulları ve M. Ülker, *Evrimsel Yapı Optimizasyonu ve Yönteminin İncelenmesi ve Uygulamaları*, Elazığ, 2006.
- [9] M. P. Saka, «Optimum Design of Steel Frames using Stochastic Search Techniques Based on Natural Phenomena: A Review,» *Civil Engineering Computations: Tools and Techniques*, 2007.
- [10] S. Ö. Değertekin, M. Ülker ve M. S. Hayalioğlu, Uzay Çelik Çerçevelerin Tabu Arama Yöntemiyle Optimum Tasarımı, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Isparta, 2007.
- [11] T. Şeker ve Ü. Aldemir, *Düzlemsel Çelik Çerçevelerin Genetik ALgoritma İle Optimizasyonu*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [12] E. Doğan ve M. P. Saka, Çelik Çerçevelerin LRFD_AISC Şartnamesine Göre Parçacık Küme Optimizasyonu Yöntemi Kullanılarak Optimum Boyutlandırılması, 16. Mekanik Kongresi, Kayseri, 2009.
- [13] Ö. Sevim ve M. Sönmez, «Geliştirilmiş Yapay Arı Koloni ALgoritması ile Kafes ve Düzlemsel Çelik yapıların Optimum Tasarımı,» *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, pp. 38-51, 2014.
- [14] M. Ülker ve S. Savaş, *AISC 360-10 ve Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007)'ne göre Çelik Yapıların Tasarımı*, Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [15] M. Artar ve A. Daloğlu, Çok Katlı Kompozit Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma ile Dinamik Sınırlayıcı Optimizasyonu, *İMO Teknik Dergi*, pp. 7077-7098, 2015.
- [16] M. Yassami ve P. Ashtari, «Using fuzzy genetic algorithm for the weight optimization of steel frames with semi-rigid connections,» *International Journal of Steel Structures*, cilt 15, no. 1, pp. 63-73, 2015.
- [17] P. Cicconi, M. Germani, S. Bondi, A. Zuliani ve E. Cagnacci, A Design Methodology to Support the Optimization of Steel Structures, *Procedia CIRP*, cilt 50, pp. 58-64, 2016.
- [18] M. B. Prendes-Gero, A. Bello-García, J. J. del Coz-Díaz, F. J. Suárez-Domínguez ve P. J. García Nieto, Optimization of steel structures with one genetic algorithm according to, *Revista de la Construcción. Journal of Construction*, cilt 17, no. 1, pp. 47-59, 2018.

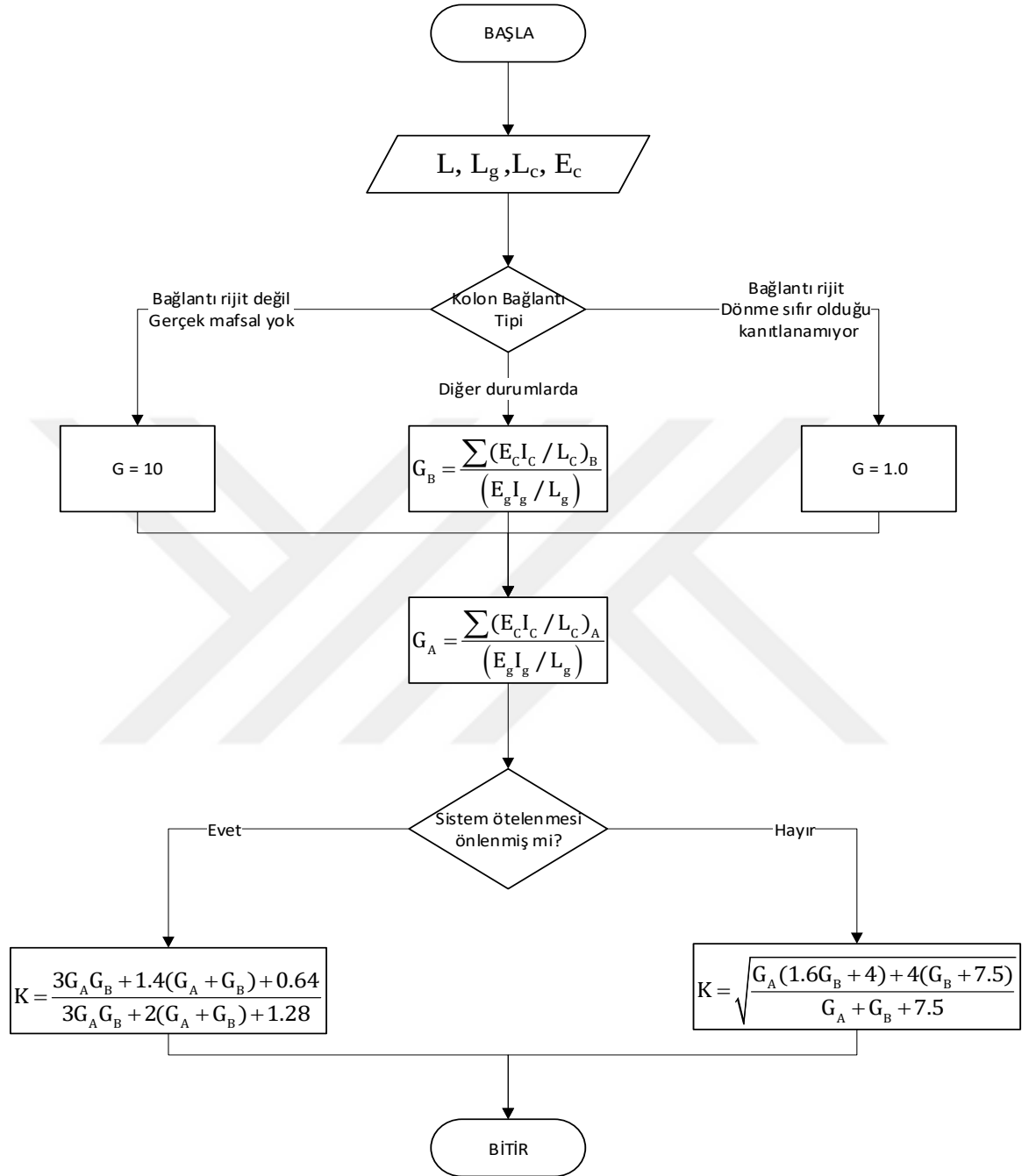
- [19] T. Rabczuk, T. s. Timon ve A. Shishegaran, Evaluation of a Novel Asymmetric Genetic Algorithm to Optimize the Structural Design of 3D Regular and Irregular Steel Frames, *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, October 2020.
- [20] M. R. Aydın ve A. Günaydın, Çelik Yapı Tasarım Kuralları ve Uygulama Örnekleri, İstanbul: Birsan Yayınevi, 2017.
- [21] E. Işık, Ö. Yamaç , M. S. Erçek ve İ. Yamaç, Farklı Taşıyıcı Sistemlerdeki Yapılarda Malzeme Dayanımının Yapı Performansına Etkisi, *Erciyes University Journal of Natural and Applied Sciences*, cilt 33, no. 1, 2017.
- [22] F. K. Urfalı ve Z. C. Girgin, *Güncel Çelik Yapı Sistemlerinin İncelenmesi*, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [23] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik*, Resmi Gazete, 2016.
- [24] D. Karaboğa, Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Ankara: Nobel Yayın, 2014, pp. 73-106.
- [25] G. Saeed ve P. Hamed, Optimum design of steel frame structures by a modified dolphin echolocation algorithm, *Structural Engineering and Mechanics*, cilt 55, no. 3, 2015.
- [26] M. Sellami , J. C. Mangin , N. B. Hadj Ali ve A. F. Cutting-Decelle, Genetik Algoritmalar Kullanılarak Yarı Rijit Çelik Çerçevelerin Çok Aşamalı Üretim Maliyeti Optimizasyonu, *Engineering Structures*, cilt 31, no. 11, pp. 2766-2778, 2009.
- [27] M. Ülker ve M. S. Hayalioğlu, Optimum Design of Space Trusses with Buckling Constraints by Means of Spreadsheets, *Turkish Journal Of Engineering And Environmental Sciences*, pp. 355-367, 2000.
- [28] J. H. Holland, Doğal ve yapay sistemlerde adaptasyon, Michigan Üniversitesi , Ann Arbor, 1975.
- [29] D. E. Goldberg, Arama, optimizasyon ve makine öğreniminde genetik algoritmalar, Addison Wesley Yayıncılık Şirketi, 1989.
- [30] M. S. Hayalioğlu ve S. Ö. Değertekin, Design of Non-Linear Steel Frames for Stress Displacement Constraints with Semi-rigid Connections Via Genetic Optimization, *Struc Multidisc Optim* 27, pp. 259-271, 2004.
- [31] Computers & Structures, CSi API Documentation, 1978-2018.
- [32] TS EN 206, Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk standardı, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 2014.
- [33] T. B. D. Sitesi, Mimari tasarım haberleri ve yapılar ile ilgili fotoğrafların, 2012.
- [34] T. Cura, Modern Sezgisel Teknikler ve Uygulamaları, İstanbul: Papatya Yayıncılık, 2008, pp. 87-112.
- [35] D. Jong ve K. Alan, An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems, *Computer and Communication Science*, 1975.
- [36] J. D. Schaffer, R. A. Caruana ve L. J. Eshelman, A Study of Control Parameters Affecting On-line Performance of Genetic Algorithms for Function Optimisation, *Proc. 3rd Int. Conf. on Genetic Algorithms an their Application*, 1989.
- [37] J. Grefenstette, Optimization of control parameters for genetic algorithms, *IEEE*, pp. 122-128, 1986.
- [38] O. Sultan, Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esasları Tasarım Akış Diyagramları, Nobel, 2018.

EKLER

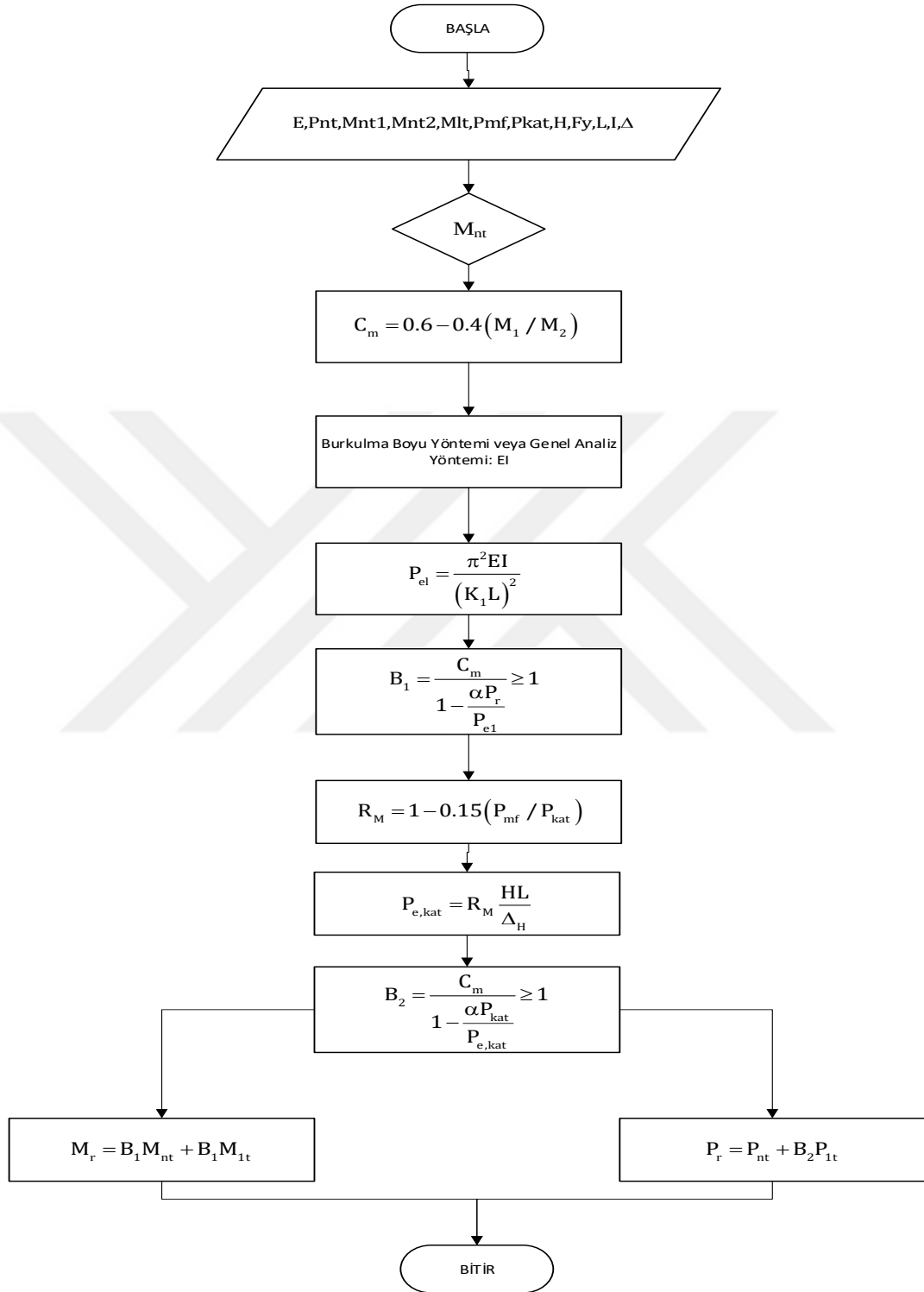
Ek- 1. Basınçta Etkisinde I Ve U Profilleri Sınıflandırması [23,38]



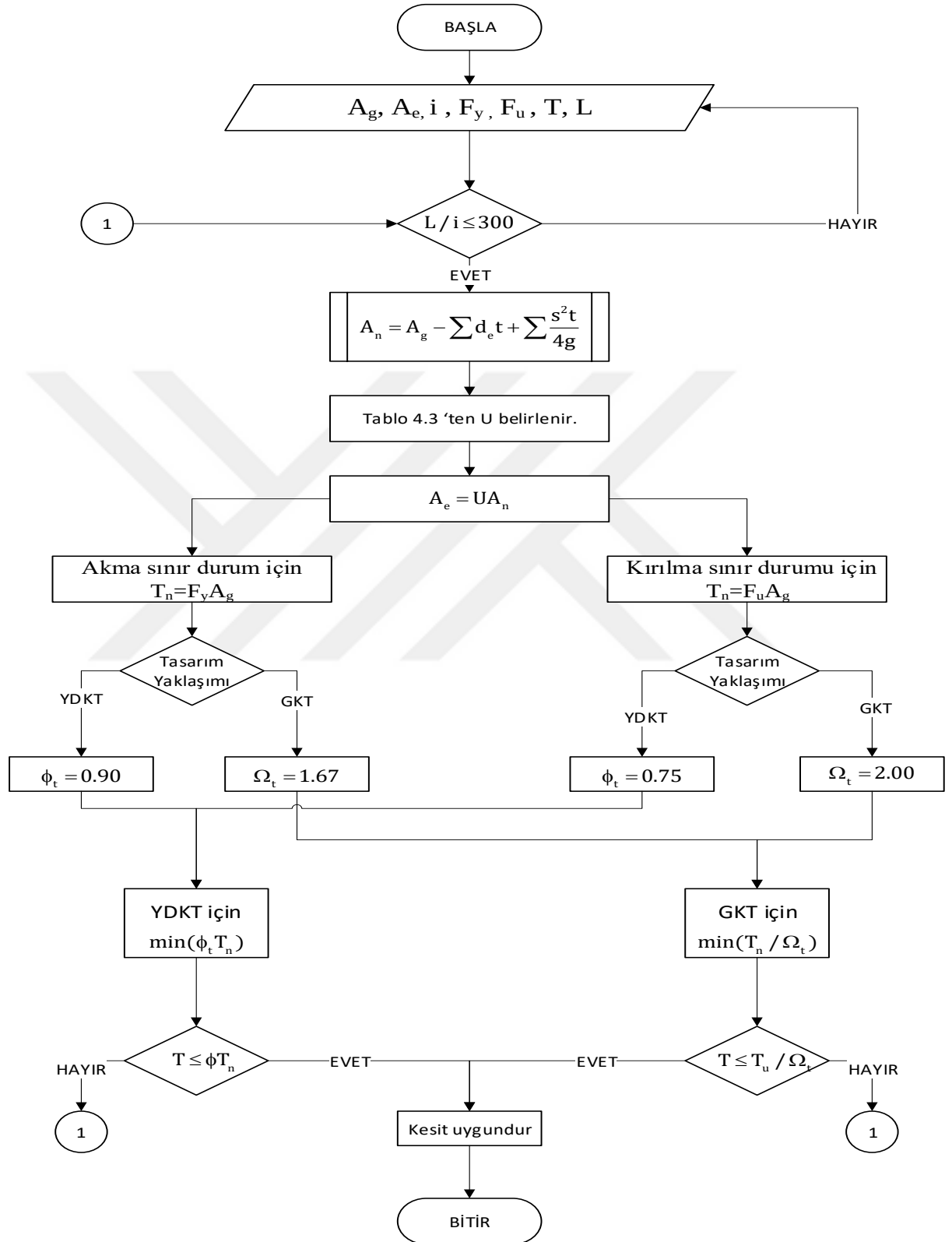
Ek- 2. Burkulma Boyu Katsayısı Hesabı Algoritma Şeması [23,38]



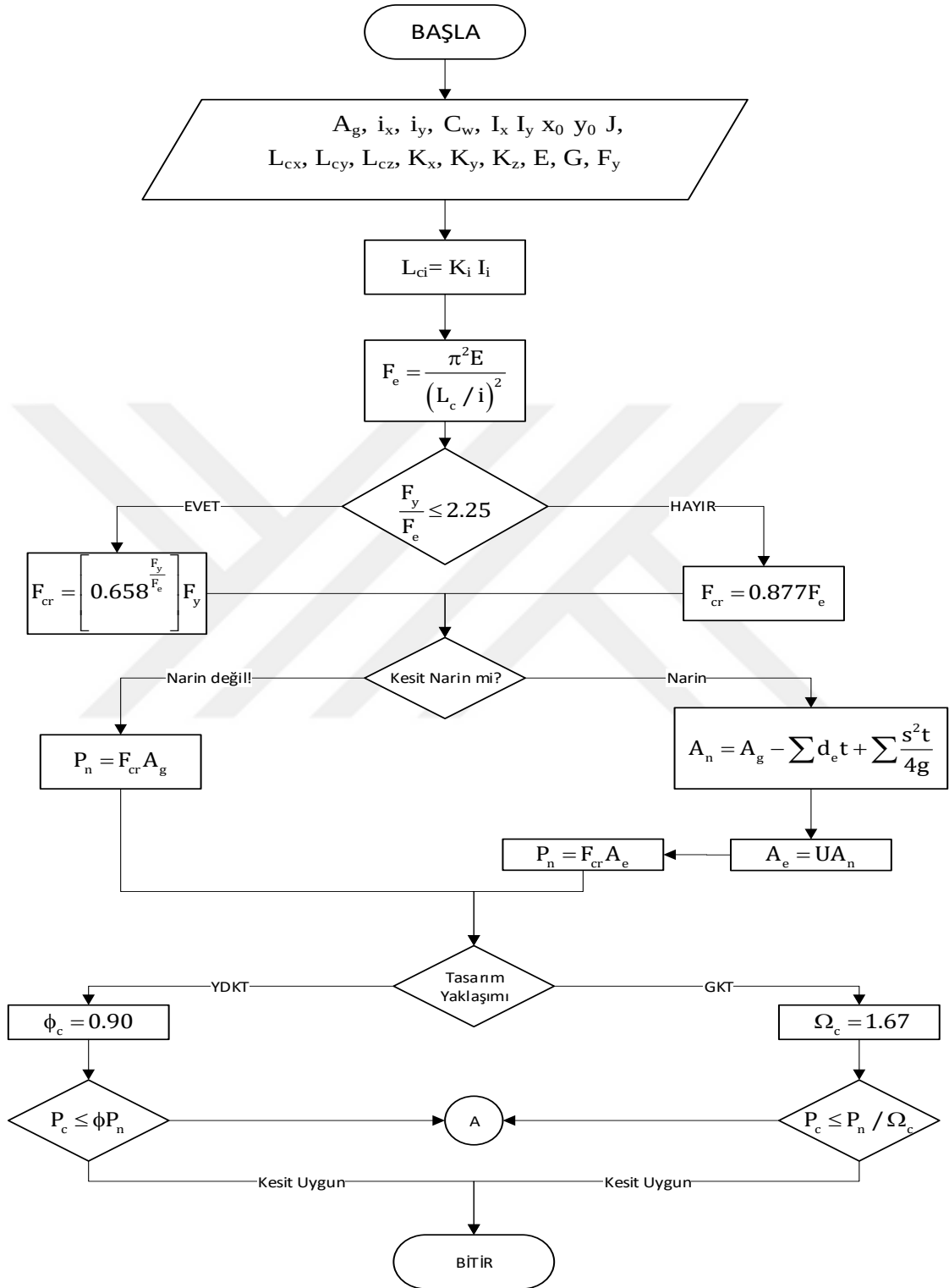
Ek- 3. Yaklaşık İkinci Mertebe Analizi Hesabı [23,38]



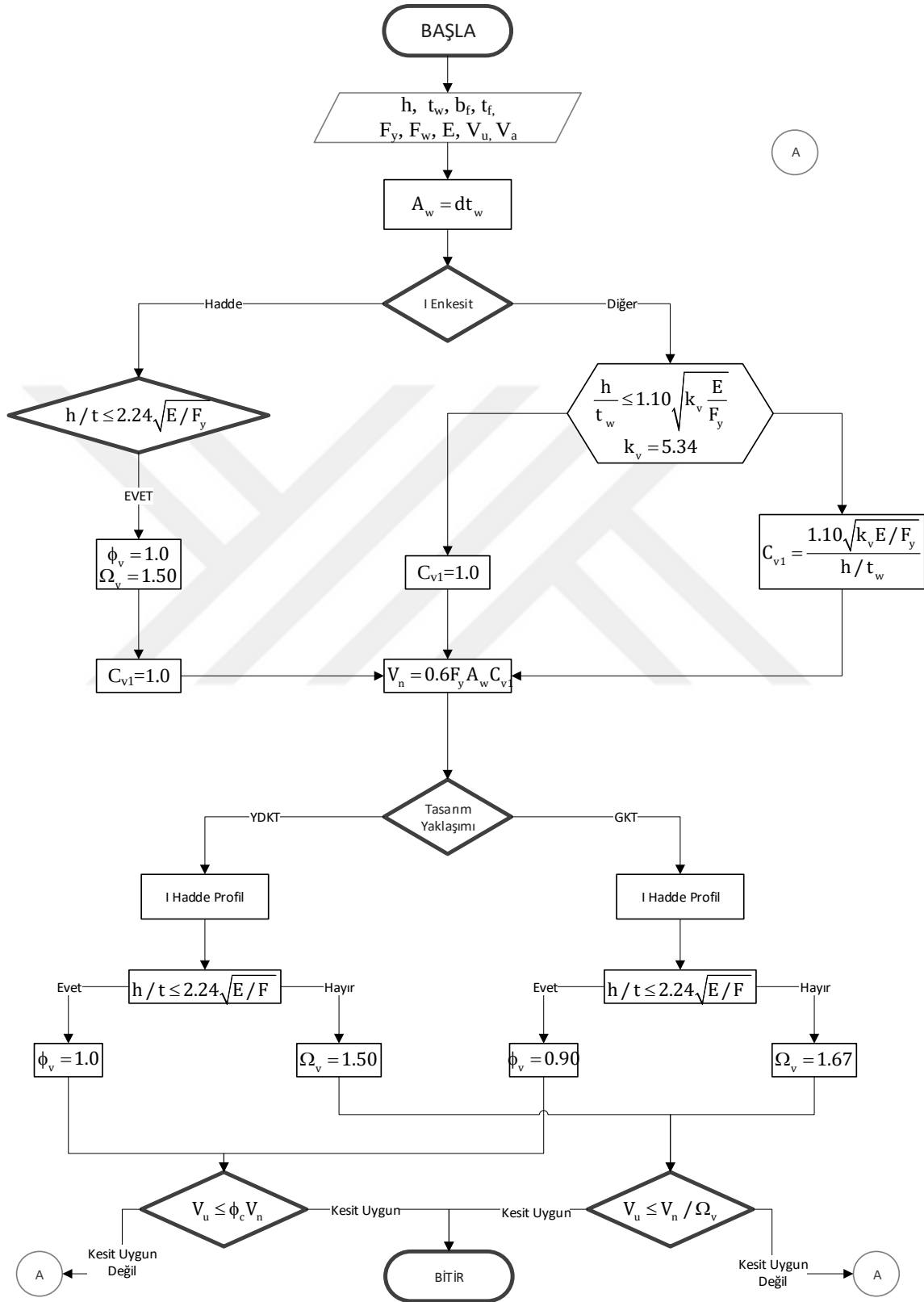
Ek- 4. Çekme Dayanımı Hesabı [23,38]



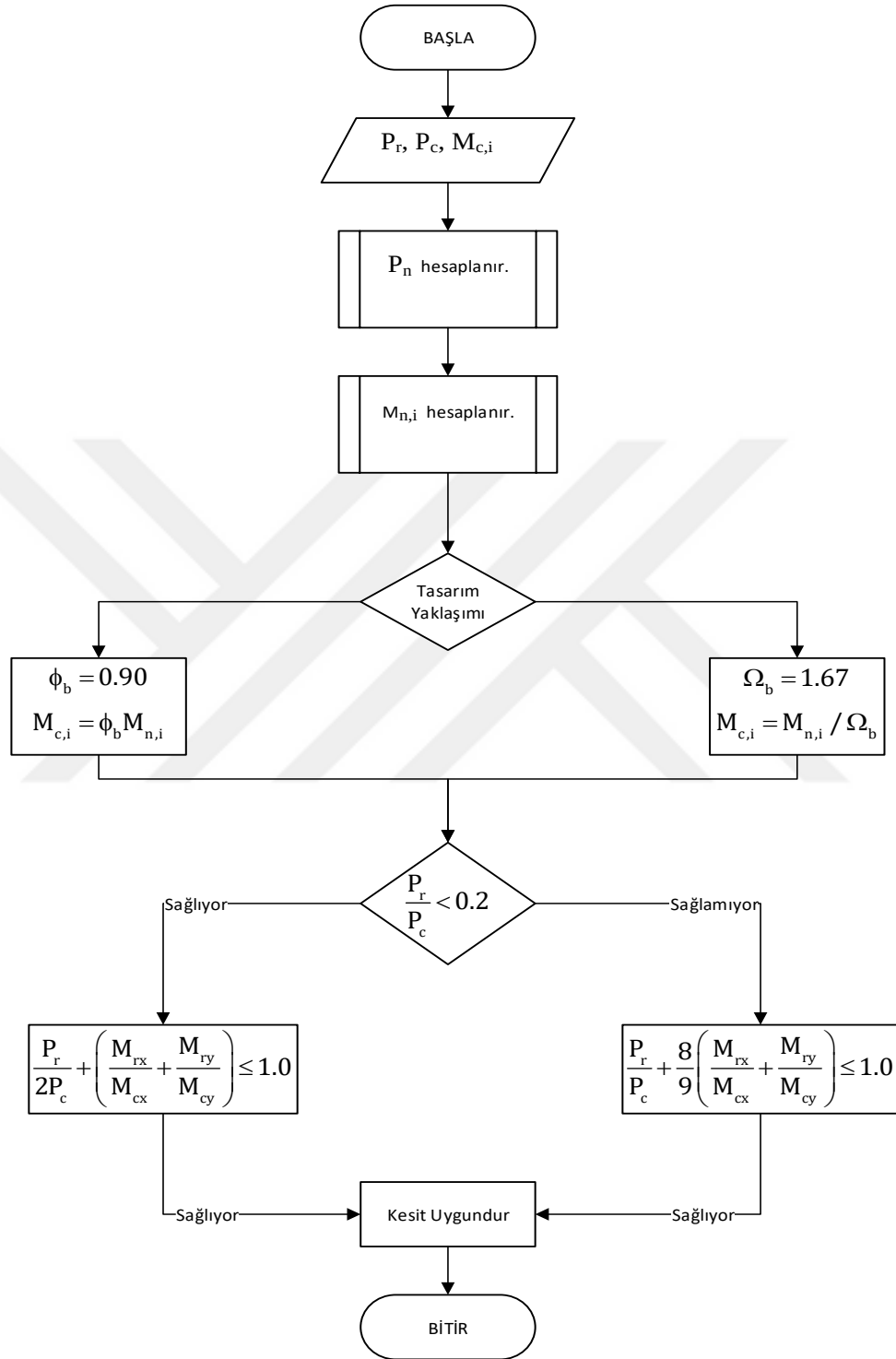
Ek- 5. Basınçta Çalışan Elemanların Kontrolü [23,38]



Ek- 6. Kesme Etkisindeki Elemanların Analiz [23,38]



Ek- 7. Eğilme ve Basınç Etkisindeki, Tek ve Çift Simetri Eksenli Elemanların Analizi [23,38]



ÖZGEÇMİŞ

Erkin EREN

[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]