



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEZGİSEL METOTLAR KULLANARAK BETONARME
ÇERÇEVELERİN OPTİMUM MALİYETLİ TASARIMI

ELMAS RAKICI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Sinan Melih NİGDELİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 13.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliğı Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Doç. Dr. Sinan Melih NİGDELİ(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU
Beykent Üniversitesi
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi



Doç. Dr. Turgay ÇOŞGUN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır..

ÖNSÖZ

İnşaat mühendisinin tasarım yaparken dikkat etmesi gereken en önemli faktör yapısal güvenliği sağlanmasıdır. Yapısal güvenliğin sağlanmasının yanı sıra yapıyı minimum maliyetle tasarlamakta önemlidir. Optimizasyon tasarımcının hem sistemi en iyi şekilde tasarlamasını hem de bunu en az maliyetle yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında metasezgisel bir algoritma kullanılarak 2 boyutlu betonarme çerçeve sistem örneklerinin optimum maliyetle tasarımının yapılması amaçlanmıştır. Tez çalışmamın hazırlanma sürecinin her aşamasında bilgisini, tecrübesini ve değerli zamanını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan danışmanın Doç. Dr. Sinan Melih Nigdeli'ye ve değerli hocam Doç. Dr. Gebrail Bekdaş'a ve destek ve yardımlarından dolayı aileme teşekkür ederim.

Haziran 2019

Elmas RAKICI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ.....	vii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	viii
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	14
3.1. MATRİS DEPLASMAN YÖNTEMİ.....	14
3.2. JAYA ALGORİTMASI (JA).....	18
4. BULGULAR.....	20
4.1. BETONARME ÇERÇEVE SİSTEMİN OPTİMUM MALİYETLE TASARIMI.....	20
4.1.1. İKİ AÇIKLIKLI TEK KATLI BETONARME ÇERÇEVENİN OPTİMİZASYONU	29
4.1.2. DÖRT AÇIKLIKLI İKİ KATLI BETONARME ÇERÇEVENİN OPTİMİZASYONU	32
4.1.3. ALTI AÇIKLIK ÜÇ KATLI BETONARME ÇERÇEVENİN OPTİMİZASYONU	34
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	38
KAYNAKLAR.....	40
EKLER	50
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1: Eleman serbestlikleri	14
Şekil 3.2: Global ve lokal koordinat sistemi	15
Şekil 4.1: Basınç bölgesinde (a) gerçek yük dağılımı, (b) eşdeğer yük dağılımı.	21
Şekil 4.2: (a) eleman en kesiti, (b) şekil değiştirme durumu ve (c) gerilme durumu.....	22
Şekil 4.3: (a)minimum dış merkezlik koşulu, (b) maksimum aksenal kuvvet koşulu, (c)maksimum donatı oranı koşulu, (d) minimum donatı oranı koşulu	26
Şekil 4.4: Karşılıklı etki diyagramında kullanılabilir bölge.....	27
Şekil 4.5: Yöntem akış diyagramı.....	28
Şekil 4.6: İki açıklıklı tek katlı betonarme çerçeve sistem.....	29
Şekil 4.7: İki açıklıklı tek katlı betonarme çerçevenin eleman ve düğüm noktası numaralandırılması.....	29
Şekil 4.8: İki açıklıklı tek katlı betonarme çerçevenin düğüm noktası serbestlikleri.	30
Şekil 4.9: Dört açıklıklı iki katlı çerçeve sistem.	32
Şekil 4.10: Dört açıklıklı iki katlı betonarme çerçevenin eleman ve düğüm noktası numaralandırılması.....	33
Şekil 4.11: Dört açıklıklı iki katlı betonarme çerçevenin düğüm noktası serbestlikleri.	33
Şekil 4.12: Altı açıklıklı üç katlı çerçeve sistem.....	35
Şekil 4.13: Altı açıklıklı üç katlı betonarme çerçevenin eleman ve düğüm noktası numaralandırılması.....	35
Şekil 4.14: Altı açıklıklı üç katlı betonarme çerçevenin düğüm noktası serbestlikleri.....	36

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 4.1: Tasarım sabitleri.....	30
Tablo 4.2: Tasarım sınırları.....	31
Tablo 4.3: İki açıklıklı tek katlı betonarme çerçevenin analiz sonuçlarına göre optimum değerler.....	31
Tablo 4.4: Dört açıklık iki katlı betonarme çerçevenin analiz sonuçlarına göre optimum değerler.....	34
Tablo 4.5: Altı açıklıklı üç katlı betonarme çerçevenin analiz sonuçlarına göre optimum değerler.....	36

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
a	: Eşdeğer basınç bloğu derinliği
A	: Kesit alanı
A_c	: Minimum brüt kesit alanı
AF	: Amaç fonksiyonu
A_s	: Donatı alanı
A_{s, min}	: Minimum boyuna donatı alanı
A_{vmin}	: Minimum kesme donatısı alanı
b	: Eleman kesit genişliği
b_{maks}	: Maksimum kesit genişliği
b_{min}	: Minimum kesit genişliği
C_c	: Beton birim maliyeti
c_c	: Net beton örtüsü kalınlığı
C_m	: Gerçek moment diyagramını eşdeğer bir moment diyagramıyla ilişkilendiren düzeltme faktörü
C_s	: Çelik birim maliyeti
d	: Kiriş derinliği
D	: Ölü dağıtılmış yük
E	: Elastisite modülü
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Çeliğin elastisite modülü
f	: Eleman iç kuvvet vektörü
F	: Sistem yük vektörü
f(x)	: Amaç fonksiyonu vektörü
f(x)_{iyi}	: f(x)'den elde edilen en iyi çözüm
f(x)_{kötü}	: f(x)'den elde edilen en kötü çözüm
f'(x)	: Yeni amaç fonksiyonu vektörü
f'_c	: Betonun basınç dayanımı
F_c	: Betonun basınç bölgesindeki gerilmeye karşılık gelen bileşke kuvvet
f_{ix}	: i ucunda x eksenindeki uç kuvvet
f_{iy}	: i ucunda y eksenindeki uç kuvvet

f_{iz}	: i ucunda z eksenindeki uç kuvvet
f_{jx}	: j ucunda x eksenindeki uç kuvvet
f_{jy}	: j ucunda y eksenindeki uç kuvvet
f_{jz}	: j ucunda z eksenindeki uç kuvvet
F_s	: Donatının çekme bölgesindeki çekme bileşke kuvvet
f_y	: Çeliğin akma dayanımı
h	: Eleman kesit yüksekliği
h_{maks}	: Maksimum kesit yüksekliği
h_{min}	: Minimum kesit yüksekliği
I	: Atalet momenti
k	: Burkulmada etkili uzunluk faktörü
K_G	: Global rijitlik matrisi
K_{GS}	: Sistem rijitlik matrisi
K_L	: Eleman rijitlik matrisi
L	: Canlı dağıtılmış yük
l	: Çubuk boyu
l_e	: Elemanın boyu
M_1	: Yapısal çözümlenmeden elde edilen kolon uç momenti
M_2	: Yapısal çözümlenmeden elde edilen kolon uç momenti
m_{iz}	: i ucunda z eksenindeki uç moment
m_{jz}	: j ucunda z eksenindeki uç moment
M_M	: Elemanın malzeme maliyeti
M_{min}	: Minimum eğilme momenti
n	: Eleman sayısı
ϕ	: Donatı çapı
P_c	: Kritik burkulma yükü
p_n	: Popülasyon sayısı
P_u	: Faktörlü eksenel kuvvet
Φ_{vmaks}	: Maksimum kesme donatısı çapı
Φ_{vmin}	: Minimum kesme donatısı çapı
$r_{1,j,i}$: i'nci iterasyon sırasında j'nci değişken için rastgele sayı
$r_{2,j,i}$: i'nci iterasyon sırasında j'nci değişken için rastgele sayı
s	: Enine donatı arası mesafe
T	: Dönüşüm matrisi

T_s	: Ton olarak donatı miktarı
V_c	: Betonun nominal kesme dayanımı
vn	: Değişken numarası
V_s	: Donatıların nominal kesme dayanımı
X_G	: Global koordinat sisteminde yatay koordinat
$X_{j,k,i}$: k'inci popülasyon için j'nci değişkenin değeri
X_L	: Lokal koordinat sisteminde yatay koordinat
Y_G	: Global koordinat sisteminde düşey koordinat
Y_L	: Lokal koordinat sisteminde düşey koordinat
β_1	: Eşdeğer dikdörtgen basınç bloğunun derinliğine ilişkin faktör
γ_c	: Betonun özgül ağırlığı
γ_s	: Çeliğin özgül ağırlığı
Δ_G	: Global yerdeğiştirme vektörü
Δ_{ix}	: i ucundaki yatay deplasman
Δ_{iy}	: i ucundaki düşey deplasman
Δ_{jx}	: j ucundaki yatay deplasman
Δ_{jy}	: j ucundaki düşey deplasman
Δ_L	: Elemanda oluşan yerdeğiştirme vektörü
δ_s	: Moment büyütme faktörü
ϵ_c	: Betonun birim kısalması
ϵ_{cu}	: Betonun maksimum birim kısalması
ϵ_s	: Donatıdaki birim uzama
ϵ_{sy}	: Akma birim uzaması
θ	: Lokal ve global koordinat sistemi arasındaki açı
θ_{iz}	: i ucunda z eksenine etrafındaki dönme
θ_{jz}	: j ucunda z eksenine etrafındaki dönme
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ_{maks}	: Maksimum oranı
ρ_{min}	: Minimum donatı oranı

Kısaltmalar	Açıklama
ABC	: Yapay arı kolonisi algoritması
ACO	: Karınca kolonisi algoritması
APSO	: Hızlandırılmış parçacık sürü optimizasyonu
BA	: Yarasa algoritması
BB-BC	: Büyük patlama büyük çöküş algoritması
BBC	: Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon
BP	: Geri-yayılma algoritması
CCS	: Yüklü sistem arama algoritması
COA	: Guguk optimizasyon algoritması
CS	: Guguk arama algoritması
FA	: Ateş böceği algoritması
FBA	: Çiçek açan bitkilerin tozlaşması algoritması
FRP	: Fiber takviyeli polimer
GA	: Genetik algoritma
GSA	: Standart yerçekimi araştırması algoritması
HS	: Armoni arama algoritması
JA	: Jaya algoritması
LMM	: Lagrange çarpan metodu
MOO	: Çok amaçlı optimizasyon
MOSA	: Çok amaçlı bir simüle edilmiş tavlama algoritması
NLP	: Lineer olmayan programlama
PSO	: Parçacık sürü optimizasyonu
RC	: Betonarme
RST	: Rastgele arama tekniği
SA	: Tavlama algoritması
SLS	: Uygulanabilir sınır durum
SSO	: Sosyal örümcekler optimizasyonu
SUMT	: Sıralı kısıtlanmamış minimizasyon tekniği
TLBO	: Öğretme öğrenme tabanlı optimizasyonu
ULS	: Nihai sınır durum
YSA	: Yapay sinir ağı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEZGİSEL METOTLAR KULLANILARAK BETONARME ÇERÇEVELERİN OPTİMUM MALİYETLİ TASARIMI

Elmas RAKICI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Sinan Melih NİGDELİ

Her alanda olduğu gibi mühendislikte de belirli kısıtların sağlanması koşuluyla belirli bir amaç fonksiyonu altında en iyi çözümün bulunması yani optimum sonuçların elde edilmesi güvenlikten sonra gelen en önemli unsurdur. Bu nedenle optimizasyon uygulamaları mühendislik dallarından biri olan inşaat mühendisliği alanında da karşımıza çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında optimizasyonda kullanılan metasezgisel algoritmalarından biri olan Jaya Algoritması (JA) kullanılarak betonarme çerçeve sistemlerin maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Geliştirilen yöntemde rassal olarak atanan kesit boyutları tasarım değişkeni olarak kabul edilmiş ve malzeme maliyetinin minimum yapılması amaç fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Yapısal analizlerde kesit tesirlerinin hesaplanması matris deplasman yöntemine göre, betonarme tasarımı ise Amerikan Beton Enstitüsü tarafından yayımlanan ACI 318-05 (Building code requirements for structural concrete and commentary) yönetmeliğine göre gerçekleştirilmiştir. İki açıklıklı tek katlı betonarme çerçeve, dört açıklıklı iki katlı betonarme çerçeve ve altı açıklıklı üç katlı betonarme çerçeve olmak üzere 3 farklı çerçeve sistemin optimum tasarımı ile geliştirilen yöntem test edilmiştir. Analiz sonuçlarının betonarme çerçeve yapıların optimum maliyetle tasarımının jaya algoritması kullanılarak uygun ve etkili sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Haziran 2019, 65 sayfa.

Anahtar kelimeler: betonarme tasarım, optimizasyon, jaya algoritması

SUMMARY

M.Sc. THESIS

OPTIMUM COST DESIGN of REINFORCED CONCRETE FRAMES EMPLOYING HEURISTIC METHODS

Elmas RAKICI

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Sinan Melih NİGDELI

Providing specific constraints in engineering, as in every field, the best solution under a certain objective function, ie. achieving optimum results, is the most important factor that comes after security. For this reason, optimization applications are also encountered in the field of civil engineering, which is one of the branches of engineering. In this thesis, as using Jaya Algorithm (JA) which is one of the metaheuristic algorithms used in optimization, cost optimization of reinforced concrete frame systems has been made. In the developed method, the randomly assigned section dimensions are accepted as design variable and the minimum cost of material is defined as the objective function. In structural analysis, the calculation of the section effects was carried out according to the matrix displacement method and the reinforced concrete design according to the ACI 318-05 (Building code requirements for structural concrete and commentary) published by the American Concrete Institute. The method has been tested with the optimum design of 3 different frame systems including two-span single-storey reinforced concrete frame, four-span two-storey reinforced concrete frame and six span three-storey reinforced concrete frame. It has been observed that the results of the analysis yield the appropriate and effective results by using jaya algorithm at optimum cost of reinforced concrete frame structures.

June 2016, 65 pages.

Keywords: reinforced concrete design, optimization, jaya algorithm



1. GİRİŞ

İnsanoğlunun varlığı ile başladı diyebileceğimiz en önemli mühendislik dallarından biri olan inşaat mühendisliği kişilerin ihtiyaç duyacağı her türlü yapıyı farklı malzeme ve tasarımlarla bir araya getirir. İnşaat mühendisleri tecrübeleri doğrultusunda yapısal tasarım yapmaktadır ve tasarım aşamasında dikkate alınacak en önemli faktörlerden biri yapısal güvenliğin sağlanmasıdır. Deprem, rüzgar gibi dış yükler altında yapı güvenli bir şekilde tasarlanmasına rağmen maliyet açısından minimum seviyede olmayabilir. Hem içinde bulunduğumuz çağın gerekleri hem de kişilerin bir yapıyı oluşturmak için sadece yapısal güvenliği değil aynı zamanda maliyet açısından minimum seviyede tutulması beklentisi mühendislikte optimizasyonu önemli kılmaktadır.

Optimizasyon belirli bir amaç fonksiyonu altında tasarım değişkenlerini kullanarak pratikte de uygulanabilir en iyi sonucu vermelidir. Optimum yapı tasarımı için geliştirilmiş birçok sezgisel ve metasezgisel algoritmalar bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak Büyük Patlama Büyük Çöküş Algoritması (BB-BC)(Erol ve Eksin, 2006), Öğretme Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (TLBO)(Crepinsek ve diğerleri,2012), Genetik Algoritma (GA)(Gen ve Cheng, 2000), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)(Poli ve diğerleri, 2007), Yarasa Algoritması (BA)(Yang, 2010), Jaya Algoritması (JA)(Rao ve diğ., 2016a), Karınca Kolonisi Algoritması(ACO)(Stützle, 2009), Çiçek Açan Bitkilerin Tozlaşması Algoritması (FPA)(Balasubramani ve Marcus, 2014), Armoni Arama Algoritması (HS)(Geem ve diğ., 2001), Ateş Böceği Algoritması (FA)(Yang, 2009) verilebilir.

Optimizasyon birçok alanda olduğu gibi mühendislikte de karşımıza çıkmaktadır. Mühendislikte optimizasyon, bir yapıyı tasarlarken var olan işgücü, zaman, malzeme gibi kaynakların en verimli şekilde kullanarak belirli amaçlara erişmesinde minimum veya maksimum değerlerin bulunmasını sağlayan bir tekniktir. Yapısal tasarım belirli kurallara ve yönetmeliklere uygun olmalıdır. Bu tasarım kısıtlarını sağlayan en ekonomik çözümü bulmak mühendisliğin en önemli temel problemlerindedir.

Bir yapının hem güvenlik hem malzeme ve işçilikten oluşan toplam maliyeti hem de estetik açıdan kaliteli, maksimum mukavemetli ama minimum maliyetli tasarlanması optimizasyon ile sağlanmaktadır. Optimizasyon birçok amaca hizmet etmektedir. Optimizasyonun en önemli

amaçlarından biri yapısal güvenliğin sağlanarak maliyet açısından minimum seviyeye indirilmesidir. Çünkü insanların talep ve ihtiyaçları bir tasarım için elde edilen sonuçlardan en elverişli, en optimum maliyetin olduğu tasarımın seçilmesini öngörmektedir. Bir diğer amacı ise yapısal güvenliğini sağlamak şartıyla minimum ağırlık ve maksimum mukavemetin sağlanmasıdır. Yapının ağırlığının azalması karşılaşılabilecek yükün azalmasını sağlayacaktır. Hem davranış hem de maliyet açısından farklı olan betonarmeyi oluşturan beton ve çeliğin minimum miktarda kullanılması da oldukça önemlidir. Maksimum mukavemeti daha az malzeme kullanarak sağlamak hem estetik açıdan hem de maliyet açısından daha çok talep görmektedir. Ayrıca istenen bir işi daha kısa sürede daha az işçilik maliyeti ile tasarlamakta optimizasyonun amaçlarından biridir.

Çelik, betonarme, ahşap gibi yapı türlerinden ülkemizde özellikle betonarme yapılar çoğu alanda karşımıza çıkmaktadır. Betonarme yapıların optimizasyonu da bu açıdan daha önemli olmaktadır. Literatürde gerek yapısal elemanlar için ayrı ayrı optimizasyon çalışmaları bulunurken gerekte yapısal olarak optimizasyon çalışmaları bulunmaktadır. Bu alanlarla ilgili örnek optimizasyon çalışmalarından bazıları 2. Bölümde gösterilmiştir.

Bu tez kapsamında düzlem betonarme çerçeveler incelenmiştir. Yapının tasarımı için son yıllarda geliştirmiş olan Jaya algoritmasından faydalanılmıştır. Optimizasyon yöntemleri geliştirilerek tüm elemanların optimum olarak tasarlanması amaçlanmıştır. En ekonomik çözüm için mevcut kurallar ve yönetmeliklere uygunluğu kontrol edilip optimizasyon gerçekleştirilmiştir. 3. Bölümde yapının analizi için gerekli olan kesit tesirlerini bulmak için kullanılan yöntem ve çalışma kapsamında yararlanılan algoritma tanıtılmıştır. Geliştirilen yöntem ile matematiksel örnekler 4. Bölümde sunulmuştur. Analiz sonuçları 5. Bölümde tartışılmış ve ele alınmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

İnşaat mühendisliğinde, yaşadığımız çağın gerektirdikleri neticesinde yapıların sadece yapısal güvenlik olarak ele alınmasında yeterli olmamaktadır. Hem maliyet açısından, hem estetik açıdan hem de çevreye verilen etkiler düşünüldükçe tasarımların optimum şekilde elde edilmesi göz önüne alınmaktadır. Dünyada yapıların optimizasyonu birçok yapı türünde karşımıza çıkmaktadır. Çelik yapılar ve en çok da betonarme yapılarda optimizasyon işlemi önem arz etmektedir.

Kafes sistemlerde literatürde optimizasyon için örnekler bulunmaktadır. Kafes sistem ile ilgili olarak bazı örnek çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Lee ve Geem (2004) çeşitli kafes sistem örnekleri üzerinde armoni arama algoritmasını kullanarak optimizasyon işlemi uygulamışlardır. Optimizasyonun geleneksel matematiksel yöntemlere ve genetik algoritmaya kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Lee ve diğ. (2005) armoni arama algoritmasını kullanarak ayrı bir arama stratejisi ayrıntılı olarak sunulmuşlardır ve diğer optimizasyon yöntemlerine kıyasla etkinliği ve sağlamlığı birkaç standart kafes örneği ile göstermişlerdir. Dede ve Ayvaz (2013) kafes yapıların ağırlıklarının en aza indirilmesi için öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyonu kullanmışlar ve etkili şekilde uygulanabileceğini göstermişlerdir. Sönmez (2011) yapay arı kolonisi algoritmasını kullanarak kafes yapıların ağırlığını en aza indirmeyi amaçlamıştır. Sonuçlar yapısal tasarım için güçlü bir algoritma olduğunu göstermiştir. Dede ve diğ. (2011) FORTRAN'da kodlanmış ve gerilme ve yer değiştirme kısıtlamalarını dikkate alan genetik bir algoritma ile kafes sistemin ağırlık optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Betonarme yapılarda eleman olarak ve çerçeve sistem olarak birçok örnek karşımıza çıkmaktadır. Taşıyıcı elemanlardan olan kolonlar için literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. De Medeiros ve diğ. (2014) tek-eksenli eğilme ve sıkıştırma yüklerine maruz bırakılan dikdörtgen betonarme kolonların parasal ve çevresel maliyetlerini, en iyi müzik uyumu elde etme sürecine benzer bir metasezgisel yaklaşımdan oluşan armoni arama (HS) algoritmasını kullanarak optimize etmiştir. Nigdeli ve diğ. (2015) betonarme çift eksenli yüklü kolonlar için yeni bir optimizasyon yaklaşımı önermişlerdir. Optimizasyon işleminde armoni arama algoritması'ndan yararlanmışlardır. Boyutların optimizasyonuna ek olarak detaylı ve pratik bir optimum donatı tasarımı yapmışlardır. Bekdaş ve Nigdeli (2014b) narin betonarme kolonların

optimum tasarım değişkenlerini bulmak için armoni arama (HS) algoritması kullanılmışlardır. Amaç fonksiyonu beton ve donatı dahil olmak üzere toplam malzeme maliyeti olarak ele almışlardır. Öztürk ve Durmuş (2013) eksenel kuvvete ve tek eksenli eğilme momentine maruz kalan kolonların optimum maliyet tasarımını, arı sürülerinin toplayıcı davranışlarını taklit eden yapay arı kolonisi algoritmasını kullanarak elde etmişlerdir. Zielinski ve diğ. (1995) tek ve iki eksenli yüklere sahip betonarme kısa kolonların tasarımını bir optimizasyon tekniği kullanarak yapmışlardır. Çağlar (2009) dairesel betonarme kolonların kayma dayanımını belirlemek için, daha hızlı, daha güvenli ve daha sağlam bir yöntem olarak, geri-yayıma (BP) algoritmasına sahip sinir ağlarının (NN) yeterliliğini araştırmıştır. Sharafi ve diğ. (2012b) toplam maliyeti optimize etmek ve rüzgar yükleri altında uygulamayı kontrol etmek amacıyla iki boyutlu betonarme çerçevelerin optimum kolon yerleşim tasarımı için karınca sistemi tabanlı algoritma ile buluşsal bir yaklaşım sunmuşlardır. Bekdaş ve Nigdeli (2016a) bir metasezgisel algoritma olan Yarasa Algoritmasını kullanarak betonarme kolonların maliyet optimizasyonunu ile çalışmışlardır. Bekdaş ve Nigdeli (2015) Rastgele Arama Tekniği (RST) ile tek eksenli betonarme kolonların en uygun kesitleri ve minimum maliyetle donatı tasarımını bulmuşlardır. Bekdaş ve Nigdeli (2016b) betonarme kolonları malzeme maliyetini en aza indirmek için eğitim temelli metasezgisel algoritma olan öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO) kullanmışlardır. Bordignon ve Kripka (2012) simüle edilmiş tavlama algoritmasını kullanarak tek eksenli bükülme basıncına tabi tutulmuş betonarme kolonların optimal kesitlerini elde etmişlerdir.

Betonarme kolonların optimizasyon işlemi sadece tasarım aşamasında değil mevcut binaların güçlendirilmesinde optimal sonuçların elde edilmesi içinde kullanılmaktadır. Seo ve diğ. (2018) mevcut okul binaları için sismik olarak güçlendirilmiş betonarme kolonların asgari sayısını ve yerini bir optimizasyon tekniği ile elde etmişlerdir. Park ve diğ. (2014) betonarme kolonların yapısal tasarım aşamasında CO₂ emisyonlarını veya malzeme maliyetlerini azaltmak için tasarım ilkelerini sunmuşlardır.

Betonarme elemanlardan olan kirişlerin optimizasyonunda literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Leeps ve diğ. (2003) betonarme kirişlerin maliyet optimizasyonu için genetik algoritma kullanmışlardır. Coello ve diğ. (1997) beton, donatı ve kalıp maliyetlerini en aza indirmek için betonarme dikdörtgen kirişlerin maliyet optimizasyonunu genetik Algoritma kullanmışlardır. Govindaraj ve Ramasamy (2005) dayanıklılık, servis kolaylığı, süneklik,

sağlamlık ve diğer kısıtlamaları karşılayan genetik algoritmanın uygulanması için betonarme sürekli kirişin optimizasyonunu sunmuşlardır. Uz ve diğ. (2018) yüklü sistem arama (CSS) algoritmasını kullanarak dinamik yüklemeye maruz kalan çok katlı betonarme (RC) kirişlerin geometrik düzen tasarımının maliyet optimizasyonu için otomatik bir yöntem sunmuşlardır. Sharafi, Hadi ve Teh (2012a) karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) algoritması kullanılarak betonarme kirişlerin kabul edilebilir dinamik performansı ile birlikte optimum bir tasarım elde etmek için hem maliyet parametrelerini hem de dinamik tepkileri hesaba katan geometrik plan problemleri için yeni bir maliyet optimizasyon yönteminin geliştirmişlerdir. Chung ve Sun (1994) betonarme kirişlerin doğrusal olmayan malzeme tepkisi ile ağırlık optimizasyonunu, genel doğrusal olmayan bir optimizasyon problemi olarak formüle etmişlerdir. Ceranic ve Fryer (2000) limit durum tasarım koşulları altında hem tek hem de çift donatılı betonarme dikdörtgen kirişlerin minimum maliyet tasarımı için lagrange çarpan metodu (LMM) 'nun uygulanmasını sunmuşlardır. Saini ve diğ. (2006) genetik olarak optimize edilmiş yapay sinir ağı tabanlı tek ve çift donatılı betonarme kirişlerin optimum tasarımını kirişin kendi ağırlığı, parabolik gerilme bloğu, moment-denge ve servis edilebilirlik kısıtlamaları dahil edilerek gerçekleştirmişlerdir. Chutani ve Singh (2017) inşaat yerinde yaygın olan beton ve inşaat demiri maliyetlerini optimize etmek için tipik bir optimizasyon tekniği, yani parçacık sürü optimizasyonu (PSO) sunmuşlardır. Merta ve Kravanja (2010) malzeme ve işçilik maliyet kalemlerini içeren maliyet optimizasyonu amaçlanan tek donatılı betonarme dikdörtgen kirişlerin çoklu parametrik lineer olmayan programlama (NLP) yaklaşımını sunmuşlardır. Hanoon ve diğ. (2017) partikül sürüsü optimizasyonu (PSO) tekniği kullanılarak, yükleme oranlarının, beton basınç dayanımının, kesme derinliği oranının ve betonarme kirişlerin boyuna ve enine donatı oranlarının etkisinin tahmin edilmesi için bir enerji emilim modeli geliştirmişlerdir. Luevanos-Rojas (2016) az sayıdaki tasarım değişkenleri ile minimum maliyet ve asgari ağırlık tasarım kriterlerine dayanarak probleme analitik bir yaklaşım ile tek donatılı kesitler için dikdörtgen betonarme kirişlerin optimal tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Babiker ve diğ. (2012) betonarme basit kirişin beton, donatı ve kalıp maliyetini içeren maliyet optimizasyonunu yapay sinir ağı (YSA) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. De Medeiros ve Kripka (2013) simüle edilmiş tavlama optimizasyonu kullanarak betonarme yapılarda kirişlerin maliyetine yönelik optimizasyon stratejilerinin uygulanmasını ve ön-boyutlandırma parametrelerinin ortaya koymuşlardır. Jahjouh ve diğ. (2013) yapay arı kolonisi (ABC) algoritması kullanılarak kesit boyutları ve donatı detayları açısından betonarme sürekli kirişler için optimum tasarımın elde etmişlerdir.

Tasarım değişkenleri olarak kiriş genişliği, kiriş yüksekliği, sayısı ve çapları: alt sürekli donatı çubukları, alt kesme donatı çubukları, üst sürekli donatı çubukları ve üst kesme donatı çubukları ile üzenge çaplarını ele almışlardır. Yousif ve Najem (2013) betonarme sürekli kirişlerin optimum maliyet tasarımı için genetik algoritmaların (GA) uygulanmasını literatürde kullanılan tasarım değişkenleri (donatı ve kesit boyutları) dışında tasarım değişkeni olarak boyutlar ve donatının, kiriş üzerindeki etkileri eğilme, kesme ve burulma göz önüne alınarak sunmuşlardır. Rahmanian ve diğ. (2014) betonarme kirişlerinin optimal tasarımını sağlamak için farklı optimizasyon yöntemleri kullanılmışlardır. Ayrıca MS Excel ortamında betonarme kirişlerinin maliyet optimizasyonunun elektronik tablo uygulaması da sunmuşlardır. Habibi ve diğ. (2016) kirişin nihai eğilme mukavemetini ana kısıtlama olarak kabul edip tek ve çift donatılı dikdörtgen betonarme kirişlerin minimum maliyet tasarımı için lagrange çarpan metodu (LMM) uygulamışlardır. Öztürk, Durmuş Ah. ve Durmuş Ay. (2012) beton, çelik ve kalıp maliyetini içeren kirişin birim uzunluğunun maliyeti olarak ele alınan betonarme kirişin yapay arı kolonisi algoritması kullanarak optimum tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Bekdaş ve Nigdeli (2012) ACI 318'e göre eğilme dayanımı altında T-şekilli betonarme kirişlerin maliyet optimizasyonu armoni arama algoritması kullanarak optimum sonuçlar elde etmişlerdir. Sharafi ve diğ. (2012c) dinamik yükler altında çok açıklıklı betonarme kirişlerin optimum açıklık uzunluklarını karınca kolonisi optimizasyon algoritmasını kullanarak bulmuşlardır. Yepes ve diğ. (2015) yapısal sorunların çok amaçlı optimizasyonu (MOO) için Pareto optimal setini analiz etmek ve azaltmak için bilimsel bir yaklaşım önermişlerdir. Betonarme I kiriş örneği sunarak fiyat değişimleri olmadan dayanıklı ve ekolojik yapılar ürettirmişlerdir. Perera ve Vique (2009) betonarme kirişlerin tasarımı için otomatik olarak en uygun gergi ve bağlama modellerinin üretilmesi için genetik algoritma optimizasyonunu kullanmışlardır. Betonarme kirişlerin maliyet optimum tasarımı için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmasını kullanmak üzere Mccarthy ve Mccluskey (2009) bir program geliştirmişlerdir. Barros ve diğ. (2005) EC2-2001 ve MC90'da açıklanan gerilim-gerinim diyagramları göz önünde bulundurularak, dikdörtgen betonarme kesitlerin optimal tasarımı için bir model sunmuşlardır. Bhalchandra ve Adsul (2012) iç nokta algoritması optimizasyon tekniği ve sezgisel tekniklerden biri olan Genetik Algoritmayı karşılaştırıp çalışmasında betonarme dikdörtgen kirişin maliyet optimizasyonunu gerçekleştirmiştir.

Optimizasyon işlemi çok geniş alanlarda karşımıza çıkmaktadır. Bu alanlardan bazıları da betonarme istinat duvarları, betonarme perde duvarlar vs. olarak literatürde örnekleri vardır.

Sheikholeslami ve diğ. (2016) betonarme istinat duvarlarının maliyetini optimize etmek için üst sınır stratejisi ile betonarme istinat duvarlarının hibrid ateş böceği algoritmasını kullanmışlardır. Optimizasyon sonuçları ile geliştirilen algoritmanın geçerliliğini ve verimliliğini teyit etmişlerdir. Molina-Moreno ve diğ. (2017) hibrid armoni arama algoritmasını kullanarak sıkıştırılmış toprak tutucu duvarların maliyet optimizasyonu ele almışlardır. Sonuçlarda en önemli tasarım değişkeninin duvar sürtünme açısı olduğunu gözlemlemişlerdir. Temur ve Bekdaş (2016) betonarme istinat duvarlarının optimum tasarımı için Öğrenme-Temelli Optimizasyon (TLBO) algoritmasına dayalı bir metodoloji önermişlerdir. Amaç fonksiyonu olarak beton ve donatı maliyetini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Sonuç olarak TLBO tabanlı yöntemler uygulanabilir. Bekdaş (2015) Ard-Gergili eksenel simetrik silindirik betonarme duvarların optimum tasarımı için armoni arama algoritması yaklaşımını kullanmıştır. Armoni arama algoritması ile sunulan optimizasyon prosedürünün, gerdirilmiş betonarme duvarların optimum tasarımı için etkili olduğu sonucuna varmıştır. Kaveh ve diğ. (2013) çok amaçlı bir genetik algoritma kullanılarak betonarme istinat duvarlarının inşa edilebilir optimal tasarımını ele alıp bu algoritmanın kullanılabilirliğini sunmuşlardır. Poursha ve diğ. (2011) betonarme konsol istinat duvarların maliyet optimizasyonu, armoni arama ve geliştirilmiş armoni arama algoritmaları kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Camp ve Akın (2011) büyük patlama-büyük çöküş (BB-BC) optimizasyonu kullanarak, düşük maliyetli veya düşük ağırlıklı konsol destekli beton istinat duvarları tasarlamak için bir prosedür geliştirmişlerdir. Bekdaş (2014) eksenel simetrik silindirik betonarme istinat duvarlarının beton, donatı ve kalıp içeren malzeme maliyeti optimizasyonu gerçekleştirmiştir. Duvarın kalınlığı ve yüksekliği arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Önerilen yöntemin optimizasyonda olumlu sonuçlara yol açtığını gözlemlemiştir. Bekdaş ve Temur (2017) konsol destekli betonarme istinat duvarlarının optimum tasarımı için metasezgisel yaklaşımlardan olan Öğretme-öğrenme temelli optimizasyon (TLBO) algoritmasını kullanmışlardır. Metodolojinin uygunluğunu göstermişlerdir. Ahmadi-Nedushan ve Varraee (2009) arı kümesi zekası tekniği kullanarak betonarme istinat duvarlarının optimum tasarımını sunmuşlardır. Arı kümesi tekniğinin daha iyi, daha verimli sonuçlar elde edildiğini göstermişlerdir. Villalba ve diğ. (2010) gömülü CO₂ emisyonlarına ve betonarme duvarların ekonomik maliyetine uygulanan simüle edilmiş tavlama (SA) algoritması ile optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Ceranic ve diğ. (2001) toprak ve hidrostatik yüklerin birleşimine direnmek için gerekli olan betonarme istinat yapılarının temsili olan konsol istinat duvarlarının simüle edilmiş tavlama algoritmasını

kullanarak maliyet optimizasyonu ile ilgili çalışmışlardır. Aydoğdu (2017a) biyocoğrafya tabanlı bir optimizasyon algoritmasına (BBO) Levy uçuş algoritması eklenerek betonarme konsol istinat duvarının optimum tasarımını yapmıştır. Gandomi ve diğ. (2015) hızlandırılmış parçacık sürü optimizasyonu (APSO), ateş böceği algoritması (FA) ve guguk arama (CS) algoritmaları gibi yeni sürü zeka tekniklerinin verimliliğini araştırmak için betonarme istinat duvarlarını kullanmışlardır. Khajehzadeh ve diğ. (2015) uyarlanabilir bir yerçekimsel arama algoritmasını (AGSA), PS olarak adlandırılan desen araması (PS) ile birleştirmişlerdir ve betonarme istinat duvarını maliyet ve CO₂ emisyonu optimizasyonunda ele almışlardır. Das ve diğ. (2016) hem minimum maliyet hem de devrilme gibi dış stabiliteye karşı uygun güvenlik faktöründe çözüme yönelik dominant olmayan sıralama genetik algoritmasını kullanmışlardır. Aydoğdu (2017b) betonarme (RC) istinat duvarının optimum tasarımı üzerindeki meta-sezgisel yöntemlerin performansı, maliyet ve CO₂ emisyonunun en aza indirilmesi açısından incelemiş ve optimizasyon yöntemi olarak Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BBO) ve Sosyal Örümcekler Optimizasyonu (SSO) yöntemlerini uygulayarak gerçekleştirmiştir. Aydoğdu ve Akın (2015) amaç fonksiyonu minimum maliyet ve minimum CO₂ optimizasyonu olan Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BBO) algoritmasının verimliliğini göstermek için betonarme istinat duvarı tasarımı örneği sunmuşlardır.

Atabay (2009) 13 katlı ve kirişsiz betonarme perde sistemi sayısal bir örnek olarak genetik algoritma kullanıp maliyet optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Maliyet optimizasyonun sadece donatı ve beton maliyetini optimize etmiştir. Kaveh ve Zakian (2014) betonarme perde duvarlı yapıların optimal sismik tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Optimizasyon işlemi sadece maliyet açısından değil çevresel etkiler içinde geçerlidir. Yepes ve diğ. (2011) betonarme istinat duvarlarının hem maliyet açısından hem de CO₂ emisyonu açısından optimizasyonunu incelemişlerdir. Optimizasyon işleminde bu iki amaç fonksiyonu için VNS eşik kabul stratejisine dayanan bir optimizasyon işlemi öngörmüşlerdir.

Kolon, kiriş, perde, istinat duvarı dışında diğer betonarme elemanlar içinde optimizasyon örnekleri bulunmaktadır. Aldwaik ve Adeli (2016) beton ve çelik malzemelerin maliyetini değil, aynı zamanda inşaat maliyetlerini de dikkate alarak düzensiz yüksek katlı bina yapılarında betonarme düz döşemelerin rasgele konfigürasyonunun maliyet optimizasyonu için bir model sunmuşlardır. Sahab, Ashour ve Toropov (2005a) betonarme düz döşemelerin maliyet optimizasyonu için modifiye edilmiş genetik algoritma kullanmışlardır. Sahab, Ashour

ve Toropov (2005b) üç betonarme düz döşeme yapı için maliyet optimizasyonu göstermişler ve optimum ve geleneksel tasarım prosedürlerinin sonuçlarını karşılaştırılmışlardır. Kaveh ve Abadi (2011) armoni arama algoritmasını kullanarak betonarme tek yönlü kirişli döşemelerin maliyet optimizasyonunu sunmuşlardır. Algoritmanın performansı için örnekler vermişlerdir. Ghandi ve diğ. (2017) tek yönlü ve iki yönlü betonarme döşemelerin betonun maliyet ve donatı çeliğinin maliyet optimizasyonu için Guduk optimizasyon algoritmasını (COA) sunmuşlardır. Patil ve diğ. (2013) beton, donatı ve kalıp için malzeme ve işçilik maliyetini kapsayan betonarme yassı döşemelerin maliyet optimizasyonunu sıralı kısıtlanmamış minimizasyon tekniği (SUMT) kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Sajedi ve diğ. (2016) korozyon etkisi göz önünde bulundurulmadan ve bulundurulmuş bir betonarme köprüsünün iç T kirişlerinin eğilme tasarımı için güvenilirlik tabanlı çok amaçlı tasarım optimizasyonunu kullanarak yapının güvenilirliğini en üst düzeye çıkarıp ve malzeme maliyetlerini en aza indirmişlerdir. Yavari ve diğ. (2016) genetik algoritma ve desen arama yöntemine dayanan optimizasyon tekniklerini kullanarak beton levha çerçeve köprülerin yapısal optimizasyonuna dair çalışma sunmuşlardır. Perea ve diğ. (2008) sezgisel algoritmalarından olan rastgele yürüyüş ve iniş yerel arama algoritması ve metasezgisel algoritmalarından olan eşik kabulü ve benzetimli tavlama algoritmalarını karşılaştırarak betonarme köprü çerçevelerinin optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Lee ve Kim (2007) köprü yönetim sistemini kullanarak köprü bakım faaliyetlerini ağ düzeyinde önceliklendirmesi ve uygulanmasını göstermesi için bir algoritma önermişlerdir. Martinez ve diğ. (2010) içi boş dikdörtgen kesitli betonarme köprü iskelelerinin ekonomik optimizasyonunu ele almışlar ve karınca kolonisi optimizasyonu algoritması, genetik algoritma ve eşik kabul algoritmasının etkinliğini incelemişlerdir. Martinez-Martin ve diğ. (2012) 3 hibrid çok amaçlı simüle edilmiş tavlama algoritması ile betonarme köprü iskelelerinin maliyet, donatı aralığı ve CO₂ emisyonu için optimizasyonunu ele almışlardır.

Buitrago ve diğ. (2016) binalarda inşaat süreçlerinin sezgisel optimizasyon ile tasarlanması için bir uygulama sunmuşlardır. İnşaatta yer alan en önemli üç unsuru geliştirebileceğini göstermişlerdir: zaman, maliyet ve güvenlik.

Carbonell ve diğ. (2011) betonarme yol tonozlarının maliyetini minimize etmek için optimizasyon yöntemlerinden yararlanmışlardır. Çok amaçlı küresel en iyi iniş yerel arama, meta benzetimli tavlama ve meta-eşik kabulü algoritmalarını karşılaştırmış ve en iyi çözümü

veren sonuçların çok amaçlı küresel en iyi iniş yerel arama algoritması olduğunu göstermişlerdir.

Yeh, Jiin-Po ve Yeh, Shu-Yu (2016) sinir ağları ile birleştirilmiş genetik algoritmalar kullanarak betonarme temellerin optimizasyonunu başarılı bir şekilde uygulandığını göstermişlerdir. Betonarme temellerin sadece maliyet optimizasyonunu değil CO₂ emisyonlarını da optimize edilmektedir. Bununla ilgili bir çalışmayı Camp ve Assadollahi (2015) büyük patlama-büyük çatlama algoritmasını kullanarak tek eksenli yüklemeye maruz betonarme temellerin hem maliyet hem de CO₂ emisyonu optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Camp ve Assadollahi (2013) eş merkezli kolon yüklerine maruz kalan betonarme temellerin tasarımı için bir optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Yöntem olarak büyük patlama-büyük çatlama algoritması kullanmışlar hem maliyet hem de CO₂ optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Nigdeli ve Bekdaş (2018) armoni arama algoritması, öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması, çiçek tozlaşma algoritmasını kullanarak betonarme temellerin optimizasyonu için çalışmada bulunmuşlardır.

Betonarme çerçeve elemanların maliyet optimizasyonu da üzerinde çalışılan konulardan biridir. Akın ve Saka (2015) çerçevenin bireysel üyeleri için beton, kalıp ve donatı çeliği maliyetini içeren çerçevenin toplam maliyetini ACI 318-05 hükümlerine tabi olarak armoni arama algoritmasını kullanmışlardır. Balling ve Yao (1997) 3D betonarme çerçevenin optimizasyonunu tartışmışlardır. Rajeev ve Krishnamoorthy (1998) genetik algoritma temelli bir metodoloji ile betonarme çerçevelerin optimizasyonunu gerçekleştirmiş ve rasyonel çözümler elde etmişlerdir. Sismik tepkiyi iyileştirmek amacıyla, bir çerçeve yapısındaki kirişlerin ve kolonların optimal kesit ve donatı alanlarını Andrei ve Iulian-Valentin (2018) genetik algoritma kullanarak doğrusal olmayan tasarım optimizasyonunu elde etmişlerdir. Nikzad ve Yoshitomi (2017) perde duvarlı 3 boyutlu betonarme bina yapısının toplam maliyetini en aza indirmek için kolon, kiriş ve perde elemanların optimum kesitlerini elde etmişlerdir. Regupathi (2017) MATLAB yazılımı kullanılarak betonarme kiriş ve kolonların maliyet optimizasyonu için Genetik Algoritma Programı geliştirmiştir ve bu program ile çok katlı betonarme çerçeve yapının maliyet optimizasyonunu elde etmiştir. Qiao ve diğ. (2016) betonarme yapıları için ekonomik ve etkili bir etkilenmiş katodik koruma sistemi tasarlamak için sayısal bir optimizasyon yöntemi sunmuşlardır. Esfandiary ve diğ. (2016) çok kriterli karar verme prosedürünü parçacık sürü optimizasyonu ile birleştirip betonarme çerçevelerin optimum

tasarımı sağlamıştır. Chisari ve Benon (2016) çerçeve sünekliğini en üst düzeye çıkarmayı ve fiber takviyeli polimer (FRP) hacmi / maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan çok amaçlı bir genetik algoritma kullanarak FRP kabukları ile betonarme çerçevelerinin sismik olarak güçlendirilmesini amaçlamıştır. Arroyo ve Gutierrez (2017) öz-frekans optimizasyonuna dayanan betonarme çerçeve binalarının sismik performansını iyileştirmek için bir prosedür sunmuşlardır. Bai ve diğ (2016) ardışık modal itme analizi kullanılarak betonarme ani dirençli çerçevelerin tek tip hasar tasarımı için pratik bir optimizasyon prosedürü geliştirmişlerdir. Kripka, Boscardin ve Casteli (2016) beton, çelik ve kalıp maliyetini en aza indirmek için betonarme çerçeve kolonlarının aralığını belirlemede bir yöntem geliştirmişlerdir. Mergos (2017) EC8 ve MC2010'a göre betonarme çerçevelerin optimum sismik tasarım çözümlerinin elde edilmesi ve karşılaştırılması için genetik algoritmalar kullanmıştır. Gharehbaghi ve diğ. (2016) betonarme çerçeve yapıların sismik tasarımı için ilk aşamada ağaç sınıflandırma yöntemi sonraki aşamada parçacık sürü optimizasyonunu kullanmışlardır. Bekdaş, Nigdeli ve Yang (2016) armoni arama algoritmasını kullanarak betonarme üyelerin optimum tasarımı ile ilgili çalışmada bulunmuşlardır. Serpik ve diğ. (2016) tek açıklıklı bir betonarme çerçeve örneği ile optimal tasarım için evrimsel prosedür geliştirmişlerdir. Babaei ve Moolayi (2016) genetik algoritmalara dayalı çok amaçlı optimizasyon için uygulanan farklı yöntemler arasında, Dominant olmayan Sıralama Genetik Algoritması II (NSGA II) kullanarak betonarme çerçevenin çok amaçlı optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Aga ve Adam (2015) Yapay Sinir Ağı (YSA) hesaplama modelini benimseyerek kiriş ve kolonlar için beton ve çeliğin maliyetini en aza indirgermişlerdir. Gharehbaghia ve Fadaee (2012) üç açıklıklı 18 katlı betonarme bir çerçevenin optimizasyonu için parçacık sürü algoritmasını kullanmışlardır. Guerra ve Kioussis (2004) betonarme yapıların Doğrusal Olmayan Programlama algoritması ile eksenel ve eğilme yükleri için ACI 2005 kod gereksinimlerini karşılayan minimum maliyet çözümünü araştırmışlardır. Camp, Pezeshk ve Hansson (2003) betonarme basitçe desteklenen kirişlerin, tek eksenli kolonların ve çok katlı çerçevelerin eğilme tasarımı için genetik algoritma prosedürünün verimliliğini gösteren örnekler sunmuşlardır. Govindaraj ve Ramasamy (2007) Hint standart şartnamelerine dayanarak betonarme çerçevelerin maliyet optimizasyonunu ve bu hesabın süresini en az indiren genetik algoritma kullanarak elde etmişlerdir. Zou ve diğ. (2007) çok amaçlı optimizasyon kullanarak betonarme bina çerçevesinin yaşam döngüsü maliyetini, birden fazla sismik performans tasarım kriteri seviyesine bağlı olarak en aza indirmişlerdir. Lee ve Ahn (2003) yerçekimi yükleri ve yanal yüklerin kombinasyonlarına tabi olan betonarme

çerçevelerin optimum tasarımı için genetik algoritma kullanmışlardır. Chutani ve Singh (2018) parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve standart yerçekimi araştırması algoritmasının (GSA) geliştirilmiş versiyonlarını hibritleyerek betonarme çerçevelerin optimizasyonunda örnekler sunmuşlardır. Gharehbaghi (2018) yapı yüksekliğinin üzerindeki tek tip hasar dağılımı göz önünde bulundurularak inşaat maliyetini en aza indirmek için 3 farklı sismik tasarım yöntemi kullanmış ve sonuçların ciddi depremler altında daha az hasar görecektir bir tasarım oluşturduğunu göstermiştir. Juliani ve De Santana Gomes (2017) Nihai Sınır Durum (ULS) ve Uygulanabilir Sınır Durum (SLS) kısıtlamalarını dikkate alarak betonarme yapıların maliyet optimizasyonunu ele almışlardır. Amir (2013) betonarme yapıların ağırlığını azaltmak için hem beton hem donatı çubuklarının yerleşimini optimize eden bir topoloji optimizasyonu sunmuştur. Kao ve diğ (2014) betonarme düzlem çerçevelerin optimum tasarımında yapay sinir ağları kullanmışlardır. Kaveh ve Sabzi (2012) uygulanan yükler altında betonarme çerçevelerin malzeme maliyetini ve yapım maliyetini en aza indirmek için üç eğilme çerçevesine büyük patlama büyük çöküş (BB-BC) algoritmasını uygulamış ve genetik algoritma ile sonuçları karşılaştırmıştır. Paya ve diğ. (2008) betonarme yapı çerçevelerinin, çok amaçlı bir simüle edilmiş tavlama (MOSA) algoritmasına dayanan optimizasyonunu ele almıştır. Ekonomik maliyet, yapıcılık, çevresel etki ve yapıların genel güvenliği üzerine bir metodoloji tanımlanması yapmayı amaçlamışlardır. Gholizadeh ve Aligholizadeh (2013) betonarme düzlem çerçevenin optimizasyonunu yarasa algoritması ile yapmış ve diğer algoritmalar ile karşılaştırmıştır. Yarasa algoritması (BA) sonuçlarının diğer meta-sezgisel algoritmalarla göre üstün olduğunu göstermiştir. Bekdaş ve Nigdeli (2014a) minimum malzeme maliyeti için tek açıklıklı tek katlı bir betonarme çerçeve yapısının optimum kesitleri ve donatının bulunmasında armoni arama algoritmasını (HS) kullanmışlardır. Gheyramid ve diğ. (2015) yerçekimi ve yanal statik yüklerin kombinasyonlarına tabi betonarme çerçeve yapılarının optimum tasarımı için geliştirilmiş yapay arı kolonisi algoritması (ABCA) sunmuşlardır. Bekdaş ve Nigdeli (2017) hem statik hem de dinamik kuvvetlere maruz kalan betonarme çerçeveler için armoni arama algoritmasını modifiye etmişlerdir. Tapao ve Cheerarot (2017) betonarme çerçevelerin optimum tasarımında yapay arı kolonisi (ABC) algoritmasının performansına ilişkin parametrelerin kontrol edilmesine etkisini araştırmışlardır. besin kaynağı miktarlarının arı sayısından düşük olduğu zaman, ABC algoritmasının tüm tasarım örnekleri için yüksek performans sağladığını ortaya koymuşlardır. Kripka ve diğ. (2015) betonarme çerçevelerin

beton, çelik ve kalıp maliyeti olan toplam maliyeti armoni arama algoritması kullanarak minimize etmişlerdir.

Betonarme çerçevelerin de sadece maliyet optimizasyonu değil aynı zamanda da CO₂ emisyonları açısından optimizasyonu ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Mergos (2018) CO₂ optimizasyonunu sağlayarak betonarme elemanların sismik olarak tasarımını incelemişlerdir. Yüksek süneklik sınıfları için sismik tasarımın, CO₂ emisyonları içermesinde önemli düşüştürere yol açabileceği sonucuna varmıştır. Kaveh ve Ardalani (2016) betonarme çerçevelerin maliyet ve CO₂ emisyonlarını minimuma indirmek için Gelişmiş çarpışan cisimler algoritmasını kullanmış ve bu algoritmanın büyük patlama-büyük çöküş algoritmasına kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Camp ve Huq (2013) Genetik bir algoritma ve simüle edilmiş tavlama optimizasyonu ile betonarme çerçevelerin maliyet ve CO₂ emisyonlarını optimizasyonunu büyük patlama büyük çöküş optimizasyonu ile karşılaştırmış ve daha optimum sonuçların büyük patlama büyük çöküş optimizasyonundan elde etmişlerdir. Paya-Zaforteza ve diğ. (2009) 2,3 ve 4 açıklıklı 8 kata kadar 6 tipik betonarme bina çerçevesi için gömülü CO₂ emisyonlarına ekonomik maliyetine uygulanan simüle edilmiş bir tavlama algoritması ile optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir.

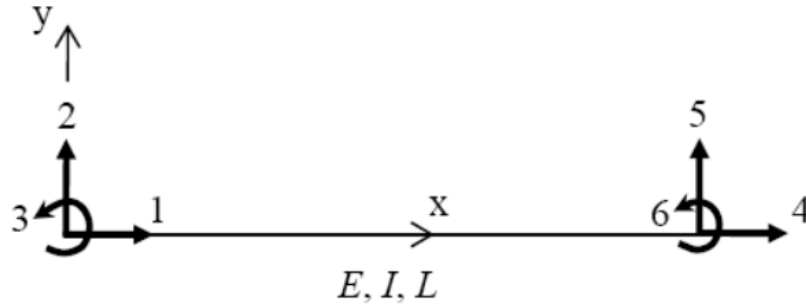
3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde ilk olarak analiz için gerekli verilerin bulunmasını sağlamak amacıyla matris deplasman yöntemi, ikinci olarak belirlenen optimizasyon yöntemi tanıtılacaktır.

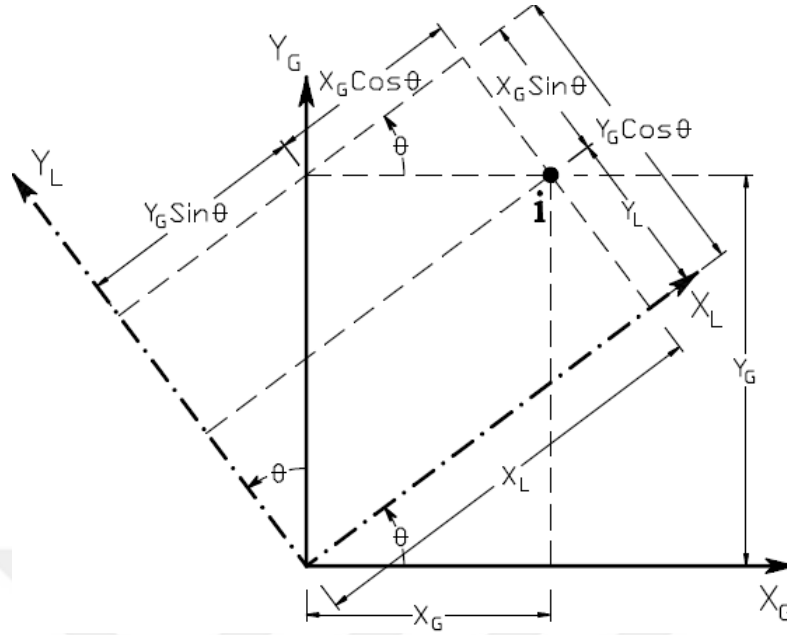
3.1.1. MATRİS DEPLASMAN YÖNTEMİ

Yapıların analizinde gerekli olan iç kuvvetleri bulmak için kuvvet yöntemi, açı yöntemi, moment dağıtma yöntemi, matris deplasman yöntemi gibi yöntemler mevcuttur. Bu bölüm de bu çalışmada kullanılacak matris deplasman yöntemi tanıtılmıştır. Yöntem 2 boyutlu çerçeve için ele alınmıştır.

Matris deplasman yöntemi yapıya etkileyen yükler ve yapının rijitliği biliniyorsa kullanılır. Çalışmada 2 boyutlu düzlemde çalışılacaktır. Bir çubuk elemanın i ve j olmak üzere 2 adet düğüm noktası vardır. 2 boyutlu düzlemde her çubuk elemanın 1 yatay deplasman, 1 düşey deplasman ve 1 dönme olarak 3 tane i ucunda 3 tane j ucunda olmak üzere toplam 6 adet serbestliği bulunmaktadır. Her düğüm noktasında bulunan 3'er tane serbestlik için numaralandırma yapılır.



Şekil 3.1: Eleman serbestlikleri



Şekil 3.2: Global ve lokal koordinat sistemi (Öztorun, N. K., Wasti, T., ve Utku, M., Yapı analizinde sonlu elemanlar ders notu, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa)

Yöntemde Şekil 3.2’de gösterildiği gibi iki adet koordinat sisteminden bahsedilecektir. Biri yapının tamamı için geçerli olan global koordinat sistemi, diğeri ise yapısal elemanların kesit tesirlerini belirlemede ve her elemanın konumuna göre belirlenen lokal koordinat sistemidir. Bir koordinat sisteminden diğereine geçmek için dönüşüm matrisleri kullanılır. θ lokal ve global koordinat sistemi arasındaki açıyı göstermektedir ve saat yönünü tersi yönde pozitif kabul edilmektedir. G indisi global koordinat sistemini, L indisi lokal koordinat sistemini, X ve Y koordinat sistemlerinin eksenlerini göstermek üzere;

$$X_L = X_G \cdot \cos\theta + Y_G \cdot \sin\theta$$

$$Y_L = -X_G \cdot \sin\theta + Y_G \cdot \cos\theta \quad (3.1)$$

eşitliği elde edilir. Matris formda yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} X_L \\ Y_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

şeklinde olur. Denklem (3.2)’de verilen formül 6 serbestliğe sahip çubuk eleman için matris formunda yazılabilir. Açılal vektörlerin her iki koordinat sisteminde de aynı bileşene sahip

olması ve x ile y doğrusal bileşenlerinden bağımsız olması nedeniyle 2 boyutlu düzlemde çubuk elemanın dönüşüm matrisi [T]:

$$T = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

elde edilir. Her bir eleman için dönüşüm matrisleri bulunur.

Lokal (eleman) eksen takımında düzlem çerçeve elemanın rijitlik matrisini bulunmasında elemanın her iki ucundaki yerdeğiştirmeler ayrı ayrı serbest bırakılır ve diğeri tutulur. İç kuvvetler bulunarak tüm sonuçlar süperpoze edilip eleman rijitlik matrisi elde edilir. f uç kuvvetleri, m uç momentleri, Δ ve θ sırasıyla çubuk uçlarındaki yatay ile düşey deplasmanı ve dönmeyi göstermektedir.

$$1. \Delta_{ix} \neq 0, \Delta_{iy} = \theta_{iz} = \Delta_{jx} = \Delta_{jy} = \theta_{jz} = 0$$

$$f_{ix} = \frac{EA}{l} \Delta_{ix} \quad f_{jx} = -\frac{EA}{l} \Delta_{ix} \quad (3.4)$$

$$2. \Delta_{iy} \neq 0, \Delta_{ix} = \theta_{iz} = \Delta_{jx} = \Delta_{jy} = \theta_{jz} = 0$$

$$f_{iy} = \frac{12EI}{l^3} \Delta_{iy} \quad f_{jy} = -\frac{12EI}{l^3} \Delta_{iy} \quad m_{iz} = \frac{6EI}{l^2} \Delta_{iy} \quad m_{jz} = \frac{6EI}{l^2} \Delta_{iy} \quad (3.5)$$

$$3. \theta_{iz} \neq 0, \Delta_{ix} = \Delta_{iy} = \Delta_{jx} = \Delta_{jy} = \theta_{jz} = 0$$

$$f_{iy} = \frac{6EI}{l^2} \theta_{iz} \quad f_{jy} = -\frac{6EI}{l^2} \theta_{iz} \quad m_{iz} = \frac{4EI}{l} \theta_{iz} \quad m_{jz} = \frac{2EI}{l} \theta_{iz} \quad (3.6)$$

$$4. \Delta_{jx} \neq 0, \Delta_{ix} = \Delta_{iy} = \theta_{iz} = \Delta_{jy} = \theta_{jz} = 0$$

$$f_{ix} = -\frac{EA}{l} \Delta_{jx} \quad f_{jx} = \frac{EA}{l} \Delta_{jx} \quad (3.7)$$

$$5. \Delta_{jy} \neq 0, \Delta_{ix} = \Delta_{iy} = \theta_{iz} = \Delta_{jx} = \theta_{jz} = 0$$

$$f_{iy} = -\frac{12EI}{l^3} \Delta_{jy} \quad f_{jy} = \frac{12EI}{l^3} \Delta_{jy} \quad m_{iz} = -\frac{6EI}{l^2} \Delta_{jy} \quad m_{jz} = \frac{6EI}{l^2} \Delta_{jy} \quad (3.8)$$

$$6. \theta_{jz} \neq 0, \Delta_{ix} = \Delta_{iy} = \theta_{iz} = \Delta_{jx} = \Delta_{jy} = 0$$

$$f_{iy} = \frac{6EI}{l^2} \theta_{jz} \quad f_{jy} = -\frac{6EI}{l^2} \theta_{jz} \quad m_{iz} = \frac{2EI}{l} \theta_{jz} \quad m_{jz} = \frac{4EI}{l} \theta_{jz} \quad (3.9)$$

denklemleri elde edilir. Burada A kesit alanını, E elastisite modülünü, I atalet momentini ve l çubuk boyunu göstermektedir. Denklem (3.4)-(3.9) süperpoze edilip matris formda yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ m_{iz} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \\ m_{jz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 & -\frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & 0 & -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} \\ -\frac{EA}{l} & 0 & 0 & \frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & 0 & \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_{ix} \\ \Delta_{iy} \\ \theta_{iz} \\ \Delta_{jx} \\ \Delta_{jy} \\ \theta_{jz} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

eşitliği sağlanır. Denklem (3.10);

$$[f] = [K_L][\Delta_L] \quad (3.11)$$

şeklinde düzenlenir. Burada $[K_L]$ eleman rijitlik matrisini, $[\Delta_L]$ elemanda oluşan yerdeğiştirme vektörünü, $[f]$ ise eleman iç kuvvet vektörünü ifade etmektedir.

Elemanda oluşan iç kuvvetleri bulmak için elemanda meydana gelen yerdeğiştirmelerin ($[\Delta_L]$) bilinmesi gerekmektedir. $[\Delta_L]$ vektörünün bulunması içinde sistemdeki her düğüm noktasının yer değiştirmeleri bulunmalıdır. Her çubuk eleman için eleman rijitlik matrisleri bulunmasından sonra dönüşüm matrisleri yardımıyla global rijitlik matrisleri bulunur.

Global rijitlik matrisi $[K_G]$:

$$[K_G] = [T]^T \cdot [K_L] \cdot [T] \quad (3.12)$$

Her eleman için global rijitlik matrislerinin elde edilmesiyle süperpoze edilir ve sistem rijitlik matrisi $[K_{GS}]$ oluşturulur. Sınır şartlarına bağlı olarak sistem rijitlik matris indirgenir.

Sistemdeki her düğüm noktasının yerdeğiştirmelerini gösteren global yerdeğiştirme vektörü $[\Delta_G]$:

$$[\Delta_G] = [K_{GS}]^{-1} \cdot [F] \quad (3.13)$$

Denklemdaki [F] sistem yük vektörüdür. Yapıya etkiyen yükler vektör formuna getirilir. Bu vektör 2 boyutlu düzlem için 3×1 boyutunda olmalıdır. Burada n sistemdeki çubuk sayısıdır. Düğüm noktalarındaki bileşenlerde herhangi bir dış yük bulunmuyorsa sıfır alınır.

Elemanların iç kuvvetlerini bulmak için geriye dönük çözüm yapılır. Global yerdeğiştirme vektörü kullanılarak her yapısal eleman için lokal(eleman) yerdeğiştirme vektörü bulunur. $[\Delta_L]$:

$$[\Delta_L] = [T] \cdot [\Delta_G] \quad (3.14)$$

Denklem (3.11) kullanılarak elemanların kesit tesirleri (iç kuvvetleri) elde edilir.

3.1.2. JAYA ALGORİTMASI (JA)

Jaya algoritması Rao 2016b'nde bahsettiği gibi verilen bir problem için tasarım değişkenlerinin rassal olarak atanması sonucunda elde edilen çözümün en iyi çözüme doğru ilerlemesi ve en kötü çözümden kaçınması kavramına dayanmaktadır. Bu optimizasyon aşaması 5 adımda aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

Adım 1: Problemin kurulması, algoritma parametrelerinin ve verilerin girilmesi

Bu adımda optimizasyon probleminin amaç fonksiyonu belirlenir. Algoritma için gerekli olan parametreler girilir. Bunlar popülasyon sayısı, sonlandırma kriteri (maksimum iterasyon sayısı) ve tasarım değişkenlerinin sayısıdır. Tasarım değişkenlerinin alt ve üst limitleri girilir. Alt ve üst limitler arasında kalacak şekilde tasarım değişkenleri rassal olarak üretilir. Popülasyon sayısı kadar çözüm vektörleri oluşturulur. Çözüm vektörleri rassal olarak üretilen tasarım değişkenlerini içermektedir. Bu çözüm vektörleri başlangıç çözüm matrisine kaydedilir. Her çözüm vektörü için analiz ve tasarım yapılır ve amaç fonksiyonu hesaplanır. Hesaplanan değerleri amaç fonksiyonu vektörüne ($f(x)$) kaydedilir.

Adım 2: Popülasyondaki en iyi ve en kötü çözümlerin tanımlanması

Elde edilen çözüm matrisinden en iyi çözümü veren değerler ile en kötü çözümü veren değerler ayrı vektörler halinde kaydedilir.

$$f(x)_{iyi} = f(x) \text{ 'den elde edilen en iyi çözümü}$$

$$f(x)_{kötü} = f(x) \text{ 'den elde edilen en kötü çözümü} \quad (3.15)$$

Adım 3: En iyi ve en kötü çözümlere dayalı çözümlerin değiştirilmesi

Bu adımda analiz sonucu elde edilen en iyi ve en kötü çözümlere bağlı olarak tasarım değişkenleri rassal olarak tekrardan üretilir. Alt ve üst limitler arasında olup olmadığı kontrol edilir.

Herhangi bir i 'nci iterasyonda, v_n değişken numarasını ($j=1,2,\dots,v_n$), p_n popülasyon sayısını ($k=1,2,\dots,p_n$), $X_{j,k,i}$ k 'nci popülasyon için j 'nci değişkenin değerini göstermek üzere,

$X_{j,k,i}$ 'nin güncellenen değeri $X'_{j,k,i}$:

$$X'_{j,k,i} = X_{j,k,i} + r_{1,j,i}(X_{j,iy,i} - |X_{j,k,i}|) - r_{2,j,i}(X_{j,kötü,i} - |X_{j,k,i}|) \quad (3.16)$$

şeklinde hesaplanır. Denklem (3.16)'da $r_{1,j,i}$ ve $r_{2,j,i}$ i 'nci iterasyon sırasında j 'nci değişken için iki rastgele sayıdır. $r_{1,j,i}(X_{j,iy,i} - |X_{j,k,i}|)$ 'terimi çözümün en iyi çözüme yaklaşma eğilimini, $r_{2,j,i}(X_{j,kötü,i} - |X_{j,k,i}|)$ 'terimi çözümün en kötü çözümden uzaklaşma eğilimini göstermektedir.

Yeni tasarım değişkenleri kullanılarak yeni çözüm vektörleri üretilir. Yeni çözüm vektörleri yeni çözüm matrisine kaydedilip tekrar analiz ve tasarım yapılarak yeni amaç fonksiyonları hesaplanır. Yeni amaç fonksiyonları yeni amaç fonksiyonu vektörüne ($f^*(x)$) kaydedilir.

Adım 4: Amaç fonksiyonu vektörlerinin güncellenmesi

Eğer ki yeni üretilen amaç fonksiyonu mevcut vektörlerin bulunduğu çözüm matrisindeki en kötü amaç fonksiyonundan iyiyse mevcut vektör çözüm matrisinden silinir yerine yeni üretilen çözüm vektörünün değerleri yazılır aksi halde çözüm matrisi aynen korunur.

Adım 5: Durma koşulunun kontrolü

Bu adımda kullanıcı tarafından girilen maksimum iterasyon sayısı olan durma koşulu kontrol edilir. Durma koşulu sağlanana kadar adım 2 den itibaren tekrar edilir. Durma koşulunun sağlanması durumunda en iyi sonuç alınarak arama sonlandırılır.

4. BULGULAR

Jaya algoritması kullanılıp 3 farklı betonarme çerçeve sistemin optimum maliyetle tasarımı bu kısımda anlatılmıştır.

4.1.1. BETONARME ÇERÇEVE SİSTEMİN OPTİMUM MALİYETLE TASARIMI

Bu bölümde Jaya algoritması kullanılarak betonarme çerçevenin minimum maliyetle tasarımı gerçekleştirilecektir. Tasarım sürecinde Amerikan Beton Enstitüsü tarafından yayımlanan ACI 318-05 (Building code requirements for structural concrete and commentary) dikkate alınmıştır. İlk olarak açıklık sayısı, kat sayısı, düğüm noktası sayısı, sınır şartları, elemanların koordinatları ve düğüm noktaları gibi yapısal özellikler tanımlanmıştır. Ardından elemanın kesitinin genişliği ve yüksekliği tanımlanmıştır. Genişlik ve yükseklik sırasıyla b ve h ile gösterilmiştir. Tasarım değişkenleri olan b ve h rassal olarak üretilmektedir. Tasarım değişkenlerinin rassal üretiminde alt ve üst limitler belirlenip (tasarım kısıtları) rassal üretimin bu sınırlar arasında kalması sağlanmıştır. Daha sonra yükleme durumları tanımlanmıştır. Tüm açıklıklardaki yükleme durumunda dağıtılmış yükler kullanılabilir. Bu yükler eşit dağıtılmış, üçgen dağıtılmış ya da yamuk dağıtılmış olabilir. Yükleme durumu için Canlı (L) ve Ölü (D) dağıtılmış yükler kullanılmıştır. Ölü yük içinde yapının kendini ağırlığı dahil edilmemiştir. Yapının kendi ağırlığı rassal olarak belirlenecek kesit boyutlarına göre hesaplanmış ve dağıtılmış statik yükler ile birleştirilmiştir. Ardından tasarım sabitleri tanımlanmıştır. Tasarım sabitleri çeliğin elastisite modülü (E_s) ve çeliğin özgül ağırlığı (γ_s), betonun özgül ağırlığı (γ_c), net beton örtüsü kalınlığı (c_c), betonun basınç dayanımı (f'_c), çeliğin akma dayanımı (f_y), m^3 başına beton maliyeti (C_c), ton başına çelik maliyeti (C_s) şeklindedir.

Tasarımda betonarme elemanlardan kirişlerin tasarımı ilk olarak yapılmıştır. Tasarım değişkenlerinin maksimum ve minimum değerleri denklem (4.1)-(4.2) verildiği gibi seçilmiştir.

Kiriş kesit yüksekliği h :

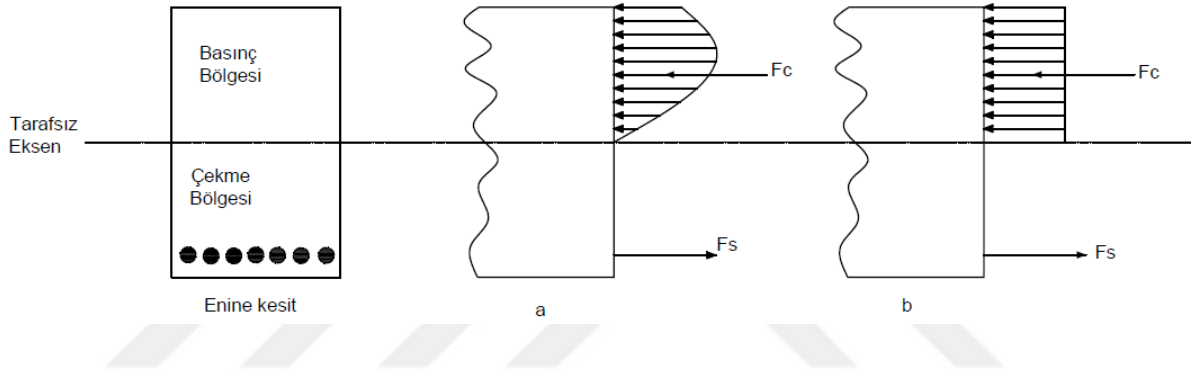
$$h \geq 300 \quad (4.1)$$

Kiriş kesit genişliği b :

$$b \geq 250 \text{ mm} \quad (4.2)$$

Kirişlerde boyuna donatı çapı minimum $\phi 12$ olarak belirtilmiştir ve kiriş yüksekliğinin 600 mm'den fazla olması durumunda gövde donatısı kullanmak zorunludur. Enine donatı çapı minimum $\phi 8$ 'dir.

Betonarme kirişlerin tasarımda kesitte yüklemeye bağlı olarak basınç ve çekme bölgesi oluştuğu varsayılır. Basınç ve çekme bölgesi tarafsız eksen ile birbirinden ayrılır. Kesit üzerine etkileyen yükler Şekil 4.1. a'da gösterilmiştir. Şekil 4.1.b'de gösterildiği gibi basınç bölgesinde betona uygulanan gerçek basınç gerilmesi dağılımı yerine aynı bileşke kuvveti ve aynı etkiye noktasını veren eşdeğer basınç bloğu dikkate alınır.



Şekil 4.1: Basınç bölgesinde (a) gerçek yük dağılımı, (b) eşdeğer yük dağılımı.

Şekil 4.1'te gösterilen şekil üzerinde F_c betonun basınç bölgesinde oluşturduğu gerilmeye karşılık gelen bileşke kuvveti, F_s ise donatının çekme bölgesinde oluşturduğu çekme bileşke kuvvetidir.

$$F_c = 0.85 f'_c b a \quad (4.3)$$

Denklem (4.3)'de betonun basınç dayanımı 0.85 katsayısı ile çarpılmıştır. Bunun sebebi yük uygulandığı zaman beklenmeyen bir etkiyi karşılamaktır. a eşdeğer basınç bloğu derinliği olup;

$$a = \beta_1 c \quad (4.4)$$

bu denklemde c tarafsız eksen derinliğidir. Eşdeğer dikdörtgen basınç bloğunun (β_1) derinliğine ilişkin faktör ACI 318'de, β_1 olarak tanımlanır ve 0.65'ten büyük olmayacak bu değer Denklem (4.5)'de verildiği şekilde hesaplanır.

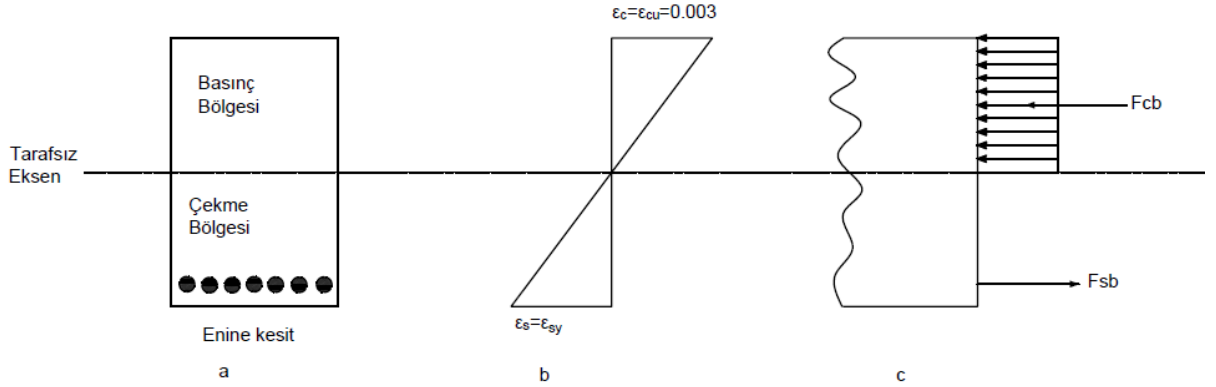
$$\beta_1 = 0.85 \quad 17MPa < f'_c \leq 28MPa$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.0071428(f'_c - 28) \quad f'_c > 28MPa \quad (4.5)$$

Bileşke çekme kuvveti F_s :

$$F_s = A_s f_y \quad (4.6)$$

Denklemden A_s donatı alanıdır. Betonun birim kısalması (ϵ_c)'nin maksimum birim kısalmaya ($\epsilon_{cu}=0.003$), donatıdaki birim uzama (ϵ_s)'nin akma birim uzaması (ϵ_{sy})'na aynı anda erişimi dengeli donatılı bir kesitin kırılmasını ifade etmektedir. Bu duruma ilişkin gerilme ve şekil değiştirme durumu Şekil 4.2'te gösterilmiştir. Yönetmelikler gereği kirişlerin dengeli donatılı şekilde tasarlanması yapılmamakta denge altı donatı oranına göre tasarımı yapılması istenmektedir. Fakat denge altı donatı tasarımında kullanılan parametreler dengeli donatı oranına göre çıkarılmaktadır. b indisi dengeli donatılı durumu ifade etmektedir.



Şekil 4.2: (a) eleman en kesiti, (b) şekil değiştirme durumu ve (c) gerilme durumu

Şekil değiştirme durumuna bağlı olarak uygunluk denklemi (benzer üçgenlerden) yazılırsa ve kuvvet denge denklemleri ile dengeli donatı oranı ρ_b :

$$\rho_b = (0.85)\beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (4.7)$$

Denklemiyle hesaplanır. Sünek davranış sergilemesi için donatıların maksimum oranı ρ_{maks} :

$$\rho_{maks} = 0.75\rho_b \quad (4.8)$$

ve ρ_{\max} değeri 0.025'ten küçük olmamalıdır.

Betonun elastisite modülü (E_c);

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (4.9)$$

Tasarım sabitleri ve tasarım değişkenlerinin tanımlanmasının ardından rassal olarak üretilen her tasarım değişkeni için çözüm vektörü oluşturulmuştur ve vektörler başlangıç çözüm matrisine depolanmıştır.

İlk olarak kirişlerin kesit boyutları rasgeleleştirilmiştir ve bu işlem gerekli kesit alanına en yakın donatı alanı tasarımını desteklemektedir. Tasarım için kesit tesirlerinin (iç kuvvet) hesabı 3.1'deki metot ile matlab kodunda yapıp analizlerden en elverişsiz kesit tesirleri elde edilmiştir.

Analiz,

$$Yük = 1.4D + 1.6L \quad (4.10)$$

yük kombinasyonuna göre gerçekleştirilmiştir.

Donatı alanı hesabında ise rassal olarak belirlenen kesit boyutlarına bağlı olarak eşdeğer basınç bloğu derinlikleri mesnetler ve açıklık için ayrı ayrı hesaplanır. Analiz sonucu hesaplanan kesit tesirlerine göre hesap kesit tesirleri belirlenir. Hesap kesit tesirleri ile eşdeğer basınç bloğu derinliklerine bağlı olarak hem mesnetlerdeki (çubuğu i ve j ucu) hem de açıklıktaki donatı alanları hesaplanır.

Gerekli donatı alanı hesaplanırken minimum şartlar üzerinde olması dikkate alınmıştır. Minimum boyuna donatı alanları ($A_{s, \min}$):

$$A_{s, \min} \geq \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} bd \quad (4.11)$$

$$A_{s, \min} \geq \frac{1.4}{f_y} bd \quad (4.12)$$

Belirlenen donatı alanı minimum şartları sağlamazsa minimum donatı alanı hesaba katılır. Maksimum donatı alanı kontrolünü yapmak için denklem (4.5)-(4.8) deki işlemler yapılır

maksimum donatı oranı hesaplanır. Hesaplanan donatı alanı maksimum donatı alanını geçiyorsa donatı alanı cezalandırılır.

Kirişin boyuna donatılarının tasarımından sonra etriye tasarımı yapılır. Etriye tasarımında yönetmelik sınırlamaları karşılanarak aşağıdaki kontroller yapılır.

Betonun nominal kesme dayanımı (V_c):

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} bd \quad (4.13)$$

Donatıların nominal kesme dayanımı (V_s):

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (4.14)$$

Sünek tepki için:

$$V_s = 0.66 \sqrt{f'_c} bd \quad (4.15)$$

değerini aşmamalıdır.

Minimum kesme donatısı alanı ($(A_v)_{min}$);

$$(A_v)_{min} = \frac{1}{3} \frac{bs}{f_y} \quad (4.16)$$

Denklemden s enine donatı arası mesafedir.

Etriyeler arası boşluk s :

$$s \leq \begin{cases} d/4 \\ 8\phi_{min} \\ 150 \text{ mm} \end{cases} \quad (4.17)$$

şartlarını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Denklemden d kiriş derinliğidir ve kiriş yüksekliğinden net beton örtüsü kalınlığını çıkararak elde edilmiştir. Tüm koşullar sağlandıktan sonra $\frac{A_v}{s}$ değerlerinin kesin sonuçları hesaplanmıştır.

Donatı alanlarının belirlenmesinin ardından boyuna donatı için hem mesnetlerde hem de açıklıkta donatı miktarı ton olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde enine donatı içinde donatı miktarı ton olarak hesaplanmış olup bir kiriş elemanda rassal olarak belirlenen tasarım değişkenlerine göre hesaplanan donatı miktarları kaydedilmiştir. Elemanın malzeme maliyeti M_M :

$$M_m = A_c * l_e * C_c + T_s * C_s \quad (4.18)$$

Denklemden, l_e elemanın boyu, T_S ton olarak donatı miktarı, A_c minimum brüt kesit alanıdır. Her kiriş eleman için malzeme maliyetinin hesaplanmasından sonra diğer yapısal eleman olan kolonların malzeme maliyeti hesabına geçilmiştir.

Kolonların optimizasyonunda kirişlerde olduğu gibi kesit boyutları (b ve h) rassal olarak üretilmiştir. Rassal olarak üretilen kesit boyutlarının minimum şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Dikdörtgen kesitli kolonların genişliği 250 mm az olmamalıdır. Minimum brüt kesit alanı (A_c) 75000 mm² olması gerektiğinden kolon yüksekliği 300 mm'den az olmamalıdır. Ayrıca minimum boyuna donatı çapı ve adedi 6φ14 ya da 4φ16 (minimum donatı alanı), enine donatı çapı ise en az φ8 olmalıdır.

Kolon tasarımında ACI 318'de verilen moment büyütme prosedürü kullanılır. Yapısal çözümlenmeden elde edilen aksenal kuvvet ve moment değerleri tasarımda direk olarak kullanılmaz. İkinci mertebeli momentlerini de hesaba katmak için moment büyütme faktörü ile moment büyütülür.

Kolonun üst ucundaki Ψ_A , alt ucundaki Ψ_B :

$$\Psi_{A,B} = \frac{\sum(EI/l)_{kolon}}{\sum(EI/l)_{kiriş}} \quad (4.19)$$

Burkulmada etkili uzunluk faktörü k:

$$k = \frac{20 - \Psi_m}{20} \sqrt{1 + \Psi_m} \quad \text{eğer } \Psi_m < 2 \text{ ise} \quad (4.20)$$

$$k = 0.9 \sqrt{1 + \Psi_m} \quad \text{eğer } \Psi_m \geq 2 \quad (4.21)$$

Denklem (4.20)-(4.21) deki Ψ_m :

$$\Psi_m = 0.5(\Psi_A + \Psi_B) \quad (4.22)$$

Gerçek moment diyagramını eşdeğer bir moment diyagramıyla ilişkilendiren düzeltme faktörü (C_m):

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2} \quad (4.23)$$

Denklem (4.23)'te M_1 ve M_2 yapısal çözümlenmeden elde edilen kolon uç momentleridir. Bunlardan M_2 büyük olarak alınır. C_m 0,4'ten büyük olmalı ve kolon uçları arasında etkiyen herhangi yatay yük varsa 1.0 olarak alınmalıdır.

Kolonun rijitliği %75 oranında azaltılarak kritik burkulma yükü P_c :

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl)^2} \quad (4.24)$$

Moment büyütme faktörü (δ_s):

$$\delta_s = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75P_c}} \quad (4.25)$$

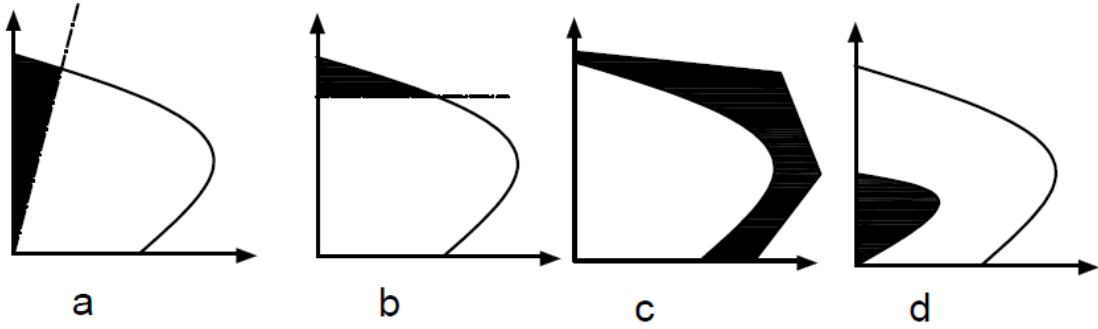
Denklem (4.25)'te, P_u faktörlü aksenal kuvvettir.

Minimum eğilme momenti M_{min} :

$$M_{min} = P_u(15 + 0.03h) \quad (4.26)$$

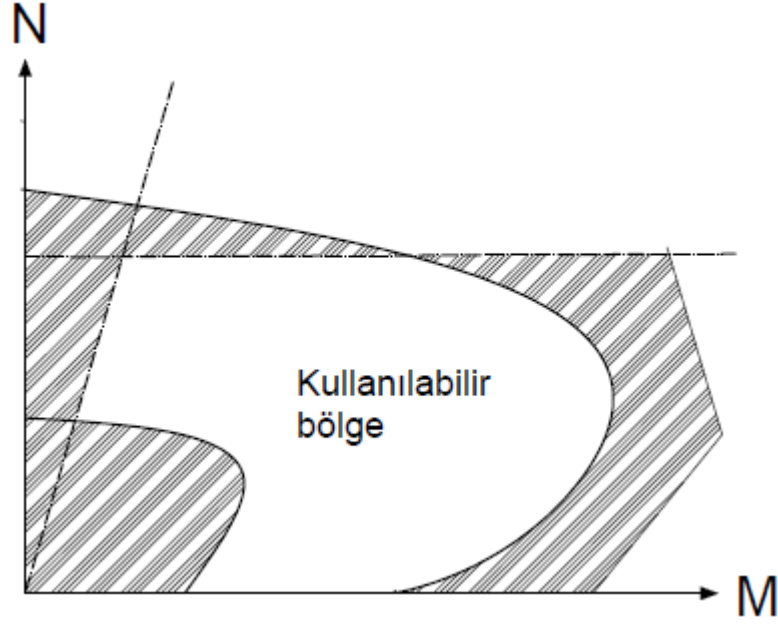
şartını sağlamalıdır ve Denklemde 15 ve h mm olarak alınır. Hesap kesit tesirleri hesaplanmış olmaktadır.

Bilindiği üzere kolonlar bileşik eğilme etkisi altındadır ve tasarımı yapılırken moment-eksenel kuvvet etkileşim diyagramı olan karşılıklı etki diyagramı yol gösterici olmaktadır. Bu etki diyagramında yönetmelik kısıtlamalarına bağlı olarak kullanılabilir bölgesi bulunmaktadır. Şekil 4.4'te karşılıklı etki diyagramında kullanılabilir bölge gösterilmiştir.



Şekil 4.3: (a) minimum dış merkezlik koşulu, (b) maksimum aksenal kuvvet koşulu, (c) maksimum donatı oranı koşulu, (d) minimum donatı oranı koşulu.

Şekil 4.3'te karşılıklı etki diyagramında kullanılabilir bölgeyi oluşturan kısıtlamalar gösterilmiştir. Bu kısıtlamalar Şekil 4.3 (a)'da minimum dış merkezlik koşulu, (b)'de maksimum aksenal kuvvet koşulu (c)'de minimum donatı oranı ve (d)'de maksimum donatı oranı koşuluna bağlıdır.



Şekil 4.4: Karşılıklı etki diyagramında kullanılabilir bölge.

Hesap kesit tesirleri ile karşılıklı etki diyagramında kullanılabilir bölge içerisinde kalması koşuluyla rassal olarak belirlenen kesit boyutları ile donatı alanları hesaplanır. Kolon için minimum donatı oranı, $\rho_{min}=0.01$ ve maksimum donatı oranı, $\rho_{maks}=0.06$ şartları ile üretilen kesit boyutları çarpılıp donatı alanı kontrolleri sağlanır. Hesap kesit tesirlerinin karşılıklı etki diyagramında kullanılabilir bölge içerisinde kalmaması durumunda donatı alanı cezalandırılır.

Boyuna donatı alanının hesaplanmasından sonra kolonların kesme donatısı hesabına geçilmiştir. Kesme donatısı hesabı kirişlerde olduğu gibi yapılmıştır. Kolonlarında malzeme maliyeti de denklem (4.18)'deki gibi hesaplanmıştır.

Nihayet yapının toplam malzeme maliyetini elde etmek için kolonların malzeme maliyeti ile kirişlerin malzeme maliyeti toplanır.

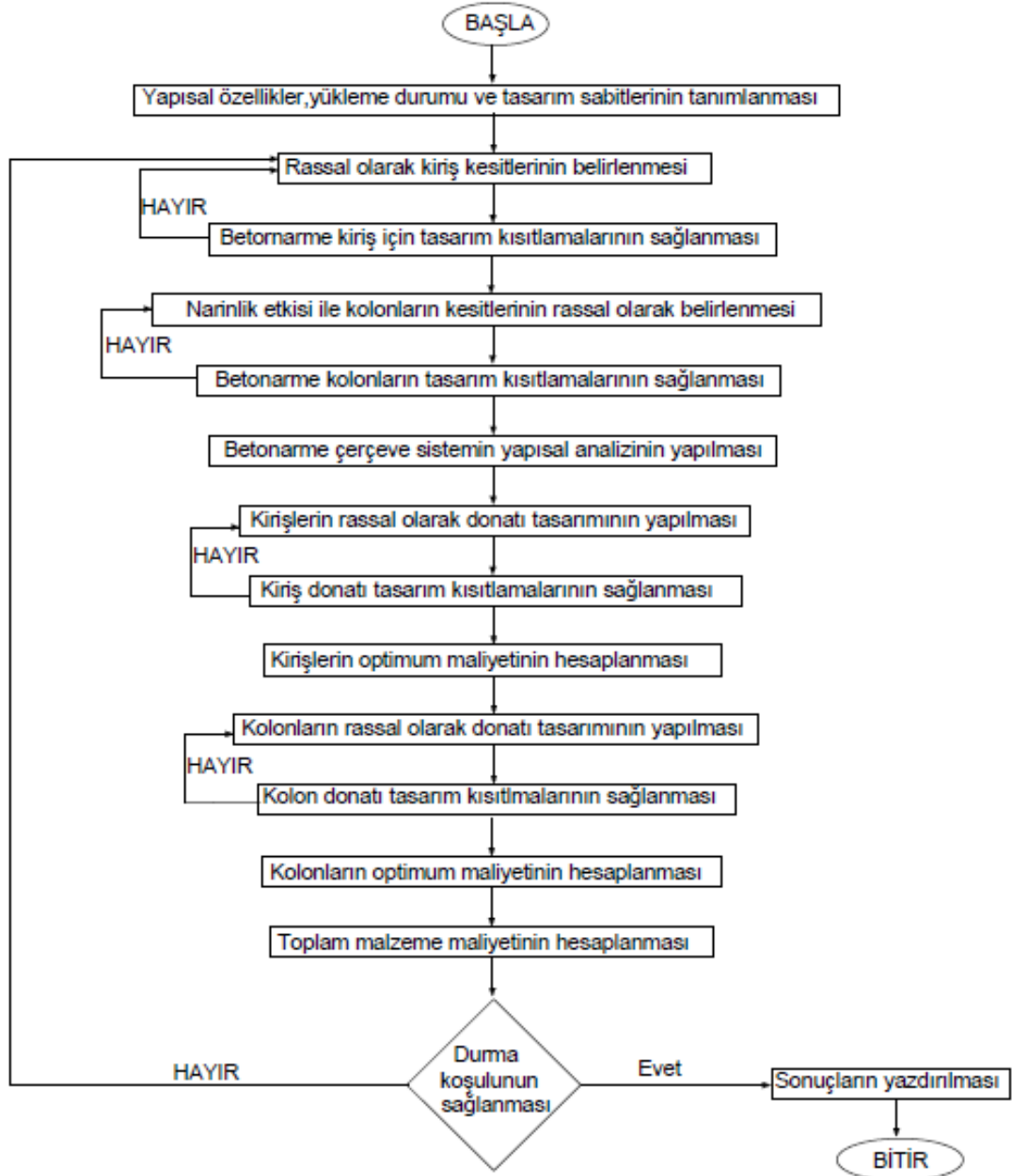
Yapının toplam malzeme maliyeti olan amaç fonksiyonu AF;

$$AF = \sum_{i=1}^n (M_m)_i \quad (4.26)$$

Denklem (4.26)'da; n eleman sayısıdır.

Amaç fonksiyonunun hesaplanmasından sonra en iyi ve en kötü çözümü veren değerler kaydedilmiştir. En iyi ve en kötü çözümlere bağlı olarak tasarım değişkenleri rassal yeniden olarak belirlenip bu değerlere göre yeni amaç fonksiyonları hesaplanmıştır. Yeni amaç

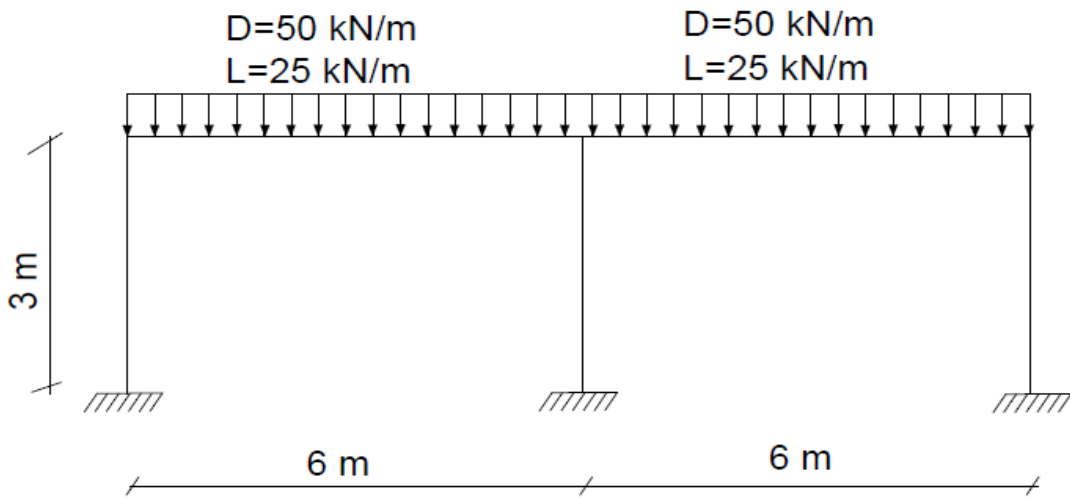
fonksiyonu mevcut amaç fonksiyonundan daha iyi değerler üretiyorsa mevcut amaç fonksiyonu güncellenir. Bu durum durdurma şartı sağlanana kadar devam eder.



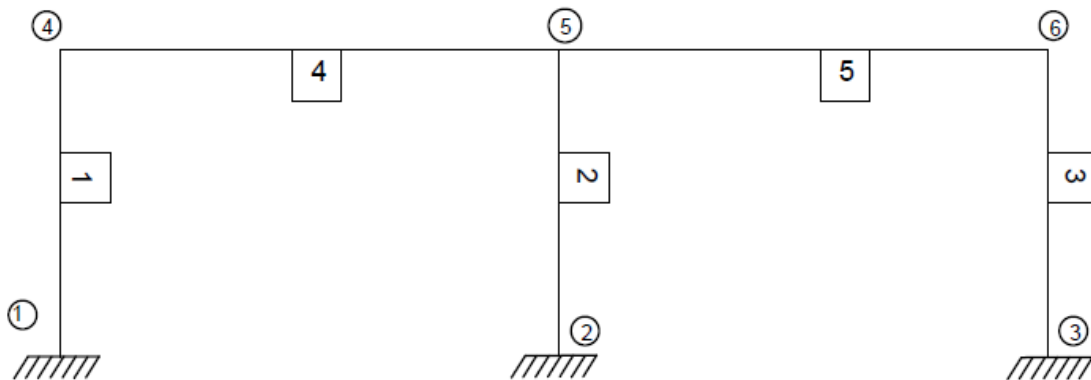
Şekil 4.5: Yöntem akış diyagramı.

4.1.2. İKİ AÇIKLIKLI TEK KATLI BETONARME ÇERÇEVENİN OPTİMİZASYONU

Bu bölümde iki açıklıklı tek katlı betonarme çerçevenin optimizasyonu ele alınmıştır. Ele alınan çerçeve sistem Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Açıklıklar 6 m , kat yüksekliği 3 m alınmıştır. Optimizasyon için durdurma kriteri (maksimum iterasyon sayısı) 100000 olarak girilmiştir. Popülasyon sayısı 20 olarak alınmıştır. Sistem simetrik olduğundan ilk yarı kısmında çalışılmıştır. İlk kısımda rassal olarak belirlenen tasarım değişkenleri sistemin diğer yarısı için de aynı olarak alınmıştır.



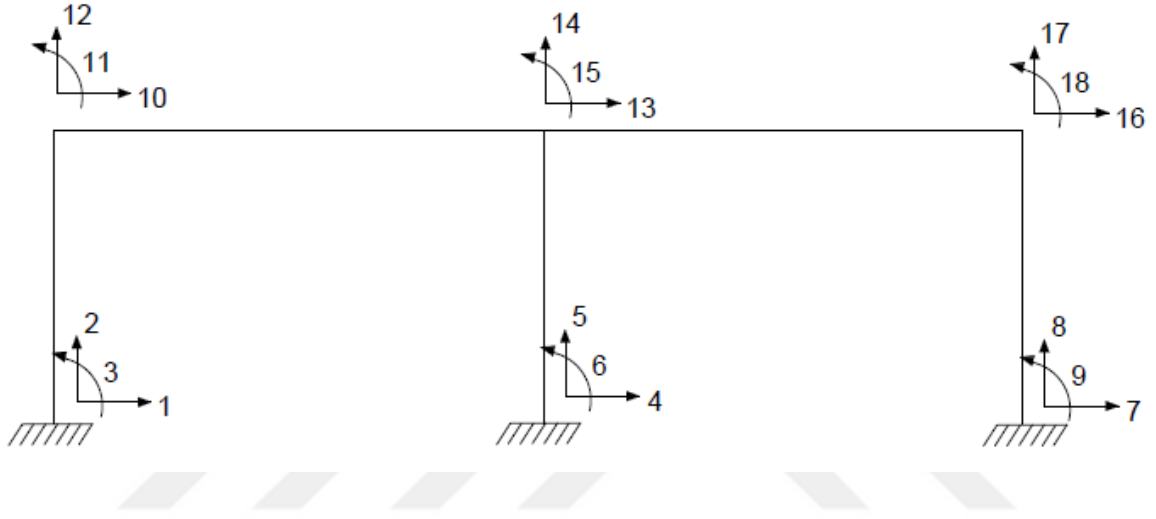
Şekil 4.6: İki açıklıklı tek katlı betonarme çerçeve sistem.



Şekil 4.7: İki açıklıklı tek katlı betonarme çerçevenin eleman ve düğüm noktası numaralandırılması.

Şekil 4.7’de yapısal analiz için çerçeve sistemde eleman ve düğüm noktalarının numaralandırılması gösterilmiştir. Sistem toplam 5 elemandan oluşmaktadır. 1-2-3 numaralı elemanlar kolon, 4-5 numaralı elemanlar kiriş olarak tasarlanmıştır.

Düğüm noktası serbestlikleri 2 boyutlu çerçeve sistem için her düğüm noktasında yatay, dikey ve dönme olacak şekilde toplam 3 adet deplasmanı göstermektedir. Şekil 4.8’de gösterildiği gibi toplam 18 serbestlik için yapısal analiz gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.8: İki açıklıklı tek katlı betonarme çerçevenin düğüm noktası serbestlikleri.

Optimizasyon için gerekli tasarım sabitleri belirlenmiştir. C30 beton sınıfı kullanılmış ve m^3 başına malzeme maliyeti 45 \$ alınmıştır. Çelik sınıfı olarak S420 seçilmiş ve ton başına malzeme maliyeti 400 \$ alınmıştır. Tüm açıklıklar için 50 kN/m ölü düzgün yayılı yük ve 25 kN/m hareketli düzgün yayılı yük etki ettirilmiştir. Tablo 4.1 ‘de tasarım sabitleri verilmiştir.

Tablo 4.1: Tasarım sabitleri.

Tanımlama	Sembol	Birim	Değer
Çelik elastisite modülü	E_s	MPa	200000
Çelik özgül ağırlığı	γ_s	t/m ³	7.86
Beton özgül ağırlığı	γ_c	t/m ³	2.5
Net beton örtüsü	c_c	mm	40
Beton basınç dayanımı	f'_c	MPa	30
Çelik akma dayanımı	f_y	MPa	420

Tablo 4.1 (devam):

M ³ başına beton maliyeti	C _c	\$	45
Ton başına çelik maliyeti	C _s	\$	400

Yönetmelik sınırları içinde olacak şekilde kesit için maksimum ve minimum genişlik ve yükseklik değerleri ile sargı donatısı için sınırlar Tablo 4.2’de verilmiştir. Kesit boyutları Tablo 4.2’de verilen değerler arasında taranmıştır.

Tablo 4.2: Tasarım sınırları.

Tanımlama	Sembol	Birim	Değer
Minimum kesit genişliği	b _{min}	mm	250
Maksimum kesit genişliği	b _{maks}	mm	450
Minimum kesit yüksekliği	h _{min}	mm	300
Maksimum kesit yüksekliği	h _{maks}	mm	600
Minimum kesme donatısı çapı	ϕ _{vmin}	mm	8
Maksimum kesme donatısı çapı	ϕ _{vmaks}	mm	16

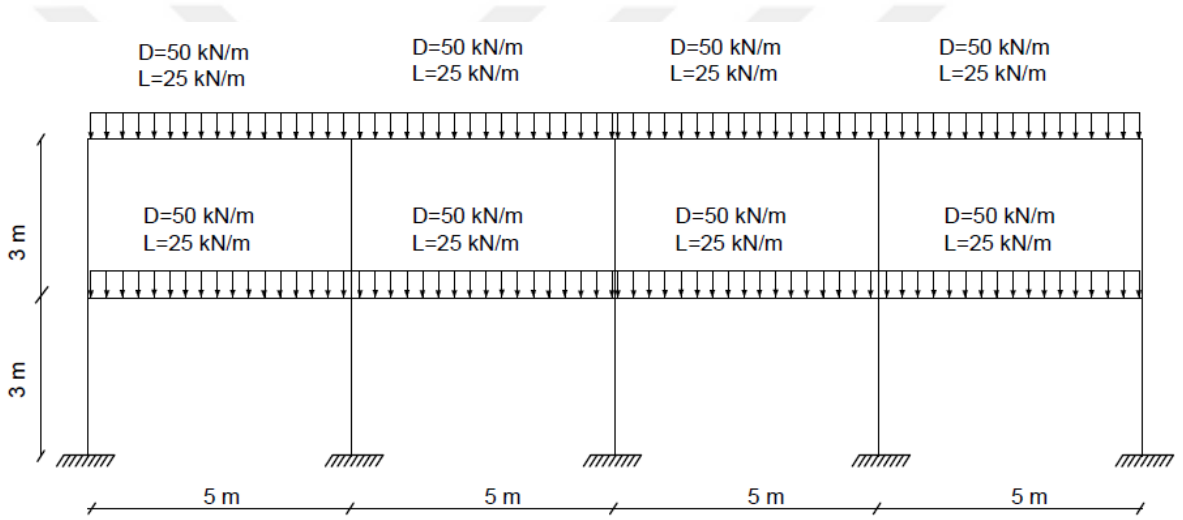
İki açıklıklı tek katlı betonarme çerçeve için analiz sonrası optimum sonuçlar Tablo 4.3’te verilmiştir. Optimum kesit boyutlarına karşılık her elemanın toplam malzeme maliyeti sunulmuştur.

Tablo 4.3: İki açıklıklı tek katlı betonarme çerçevenin analiz sonuçlarına göre optimum değerler.

Eleman Numarası	1	2	3	4	5
b (mm)	250	250	250	250	250
h (mm)	300	300	300	600	600
Maliyet (\$)	21.0531	21.0531	21.0531	84.9025	84.9025
Toplam Maliyet (\$)				232.9644	

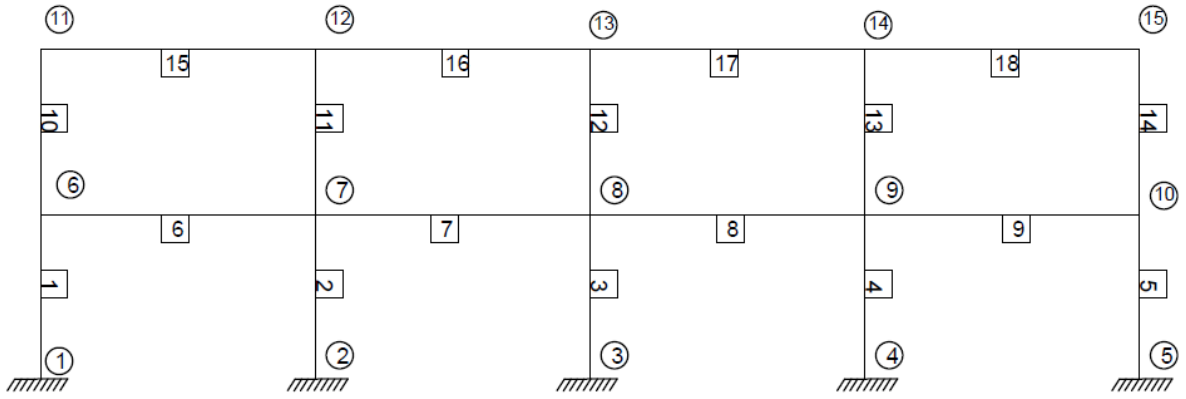
4.1.3. DÖRT AÇIKLIKLI İKİ KATLI BETONARME ÇERÇEVENİN OPTİMİZASYONU

Bu bölümde dört açıklıklı iki katlı betonarme çerçevenin optimizasyonu ele alınmıştır. Kullanılan çerçeve sistem Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Açıklıklar 5 m, kat yüksekliği 3 m alınmıştır. Optimizasyon için durdurma kriteri (maksimum iterasyon sayısı) 100000 olarak girilmiştir. Popülasyon sayısı 20 olarak alınmıştır. Sistem simetrik olduğundan ilk yarı kısmında çalışılmıştır. İlk kısımda rassal olarak belirlenen tasarım değişkenleri sistemin diğer yarısı için de aynı olarak alınmıştır. Optimizasyon için gerekli veriler iki açıklıklı tek katlı betonarme çerçevenin optimizasyonundaki değerlerin aynısı seçilmiştir.



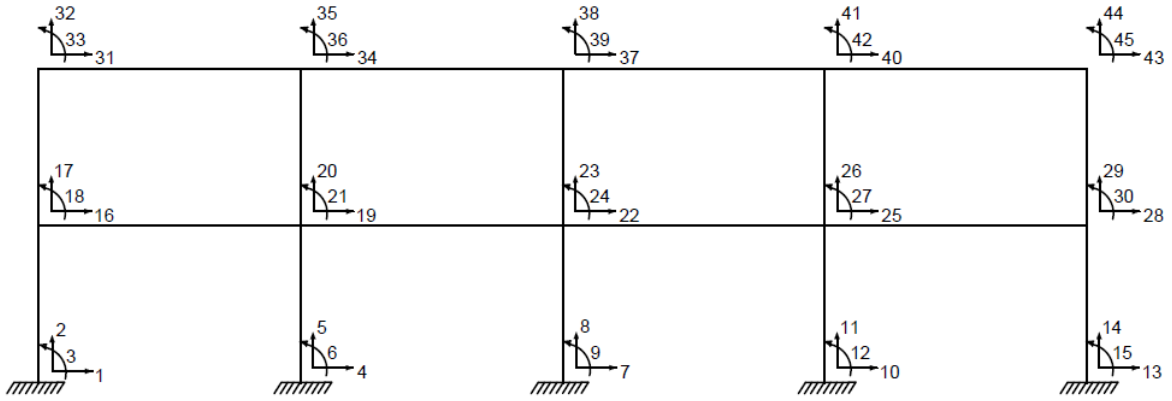
Şekil 4.9: Dört açıklıklı iki katlı çerçeve sistem.

Şekil 4.10'da yapısal analiz için çerçevede eleman ve düğüm noktalarının numaralandırılması gösterilmiştir. Sistem toplam 18 elemandan oluşmaktadır. 1-2-3-4-5 (1.kat) ve 10-11-12-13-14 (2.kat) numaralı elemanlar kolon, 6-7-8-9 (1.kat) ve 15-16-17-18 (2.kat) numaralı elemanlar kiriş olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.10: Dört açıklıklı iki katlı betonarme çerçevenin eleman ve düğüm noktası numaralandırılması.

Düğüm noktası serbestlikleri 2 boyutlu çerçeve sistem için her düğüm noktasında yatay, dikey ve dönme olacak şekilde toplam 3 adet deplasmanı göstermektedir. Şekil 4.11’de gösterildiği gibi toplam 45 serbestlik için yapısal analiz gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.11: Dört açıklıklı iki katlı betonarme çerçevenin düğüm noktası serbestlikleri.

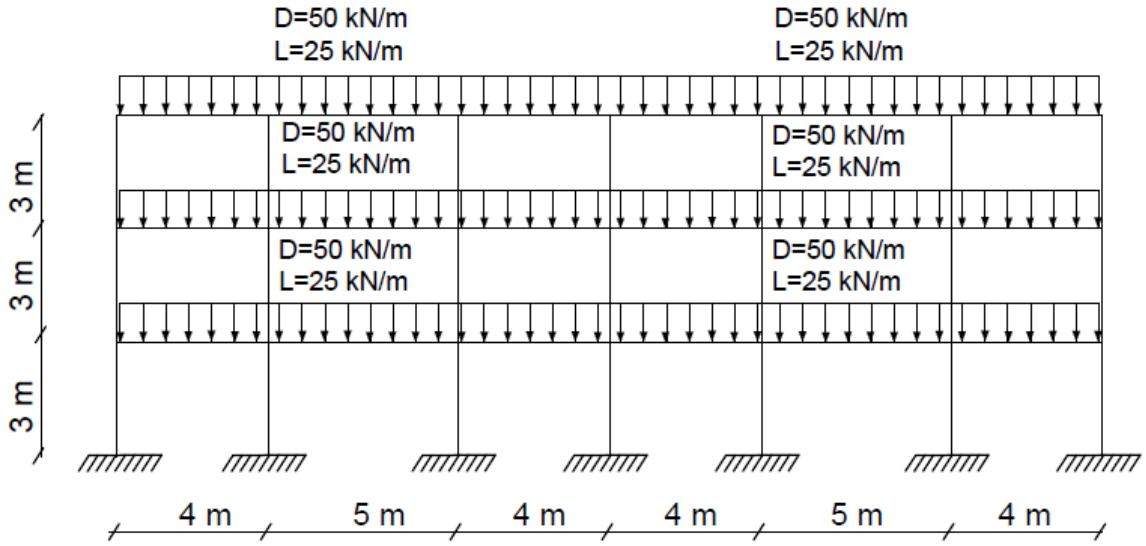
Dört açıklıklı iki katlı betonarme çerçeve için analiz sonrası optimum sonuçlar Tablo 4.4’te verilmiştir. Optimum kesit boyutlarına karşılık her elemanın toplam malzeme maliyeti sunulmuştur.

Tablo 4.4: Dört açıklık iki katlı betonarme çerçevenin analiz sonuçlarına göre optimum değerler.

Eleman Numarası	b (mm)	h (mm)	Maliyet (\$)
1	250	300	23.0680
2	250	300	23.0680
3	250	300	23.0680
4	250	300	23.0680
5	250	300	23.0680
6	250	300	43.2123
7	250	300	43.2123
8	250	300	43.2123
9	250	300	43.2123
10	250	500	32.8964
11	250	300	23.0680
12	250	300	23.0680
13	250	300	23.0680
14	250	500	32.8964
15	250	550	57.2748
16	250	550	57.2748
17	250	550	57.2748
18	250	550	57.2748
Toplam Maliyet (\$)			652.2855

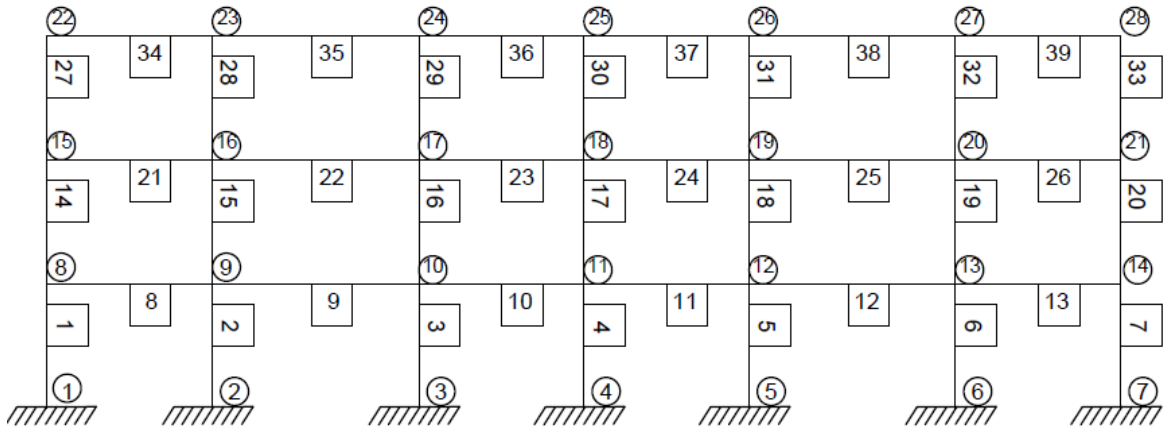
4.1.4. ALTI AÇIKLIKLI ÜÇ KATLI BETONARME ÇERÇEVENİN OPTİMİZASYONU

Bu bölümde altı açıklıklı üç katlı betonarme çerçevenin optimizasyonu ele alınmıştır. Ele alınan çerçeve sistem Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Açıklıklar 4 m-5 m-4 m-4 m-5 m-4 m, kat yüksekliği 3 m alınmıştır. Optimizasyon için durdurma kriteri (maksimum iterasyon sayısı) 200000 olarak girilmiştir. Popülasyon sayısı 20 olarak alınmıştır. Sistem simetrik olduğundan ilk yarı kısmında çalışılmıştır. İlk kısımda rassal olarak belirlenen tasarım değişkenleri sistemin diğer yarısı için de aynı olarak alınmıştır. Optimizasyon için gerekli veriler iki açıklıklı tek katlı betonarme çerçevenin optimizasyonundaki değerlerin aynısı seçilmiştir.



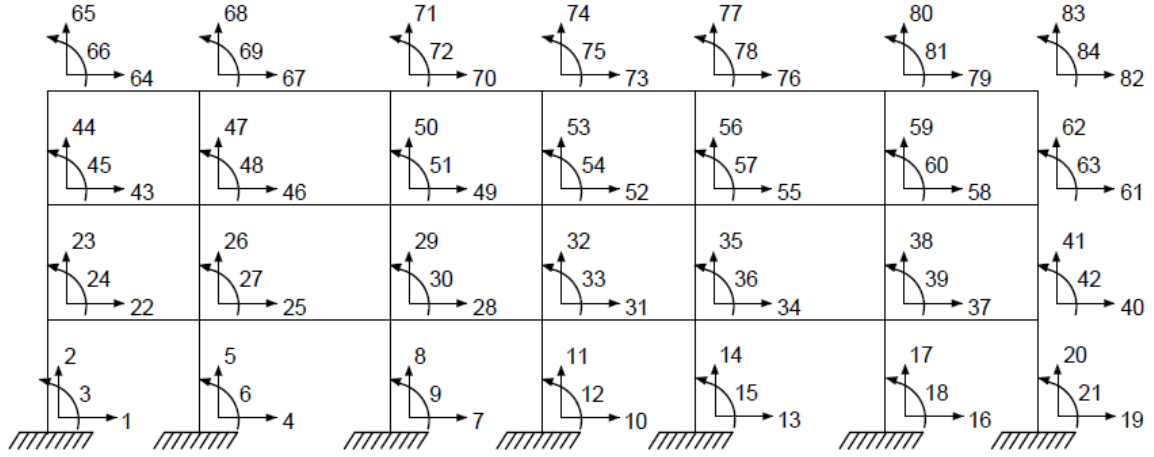
Şekil 4.12: Altı açıklıklı üç katlı çerçeve sistem.

Şekil 4.13'te yapısal analiz için çerçevede eleman ve düğüm noktalarının numaralandırılması gösterilmiştir. Sistem toplam 39 elemandan oluşmaktadır. 1-2-3-4-5-6-7 (1.kat), 14-15-16-17-18-19-20 (2.kat) ve 27-28-29-30-31-32-33 (3.kat) numaralı elemanlar kolon, 8-9-10-11-12-13 (1.kat), 21-22-23-24-25-26 (2.kat) ve 34-35-36-37-38-39 (3.kat) numaralı elemanlar kiriş olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.13: Altı açıklıklı üç katlı betonarme çerçevenin eleman ve düğüm noktası numaralandırılması.

Düğüm noktası serbestlikleri 2 boyutlu çerçeve sistem için her düğüm noktasında yatay, düşey ve dönme olacak şekilde toplam 3 adet deplasmanı göstermektedir. Şekil 4.14'te gösterildiği gibi toplam 84 serbestlik için yapısal analiz gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.14: Altı açıklıklı üç katlı betonarme çerçevenin düğüm noktası serbestlikleri.

Altı açıklıklı üç katlı betonarme çerçeve için analiz sonrası optimum sonuçlar Tablo 4.5'te verilmiştir. Optimum kesit boyutlarına karşılık her elemanın toplam malzeme maliyeti sunulmuştur.

Tablo 4.5: Altı açıklıklı üç katlı betonarme çerçevenin analiz sonuçlarına göre optimum değerler.

Eleman Numarası	b (mm)	h (mm)	Maliyet (\$)
1	250	300	21.0531
2	350	300	26.2950
3	350	300	26.2950
4	250	350	22.7406
5	350	300	26.2950
6	350	300	26.2950
7	250	300	21.0531
8	250	300	30.6934
9	250	300	37.1242
10	250	300	30.6934
11	250	300	30.6934
12	250	300	37.1242
13	250	300	30.6934
14	250	300	21.0531

Tablo 4.5 (devam):

15	250	300	21.0531
16	250	300	21.0531
17	250	300	21.0531
18	250	300	21.0531
19	250	300	21.0531
20	250	300	21.0531
21	250	300	30.6934
22	250	300	37.1242
23	250	300	30.6934
24	250	300	30.6934
25	250	300	37.1242
26	250	300	30.6934
27	250	300	21.0531
28	250	300	21.0531
29	250	300	21.0531
30	450	300	33.1746
31	250	300	21.0531
32	250	300	21.0531
33	250	300	21.0531
34	250	450	37.4434
35	250	450	45.5617
36	250	450	37.4434
37	250	450	37.4434
38	250	450	45.5617
39	250	450	37.4434
Toplam Maliyet (\$)			1111.8324

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sezgisel metotlar kullanılarak 2 boyutlu betonarme çerçevelerin optimum maliyetle tasarımına ilişkin sonuçlar bu kısımda değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasında Jaya Algoritması (JA) kullanılarak betonarme çerçevenin minimum maliyetle tasarımı yapılmıştır. Betonarme tasarımı Amerikan Beton Enstitüsü tarafından yayımlanan ACI 318-05 (Building code requirements for structural concrete and commentary) yönetmeliği, yapısal analizi ise matris deplasman yöntemi gereğince gerçekleştirilmiştir. Üç farklı betonarme çerçeve sistem için geliştirilen yöntem test edilmiş olup sonuçlar incelenmiştir.

Birinci betonarme çerçeve sistem iki açıklıklı tek katlı betonarme çerçeve olarak seçilmiştir. Çerçeve sistem simetrik olup ilk yarısı için atanan tasarım değişkenlerine göre analizler gerçekleştirilmiş diğer yarısı içinde aynı tasarım değişkenleri (eş kesitler) atanmıştır. Optimum tasarım sonucuna göre çerçeve sistemin toplam malzeme maliyetinin 232.9644 \$ olduğu görülmüştür. Analiz sonuçları incelendiğinde optimum malzeme maliyetini veren durumda kolonların kesit boyutlarının minimum kesit boyutlarına gittiği gözlemlenmiştir. Optimum sonuçlar bu kesit boyutları ile betonarme tasarım sonucu elde edilmiştir. Minimum malzeme maliyetini veren durumda kirişlerde ise kesit boyutlarından kesit yüksekliği (h) değerinin maksimuma gittiği kesit genişliğinin (b) de minimum sınırdaki kaldığı görülmüştür. Bu durumun sebebi geliştirilen kodun, donatı maliyeti beton maliyetinden daha fazla olduğu için gerekli tasarım koşullarını sağlamak koşuluyla kirişlerde kesit boyutunu büyütme yoluna gittiği düşünülmektedir.

İkinci olarak ele alınan betonarme çerçeve sistem dört açıklıklı iki katlı bir yapıdır. Bu çerçeve sistemde de birinci uygulamada olduğu gibi simetrik bir sistem olup tasarım değişkenleri çerçevenin ilk yarı kısmında rassal olarak atanmıştır. Dört açıklıklı iki katlı betonarme çerçeve toplam 18 elemandan oluşmakta ve bunun 10 tanesi kolon 8 tanesi kiriş olarak tasarlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre toplam malzeme maliyeti 652.2855 \$ bulunmuştur. Optimum maliyete göre kesit boyutlarının birinci kat kolonları ve birinci kat kirişlerinde minimum kesit boyutları olarak elde edildiği görülmüştür. İkinci kat kolonlarından 10 ve 14 numaralı kolonların hem yapısal güvenliğin sağlanması hem de minimum maliyetin elde edilmesi için kesit yüksekliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Diğer ikinci kat kolonları da yine minimum kesit boyutlarına göre optimum tasarıma katkı sağlamıştır. Sonuçlara göre ikinci kat kirişlerinin kesit

genişliğinin minimum sınırdaki kaldığı kesit yüksekliğinin ise birinci kat kirişlerine göre %83.33 arttığı görülmüştür. En son kat kirişlerinin kesit boyutlarının büyütülmesi hem yapısal güvenliği hem de tasarım kısıtları altında minimum malzeme maliyetini sağlamaya yönelik olduğu düşünülmektedir.

Toplam 39 elemandan oluşan altı açıklıklı üç katlı betonarme çerçeve üçüncü bir uygulama olarak ele alınmıştır. Bu sistemde diğer iki uygulamada olduğu gibi simetrik bir sistemdir. Bu yapıda tasarım şartlarına uygun olarak elde edilen toplam malzeme maliyeti 1111.8324 \$ olarak hesaplanmıştır. Birinci katta bulunan 2-3-5 ve 6 numaralı kolonların kesit genişliklerinin 350 mm diğer tüm kolonların kesit genişliğinin minimum değerinde olduğu gözlemlenmiştir. 4 numaralı kolonun kesit yüksekliğinin 350 mm, son kat kirişlerinin kesit yüksekliğinin 450 mm ve diğer tüm elemanların kesit yüksekliğinin minimum değerinde olduğu görülmüştür.

Üç farklı betonarme çerçeve sistem üzerinde yapılan analiz sonuçları incelendiğinde geliştirilen yöntemin kesit boyutlarının minimum değerinde olmasına ve optimum tasarımın yapılmasına olanak sağladığı görülmüştür. Analiz sonuçlarına göre elde edilen kesit tesirleri ile betonarme tasarımlar yapılmış ve bu tasarımlardan en uygun malzeme maliyetini veren değer hesaplanmıştır. Hem yapısal güvenliğin hem de minimum malzeme maliyetinin sağlanması için kullanılan yöntem ile üst kat kirişlerinin kesit yüksekliğinin büyüdüğü aşağı katlardaki kirişlerin minimum kesit boyutlarında kaldığı görülmüştür. Beton maliyetinin donatı maliyetinden daha az olması sistemlerde üst kat kirişlerinin kesit yüksekliğinin fazla çıkmasına neden olmaktadır. Bu büyüme tüm tasarım şartlarının sağlanmasına göre artış göstermektedir.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında önerilen yöntem çeşitli ülkelerin ilgili deprem standartlarında tanımlanan sınır koşullarının eklenmesi ile üç boyutlu çerçeve sistemlerin analizinin de yapılmasını sağlayacak güncellemelerin eklenmesi düşünülmektedir. Bu sayede betonarme yapıların statik ve dinamik yükler altında maliyet optimizasyonunu gerçekleştiren genel amaçlı ulusal bir yazılımın geliştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- ACI Committee, American Concrete Institute, & International Organization for Standardization., 2008, Building code requirements for structural concrete (ACI 318-05) and commentary. American Concrete Institute.
- Aga, A. AA., Adam, F. M., 2015, Design optimization of reinforced concrete frames, *Open Journal of Civil Engineering*, 5.01: 74.
- Ahmadi-Nedushan, B., Varae, H., 2009, Optimal design of reinforced concrete retaining walls using a swarm intelligence technique, *The first International Conference on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering, UK*
- Akin, A.; Saka, M. P., 2015, Harmony search algorithm based optimum detailed design of reinforced concrete plane frames subject to ACI 318-05 provisions, *Computers & Structures*, 147: 79-95.
- Aldwaik, M., Adeli, H., 2016 Cost optimization of reinforced concrete flat slabs of arbitrary configuration in irregular highrise building structures, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 54.1: 151-164.
- Amir, O., 2013, A topology optimization procedure for reinforced concrete structures, *Computers & Structures*, 114: 46-58
- Andrei, P., Iulian-Valentin, C., 2018, Nonlinear Design Optimization of Reinforced Concrete Structures Using Genetic Algorithms, *Seismic Hazard and Risk Assessment*. Springer, Cham, p. 405-419.
- Arroyo, O., Gutierrez, S., 2017 A seismic optimization procedure for reinforced concrete framed buildings based on eigenfrequency optimization, *Engineering Optimization*, 49.7: 1166-1182.
- Atabay, Ş., 2009, Cost optimization of three-dimensional beamless reinforced concrete shear-wall systems via genetic algorithm, *Expert Systems with Applications*, 36.2: 3555-3561.
- Aydoğdu, I., 2017a Cost optimization of reinforced concrete cantilever retaining walls under seismic loading using a biogeography-based optimization algorithm with Levy flights, *Engineering Optimization*, 49.3: 381-400.
- Aydoğdu, I., Akin, A., 2015, Biogeography based co2 and cost optimization of RC cantilever retaining walls, *17th International Conference on Structural Engineering*, p. 1480-5.
- Aydoğdu, I., 2017b, Comparison of metaheuristics on multi objective (cost&CO₂) optimization of RC cantilever retaining walls, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23.3.
- Babaei, M., Mollayi, M., 2016, Multi-objective optimization of reinforced concrete frames using NSGA-II algorithm, *Engineering Structures and Technologies*, 8.4: 157-164.

- Babiker, S. A., Adam, F. M., Mohamed, A. E., 2012, Design Optimization of Structure Concrete Beams Using Artificial Neural Network, *International Journal of Engineering Inventions*, 1: 07-13.
- Bai, J., Jin, S., Zhang, C. and Ou, J., 2016, Seismic optimization design for uniform damage of reinforced concrete moment-resisting frames using consecutive modal pushover analysis, *Advances in Structural Engineering*, 19.8: 1313-1327.
- Balasubramani, K., Marcus, K., 2014, A study on flower pollination algorithm and its applications, *International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management*, 3.11: 230-35.
- Balling, R. J., Yao, X., 1997, Optimization of reinforced concrete frames, *Journal of structural engineering*, 123.2: 193-202.
- Barros, M. H. F. M., Martins, R. A. F., Barros, A. F. M., 2005, Cost optimization of singly and doubly reinforced concrete beams with EC2-2001, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 30.3: 236-242.
- Bekdaş, G., 2014, Optimum design of axially symmetric cylindrical reinforced concrete walls, *Structural Engineering and Mechanics*, 51.3: 361-375.
- Bekdaş, G., 2015, Harmony search algorithm approach for optimum design of post-tensioned axially symmetric cylindrical reinforced concrete walls, *Journal of Optimization Theory and Applications*, 164.1: 342-358.
- Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., 2012, Cost optimization of T-shaped reinforced concrete beams under flexural effect according to ACI 318, *3rd European Conference of Civil Engineering*, p. 2-4.
- Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., 2014a, Optimization of RC frame structures subjected to static loading, *11th World Congress on Computational Mechanics*, p. 20-25.
- Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., 2014b, The Optimization of Slender Reinforced Concrete Columns, *PAMM*, 2014, 14.1: 183-184.
- Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., 2015, Optimization of reinforced concrete columns subjected to uniaxial loading, *Engineering and Applied Sciences Optimization*, Springer, Cham, p. 399-412
- Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., 2016a, Bat algorithm for optimization of reinforced concrete columns, *PAMM*, 16.1: 681-682.
- Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., 2016b, Optimum design of reinforced concrete columns employing teaching-learning based optimization, *CHALLENGE*, 2.4: 216-219.
- Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., 2017, Modified Harmony Search for Optimization of Reinforced Concrete Frames, *International Conference on Harmony Search Algorithm*, Springer, Singapore, p. 213-221.

- Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., Yang, X., 2016, Optimum reinforced concrete design by harmony search algorithm, *Metaheuristics and Optimization in Civil Engineering*, Springer, Cham, p. 165-180.
- Bekdaş, G., Temur, R., 2017, Metaheuristic approaches for optimum design of cantilever reinforced concrete retaining walls, *Challeng Journal of Structural Mechanics*, 3.1: 23.
- Bhalchandra, S. A., Adsul, P. K., 2012, Cost optimization of doubly reinforced rectangular beam section. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2.5: 3939-3942.
- Bordignon, R., Kripka, M., 2012, Optimum design of reinforced concrete columns subjected to uniaxial flexural compression, *Computers and Concrete*, 9.5: 327-340.
- Buitrago, M., Adam, J. M., Alvarado, Y. A., Moragues, J. J., Gasch, I., Calderon, P. A., 2016, Designing construction processes in buildings by heuristic optimization, *Engineering Structures*, 111: 1-10.
- Cağlar, N., 2009, Neural network based approach for determining the shear strength of circular reinforced concrete columns, *Construction and Building Materials*, 23.10: 3225-3232.
- Camp, C.V., Akin, A., 2011, Design of retaining walls using big bang–big crunch optimization, *Journal of Structural Engineering*, 138.3: 438-448.
- Camp, C.V., Assadollahi, A., 2013 CO₂ and cost optimization of reinforced concrete footings using a hybrid big bang-big crunch algorithm, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48.2: 411-426.
- Camp, C.V., Assadollahi, A., 2015, CO₂ and cost optimization of reinforced concrete footings subjected to uniaxial uplift, *Journal of Building Engineering*, 3: 171-183.
- Camp, C.V., Huq, F., 2013, CO₂ and cost optimization of reinforced concrete frames using a big bang-big crunch algorithm, *Engineering Structures*, 48: 363-372.
- Camp, C.V., Pezeshk, S., Hansson, H., 2003, Flexural design of reinforced concrete frames using a genetic algorithm, *Journal of Structural Engineering*, 129.1: 105-115.
- Carbonell, A., González-Vidosa, F., Yepes, V., 2011, Design of reinforced concrete road vaults by heuristic optimization, *Advances in Engineering Software*, 42.4: 151-159.
- Ceranic, B., Fryer, C., 2000, Sensitivity analysis and optimum design curves for the minimum cost design of singly and doubly reinforced concrete beams, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 20.4: 260-268.
- Ceranic, B., Fryer, C., Baines, R.W., 2001, An application of simulated annealing to the optimum design of reinforced concrete retaining structures, *Computers & Structures*, 79.17: 1569-1581.
- Chisari, C., Bedon, C., 2016, Multi-Objective Optimization of FRP Jackets for Improving the Seismic Response of Reinforced Concrete Frames, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9.3: 669-679.

- Chung, T. T., Sun, T. C., 1994, Weight optimization for flexural reinforced concrete beams with static nonlinear response, *Structural optimization*, 8.2-3: 174-180.
- Chutani, S., Singh, J., 2017, Design Optimization of Reinforced Concrete Beams, *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 98.4: 429-435.
- Chutani, S., Singh, J., 2018, Use of modified hybrid PSO-GSA for optimum design of RC frame, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 1-11.
- Coello, CA., Christiansen, A. D., Hernandez, F. S., 1997, A simple genetic algorithm for the design of reinforced concrete beams, *Engineering with Computers*, 13.4: 185-196.
- Crepinsek, M., Liu, S., Mernik, L., 2012, A note on teaching-learning-based optimization algorithm, *Information Sciences*, 212: 79-93.
- Das, M. R., Purohit, S., DAS, S. K., 2016, Multi-objective optimization of reinforced cement concrete retaining wall, *Indian Geotechnical Journal*, 46.4: 354-368.
- De Medeiros, G. F., Kripka, M., 2013, Structural optimization and proposition of pre-sizing parameters for beams in reinforced concrete buildings, *Computers and Concrete*, 11.3: 253-270.
- De Medeiros, G. F., Kripka, M., 2014, Optimization of reinforced concrete columns according to different environmental impact assessment parameters, *Engineering Structures*, 59: 185-194.
- Dede, T., Ayvaz, Y., 2013, Structural optimization with teaching-learning-based optimization algorithm, *Structural Engineering and Mechanics*, 47.4: 495-511.
- Dede, T., Bekiroğlu, S., Ayvaz, Y., 2011, Weight minimization of trusses with genetic algorithm, *Applied Soft Computing*, 11.2: 2565-2575.
- Erol, O. K., Eksin, I., 2006, A new optimization method: big bang-big crunch, *Advances in Engineering Software*, 37.2: 106-111.
- Esfandiary, M. J., Sheikholarefin, S., Rahimi Bondarabadi, H. A., 2016, A combination of particle swarm optimization and multi-criterion decision-making for optimum design of reinforced concrete frames, *Int. J. Optim. Civil Eng*, 6.2: 245-268.
- Gandomi, A. H., Kashani, A. R., Roke, D. A., Mousavi, M., 2015, Optimization of retaining wall design using recent swarm intelligence techniques, *Engineering Structures*, 103: 72-84.
- Geem, Z. W., Kim, J. H., Loganathan, G. V., 2001, A new heuristic optimization algorithm: harmony search, *simulation*, 76.2: 60-68.
- Gen, M., Cheng, R., 2000, *Genetic algorithms and engineering optimization*, John Wiley & Sons, Kanada, ISBN: 0-471-31531-1

- Ghandi, E., Shokrollahi, N., Nasrolahi, M., 2017, Optimum cost design of reinforced concrete slabs using cuckoo search optimization algorithm, *Iran University of Science & Technology*, 7.4: 539-564.
- Gharehbaghia, S., 2018, Damage controlled optimum seismic design of reinforced concrete framed structures, *Structural Engineering and Mechanics*, 65.1: 53-68.
- Gharehbaghia, S., Fadaee, M.J., 2012, Design Optimization of RC Frames under Earthquake Loads. *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, 2, 459-477.
- Gharehbaghia, S., Moustafa, A., Salajegheh, E., 2016, Optimum seismic design of reinforced concrete frame structures, *Computers and Concrete*, 17.6: 761-786.
- Gheytratmand, C., Gholizadeh, S., Vababzadeh, B., 2015, Optimization of RC frames by an improved artificial bee colony algorithm, *Int. J. Optim. Civil Eng*, 5.2: 189-203.
- Gholizadeh, S., Aligholizadeh, V., 2013, Optimum design of reinforced concrete frames using bat meta-heuristic algorithm,
- Govindaraj, V., Ramasamy, J. V., 2005, Optimum detailed design of reinforced concrete continuous beams using genetic algorithms, *Computers & structures*, 84.1-2: 34-48.
- Govindaraj, V., Ramasamy, J. V., 2007, Optimum detailed design of reinforced concrete frames using genetic algorithms, *Engineering Optimization*, 39.4: 471-494.
- Guerra, A., Kiousis, P. D., 2004, *Design optimization of reinforced concrete structures*, PhD Thesis, Colorado School of Mines
- Habibi, A., Ghawami, F., Shahidzadeh, M. S., 2016, Development of optimum design curves for reinforced concrete beams based on the INBR9, *Computers and Concrete*, 18.5: 983-998.
- Hanoon, A. N., Jaafar, M. S., Hejazi, F., Abdul Aziz, F. N. A., 2017, Energy absorption evaluation of reinforced concrete beams under various loading rates based on particle swarm optimization technique, *Engineering Optimization*, 49.9: 1483-1501.
- Jahjouh, M. M., Arafa, M. H., Alqedra, M. A., 2013, Artificial Bee Colony (ABC) algorithm in the design optimization of RC continuous beams, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 47.6: 963-979.
- Juliani, M. A., De Santana Gomes, W. J., 2017, Influence of limit states on the optimization of reinforced concrete plane frames.
- Kao, C-S., Yeh. I-C., 2014, Optimal design of reinforced concrete plane frames using artificial neural networks, *Computers and Concrete*, 14.4: 445-462.
- Kaveh, A., Abadi, A. S. M., 2011, Cost optimization of reinforced concrete one-way ribbed slabs using harmony search algorithm, *Arabian Journal for science and engineering*, 36.7: 1179-1187.

- Kaveh, A., Ardalani, S., 2016, Cost and CO2 emission optimization of reinforced concrete frames using enhanced colliding bodies algorithm.
- Kaveh, A., Kalateh-Ahani, M., Fahimi-Farzam, M., 2013, Constructability optimal design of reinforced concrete retaining walls using a multi-objective genetic algorithm, *Structural Engineering and Mechanics*, 47.2: 227-245.
- Kaveh, A., Sabzi, O., 2012, Optimal design of reinforced concrete frames using big bang-big crunch algorithm, *International journal of civil engineering*, 10.3: 189-200.
- Kaveh, A., Zakian, P., 2014, Optimal seismic design of reinforced concrete shear wall-frame structures, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18.7: 2181-2190.
- Khajehzadeh, M., Taha, M. R., Eslami, M., 2014, Multi-objective optimisation of retaining walls using hybrid adaptive gravitational search algorithm, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 31.3: 229-242.
- Kripka, M., Boscardin, J. T., Casteli, S. D., 2016, Topology Optimization of Reinforced Concrete Plane Frames, *Revista Sul-americana de Engenharia Estrutural*, 13.2.
- Kripka, M., Boito, D., Triches, J., Medeiros, G. F., 2015, Optimization of Reinforced Concrete Frames by Harmony Search Method, *11th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimisation*.
- Lee, C., Ahn, J., 2003, Flexural design of reinforced concrete frames by genetic algorithm, *Journal of structural engineering*, 129.6: 762-774.
- Lee, C.-K., Kim, S.-K., 2007, GA-based algorithm for selecting optimal repair and rehabilitation methods for reinforced concrete (RC) bridge decks, *Automation in Construction*, 16.2: 153-164.
- Lee, K. S., Geem, Z. W., Lee, S., Bae, K., 2005, The harmony search heuristic algorithm for discrete structural optimization, *Engineering Optimization*, 37.7: 663-684.
- Lee, K. S., Geem, Z. W., 2004, A new structural optimization method based on the harmony search algorithm, *Computers & structures*, 82.9-10: 781-798.
- Leps, M., Sejnoha, M., 2003, New approach to optimization of reinforced concrete beams, *Computers & structures*, 81.18-19: 1957-1966.
- Luevanos-Rojas, A., 2016, Numerical experimentation for the optimal design of reinforced rectangular concrete beams for singly reinforced sections, *Dyna*, 83.196: 134-142.
- Martinez, F. J., Gonzalez-Vidosa, F., Hospitaler, A., Yepes, V., 2010, Heuristic optimization of RC bridge piers with rectangular hollow sections, *Computers & Structures*, 88.5-6: 375-386.
- Martinez-Martin, F. J., Gonzalez-Vidosa, F., Hospitaler, A., Yepes, V., 2012, Multi-objective optimization design of bridge piers with hybrid heuristic algorithms, *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 13.6: 420-432.

- Mccarthy, T. J., Mccluskey, S., 2009, A particle swarm optimization approach to reinforced concrete beam design according to AS3600.
- Mergos, P. E., 2017, Optimum seismic design of reinforced concrete frames according to Eurocode 8 and fib Model Code 2010, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 46.7: 1181-1201.
- Mergos, P. E., 2018, Contribution to sustainable seismic design of reinforced concrete members through embodied CO2 emissions optimization, *Structural Concrete*, 19.2: 454-462.
- Merta, I., Kravanja, S., 2010, Multi-parametric NLP optimization of singly reinforced concrete rectangular beams, *3rd fib International Congress*, 29 May-2-June 2010 Washington D.C. USA, NY, Curran Associates, ISBN: 978-1-61782-821-8, 3198-3207
- Molina-Moreno, F., Garcia-Segura, T., Marti, J. V., Yepes, V., 2017, Optimization of buttressed earth-retaining walls using hybrid harmony search algorithms, *Engineering Structures*, 134: 205-216.
- Nigdeli, S. M., Bekdaş, G., Yang, X-S., 2018, Metaheuristic optimization of reinforced concrete footings, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 1-9.
- Nigdeli, S. M., Bekdaş, G., Sanghun, K., Zong Woo, G., 2015, A novel harmony search based optimization of reinforced concrete biaxially loaded columns, *Structural Engineering and Mechanics*, 54.6: 1097-1109.
- Nikzad, H., Yoshitomi, S., 2017, Structural Optimization Method for 3D Reinforced Concrete Building Structure with Shear Wall, *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 4.9.
- Ozturk, H. T., Durmus, A., 2013, Optimum cost design of RC columns using artificial bee colony algorithm, *Structural Engineering and Mechanics*, 45.5: 643-654.
- Ozturk, H. T., Durmus, Ay., Durmus, Ah., 2012, Optimum design of a reinforced concrete beam using artificial bee colony algorithm, *Computers & Concrete*, 10.3: 295-306.
- Öztorun, N. K., Wasti, T., ve Utku, M., 2015, Yapı analizinde sonlu elemanlar ders notu, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
- Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H., 2011, Harmoni arama algoritmasının çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2), 65-76.
- Park, H. S., Lee, H., Kim, Y., Hong, T., Choi, S., 2014, Evaluation of the influence of design factors on the CO2 emissions and costs of reinforced concrete columns, *Energy and Buildings*, 82: 378-384.
- Patil, Kiran S.; Gore, N. G.; Salunke, P. J. Optimum design of reinforced concrete flat slab with drop Panel. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 2013, 2.9: 37-39.

- Paya, I., Yepes, V., Gonzalez-Vidosa, F., Hospitaler, A., 2008, Multiobjective optimization of concrete frames by simulated annealing, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 23.8: 596-610.
- Paya-Zaforteza, I., Yepes, V., Hospitaler, A., Gonzalez-Vidosa, F., 2009, CO₂-optimization of reinforced concrete frames by simulated annealing, *Engineering Structures*, 31.7: 1501-1508.
- Perea, C., Alcalá, J., Yepes, V., Gonzalez-Vidosa, F., Hospitaler, A., 2008, Design of reinforced concrete bridge frames by heuristic optimization, *Advances in Engineering Software*, 39.8: 676-688.
- Perera, R., Vique, J., 2009, Strut-and-tie modelling of reinforced concrete beams using genetic algorithms optimization, *Construction and Building Materials*, 23.8: 2914-2925.
- Poli, R., Kennedy, J., Blackwell, T., 2007, Particle swarm optimization. *Swarm intelligence*, 1.1: 33-57.
- Poursha, M., Khoshnoudian, F., Moghadam, A. S., 2011, Harmony search based algorithms for the optimum cost design of reinforced concrete cantilever retaining walls, *International Journal of Civil Engineering*, 9.1: 1-8.
- Qiao, G., Guo, B., Ou, J., Xu, F., Li, Z., 2016, Numerical optimization of an impressed current cathodic protection system for reinforced concrete structures, *Construction and Building Materials*, 119: 260-267.
- Rahmanian, I., Lucet, Y., Tesfamariam, S., 2014, Optimal design of reinforced concrete beams: A review, *Computers and Concrete*, 13.4: 457-482.
- Rajeev, S., Krishnamoorthy, C. S., 1998, Genetic algorithm-based methodology for design optimization of reinforced concrete frames, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 13.1: 63-74.
- Rao, R. V., Rai, D. P., Ramkumar, J., Balic, J., 2016a, A new multi-objective Jaya algorithm for optimization of modern machining processes. *Advances in Production Engineering & Management*, 11.4: 271.
- Rao, R., 2016b, Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(1), 19-34.
- Regupathi, R., 2017, Cost Optimization Of Multistoried Rc Framed Structure Using Hybrid Genetic Algorithm.
- Sahab, M. G., Ashour, A. F., Toropov, V. V., 2005a, A hybrid genetic algorithm for reinforced concrete flat slab buildings, *Computers & structures*, 83.8-9: 551-559.
- Sahab, M. G., Ashour, A. F., Toropov, V. V., 2005b, Cost optimization of reinforced concrete flat slab buildings, *Engineering structures*, 27.3: 313-322.

- Saini, B., Sehgal, V. K., Gambhir, M. L., 2006, Genetically optimized artificial neural network based optimum design of singly and doubly reinforced concrete beams.
- Sajedi, S., Huang, Q., Gandomi, A. H., Kiani, B., 2016, Reliability-Based Multiobjective Design Optimization of Reinforced Concrete Bridges Considering Corrosion Effect, *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 3.3: 04016015.
- Seo, H., Kim, J., Kwon, M., 2018, Optimal seismic retrofitted RC column distribution for an existing school building, *Engineering Structures*, 168: 399-404.
- Serpik, I. N., Mironenko, I. V., Averchenkov, V. I., 2016, Algorithm for Evolutionary Optimization of Reinforced Concrete Frames Subject to Nonlinear Material Deformation, *Procedia Engineering*, 150: 1311-1316.
- Sharafi, P., Hadi, M. NS., Teh, L. H., 2012a, Geometric design optimization for dynamic response problems of continuous reinforced concrete beams, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 28.2: 202-209.
- Sharafi, P., Hadi, M. NS., Teh, L. H., 2012b, Optimum column layout design of reinforced concrete frames under wind loading, In: *Topics on the Dynamics of Civil Structures, Volume 1*. Springer, New York, NY, p. 327-340.
- Sharafi, P., Hadi, M. NS., Teh, L. H., 2012c, Optimum spans' lengths of multi-span reinforced concrete beams under dynamic loading, In: *Topics on the Dynamics of Civil Structures, Volume 1*. Springer, New York, NY, p. 353-361.
- Sheikholeslami, R., Khalili, B. G., Sadollah, A., Kim, J. H., 2016, Optimization of reinforced concrete retaining walls via hybrid firefly algorithm with upper bound strategy, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20.6: 2428-2438.
- Sonmez, M., 2011, Artificial Bee Colony algorithm for optimization of truss structures, *Applied Soft Computing*, 11.2: 2406-2418.
- Stützle, T., 2009, Ant colony optimization. In: *International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, Springer, Berlin, Heidelberg, p. 2-2.
- Tapao, A., Cheerarot, R., 2017, Optimal parameters and performance of artificial bee colony algorithm for minimum cost design of reinforced concrete frames, *Engineering Structures*, 151: 802-820.
- Temur, R., Bekdaş, G., 2016, Teaching learning-based optimization for design of cantilever retaining walls, *Structural Engineering and Mechanics*, 57.4: 763-783.
- Uz, M. E., Sharafi, P., Askarian, M., Fu, W., Zhang, C., 2018, Automated layout design of multi-span reinforced concrete beams using charged system search algorithm, *Engineering Computations*, 35.3: 1402-1413.

- Villalba, P., Alcalá, J., Yepes, V., Gonzalez-Vidoso, F., 2010, CO₂ optimization of reinforced concrete cantilever retaining walls, In: *2nd international conference on engineering optimization, September*, p. 6-9.
- Yang X. S., 2009, *Firefly algorithms for multimodal optimization*, Lecture Notes in Computer Sciences, In: Osamu, W., Thomas, Z., 5792, Springer, London, 169-178.
- Yang X. S., 2010, *A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm*, In: Gonzalez, J. R., Pelta, D.A, Cruz C., Terrazas, G., Krasnogor N., *Studies in Computational Intelligence*, Springer Berlin, 284, Springer, ISBN: 978-3-642-12537-9 ,65-74.
- Yavari, M. S., Pacoste, C., Karoumi, R., 2016, Structural Optimization of Concrete Slab Frame Bridges Considering Investment Cost, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 10: 982-94.
- Yeh, J.-P., Yeh, S.-Y., 2016, Application of Genetic Algorithms Coupled with Neural Networks to Optimization of Reinforced Concrete Footings, *Transactions on Machine Learning and Artificial Intelligence*, 4.4: 18.
- Yepes, V., Gonzalez-Vidoso, F., Alcalá, J., Villalba, P., 2011, CO₂-optimization design of reinforced concrete retaining walls based on a VNS-threshold acceptance strategy, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26.3: 378-386.
- Yepes, V., Garcia-Segura, T., Moreno-Jimenez, J. M., 2015, A cognitive approach for the multi-objective optimization of RC structural problems, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15.4: 1024-1036.
- Yousif, S. T., Najem, R. M., 2013, Optimum cost design of reinforced concrete continuous beams using Genetic Algorithms, *International Journal of Applied Science and Engineering Research*, 2.1: 79-92.
- Zielinski, Z. A., Long, W., Troitsky, M. S., 1995, Designing reinforced concrete short-tied columns using the optimization technique, *Structural Journal*, 92.5: 619-626.
- Zou, X. K., Chan, C. M., Li, G., Wang, Q., 2007, Multiobjective optimization for performance-based design of reinforced concrete frames, *Journal of structural engineering*, 133.10: 1462-1474.

EKLER



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Elmas RAKICI
Doğum Yeri	Kadıköy
Doğum Tarihi	04.11.1993
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	elmasrakici@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	04.06.2016

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı
Mezuniyet Yılı	2019

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Anabilim Dalı Adı
Programı	Program Adı

Makale ve Bildiriler	