



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HİBRİD METASEZGİSEL ALGORİTMALAR KULLANILARAK BETONARME
YAPI ve ELEMANLARI ile KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ OPTİMİZASYONU**

Muhammed ÇOŞUT

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Gebrail Bekdaş**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Aralık, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed ÇOŞUT tarafından, Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ danışmanlığında hazırlanan "HİBRİD METASEZGİSEL ALGORİTMALAR KULLANILARAK BETONARME YAPI ve YAPI ELEMANLARI ile KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLERİN OPTİMİZASYONU" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 15/12/2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Xxxx XXXX Üniversitesi Anabilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Xxxx XXXX Üniversitesi Anabilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Xxxx XXXX Üniversitesi Anabilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Xxxx XXXX Üniversitesi Anabilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret

BEYAN

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

Muhammed ÇOŞUT

BÜTÇE DESTEKLERİ

HİBRİD METASEZGİSEL ALGORİTMALAR KULLANILARAK BETONARME YAPI ve ELEMANLARI ile KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ OPTİMİZASYONU

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.



TEŞEKKÜR

Lisansüstü öğretimim boyunca hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen, her zaman şartlar ne olursa olsun yanımda olan ve her zaman destek olan değerli tez danışmanım olan Prof. Dr. Gebrail Bekdaş ve çalışmalarında destek olan kıymetli hocam Doç. Dr. Sinan Melih Niğdeli'ye en içten dileklerimle teşekkür ederim. Ayrıca bu süreçte asla yalnız olmadığımı hissettiren aileme teşekkür ederim.

Aralık 2022

Muhammed ÇOŞUT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xii
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xviii
1. GİRİŞ	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	4
2.1. BETONARME YAPILAR	4
2.1.1. Yapı Taşıyıcı Elemanları	8
2.1.2. Taşıyıcı Sistem Çeşitleri	8
2.2. BETONARME KİRİŞ	9
2.3. BETONARME ÇERÇEVE SİSTEMLER	11
2.4. İSTİNAT DUVARI	13
2.5. YAPI KONTROL SİSTEMLERİ ve ÇEŞİTLERİ	16
2.2.1 Pasif Kontrol Sistemler	17
2.2.1.1. Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyiciler (TMD)	19
2.2.1.2. Sürtünme Tipi Sönümleyiciler	19
2.2.1.3. Eğilmeli Metal Sönümleyiciler	20
2.2.1.4. Vizkoelastik Sönümleyiciler	21
2.2.1.5. Vizkoz Sönümleyiciler	21
2.2.2 Aktif Kontrol Sistemleri	21
2.2.3 Karma Kontrol Sistemleri	22
3. YÖNTEM	25

3.1. JAYA ALGORİTMASI.....	25
3.2. ÖĞRETME-ÖĞRENME TABANLI OPTİMİZASYON.....	27
3.3. ÇİÇEK TOZLAŞMASI ALGORİTMASI (FPA).....	28
3.4. TMD İÇİN TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEM	29
3.5. MATRİS DEPLASMAN YÖNTEMİ.....	31
3.6. HİBRİD METASEZGİSEL ALGORİTMALAR	34
4. BULGULAR.....	35
4.1. DİKDÖRTGEN KESİTLİ KİRİŞ'İN FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE MALİYET OPTİMİZASYONU	35
4.1.1. Matematiksel Örnek 1	39
4.2. ÇERÇEVE YAPILARIN MALİYET OPTİMİZASYONU	44
4.2.1. Matematiksel Örnek 2	47
4.3. BETONARME İSTİNAT DUVARI MALİYET OPTİMİZASYONU.....	51
4.3.1. Matematiksel Örnek 3	53
4.4. TMD SİSTEM OPTİMİZASYONU.....	58
4.4.1. Matematiksel Örnek 4	59
5. TARTIŞMA.....	64
5.1. DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME KİRİŞ OPTİMİZASYONU	64
5.2. ÇERÇEVE SİSTEMLERİN OPTİMİZASYONU.....	64
5.3. İSTİNAT DUVARI OPTİMİZASYONU.....	65
5.4. PASİF KONTROL SİSTEMİ OPTİMİZASYONU	65
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
6.1. DİKDÖRTGEN KESİTLİ KİRİŞİN FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE MALİYET OPTİMİZASYONU	66
6.2. ÇERÇEVE YAPILARIN MALİYET OPTİMİZASYONU	67
6.3. BETONARME İSTİNAT DUVARI MALİYET OPTİMİZASYONU.....	68
6.4. TMD SİSTEM OPTİMİZASYONU.....	69
KAYNAKLAR	70
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	82
ETİK KURUL İZİN YAZISI	83
KURUM İZNİ YAZILARI	84
ÖZGEÇMİŞ	85

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Betonarme Yapı.....	4
Şekil 2.2: Betonarme Köprü Uygulaması.....	5
Şekil 2.3: Sünek Davranış Grafiği	6
Şekil 2.4: Sünek ve Gevrek Davranışın Şekil Değiştirebilme Kapasitesi	7
Şekil 2.5: Bina Performans Düzeyi (https://www.insaport.com/makale/yuksel-kaya/bina-performans-duzeyleri-nelerdir/).....	7
Şekil 2.6: Perde Duvarlı Sistem.....	8
Şekil 2.7: Tüp Sistemli Yapı(https://www.chicagocondofinder.com/blog/plaza-on-dewitt-condos.html)	9
Şekil 2.8: Kiriş Mesnetlenme Çeşitleri.....	10
Şekil 2.9: Çerçeve Sistem.....	12
Şekil 2.10: Perde Duvarlı- Çerçeve Sistem(https://santiyede.com/betonarme-yapi-sistemleri-perde-duvarli-ve-cerceveli-betonarme-sistemleri/)	12
Şekil 2.11: İstinat Duvarı Örneği (https://www.sanalsantiye.com/test-dayanma-yapilarina-ne-kadar-hakimiz/).....	14
Şekil 2.12: Sandık Tipi İstinat (http://www.acelinsaat.com/devam-eden-projeler/).....	15
Şekil 2.13: Betonarme İstinat Duvarı (http://www.acelinsaat.com/devam-eden-projeler/)	15
Şekil 2.14: Pasif Kütle Sönümleyici Örnekleri (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taipei_101_Tuned_Mass_Damper.png) (https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Taipei_101_Tuned_Mass_Damper_2010.jpg)	18
Şekil 2.15: Pasif Kütle sönümleyici	19
Şekil 2.16: Sürtünme Tipi Sönümleyici	20
Şekil 2.17: Eğilmeli Metal Sönümleyiciler	20
Şekil 2.18: Karma Kütle Sönümleyici(HMD)	23
Şekil 3.1: Jaya Algoritması akış şeması	26

Şekil 3.2: TLBO akış şeması	28
Şekil 3.3: (a)Tek serbestlik dereceli sistem basitleştirilmiş gösterimi ve (b) kontrol sistemi gösterimi	29
Şekil 3.4: Nonlin programı ile sönümsüz titreşim	30
Şekil 3.5: Sönümsüz titreşim yer değiştirme ve kuvvet grafiği	30
Şekil 3.6: %5'lik sönüm değeri için sistem görünümü	31
Şekil 3.7: %5'lik sönüm için zamana bağlı yer değiştirme ve kuvvet grafiği	31
Şekil 3.8: Global-Lokal eksen koordinat sistemi [98]	32
Şekil 3.9: Pozitif yön gösterimi	34
Şekil 3.10: Yön gösteriminin numaralandırılması.....	34
Şekil 4.1: Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kiriş	35
Şekil 4.2: Betonarme Kiriş Görünümü	36
Şekil 4.3: Hibrid-TLBO-Jaya algoritmalarının minimum maliyete ulaştığı iterasyon sayısı karşılaştırılması.....	43
Şekil 4.4: Hibrid-TLBO-Jaya algoritmalarının standart sapma karşılaştırması	43
Şekil 4.5: Kolon Görünümü.....	46
Şekil 4.6: Çerçeve Sistem.....	47
Şekil 4.7: Çerçeve yapı numaralandırma ve yön gösterimi	48
Şekil 4.8: İstinat Duvarı Kontrol Durumları.....	52
Şekil 4.9: İstinat duvarı yük dağılımı	52
Şekil 4.10: İstinat duvarı boyut gösterimi	55
Şekil 4.11: Hibrid-TLBO-Jaya algoritmalarının minimum maliyete ulaştığı iterasyon sayısı karşılaştırılması.....	57
Şekil 4.12: Hibrid-TLBO-Jaya algoritmalarının standart sapma karşılaştırması	57
Şekil 4.13: FEMA zamana bağlı deprem ivme verileri (Imperial Valley-5. Deprem kaydı)	62
Şekil 4.14: Hız zaman grafiği	62
Şekil 4.15: Deplasman-zaman grafiği	63

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Pasif Kütle Sönümleyici Uygulamaları.....	18
Tablo 2.2: Aktif Kütle Sönümleyici Uygulamaları	22
Tablo 3.1: Lokal koordinat sistemi matrisi.....	33
Tablo 3.2: Global ve Lokal koordinat sistemi matrisi	33
Tablo 3.3: Dönüşüm matrisi tersi ve transpozu	33
Tablo 4.1: Tasarım Kısıtları, Sabitleri ve Değişkenleri	39
Tablo 4.2: Kiriş Tasarımı için Yönetmeliklere göre Kısıt Durumları	40
Tablo 4.3: C25/30 beton sınıfı için.....	41
Tablo 4.4: C30/37 beton sınıfı için.....	41
Tablo 4.5: C35/45 beton sınıfı için.....	42
Tablo 4.6: Amaç fonksiyonuna ulaşılan iterasyon sayısı	42
Tablo 4.7: Kolon Tasarımı veriler	45
Tablo 4.8: Matematiksel örnek için veriler	47
Tablo 4.9: Sınır değerleri.....	49
Tablo 4.10: Çerçeve Sistem Maliyet değerleri	49
Tablo 4.11: F1 çubuğu için iç kuvvet ve deplasman değerleri.....	51
Tablo 4.12: F2 çubuğu için iç kuvvet ve deplasman değerleri.....	51
Tablo 4.13: F3 çubuğu için iç kuvvet ve deplasman değerleri.....	51
Tablo 4.14: İstinat duvarı tasarım sabitleri ve değişkenleri.....	54
Tablo 4.15: İstinat duvarı güvenlik kontrol katsayısı	54
Tablo 4.16: İstinat duvarı maliyet optimizasyonu sonuçları	55
Tablo 4.17: İstinat duvarı kontrol sonuçları	56

Tablo 4.18: İstinat Duvarı Optimizasyon Sonuçları	58
Tablo 4.19: Yapı Özellikleri.....	59
Tablo 4.20: TMD Tasarım Özellikleri ve Kısıtları.....	60
Tablo 4.21: FEMA Deprem Kayıtları ve Özellikleri.....	61
Tablo 4.22: TMD'li ve TMD'siz sistem için periyot ve sönüm oranı değerleri.....	63



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
c_d	: Sönüm katsayısı
k_d	: Sönümleyici rijitlik katsayısı
m_d	: Sönümleyici kütlesi
$u(t)$	: Zamana bağlı yer değiştirme
u	: Yer değiştirme
$\ddot{u}$	: Yapı ivmesi
$\dot{u}$	: Yapı ivmesi
m	: Yapı kütlesi
T_n	: Yapının doğal frekansı
c	: Yapı sönümü
k	: Yapı rijitliği
$P(t)$	: Sisteme etkiyen kuvvet
X_G	: Global X eksen
Y_G	: Global Y eksen
X_L	: Lokal X eksen
Y_L	: Lokal Y eksen
X_{Gi}	: Global X eksen i. düğüm noktası
Y_{Gi}	: Global Y eksen i. düğüm noktası
X_{Li}	: Lokal X eksen i. düğüm noktası
Y_{Li}	: Lokal Y eksen i. düğüm noktası
C	: $\cos\theta$
S	: $\sin\theta$
R	: Dönüşüm matrisi
I_n	: Net giriş açıklığı
$r()$	: 0-1 arasında rastgele atanan sayıdır
$X'_{i,yeni}$	: Yeni tasarım değişkenlerinin değeri
$X_{i,geniyi}$	: İlk çözüm matrisinin en iyi değeri
$X_{i,genkötü}$	: İlk çözüm matrisinin en kötü değeri

$X_{i,j}$	: İlk çözüm matrisinin i ve j. değeri
b_w	: Kiriş genişliği
h_k	: Kiriş yüksekliği
l_n	: Net kiriş açıklığı
L	: Kiriş uzunluğu
q	: Yayılı yük
d	: Faydalı yükseklik
A_s	: Kiriş donatı alanı
A_{st}	: Kolon donatı alanı
z	: Moment kolu uzunluğu
ρ	: Donatı oranı
ρ_{max}	: Maksimum donatı oranı
ρ_{min}	: Minimum donatı oranı
f_{ctk}	: Betonun karakteristik eksenel akma dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım eksenel akma dayanımı
f_{yk}	: Çeliğin karakteristik akma dayanımı
f_{yd}	: Çeliğin tasarım akma dayanımı
f_{yk}	: Betonun karakteristik akma dayanımı
f_{yd}	: Çeliğin tasarım akma dayanımı
a	: Gerilme bloğu derinliği
γ_s	: Çelik özgül ağırlığı
C_s	: Çelik özgül ağırlığı
γ_s	: Çelik özgül ağırlığı
C_s	: Donatı maliyeti
C_k	: Kalıp maliyeti
C_c	: Beton maliyeti
C_{ki}	: Kalıp işçiliği maliyeti
N_d	: Eksenel yük
K_p	: Pasif durumundaki toprak basıncı katsayısı
K_a	: Aktif durumundaki toprak basıncı katsayısı
$q_{max,min}$	: Tabanda oluşan maksimum ve minimum zemin gerilmeleri
P_a	: Aktif itkiden oluşan kuvvet
P_p	: Pasif itkiden oluşan kuvvet

s_p

: Anahtar olasılığı/ arama değişimi



Kısaltmalar	Açıklama
BA	: Yarasa Algoritması(Bath Algorithm)
DE	: Diferansiyel Evrim Teorisi (Differential Evolution)
FPA	: Çiçek Tozlaşması Algoritması (Flower Pollination Algorithm)
GA	: Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
HS	: Armoni Arama Yöntemi (Harmony Search)
JA	: Jaya Algoritması (Jaya Algorithm)
TLBO	: Öğrenme ve Öğretme Tabanlı Algoritma (Teaching-Learning Based Optimization)
TMD	: Ayarlı Kütle Sönümleyici (Tuned Mass Damper)
TSD	: Tek Serbestlik Dereceli Sistem
RST	: Rassal Tarama Tekniği (Rassal Scanning Technique)
DM	: Karar Verici (Decision Maker)
DMPSO	: Karar Verici Parçacık Sürü Optimizasyonu (Decision Maker Particle Swarm Optimization)
ACO	: Karınca Koloni Optimizasyonu (Ant Colony Optimization)
SA	: Benzetimli Tavlama Optimizasyonu (Simulated Annealing Optimization)
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
GWO	: Gri Kurt Optimizasyonu (Grey Wolf Optimization)
FA	: Ateş Böceği Optimizasyonu (Firefly Optimization)
HMD	: Karma Kütle Sönümleyiciler (Hybrid Mass Damper)
HSI	: Karma Sismik İzolasyon (Hybrid Seismic Isolation)
ATMD	: Aktif Kütle Sönümleyici (Active Tuned Mass Damper)
ACO	: Karınca Koloni Optimizasyonu (Ant Colony Optimization)
FEMA	: Federal Emergency Management Agency (Quantification of Building Seismic Performance Factors)
GAAP	: Hibrid Karınca Koloni- Genetik algoritma (Hybrid ant colony-genetic algorithm)
DE-BBO	: Hibrid Diferansiyel Evrim- Biocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (Hybrid differential evolution-biogeography based optimization)
PSO-ACO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu- Karınca Koloni Optimizasyonu (Particle swarm optimization-ant colony optimization)
HCS	: Hibrid Guguk Kuşu Arama (Hybrid cuckoo search)

ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[HİBRİD METASEZGİSEL ALGORİTMALAR KULLANILARAK BETONARME YAPI ve ELEMANLARI ile KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ OPTİMİZASYONU]

[Muhammed ÇOŞUT]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

[Danışman : Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ]

[Bu çalışma inşaat mühendisliği problemlerinden olan betonarme yapı ve elemanları ile kütle sönümleyici sistemlerin optimizasyonu Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon aşamalarında metasezgisel algoritmalar olan TLBO (öğretme-öğretme tabanlı algoritma), Jaya, FPA (çiçek tozlaşması) ve ek olarak TLBO-Jaya hibrid algoritması gibi algoritmalar kullanılmıştır. Betonarme yapı ve elemanları optimizasyonunda: kiriş optimizasyonu için ACI 318, TS500 ve Eurocode 2 kullanılarak minimum maliyetli kiriş tasarımı yapılmıştır ve yönetmelikler arasındaki farklı hesaplamalardan kaynaklı oluşan maliyet farklılıkları karşılaştırılmıştır; istinat duvarı optimizasyonunda yönetmeliklere uygun olacak şekilde minimum maliyetli istinat duvarı hesabı gerçekleştirilmiştir ve betonarme çerçeve yapıların maliyet açısından optimizasyonu yapılmıştır. Kütle sönümleyicilerin optimizasyonu aşamasında ise Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyici kullanılarak, özellikleri bilinen yapının deplasman optimizasyonu zaman tanım alanına göre gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımlardan dikdörtgen kiriş tasarımı ve istinat duvarı tasarımı için Jaya, TLBO ve TLBO-Jaya hibrid algoritmaları kullanılarak amaç fonksiyonuna en kısa iterasyonda ulaşan algoritma türü belirlenmiş ve istinat duvarı tasarımı için ise Jaya, TLBO, FPA ve TLBO-Jaya hibrid

algoritmaları kullanılarak aynı şekilde algoritmaların kıyaslamaları gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte her algoritma için 10 kez analiz yapılarak ortalama değerleri alınmış ve hibrid algoritma diğer algoritmalara göre çok az iterasyonda amaç fonksiyonuna ulaştığı görülürken, standart sapma değerleri için ise en erken sıfıra yaklaşan yöntem olmuştur.]

Aralık 2022 , [104] sayfa.

Anahtar kelimeler: [Hibrid Metasezgisel Algoritmalar, Optimizasyon, Optimum Tasarım, Betonarme Yapı Elemanları, Kütle Sönümleyiciler]



ABSTRACT

[M.Sc. THESIS]

**[OPTIMIZATION of REINFORCED CONCRETE STRUCTURE and ELEMENTS and
MASS DAMPER USING HYBRID METAHEURISTIC ALGORITHMS]**

[Muhammed OŞUT]

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Civil Engineering Programme

[Supervisor : Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ]

[In this study, the optimization of reinforced concrete structures and their elements and mass damping systems, which is one of the civil engineering problems, was carried out using Matlab program. In the optimization stages, some of the metaheuristic algorithms such as TLBO (Teaching-Learning Based Optimization), Jaya, FPA (Flower Pollination) and in addition TLBO-Jaya hybrid algorithm were used. In the optimization of reinforced concrete structures and elements: beams with minimum cost were designed using ACI 318, TS500 and Eurocode 2 for beam optimization and the cost differences arising from different calculations between regulations were compared; In the retaining wall optimization, a minimum cost retaining wall calculation was carried out in accordance with the regulations, and the reinforced concrete frame structures were optimized in terms of cost. In the optimization phase of the mass dampers, the displacement optimization of the structure with known properties was carried out according to the time domain by using the Passive Tuned Mass Damper. Among these designs, the algorithm type that reaches the objective function in the shortest iteration was determined by using the Jaya, TLBO and Hybrid algorithm for rectangular beam design and retaining wall

design, and the algorithms were determined by using Jaya, TLBO, FPA and TLBO-Jaya hybrid algorithms for retaining wall design. comparisons were made. In this process, 10 times for each algorithm were analyzed and the average values were taken, and while it was seen that the hybrid algorithm reached the objective function in very few iterations compared to other algorithms, it was the method approaching zero at the earliest for standard deviation values.]

December 2022, [104] pages.

Keywords: [Hybrid Metaheuristic Algorithms, Optimization, Optimal Design, Reinforced Concrete Building Elements, Mass Damper]



1. GİRİŞ

Yapı ve yapım teknolojileri, dünya üzerinde çalışılan en önemli mühendislik konular arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, insanın yaşam kalitesinin artırılması geliştirilmiş malzemeleri ve yapısal sistemlerle oluşturulur [1]. Bu yönde yapılan çalışmalar, mühendislik tasarımlarına ilave edilerek; yapıya etkiyen dış yükler veya birçok yük etkileri altında yapının iyi performans göstermesini hedeflemektedir. Şekil hafızalı alaşım [2] ve karbon fiber gibi malzemelerin yapı sistemlerinde kullanılması yükler altında davranışını olumlu yönde etkilemektedir. Genel olarak yapısal tasarımlar insan hayatını tehlikeye atmayacak şekilde yönetmelik koşullarına uygun olarak yapılmaktadır. Yapılacak yapı türüne göre hasar türleri bulunmaktadır. Konut türü yapılar için yapının deprem etkileri sonucunda yapıda göçme olmaması koşuluyla hasar alma durumu bulunmaktadır ve bu hasar durumları sınırlı seviyelerde kalacak şekilde olmalıdır. Ancak hastane ve nükleer santraller gibi özel kullanım alanlarına sahip yapıların herhangi bir etki sonucunda hasar alması istenmez yani yapının kesintisiz kullanım durumlarını sağlaması gerekmektedir. Betonarme yapılar için hem deneysel hem de teorik olarak analizler yapılarak tasarım için gerekli kısıt durumları ve gerekli yüklemeler ile alakalı belirli sonuçlara ulaşılmıştır [3-6]. Yapı tasarımları bu özellikleri sağlayacak şekilde; emniyet, ekonomik [7], estetik ve sürdürülebilirlik gibi özellikleri barındıracak şekilde tasarlanmaktadır. Birincil yapısal bileşen olan kolonlar yapının deprem yüklerine karşı direnirler ve böylece yapının çökmesini engellerler [8]. Bazı durumlarda yapı yönetmeliğine uygun tasarımlar yapılmış olsa bile; uygulama aşamasında ortaya çıkan bazı eksikler, yanlış uygulama teknikleri, betonda segregasyon, beton kür durumlarının yapılmaması, farklı uygulama hataları, kullanılan malzeme kalitesindeki istenilmeyen durumlar ve korozyon etkileri gibi nedenler; deprem veya yüksek katlı yapılar için rüzgâr yüklerinden dolayı yapıda istenilmeyen boyutlarda hasarlar oluşmasına ve can kayıplarına sebep olabilmektedir. Bu tür etkiler uygulama hatalarının düzeltilmesiyle birlikte engellenebilir. Gelişen yapı teknolojileri ile birlikte bu tür etkilerin önüne geçmek için birçok çalışma yapılmış ve günümüzde bazı yapılarda kullanılmaktadır. Bu bağlamda kat yüksekliğine bağlı ve kullanım amacına göre yapı kontrol sistemleri uygulaması yapılmaya başlanmıştır. Yapı kontrol sistemleri pasif, aktif ve karma kontrol sistemleri olacak şekilde farklılık göstermektedir. Pasif ayarlı kütle sönümleyici (TMD) sistemleri genellikle yüksek binalarda pratik bir sismik tepki kontrol çözümü olarak düşünülür [9-12]. Bazı özel

yapılar için: hastane, özel amaçlı kullanılan kamu yapıları ve nükleer santraller gibi yapıların hasar almasını engellemek hatta içinde bulunan malzemelerin bile dış yüklere karşı zarar görmesini önlemek için yapı kontrol sistem uygulamaları yapılmaktadır. Bu kapsamda, giriş tasarımları için kesme kuvvetlerine karşı direnci arttıracak şekilde karbon fiber malzemeler kullanılmakta bu sayede yük taşıma kapasitesinde önemli derecede artışlar görülmektedir. Bunlar yapılırken bazı denetim durumlarının fazlaştırılması da yapı elemanlarının güvenli şekilde kullanım ömürlerini tamamlamasına katkı sağlamaktadır.

Yapı tasarımları, mühendislerin ön boyutlandırma yapması ile gerçekleştirilmektedir [13]. Bu boyutlandırma sayesinde yapının ölü ve hareketli yükler altında davranışı ile bulunduğu bölgenin depremsellik koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır ve boyutlandırmada birçok kez değişimler yapılarak tamamlanması gerçekleştirilir. Bu durum zaman kaybına yol açmakta ve tam olarak ekonomik kesitlerin tasarlanmasını engellemektedir. Ancak bu ve buna benzer uygulamalar yapılırken amaç fonksiyonu doğrultusunda tasarım boyutlandırmaları yapılmaktadır. Bu amaç fonksiyonları: minimum maliyet, minimum CO₂ salınımı veya minimum frekans olacak şekilde yapılabilmektedir. İnşaat mühendisliği de optimizasyon kullanımında önemli alanlardan biridir ve bununla birlikte önde gelen algoritma çeşidi ise metasezgisel algoritmalar [14]. Bir yapısal problemin optimizasyonu aşamasında bazı tasarım mühendisleri değişkenler için sürekli değerler alırken, bazıları ise bu değişken değerlerini sınırlandırıp kullanmaktadırlar [15].

Doğadan esinlenilerek geliştirilen metasezgisel algoritmalar ile ekonomi, ulaşım, lojistik, finans, elektrik elektronik, makine ve enerji alanlarında ve inşaat mühendisliği problemleri çözülmeye başlanmıştır. Böylece, çözülmesi zor olan mühendislik tasarım problemler çok kısa sürelerde amaca uygun olacak şekilde çözülebilmektedir [16]. Bu sayede yapıya etki eden yüklerin güvenli taşınmasını sağlayarak yönetmeliğe uygun şekilde yapı veya yapı elemanı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Birçok mühendislik problemi amaca uygun fonksiyonlar oluşturularak metasezgisel algoritmalar ile çözülebilmektedir [17-20]. Bu metasezgisel algoritmalarından bazıları: Genetik Algoritma (GA) [21], Jaya Algoritması (JA) [22], Öğrenme ve Öğretme Tabanlı Algoritma (TLBO) [23], Diferansiyel Evrim Algoritması (DE), Çiçek Tozlaşması Algoritması (FPA) [24], Yarasa Algoritması (BA) [25], Karınca Koloni Optimizasyonu (ACO) [26], Parçacık Sürü Optimizasyonu 'dur (PSO) [27].

Bu tez çalışmada farklı metasezgisel algoritmalar kullanılarak Matlab programında betonarme yapı ve yapı elemanları ile kütle sönümleyici elemanlar için optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, hibrid metasezgisel algoritmalar [28] kullanılarak farklı tür tasarım problemleri için

farklı optimizasyon teknikleri kullanılıp amaç fonksiyonu değerleri ve iterasyon sayısı değerleri karşılaştırılmıştır. Betonarme yapı ve elemanlarında çeşitli tasarım problemler ele alınarak bu problemlerin maliyet ve salınımlarının minimum değerlerde tutulmasını sağlayacak şekilde algoritmalar oluşturulmuştur. Bu tasarım problemlerinden biri olan kiriş tasarımı ve istinat duvarı tasarımı için farklı yapısal yönetmelikler kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Çerçeve sistemler için Jaya algoritması kullanılarak analizler yapılmıştır. Kütle sönümleyiciler için ise, tek serbestlik dereceli sistem için Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyici (TMD) kullanılarak, optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasının 2. bölümünde tez konusu ile alakalı kavramsal çerçeveden bahsedilmektedir ve bilinmesi gereken ana hususların üzerinde durulmuştur. Tezin 3. bölümünde; tezde kullanılan yöntemler ve algoritma çeşitleri anlatılmıştır. 4. Bölümde tamamlanan analizler sonucunda bulunan bulgular tablo, şekil ve grafiklerle anlatılmış ve amaç fonksiyonu değerlerine her problem için ayrı ayrı ulaşıldığı değerler gösterilmiştir. 5. bölümde; tez kapsamında gerçekleştirilmiş olan çalışmaların analiz sonuçlarındaki benzerlik ve farklılıklar karşılaştırılmıştır. 6. bölümde ise; her bir tasarım problemi için elde edilen ayrı ayrı sonuçlar net bir şekilde ifade edildikten sonra öneriler sunulmuştur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde inşaat mühendisliğindeki betonarme yapı ve elemanları ile kütle sönümleyiciler için optimizasyon uygulamaları ele alınmıştır. Betonarme yapı ve yapı elemanları olarak; kiriş, çerçeve yapılar, kiriş ve istinat duvarı bunlara ek olarak kütle sönümleyiciler olarak detaylandırılmıştır.

2.1. BETONARME YAPILAR

Yapılar taşıyıcı sistemde kullanılan malzemeye göre farklılık gösterirler; betonarme, çelik, ahşap ve yığma (kâgir) yapılar örnek olarak verilebilir. Hayatın devamlılığı için konaklama temel unsurlardan biridir ve bu bağlamda, dünya genelinde kullanılan en önemli yapı türlerinden biri betonarme yapılardır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte betonarme yapıların uygulanması ve tamamlanması daha kolay bir şekilde gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Bu gelişmelerle birlikte, zaman içerisinde projelerin kalite standartlarına uygun ve belirli bütçe değerlerini aşmadan yapılması istenilmektedir [29]. Betonarme yapılar tasarlanmaya başladığından itibaren yönetmelikler çıkarılarak, uygulanacak tasarımların belirli sınır değerleri arasında kalacak şekilde yapılmasına önem verilmiştir. Yaşanılan olaylar ve karşılaşılan yıkıcı etkiler sonucunda yönetmelikler kendilerini güncelleyerek oluşabilecek sorunlar engellenmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.1: Betonarme Yapı

Yapıların tasarlanmasında etkili olan faktörlerden bazıları: bulunduğu bölgenin depremselliği, yapıyı etkileyen ölü yük ve hareketli yük değeri ile dinamik yüklere göre tasarlanması gerekmektedir. Dinamik yükler; zamana göre büyüklüğü değişen yükler olup, örnek olarak deprem, rüzgâr, hidrodinamik kuvvetler, makine titreşimleri ve patlamalar verilebilir. Yapı üzerine etkiyebilecek yüklerin bilinmesi durumunda ve yapının yapıldığı bölge için gerekli yüklerin bilinmesi durumunda ilgili yönetmelikler ve programlar yardımıyla tasarımlar gerçekleştirilir. Betonarme yapılarda betonun ana görevi basınç etkilerini, çeliğin ise çekme gerilmelerini karşıladığı malzemeler olup ve buna göre tasarımlar gerçekleştirilmektedir [30].

Yapılar kullanılma amacına göre birçok şekilde tasarlanabilmektedir. Bunlar: konaklama yapıları, sağlık yapıları, ibadet yapıları, eğitim yapıları, ticaret yapıları, sosyal yapılar, su yapıları, anıtlar, konutlar, endüstri yapıları, ulaştırma yapıları ile spor tesisleri örnek olarak verilebilmektedir.



Şekil 2.2: Betonarme Köprü Uygulaması

Bir yapının taşıyıcı sistemi, üzerine etkileyen ölü ve hareketli yükleri yapı hasar almadan güvenli bir şekilde zemine aktarmalıdır. Bununla birlikte, yapı; yeterli dayanım, yeterli rijitlik ve yeterli süneklik durumları göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

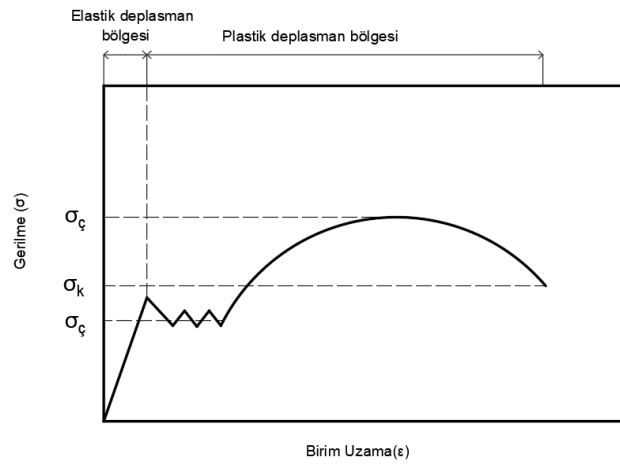
Yeterli dayanımda yapıyı etkiyebilecek bir deprem etkisine karşı yapı taşıyıcı sisteminin gerekli dayanıma sahip olması istenilmektedir ve boyutlandırma esasını temsil etmektedir. Yeterli dayanımı sağlamak sadece kesitteki gerekli donatı ile mümkün olmayıp, ayrıca donatı aderansının sağlanması, donatının gerekli kenetlenme boyuna sahip olacak şekilde başlangıç ve bitiş yerlerinin seçilmesi ve beton yerleşimi sırasında donatıların betonu engelleyecek şekilde yerleştirilmemiş olması da yeterli dayanımı etkileyecektir.

Yapının yeterli rijitliğe göre tasarlanması durumunda yapıda oluşabilecek durumlar:

- Şekil değiştirerek yapmış olduğu yer değiştirmeleri sınırlandırarak yapının kapasitesinden fazla yer değiştirme yapmasını engelleyecektir.
- Yumuşak kat oluşumunu engellemektedir.
- Şekil değiştirmelerden kaynaklanan 2. mertebe momentleri olabildiğince küçültecektir
- Sürekli oluşan depremlerde (kullanılabilir sınır durumuna karşı gelen depremlerde) yapısal olmayan sıva, kaplama ve cam yüzeylerdeki çatlaklar ve kırılmalar gibi hasarların önlenmesi,
- Yapılardaki aletlerin çalışmasını engelleyecek durumların ortadan kaldırılması ve rahatsızlık veren büyük titreşimleri engellemesi gibi durumlara katkıda bulunmaktadır.

Düşey taşıyıcı eleman rijitliğini arttırmanın bazı yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar: eleman boyunu kısaltmak, en kesit oranını arttırmak, malzeme kalitesini arttırmak, yapıya perde duvar eklemek, mesnet ve birleşim bölgelerindeki hareketleri kısıtlamaktır.

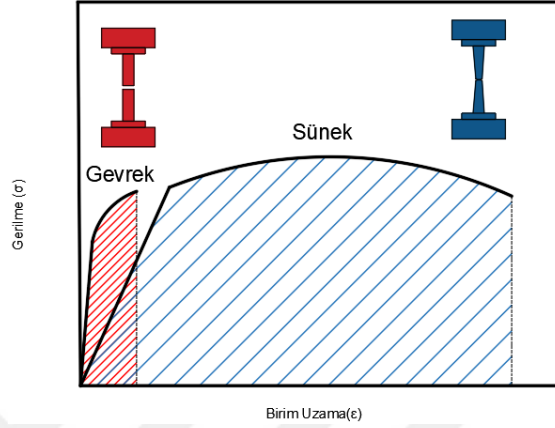
Yeterli süneklikte yükler altında bir yapının, elemanın, malzemenin veya kesitin taşıma gücünde çok büyük azalma olmadan deformasyon yapabilme (yer değiştirebilme) ve tekrarlı yükler altında ise büyük şekil değiştirmeler ile enerjinin tüketilebilmesine süneklik denilmektedir [31,32]. Yapının süneklik düzeyi seçilirken bazı hususların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunlar; bina yüksekliği, bölgenin depremselliği, yerel zemin sınıfları, bina kullanım sınıfı ve yapıdaki perde duvarların bulunması durumu ve bu perde duvarların boşluklu veya boşluksuz olma durumu göz önünde bulundurularak yapının süneklik düzeyi seçilmelidir.



Şekil 2.3: Sünek Davranış Grafiği

Şekil 2.3'te bir elemanın Gerilme-Şekil değiştirme grafiği verilmiştir. Bu grafikte elemanın sünek davranış gösterdiği görülmektedir. Şekil değiştirdiği sürece taşıma gücünde çok büyük

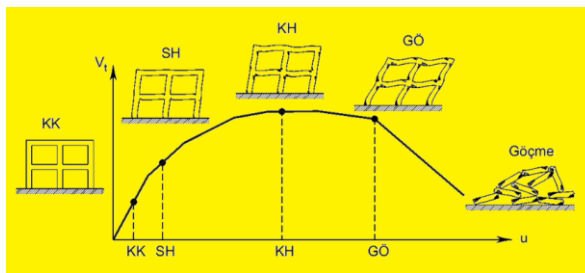
azalmalar görülmemektedir. Bu da yapının yükler altında enerji sönümlenmesinin fazla olmasını sağlayacaktır. Grafiğin altında kalan alan enerji yutabilme kapasitesi olan tokluk değerini vermektedir. Bir yapının, kesitin veya elemanın sünekliği ne kadar fazla ise tokluğu da o kadar fazladır. Kesitlerin davranışında farklı özelliklerin görülmesi kullanılan malzeme çeşidine, kesit geometrisine ve yapıyı etkileyen yük kombinasyonlarına bağlıdır [33].



Şekil 2.4: Sünek ve Gevrek Davranışın Şekil Değiştirebilme Kapasitesi

Şekil 2.4'te gevrek ve sünek elemanlar gösterilmektedir. Gevrek elemanların enerji yutabilme kapasitesi çok düşükken sünek elemanların enerji yutabilme kapasitesi oldukça yüksektir. Gevrek elemanlarda ani kırılma olurken, sünek elemanlarda ani kırılma olmayıp malzeme boyunda uzamalar gerçekleşmektedir.

Yapılar amacına uygun şekilde tasarlanması için farklı taşıyıcı sistemleri seçilebilmektedir. Bu seçimler birçok farklı sebepten dolayı olabilmektedir ve yapının yükler altında denge durumunun bozulmadan ve can kaybı olmayacak şekilde uygulanır. Bu da yapının performans düzeyini belirleyecektir. Bu performans düzeyleri: Kesintisiz kullanım performans düzeyi, Sınırlı hasar performans düzeyi, Kontrollü hasar performans düzeyi, Göçmenin önlenmesi performans düzeyidir. Şekil 2.5'te bu düzeyler gösterilmektedir.



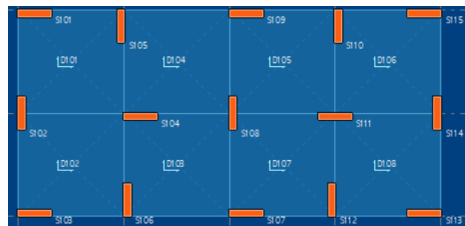
Şekil 2.5: Bina Performans Düzeyi (<https://www.insaport.com/makale/yuksel-kaya/bina-performans-duzeyleri-nelerdir/>)

2.1.1. Yapı Taşıyıcı Elemanları

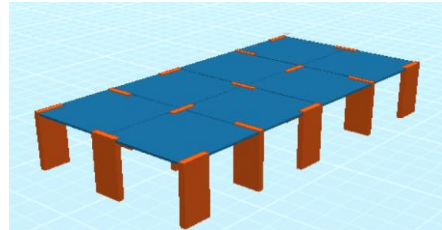
Yapıların tasarlanmasında belirli kurallara göre yapı taşıyıcı elemanlarının tasarlanmasına ve uygulanmasına izin verilmektedir. Yapıda taşıyıcı eleman olarak bilinen elemanlar: temel, perde, kolon, kiriş ve döşemelerdir. Temel'in en ana görevi yapıdan gelen yükleri güvenli bir şekilde zemine aktarmasıdır. Kolonlar ise kiriş tarafından aktarılan ölü veya hareketli yüklerin güvenli bir şekilde temele aktarılmasını sağlamaktadır. Döşemeler yapılarda katları birbirinden ayıran (belirli bir alanın alt ve üst kısımlarını ayıran) ve üstündeki tüm yükleri (ölü yük, hareketli yük) mesnetlendiği kirişler aracılığıyla taşıyıcı elemanlara aktarılması gibi görevleri bulunmaktadır. Kirişli döşeme, kirişsiz döşeme, kaset döşeme, dişli döşeme, asmolen döşeme gibi farklı türde döşeme çeşitleri bulunmaktadır. Kirişler bazı durumlarda yüksek kiriş olarak tasarlanmaktadır ve bu yapılar genel olarak: ambar, silolar, kıyı bölgesi yapıları ve kazıkların başlıkları örnek olarak verilebilmektedir [34].

2.1.2. Taşıyıcı Sistem Çeşitleri

Yapı elemanları ve yapım teknikleri geliştikçe taşıyıcı sistemlerinde çeşitliliği artmıştır. Düşey taşıyıcı eleman olan perde duvarlı sistemler, betonarme duvar olarak bilinmektedir ve temel görevleri döşeme ve kirişten gelen yükleri zemine aktarmasının yanı sıra deprem yükü etkisinde kalan yapının şekil değiştirmesini kısıtlayarak yatay ötelemeleri sınırlandırmasıdır. Çerçevesiz sisteme göre elastik enerji tüketme gücü çok yüksektir. Tasarlanacak olan yapının planda yerleşimi X ve Y yönünde simetrik olacak şekilde rijitlik merkezinin kütle merkezinden belirli uzaklıkta olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu sayede, yapıda burulma stabilitesi sağlanır ve devrilme durumu oluşmaz [35]. Perde duvar kullanımı; hastane, nükleer santraller, laboratuvarlar, müzeler, yüksek katlı yapılar ve okul gibi yapılarda genellikle uygulanmaktadır. Şekil 2.6 (a)'da perde duvarlı sistemin 2 boyutlu ve Şekil 2.6 (b)'de 3 boyutlu görünümü görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.6: Perde Duvarlı Sistem

Eğik elemanlı çerçevesi sistemler ise çerçevesi sisteme eğik elemanlar eklendiği zaman oluşan sistemlerdir. Bu sistemler yapıların yer değiştirmelerini sınırlandırır. Yani deprem bölgelerinde kullanılması durumunda yapı performansı bakımından çerçeve sisteme göre daha iyi sonuçlar alınabilmektedir.

Boşluklu perde duvarlı sistemler; perde duvarlarda kapı, pencere veya asansör kapısı gibi boşluk bırakılması durumunda oluşmaktadır.

Tüp sistemler; yapının en dış yüzeyinde kolonlar arasındaki mesafeler az olacak şekilde yerleştirilerek kat seviyesinde kirişlerle bağlanması durumunda oluşmaktadır.



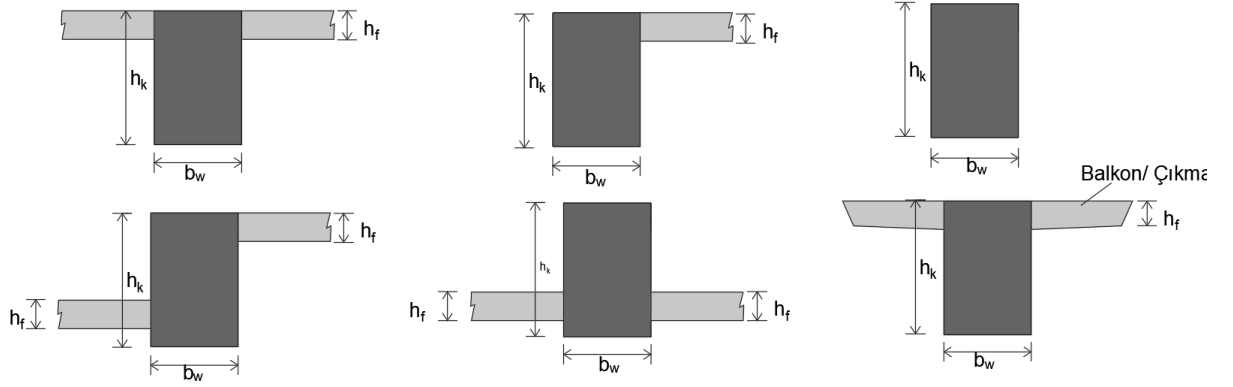
Şekil 2.7: Tüp Sistemli Yapı(<https://www.chicagocondofinder.com/blog/plaza-on-dewitt-condos.html>)

Taban izolasyonlu sistemler; yapı bodrum katına yerleştirilen ve yapının deprem yüklerine karşı iyi performans göstermesini sağlayan sistemlerdir. Yapıda uygulandığında yapının görece kat yer değiştirmelerinde azalmalar olur ve yapı zemin etkileşimi azalır.

2.2. BETONARME KİRİŞ

Dünya genelinde artan ham madde fiyatlarından dolayı tasarımlar ekonomik açıdan uygun ve güvenilir olarak tasarlanmaya başlanmıştır [36]. Ülkemizde genel olarak yapı için seçilen sistemlerde eleman olarak kirişler bulunmaktadır. Kirişler üzerine etkiyen yüklere bağlı olarak; eğilme momenti, kesme kuvveti, burulma momenti ve eksenel kuvvetler oluşabilmektedir. Kirişlerin taşıyıcı elemanlar olarak bazı görevleri bulunmaktadır. Bu görevlerden ilki; döşeme tarafından aktarılan hareketli ve ölü yükleri mesnetlendikleri kolon veya perdelerle aktararak yük aktarımını sağlamaktır. Diğer görevi; deprem veya rüzgâr kuvveti etkisiyle yapıyı etkileyen

yatay yükleri döşemeler ile birlikte kolon ve perdelerle aktarmaktır. Yük aktarımının güvenli bir şekilde yapılabilmesi için kirişlerin doğrudan kolonlara mesnetlenmesi istenmektedir.



Şekil 2.8: Kiriş Mesnetlenme Çeşitleri

Şekil 2.8’de kirişlerin farklı şekillerde mesnetlenebileceği görülmektedir. Bu mesnetlenme farklılıkları tasarım yüklerinden kaynaklı veya modelde düşey taşıyıcı elemanlara bağlanmak için olabilmektedir. Balkon (çıkma) olarak adlandırılan kiriş, konsol olarak bilinmektedir.

Kiriş gövde genişliği (b_w) TBDY 2018’e [37] göre minimum 250 mm olacak şekilde, kiriş yüksekliği (h_k) ise 300 mm’den büyük ve döşeme kalınlığının 3 katından küçük olacak şekilde tasarlanmalıdır. l_n ise mesnet yüzünden diğer mesnet yüzüne olan uzaklığı temsil etmektedir ve h_f döşeme kalınlığıdır.

$$b_w \geq 250 \text{ mm} \quad ; \quad b_w \leq \begin{cases} h_k + \text{kolonun kirişe dik boyutu} \\ h_k + \text{perdenin kirişe dik boyutu} \end{cases}$$

$$h_k \geq \begin{cases} 300 \text{ mm} \\ 3 \times h_f \end{cases} \quad \text{ve} \quad h_k \leq \begin{cases} l_n/4 \\ 3.5 \times b_w \end{cases}$$

Betonarme kiriş tasarımı için yapılan çalışmalardan bazıları:

Chakrabarty [38] betonarme kiriş tasarımı için nonliner program modeli ile maliyet ve materyal tüketiminin optimize edilmesi sağlanmıştır.

Betonarme kiriş için güvenilirlik analizi yaparak hareketli yükün, malzeme özelliğinde duyarlı olduğu ancak parametre değerlerine karşı ise oldukça duyarsız olduğu tespit edilmiştir [39].

Bekdaş ve Niğdeli [40] çalışmasında metasezgisel algoritmalarından olan TLBO'yu kullanarak yönetmeliğe uygun olacak şekilde tüm sınır durumlarının ve kısıtlarının sağlanması göz önünde bulundurularak betonarme kiriş optimizasyonu yapılmıştır.

Zivari ve diğ. [41] eğilme ve kesme kuvvetlerinin etkilerini gözönüne alarak, betonarme kiriş için amaç fonksiyonu olarak kirişin optimum ağırlığı, kullanılan donatı miktarı gibi durumları göz önünde bulundurarak malzeme maliyetlerine göre optimizasyonu gerçekleştirmiştir.

Guerra ve Kioussis [42], 2005 yılı maliyet verilerini kullanarak Matlab programında sıralı kuadratik programlama algoritması ile betonarme yapının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Ulusoy ve diğ. [43] betonarme kiriş tasarımı için minimum maliyet hesabını metasezgisel algoritmalarından olan Yarasa Algoritması ve Öğrenme-Öğretme Tabanlı Optimizasyon kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Fedghouche ve Tiliouine [44] Eurocode 2 yönetmeliği için maksimum tasarım yüküne göre T kesitli kirişin maliyet optimizasyonu yapmıştır. Bu optimizasyonda Genelleştirilmiş Gradyan tekniği uygulanarak tasarım değişkenlerinin azaltılmasıyla optimum değerlere ulaşılmıştır.

Habibi ve diğ. [45] Lagrange Çarpan Yöntemi kullanarak kirişin nihai eğilme kuvveti ana kısıt olarak kullanılıp betonarme kiriş için minimum maliyetli tasarım uygulaması yapılmıştır.

Rahmanian ve diğ. [46] tasarım kısıtları ve tasarım sınır aralıklarını geniş bir aralıkta alarak betonarme kiriş optimizasyonunun, geleneksel yöntemle göre daha verimli sonuçlar alındığı görülmüştür.

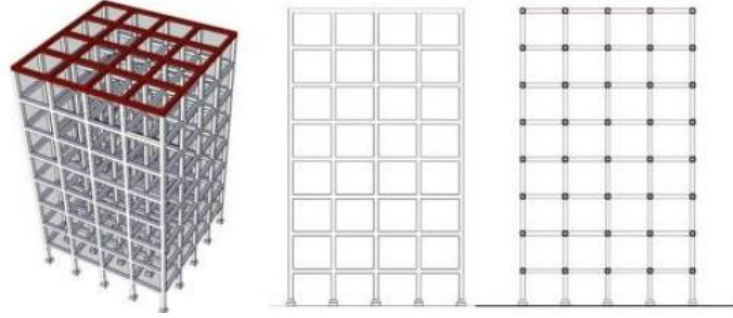
Chutani çalışmasında [47] Hindistan yönetmeliğinin ilkelerini kullanarak betonarme kiriş optimizasyonunu Parçacık Sürü Optimizasyonu ile gerçekleştirmiştir.

2.3. BETONARME ÇERÇEVE SİSTEMLER

Taşıyıcı sistem çeşitlerinden bazıları bu alanda gösterilmektedir.

- Çerçevesiz sistem (Şekil 2.9) için; bu sistemler az katlı yapılar için maliyet açısından düşük olması sebebiyle ülkemizde en yaygın olarak uygulanan sistemdir. Ancak çok fazla uygulanmasına rağmen, depremlerde en fazla hasarı alan veya yıkılan sistem şekli olmuştur [48]. Bu sistemin uygulandığı yapılar deprem etkilerinde oluşacak enerjiyi

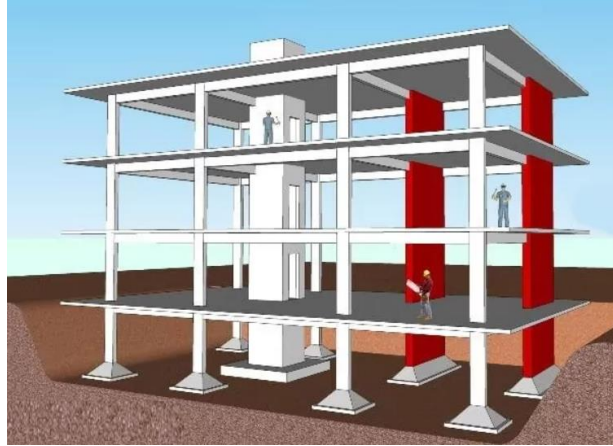
tüketme özelliği, diğer yapı sistemlerine göre daha azdır. Bu yüzden deprem bölgelerinde yapıların çok katlı olacak şekilde sadece çerçeve sistem ile tasarlanmasına izin verilmemektedir [48].



Şekil 2.9: Çerçevesel Sistem

Perde duvarlı-çerçevesel sistem (Şekil 2.10) için perde duvarların ve çerçeve sistemin birlikte uygulandığı sistemdir. Bu sistem; az katlı yapılarda deprem yüklerini daha çok perde duvarlar tarafından karşılanmasını sağlarken, kat yüksekliği ve sayısı arttıkça çerçeveler daha etkili olmaya başlayacaktır.

Çerçeve yapılara perde duvar eklenmesi durumu güçlendirme durumlarından biridir ve bu sayede deprem yüklerinin perdeler tarafından karşılanması sağlanır [49].



Şekil 2.10: Perde Duvarlı- Çerçevesel Sistem(<https://santiyede.com/betonarme-yapi-sistemleri-perde-duvarli-ve-cerceveli-betonarme-sistemleri/>)

Yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmektedir.

Bekdaş ve Niğdeli [50], Armoni Arama optimizasyonu kullanarak (Harmony Search) (HS) ACI 318 yönetmeliğine göre betonarme çerçeve yapıların belirli yükleme altında optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Değertekin [51], Armoni Arama yönteminin düzenlenmesi sonucu oluşturulan kendini uyarlayan Armoni Arama ve Verimli Armoni Arama kullanarak çerçeve yapı optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Buna ek olarak, Kendini Uyarlayan Armoni Arama, Verimli Armoni Arama'ya göre daha verimli sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir.

Esfandiari [52] çalışmasında karar verici ile (Decision Maker- DM) parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization- PSO) ile birlikte kullanılması durumunda DMPSO tekniği oluşturup betonarme çerçeve tasarımı yapmıştır.

Rakıcı ve diğ. [53] ACI 318 yönetmeliğine göre Jaya algoritmasını kullanarak tek açıklıklı betonarme çerçevenin maliyet optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir.

Paya-Zaforteza ve diğ. [54] benzetimli tavlama optimizasyonu kullanarak betonarme çerçeve yapının minimum CO₂ optimizasyonunu gerçekleştirerek maliyet optimizasyonu tasarımına göre sadece %2.77 daha maliyetli olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Gharehbaghi [55] çalışmasında farklı kat ve yüksekliğe sahip çerçeve sistemler için maliyet optimizasyonu gerçekleştirdikten sonra deprem analizleri yapmıştır ve bu analizler sonucunda çerçeve sistemi etkileyen şiddetli depremlerde dahi verimli sistem performansı gözlemlenmiştir.

Lee ve diğ. [56] çalışmasında optimizasyon için amaç fonksiyonunu hem maliyet hemde CO₂ emisyonuna bağlı olarak 4 katlı sistem için gerçekleştirmiştir.

2.4. İSTİNAT DUVARI

İstinat duvarları uygulanan en eski yapı sistemi olmasına rağmen halen bu sistemin geliştirilmesi üzerine birçok çalışma yapılmaktadır [57]. Geoteknik alanında en yaygın şekilde kullanılan ve çeşitli uygulamaları olan yapı çeşididir [58]. İstinat duvarları farklı kotta bulunan zeminlerin tutulması için gerekli betonarme yapılar olup şantiye alanlarında yapılan bir kazı sonucu kot farkından dolayı oluşacak zeminlerin tutulmasını veya yapının düşey ya da düşeye yakın olması istenildiğinde sistemin kaymasının engellenmesini, suyun zemini aşındırmasını önlemeyi ve dengede olmayan toprak kuvvetlerinin stabilitesini [59] sağlamak için uygulanırlar. Genel olarak demiryolu, metro ve köprü yapım aşamalarında uygulanmaktadır. Bazı durumlarda istinat duvarı kullanılarak yapılacak uygulamaların emniyetli bir şekilde tamamlanması sağlanır. İstinat duvarları kullanım amacına göre ve kullanılan malzemelere göre farklılık göstermektedir. Tasarımlar minimum servis süresi 50 yıl olacak şekilde planlanmalıdır.

İstinat duvarlarının tasarlanmasında ve uygulanmasında bazı kurallara dikkat edilmelidir. Bunlardan bazıları: istinat duvarı yapılacak yerde zemin etüt çalışmalarının yapılması ve bunu sağlayacak olan uygun geometri modelinin yapılması, istinat duvarı yüksekliğinin belirlenmesi ve yer altı suyu olması durumunda bunun drene edilebilmesi için drenaj borularının eklenmesi gibi durumlar bulunmaktadır.

İstinat yapıları: rijit, yarı rijit ve esnek olmak üzere 3 ana gruba ayrılmaktadır.

Rijit istinat yapıları: Ağırlık istinat duvarları

Yarı ağırlık istinat duvarları

Konsol istinat duvarları

Payandalı istinat duvarları

Ters payandalı istinat duvarları



Şekil 2.11: İstinat Duvarı Örneği (<https://www.sanalsantiye.com/test-dayanma-yapilarina-ne-kadar-hakimiz/>)

Yarı rijit istinat yapıları: Kafes tipi istinat duvarları

Sandık tipi istinat duvarları

Kazıklı perdeler

Diyafram duvarlar



Şekil 2.12: Sandık Tipi İstinat (<http://www.acelinsaat.com/devam-eden-projeler/>)

Esnek istinat duvarları: Palplanş perdeleri

Ankrajlı palplanş perdeleri

Mekanik olarak oluşturulmuş yapılar (donatılı, geotekstil donatılı)



Şekil 2.13: Betonarme İstinat Duvarı (<http://www.acelinsaat.com/devam-eden-projeler/>)

İstinat duvarları inşaat mühendisliğinin birçok alanda uygulanmaktadır [60]. İstinat duvarı tasarım güvenliği için 3 durum kontrolü yapılmalıdır ve bunlar; kayma, devrilme ve taşıma kapasitesidir [61].

İstinat duvarı ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda gösterilmektedir.

Temür ve diğ. [62] bu çalışmada parçacık sürü optimizasyonu, Armoni Arama optimizasyonu ve Öğrenme-Öğretme Tabanlı Optimizasyonu kullanarak konsol istinat duvarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

İstinat duvarı tasarımı için yönetmeliklere uygun belirli sınır durumlarını sağlayan birçok optimizasyon yapılmıştır ve bunlar: Ceranic ve diğ. [63] Benzetimli Tavlama optimizasyonu (Simulated annealing) (SA), Nedushan ve diğ. [64] ve Khajehzadeh ve diğ. [65] parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) (PSO), Kaveh ve diğ. [66] Armoni Arama (Harmony Search) (HS), Ghazavi ve diğ. [67] Karınca Koloni Optimizasyonu (Ant Colony Method) (ACO) kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Kalemci ve diğ. [68] Gri Kurt optimizasyonu kullanarak, yönetmelik kurallarına uygun en düşük ağırlıklı konsol istinat duvarı tasarımını gerçekleştirmiştir.

Xu ve diğ. [69], dinamik yükler altında istinat duvarı tasarımını Karınca Koloni ve Yapay Sinir Ağları ile çözümlenmiştir.

Benzer şekilde Sheikholeslami ve diğ. [70] Ateş Böceği ve Armoni Arama optimizasyon çeşitlerini kullanarak maliyet analizleri gerçekleştirmiştir.

2.5. YAPI KONTROL SİSTEMLERİ ve ÇEŞİTLERİ

Geleneksel yaklaşımda yapı; deprem ve rüzgâr yüklerine, yeterli dayanım, yeterli rijitlik ve yeterli süneklik durumlarına ve buna ek olarak diğer yük kombinasyonlarına göre tasarlanıp statik kontrolleri yapıldığı için yeterli kapasite oluşturacak şekilde tasarlanmaktadır [71]. Ancak deprem, rüzgâr gibi ani yükler olası bir yapısal risk sebebidir, bu nedenle; yapıda oluşabilecek hasarları azaltmak için yöntemler ve teknikler geliştirmek gerekir [72-73]. Bu teknikler pasif ve aktif kontrol sistemi olabilmektedir [74]. Bazı durumlarda yapı emniyet durumunu etkilemektedir ve yapıda plastik şekil değiştirmeler oluşturmakta hatta göçmeye sebep olabilmektedir. Bu durum insan yaşamını tehlikeye atacak seviyelere kadar ulaşabilmektedir. Bu yüzden hasarların minimum seviyelerde tutulması ve yapı emniyetinin sağlandığı durumlar için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda yapılarda kontrol sistemleri uygulanmaya başlanmıştır. Bu kontrol sistemleri sayesinde yapılar dinamik yükler altında enerjiyi sönümleyerek yapının hasar almasını engelleyecektir. Yüksek katlı yapılar [75], rüzgâr türbinleri [76], bazı özel kullanımlı köprüler [77] için yer değiştirme durumlarını sınırlı seviyelerde tutmaya, değerli eşyaların korunmasında etkili bir sistemdir.

Yapı kontrol sistemi çeşitleri üç ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

- Pasif kontrol sistemleri:
 - Sismik izolasyon sistemleri: Kauçuk esaslı Sistemler
 - Kayıcı Sistemler
 - Kauçuk- Kayıcı Karma Sistemler
 - Pasif enerji sönümleyiciler: Pasif ayarlı kütle sönümleyici,
 - Sürtünme tipi sönümleyiciler,
 - Viskoelastik sönümleyiciler,
 - Viskoz sönümleyiciler,
 - Eğilmeli metal sönümleyiciler'dir.
- Aktif kontrol sistemleri:
 - Aktif ayarlı kütle sönümleyiciler
 - Aktif giriş kontrolü,
 - Aktif rijitlik kontrolü 'dür.
- Karma sistemler:
 - Karma Kütle Sönümleyiciler(HMD)
 - Karma Sismik İzolasyon(HSI)

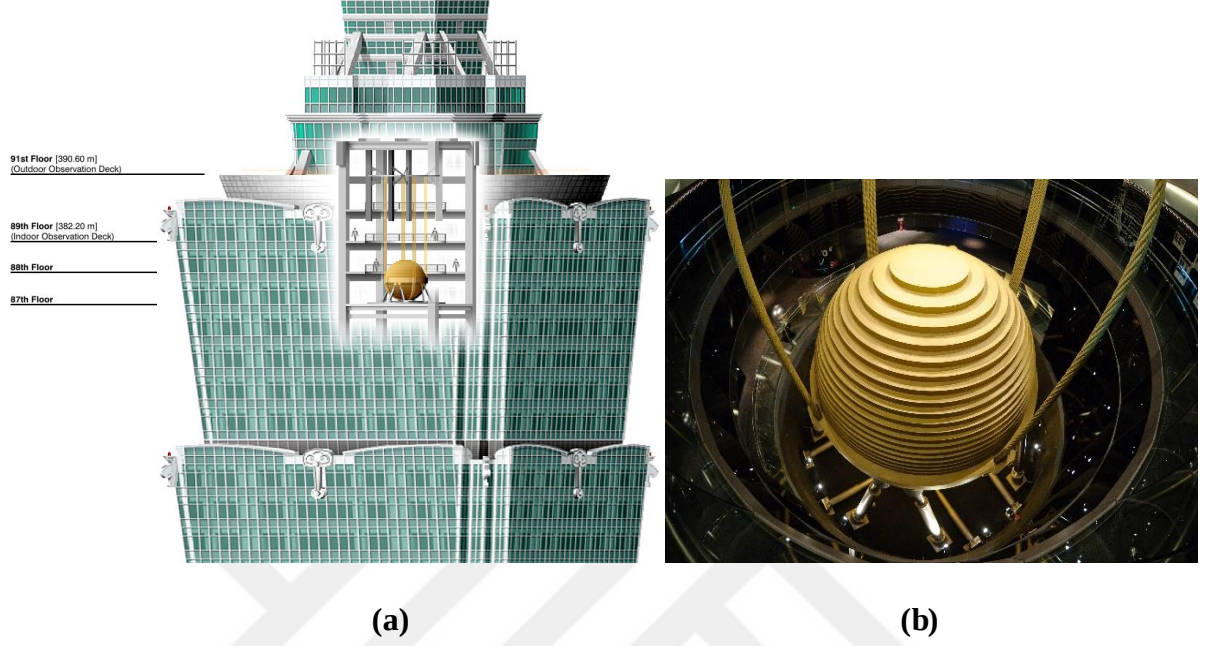
2.2.1 Pasif Kontrol Sistemler

Pasif kontrol sistemi; yapıların tabanına, içine veya üzerine yerleştirilen yapı malzemesi (viskoelastik ve sürtünme araçları) sayesinde yapı periyodunu uzatarak [78] deprem veya farklı dış etkilere (yüklerle) karşı, yapının enerji yutma kapasitesini artırırken, yapının denge durumunun korunmasını sağlar ve kesitlerdeki bölgesel zorlanmaları engelleyerek yapının güvenliğini sağlamış olur. Yapıda oluşacak hasarların minimuma indirilmesi, kullanılacak malzemenin mekanik özelliğine bağlı olup titreşim seviyelerin orantılı bir şekilde azaltılmasını sağlayacaktır [79]. Bu yüzden yapılar hangi amaçla kullanılacaksa ona göre tasarımları, yük kombinasyonları ve dış yük etkileri dikkate alınmalıdır.

Sismik izolasyonlu yapılar için; yapıların bodrum katında kolonlar ile bağlantı oluşturacak şekilde izolasyon elemanları eklenir. Bu elemanlar deprem veya rüzgâr yükleri altında yatayda yer değiştirerek yapının görelî kat deplasmanlarının azaltılmasını sağlamasının yanı sıra yapı ile zemin arasındaki etkileşimin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Yapıların dinamik tepkisini kontrol altına alınması için kullanılabilecek çok çeşitli pasif enerji dağıtma cihazları bulunmaktadır. Pasif enerji sönümleyici çeşitleri olarak; eğilmeli metal sönümleyiciler, sürtünme tipi sönümleyiciler, viskoz sönümleyiciler ve viskoelastik sönümleyiciler kullanılmaktadır.

Şekil 2.14 (a)'da Taipei 101 binası için kullanılan kontrol sisteminin asıldığı kat değerini göstermektedir ve 87. ve 91. katlar arasına bu sistem kurulmuştur. Şekil 2.14 (b)'de ise bu yapıda kullanılan sistem gösterilmiştir.



Şekil 2.14: Pasif Kütle Sönümleyici Örnekleri

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taipei_101_Tuned_Mass_Damper.png)

(https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Taipei_101_Tuned_Mass_Damper_2010.jpg)

Tablo 2.1 de pasif kütle sönümleyicilerin kullanıldığı bazı yapılar ve bu yapıların yüksekliği, yapım yılı gibi özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 2.1: Pasif Kütle Sönümleyici Uygulamaları

Yapı	Yükseklik	Yer	Yıl
One Wall Centre	157.8 m	Vancouver, Kanada	2001
Shangai Tower	632 m	Shangai, Çin	2014
Millenium Bridge	144 m (açıklık)	Londra, İngiltere	2000
Taipei 101	508.2 m	Taipei, Tayvan	2003
432 Park Aveneu	425.5 m	New York, ABD	2015
Comcast Tower	297 m	Philadelphia, ABD	2008
Hotel Burj-Al-Arab (7-star)	321 m	Dubai, BAE	1997
Citigroup Center	279 m	New York, ABD	1977

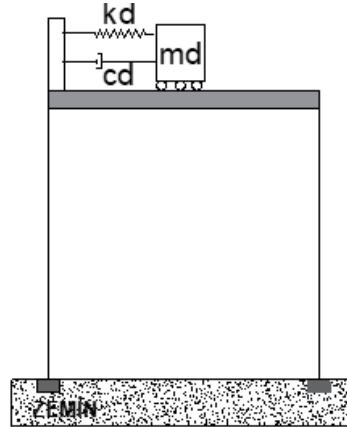
Tablo 2.1(Devamı): Pasif Kütle Sönümleyici Uygulamaları

Yapı	Yükseklik	Yer	Yıl
John Hancock Tower	240 m	Boston, ABD	1976
Park Tower	257 m	Chicago, ABD	2000

2.2.1.1. Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyiciler (TMD)

Frahm tarafından 1909'da titreşimler için bir cihaz geliştirildi [80]. Daha sonra yapılan çalışmalar sonucunda birbiriyle uyum içerisinde olan yay ve sürtünme elemanlarının bir ağırlığa bağlanması sonucu oluşan pasif ayarlı kütle sönümleyicileri geliştirilmiştir. Bu sistem yüksek katlı yapılar için bazı durumlarda rüzgâr yükleri için bazı durumlarda ise deprem yükleri için kullanılabilir.

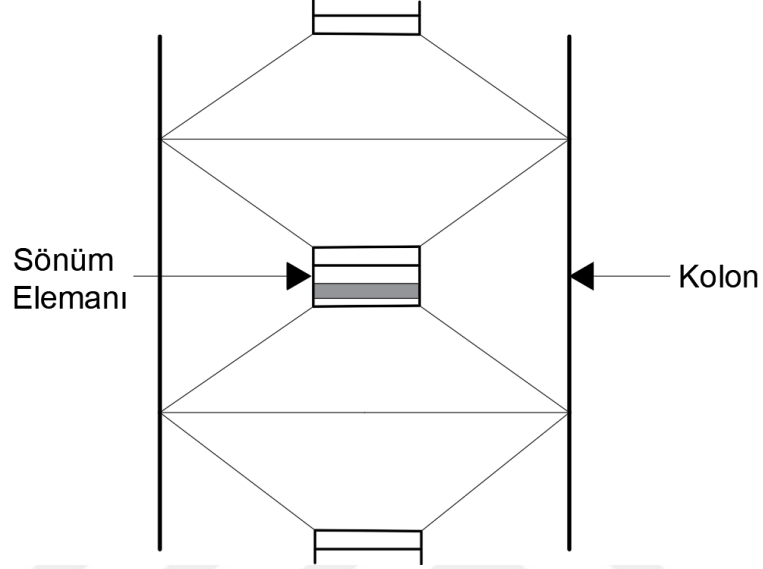
Çalışma prensibi olarak, yapı yükler altında yer değiştirme yapacaktır. Bu yer değiştirmeye birlikte yapı ile aynı frekansta titreşim yapan pasif kontrol sisteminde bulunan kütle, yapı yer değiştirmesinin tersi yönünde hareket ederek yay elemanını sıkıştırır ve sönüm elemanının katkısıyla enerjiyi sönümler. Bu sayede, yapının hasar almasını engeller ve sistemi üzerinde etkili olan enerjiyi sönümleyerek yapının güvende kalmasını sağlar. Şekil 2.15'te Pasif Kütle Sönümleyici örneği gösterilmiştir.

**Şekil 2.15:** Pasif Kütle sönümleyici

2.2.1.2. Sürtünme Tipi Sönümleyiciler

Sürtünme tipi sistemler yapıya eklendiklerinde yapıdaki kinetik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek enerji sönümlenmesini gerçekleştirir [81]. Genellikle çelik alaşımları ve metaller çapraz bağlantı şeklinde kullanılmasıyla bu sönümleyici sistemi oluşturulur. Sistemde kullanılan elemanların özellikleri ile kayma sürtünmeleri ve yapıyı etkileyen yüklere karşı sönüm

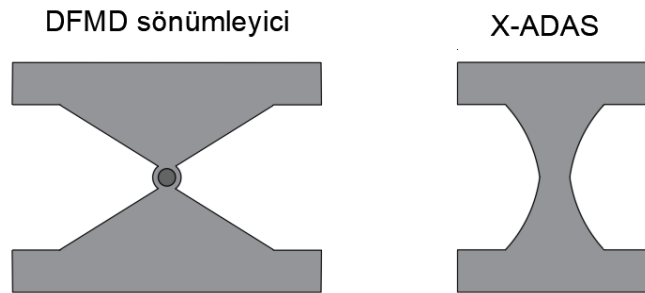
sağlanır. Bu sayede yapının yükler altında önemli boyutlarda etkilenmesi engellenecektir. Şekil 2.16’da sürtünme tipi sönümleyicilerden biri gösterilmektedir ve burada sürtünme elemanına bağlantılar aracılığıyla bağlanmaktadır. Bu sönümleyici zamanla aşınabilmekte veya yükler altında hasar görebilmektedir, böyle olması durumunda değişimi gerçekleştirilmelidir.



Şekil 2.16: Sürtünme Tipi Sönümleyici

2.2.1.3. Eğilmeli Metal Sönümleyiciler

Enerji sönümlenmesinde metallerin histerik davranışlarından faydalanılır ve bu sayede elastik olmayan davranışın kullanımı sağlanır. Yapının kat ötelemeleri sonucu oluşan; eğilme, kesme ve eksenel kuvvetleri karşılayacak şekilde sönümleyici tasarımı yapılmaktadır. Bu tasarımlar genel olarak; dikdörtgen, üçgen veya X olacak şekilde tasarlanabileceği gibi gerilmelerin malzeme içerisinde eşit dağılmasına önem verilmiştir [82]. Sistemin uzun süre çalışması, sıcaklık farkları ve çevre koşullarına karşı dayanıklı olması kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Şekil 2.17’de farklı şekillerdeki metal sönümleyiciler gösterilmiştir.



Şekil 2.17: Eğilmeli Metal Sönümleyiciler

2.2.1.4. Vizkoelastik Sönümleyiciler

Dinamik yükler yapıda büyük enerji oluşturur ve bu enerji yapıda kullanılan malzeme, histerik eğri ve yapısal elemanların birleşim bölgesindeki plastik mafsallar ile karşılanmaktadır. Vizkoelastik sönümleyici deprem ve rüzgâr yüklerinde yapıyı korumak için kullanılabilir. Yapıda kullanıldığında yapının sönümünü artırır [83] ve ek olarak yanal rijitlik kazandırır. Kullanılan sistem levha hareketlerinden dolayı oluşan kayma gerilmelerinde sağlanan enerjiyi sönüm enerjisine dönüştürmektedir. Sistemde kullanılan metal plakalar arasındaki hareketlerden dolayı oluşan durum elastomerlerin gerilme prensibi ile çalışmaktadır. İlk olarak 1950'lerde uçaklarda oluşan titreşimleri önlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu tarihten itibaren etkin olmasının yanı sıra kullanışlı özelliklerinden dolayı kullanılma alanı çoğalmıştır ve bunlardan biri de inşaat mühendisliğidir. Bu alanda ilk kez İkiz Kulelerde (1969) kullanılmıştır [84]. Bu yapı yüksekliğinden dolayı çok fazla rüzgâr yüklerine maruz kalmakta ve bu sönümleyici ile bu yüklerin karşılanmasında olumlu sonuçlar alınmıştır.

2.2.1.5. Viskoz Sönümleyiciler

Bu sönümleyiciler de diğer sönümleyiciler gibi yapı için benzer özelliklere sahiptir. Yapıda oluşan gerilme, birleşim noktalarındaki zorlanmalar gibi yapıya hasar verecek durumlar viskoz hareketi ile azaltılmaktadır. Yapıyı etkileyen sismik kuvvetler viskoz sönümleyicilerde, piston haznesi içinde bulunan akışkan sıvının hareketi ve yer değiştirmesiyle birlikte ısı enerjisine dönüşerek emilimi yapılır. Akışkan malzeme olarak damperlerde; silikon, kurşun ya da yağ kullanılmaktadır.

2.2.2 Aktif Kontrol Sistemleri

Yapıdan beklenen performans zaman içerisinde değişim göstermiştir. Bunlara örnek verilecek olursa; sismik yükler altında yapının yer değiştirmesini sınırlandırarak hastanelerde malzemelerin ve stabil durumun korunması için, müze vb. binalar içindeki özel eşyaların korunması hedeflenmiştir. Pasif kontrol sistemlerinden farklı olarak yapıya etkileyen kuvvetin büyüklüğüne göre, kontrol bilgisayarı kullanarak etkili bir sistem oluşturmıştır. Kontrol sistemi depremin büyüklüğüne göre düzenlenir ve bu sayede yapı hareketi kontrol altına alınır [82]. Kontrol bilgisayarları, yapıyı etkileyen kuvvetler sonucunda oluşan titreşimlere göre algoritmalar kullanır ve hesaplamalar sonucunda sistemin hareketini, yönünü ve şiddetini belirler. Bu değişimleri rijitlik değiştirme ve kütle sönümleyiciler aracılığıyla yapmaktadır.

Aktif kontrol sistemlerinin kullanılma sebepleri: yapının titreşimlerini belirli seviyelerde tutmak, pasif kontrol sistemleri kadar yer kaplamaması, pasif kontrol sistemlerinde yapı bazı

sabit yükler için hesabı yapılarak tasarımı gerçekleştirilir ve bu şekilde yapılması yapı üzerine gelebilecek ekstra yükler sonucunda hasar görmesine sebep olacaktır bu durumun önüne geçmek, bazı önemli yapıların (hastaneler, nükleer enerji santralleri) içinde bulunan değerli malzemeleri korumak ve farklı frekans aralıklarında çalışması gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir.

Aktif kontrol sisteminin kullanılması durumunda bazı istenilmeyen durumlar da mevcuttur. Bunlar; yapıya etkiyen kuvvetin geç algılanması durumunda tepkinin geç oluşmasına neden olabildiği gibi kontrol sisteminin bağlı olduğu enerji kaynağının sürekli olarak enerjiyi sağlayabilecek olması bu yapı kontrol sisteminin maliyetini arttırmaktadır.

Aktif kontrol sistemi çeşitleri: Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyiciler, Aktif Kiriş Kontrolü, Aktif Rijitlik Kontrolü olarak ayrılmaktadır. Tablo 2.2’de aktif kütle sönümleyicilerinin uygulandığı bazı yapılar ve özellikleri gösterilmektedir.

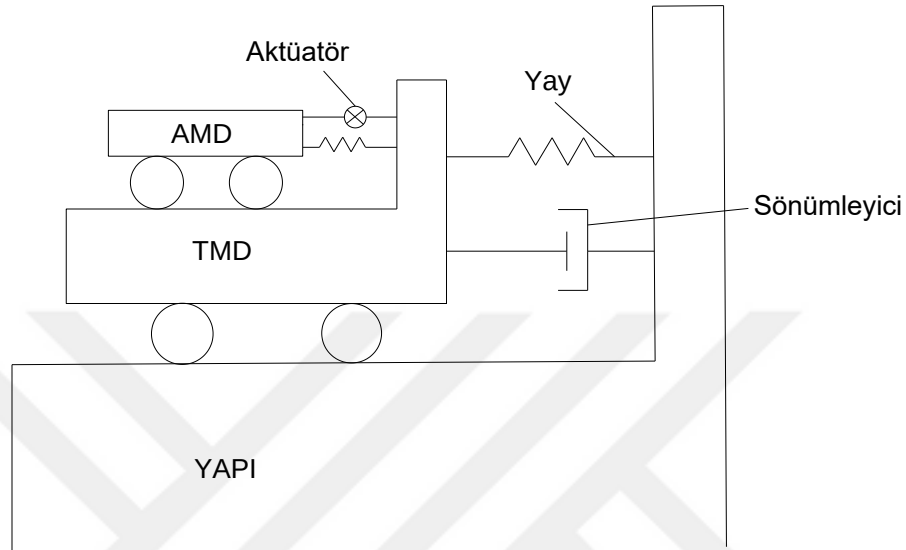
Tablo 2.2: Aktif Kütle Sönümleyici Uygulamaları

Yapı	Yükseklik	Yer	Yıl
Canton Tower (Guangzhou TV Tower)	600 m	Guangzhou, China	2010
Rokko Island Procter and Gamble	117 m	Kobe, Japan	1993
Shanghai World Financial Center	492 m	Shanghai, China	2008
C Office Tower	130 m	Tokyo, Japan	1993
Incheon International Airport Control Tower	100.4 m	Incheon, Kore	2001
Ando Nishikicho	68 m	Tokyo, Japan	1993

2.2.3 Karma Kontrol Sistemleri

Aktif kontrol sistemleri yapıda kullanılması durumunda maliyet sorunlarının oluşmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden yapılarda kullanılan sistemlerin maliyetini düşürmek için; aktif ve pasif kontrol sistemlerinin önemli özellikleri bir araya getirilerek yapıyı dış yüklere karşı istenilmeyen etkilerden en iyi şekilde [85] korumak amacıyla geliştirilmiştir. Bu şekilde pasif kontrol sistemlerine; sensör, aktüatör ve kontrolör eklenerek oluşturulmuştur. Aktif kontrol araçları ayarlanabilir olması ve pasif kontrol sistemlerinin güvenli oluşu, karma kontrol

sisteminin etkin şekilde kullanılmasında faydalı olmuştur. Karma kontrol sistemleri: Karma Kütle Sönümleyiciler (HMD) (Şekil 2.18) ve Karma Sismik İzolasyon (HSI) olmak üzere 2 çeşidi bulunmaktadır.



Şekil 2.18: Karma Kütle Sönümleyici(HMD)

Diferansiyel evrim optimizasyonu kullanılarak deprem etkisinde en üst kattaki yatay yer deşistirmelerin ve yer deşistirmelerin ortalama karekök etkisini azaltmayı hedeflemişlerdir [90].

Araz ve Khya [91], Benzetimli Tavlama yöntemi kullanarak yapının yer deşistirme optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir ve seri ayarlı kütle sönümleyicilerin ayarlı kütle sönümleyicilere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Niğdeli ve Bekdaş [92] çalışmasında deprem yükleri altında bitişik binaların birbiriyle çarpışmasının engellenmesi için kütle sönümleyicilerinin optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Kambar ve diğ. [93] 10 katlı yapının kritik deprem durumunda en üst katta oluşabilecek yer deşistirme değerine göre TMD sistemin optimizasyonunu gerçekleştirmiştir.

Xilin ve diğ. [94] bir yapıda yoğun insan hareketinden dolayı oluşan titreşimlerin azaltılması için TMD sistemi uygulamıştır ve insanların yoğun şekilde hareketi sonucunda bu sistem sayesinde titreşimler %15 kadar azaldığı gözlenmiştir.

3. YÖNTEM

Bu tez kapsamında, yapılacak farklı betonarme yapı ve yapı elemanları problemleri ile pasif ayarlı kütle sönümleyici optimizasyonu için metasezgisel algoritmalarından faydalanılmıştır. Optimizasyon sürecinin uygulanması için çok fazla metasezgisel algoritmalar bulunmaktadır. Bazı metasezgisel algoritmalar kontrol parametrelerine ihtiyaç duymaktadırlar ve bunlardan bazıları: popülasyon sayısı, kısıt değerleri ve boyutu'dur [22]. Bu algoritmalarından bazıları: Genetik Algoritma (GA), Armoni Arama Algoritması (HS), Jaya Algoritması (JA), Öğrenme-Öğretme Tabanlı Optimizasyon (TLBO), Çiçek Tozlaşması Algoritması (FPA), Yarasa Algoritması (BA)'dır.

Metasezgisel algoritmalarından olan Jaya Algoritması (JA), Öğrenme-Öğretme Tabanlı Optimizasyon, Çiçek Tozlaşması Algoritması ile işlemler gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra Hibrid algoritmaların etkinliklerinin görülebilmesi ve diğer algoritmalar ile karşılaştırılma yapılabilmesi için TLBO-Jaya hibridi oluşturulmuştur.

3.1. JAYA ALGORİTMASI

Jaya algoritması metasezgisel algoritmalarından biridir ve Rao [22] tarafından 2016 yılında geliştirilmiştir. Bu algoritma her zaman başarıya ulaşmak için en iyi çözüme kolayca yaklaşmaya [95] ve başarısızlıktan kurtulmak için kötü çözümlerden uzaklaşmaya çalışır. Jaya algoritmasının herhangi bir kontrol parametresi yoktur ve uygulanması kolaydır [96]. Bu nedenlerden dolayı, kullanımı en yaygın algoritmalarından biridir. Jaya algoritmasının formülü Denklem (3.1)'de gösterilmektedir.

$$X'_{i,yeni} = X_{i,j} + r() (X_{i,geniyi} - |X_{i,j}|) - r() (X_{i,genkötü} - |X_{i,j}|) \quad (3.1)$$

$X'_{i,yeni}$: Yeni tasarım değişkenlerinin değeri

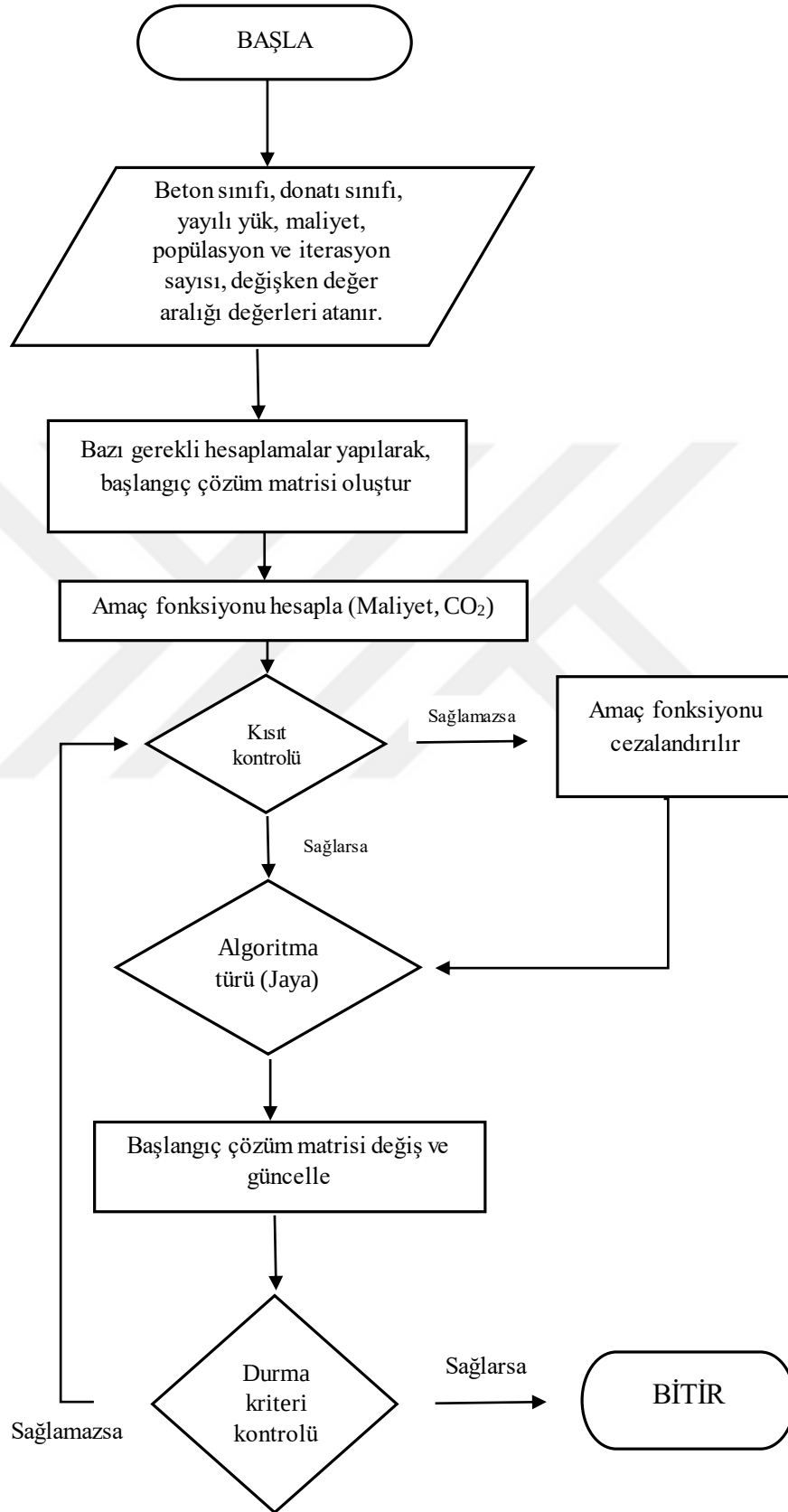
$X_{i,j}$: Rastgele seçilen aday vektör

$X_{i,geniyi}$: Mevcut tasarım değişkenleri için en iyi değer

$X_{i,genkötü}$: Mevcut tasarım değişkenleri için en kötü değer

$r()$: Rassal sayı

Akış şeması Şekil 3.1 gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Jaya Algoritması akış şeması

Adım 1’de, sabit ve kısıt değerleri, değişkenlerin aralık değerleri girilir ve belirlenmiş amaç fonksiyonu ile başlangıç çözüm matrisi oluşturulur.

Adım 2’de, başlangıç çözüm matrisinin en iyi amaç fonksiyon değeri ve en kötü amaç fonksiyonu değeri seçilerek kaydedilir.

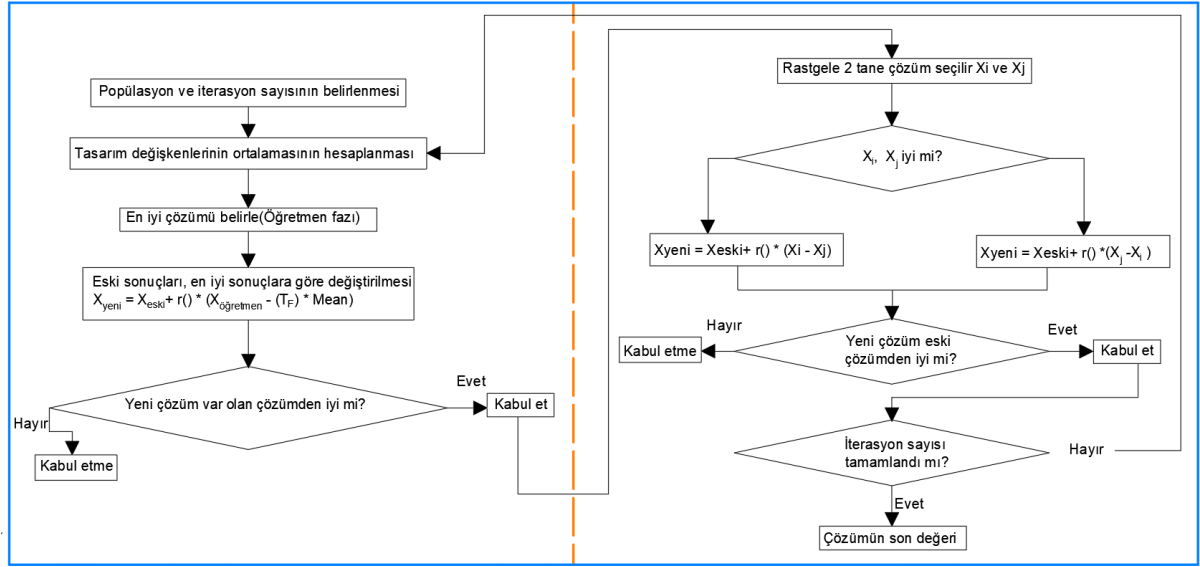
Değişkenler rassal olacak şekilde atanır ve bu değerler maksimum ve minimum sınır durumlarını sağlamadığı durumda; maksimum değerden büyükse maksimuma, minimum değerden küçükse minimum eşitlenir ve amaç fonksiyonu bulunarak yeni çözüm matrisi oluşturulur.

Adım 3’te yeni çözüm matrisi ile başlangıç çözüm matrisi karşılaştırılır ve değerlerden büyük olanı silinerek iyi olanı seçilir ve bu sayede amaç fonksiyonuna yaklaşılmaya çalışılır.

Adım 4’te maksimum iterasyon değeri kontrol edilir ve tamamlanması halinde optimizasyon süreci sona erer ve optimizasyon tamamlanır.

3.2. ÖĞRETME-ÖĞRENME TABANLI OPTİMİZASYON

Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (Teaching-Learning Based Optimization-TLBO) 2011 yılında Rao tarafından oluşturulmuştur [23]. Mekanik tasarım problemlerinde etkili olan bu optimizasyon, diğer optimizasyon türleri gibi doğa olayları ve yaşanan durumlardan ilham alınarak geliştirilmiştir ve bu optimizasyonda; öğretme ve öğrenme fazı olmak üzere iki farklı faz bulunmaktadır [23]. Öğretme fazında öğrencilere öğretmenler tarafından bilgiler verilir ve öğrenme fazında ise bu bilgiler öğrenciler tarafından fikir ilişkileriyle geliştirilir. 2 aşamalı kontrol fazı bulunduğundan diğer algoritmalara göre daha az iterasyonda amaç fonksiyonuna ulaşabilmektedir. Şekil 3.2’ de TLBO için akış şeması gösterilmektedir. Akış şemasının sol tarafı öğretmen fazını gösterirken, sağ taraf öğrenci fazını göstermektedir. Bu şema açıklanacak olursa; öğretmen fazında ilk olarak iterasyon ve popülasyon miktarı belirlenir ve tasarım değişkenleri oluşturulur. Bu tasarım değişkenlerine göre amaç fonksiyonları oluşturularak çözüm matrislerine ulaşılır ve buradan en iyi sonuç seçilerek eski sonuçların değiştirilmesi sağlanır.



Şekil 3.2: TLBO akış şeması

Öğrenci fazında ise rastgele 2 öğrenci seçilerek birbirlerine göre değerlerinin iyi olup olmama durumuna göre farklı formüller kullanılır ve tekrar yeni çözüm ile eski çözümler karşılaştırılarak eleme yapılır. En son iterasyon miktarı kontrol edilir bitmiş olması durumunda tamamlanır, bitmemiş olması durumunda tekrar aynı işlemler tamamlana kadar gerçekleştirilir.

3.3. ÇİÇEK TOZLAŞMASI ALGORİTMASI (FPA)

Bazı çiçekler renk, koku ve tat bakımından uyaranlara sahip olduklarından bazı böcek türleri ve sinek gibi canlıların dikkatini çekerek tozlaşma işlemlerini bu şekilde gerçekleştirirken bunun yanı sıra rüzgâr ile tozlaşma da gerçekleştirebilmektedir. Bu doğal süreçten ilham alınarak Yang [97] tarafından 2012 yılında FPA geliştirilmiştir. Çiçek Tozlaşması Algoritmasında 2 farklı durum söz konusudur. Bunlardan ilki anahtar olasılığı (sp) rassal atanan sayıdan büyük olursa, Lêvy dağılımı denklemi kullanılıp değişkenlerin değerleri bulunması gerekirken; anahtar olasılığı (sp) değeri rassal atanan sayıdan küçük olursa, k ve m değerleri rassal olarak belirlenerek değişken değerleri bulunmaktadır. Lêvy denklemi (Denklem 3.2) ve karşılaştırmalı kullanılacak denklem grupları (Denklem 3.3, 3.4 ve 3.5) gösterilmiştir.

$$Lêvy = \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times (rand())^{-1.5} \times e^{\left(\frac{1}{2 \times rand()} \right)} \quad (3.2)$$

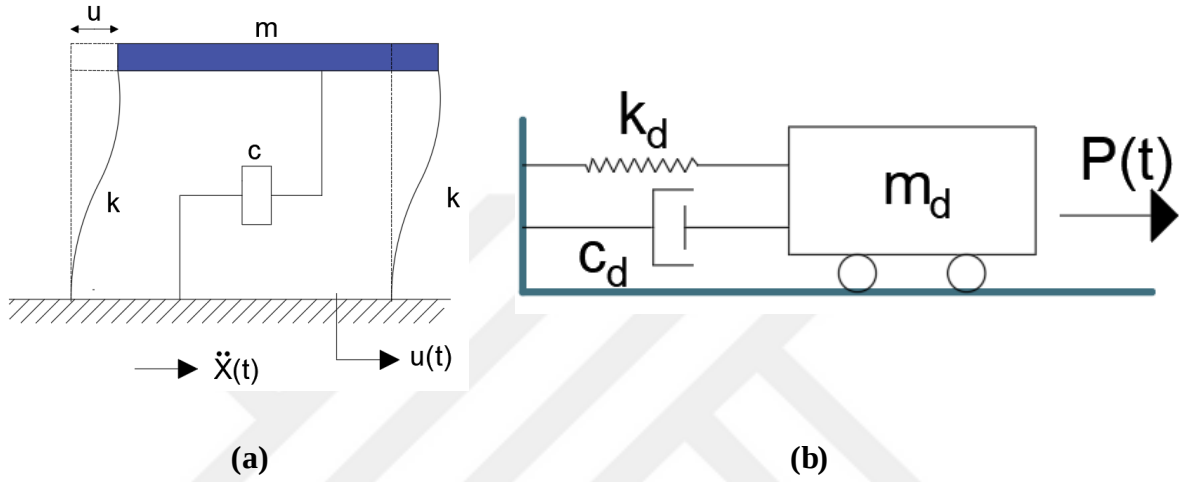
$$k = ceil(rand() \times nf) \quad (3.3)$$

$$m = ceil(rand() \times nf) \quad (3.4)$$

$$X_{i,yeni} = \begin{cases} sp > rand(), & X_{i,j} + Levy(X_{i,xeni} - X_{i,j}) \\ sp < rand(), & X_{i,j} + rand()(X_{i,m} - X_{i,k}) \end{cases} \quad (3.5)$$

3.4. TMD İÇİN TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEM

Pasif kütle sönümleyici optimizasyonu tek serbestlik dereceli sistem için uygulanıp sonuçları alınmış olsa da 1'den fazla katlar için de kod kullanıma uygundur.



Şekil 3.3: (a) Tek serbestlik dereceli sistem basitleştirilmiş gösterimi ve (b) kontrol sistemi gösterimi

u : yer değiştirme

k : kolonların rijitliği

c : sönüm oranı

m : yapı kütlesi

Şekil 3.3'de tek serbestlik dereceli sistemin basitleştirilmiş gösterimi verilmiştir. Bu gösterim Denklem (3.6)'da gösterilmiştir.

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = P(t) \quad (3.6)$$

Belirli bir depremin etkidiği yapıdaki yer değiştirme şeklindeki gibi olmaktadır. Yapı bu etkileri kolonların rijitliğiyle ve sönüm oranına bağlı olarak sönümlemektedir. Yapının rijitliğinin değişimi; eleman boyuna, kullanılan malzeme cinsine ve kolon boyutlarına bağlı olarak değişmektedir. Denklem (3.7)'de görüldüğü üzere, rijitlik; kesit boyutlarının artışı ve malzeme

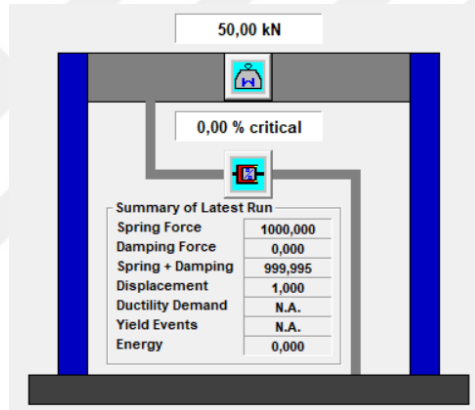
özelliklerin artması sonucu artarken, kesit uzunluğunun artması sonucunda rijitliği azaltmaktadır.

$$k = \frac{12EI}{L^3} \quad (3.7)$$

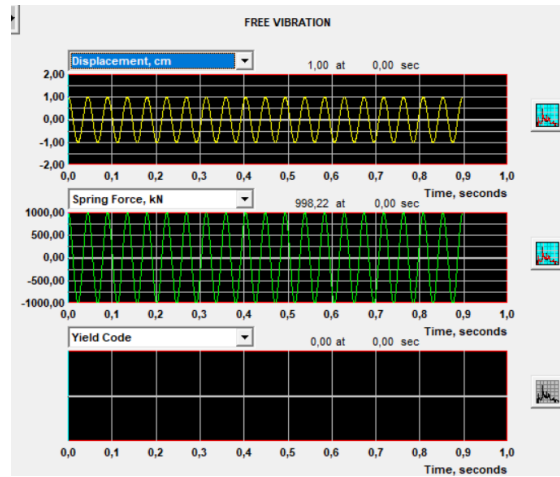
$$T_n = \frac{2 \times \pi}{w_n} \quad (3.8)$$

Denklem (3.8)'de yapının doğal periyodunu bulmak için gerekli formül verilmiştir.

Yapıda sönüm olmaması durumunda yapı serbest titreşim yapacaktır ve yer değiştirmesinde zaman içerisinde azalmalar olmayacaktır. Şekil 3.4' te yapı özellikleri verilmiştir ve yapının sönümsüz olacak şekilde analizi sonucunda grafiği Şekil 3.5'de gösterilmektedir.

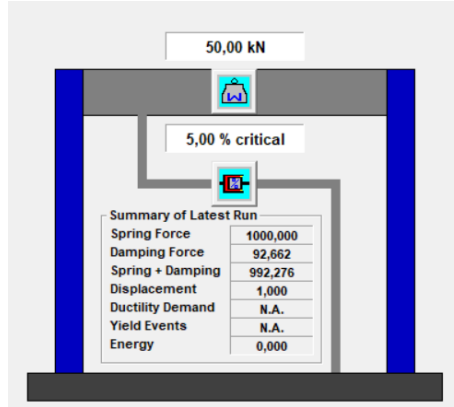


Şekil 3.4: Nonlin programı ile sönümsüz titreşim

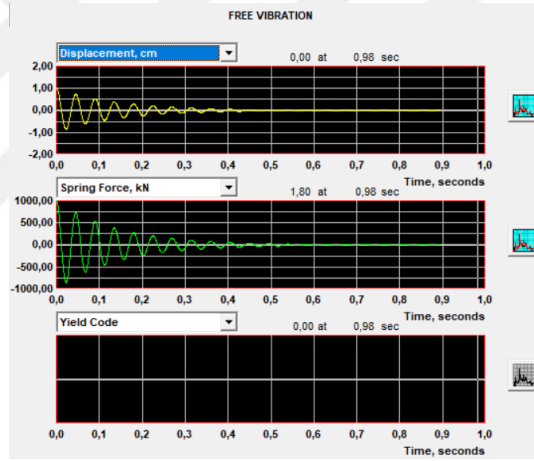


Şekil 3.5: Sönümsüz titreşim yer değiştirme ve kuvvet grafiği

Şekil 3.6’da kütlesi ve rijitliği belli olan bir yapının sönüm oranı %5 olacak şekilde düzenlenmiştir. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi sönüm eklenmesiyle birlikte yapıda yer değiştirme ve kuvvetin zamanla azaldığı görülmüştür ve belirli bir süre sonra bu değişkenler sıfırlanmıştır.



Şekil 3.6: %5'lik sönüm değeri için sistem görünümü

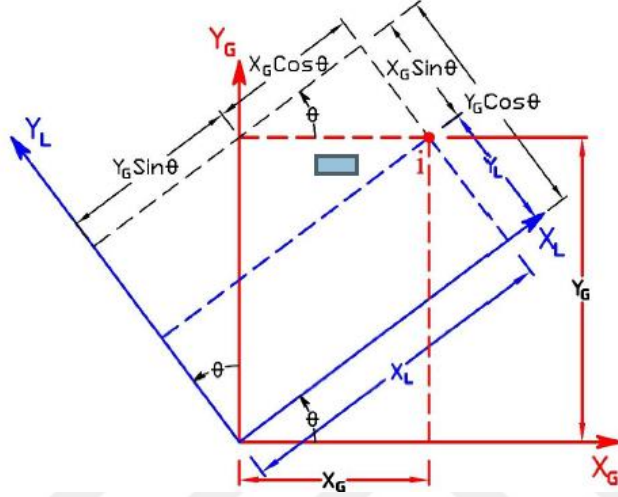


Şekil 3.7: %5'lik sönüm için zamana bağlı yer değiştirme ve kuvvet grafiği

3.5. MATRİS DEPLASMAN YÖNTEMİ

Birçok deplasman yöntemi bulunmaktadır ve bunlardan biri de deplasman bileşenlerinin sistemin bilinmeyenlerini oluşturan yöntem olan matris deplasman yöntemidir. Matris deplasman yönteminde; yapı üzerinde etkili olabilecek statik ve dinamik yükler altında yapının yaptığı deplasman değerinin, iç kuvvet değerlerinin ve oluşabilecek deformasyon etkilerinin bulunması için denge şartlarının, geometrik uygunluk durumunun sağlanması gerekmektedir [98].

Sistemde yükler, deplasmanlar ve reaksiyon kuvveti gibi etkiler global eksen koordinat sisteminde tanımlanır. Buna rağmen kesit tesirleri yapı elemanın bulunduğu konuma göre global eksen koordinat sistemine göre göreceli olarak değiştirilerek oluşturulmaktadır ve lokal koordinat sistemi olarak adlandırılmaktadır. Global koordinat sisteminden lokal eksen koordinat sistemine veya tam tersinir durum geçişleri açılar ile kolayca yapılabilmektedir. Şekil 3.8’ de global-lokal eksen koordinat sistemi gösterimi yapılmıştır.



Şekil 3.8: Global-Lokal eksen koordinat sistemi [98]

Dönüşümler için koordinat sistem türüne göre isimlendirme yapılması durumunda; Global eksen için, X_G ve Y_G ; Lokal eksen için, X_L ve Y_L olacak şekilde gösterilmiştir. Dönüşüm denklemleri yazıldıktan sonra bu denklemlerin basitleştirilmiş hâli yazılmak istenirse; Denklem (3.9) ve (3.10)’da X ve Y eksenlerin lokal koordinat sistemine dönüşümü için verilmiştir.

$\sin(\theta)$ = S ve **$\cos(\theta)$** = C için

$$X_L = Y_G \times \sin(\theta) + X_G \times \cos(\theta) \quad X_L = Y_G \times S + X_G \times C \quad (3.9)$$

$$Y_L = Y_G \times \cos(\theta) - X_G \times \sin(\theta) \quad Y_L = Y_G \times C - X_G \times S \quad (3.10)$$

θ açısı koordinat sistemindeki bileşene sahip olmasından dolayı bu formüllere entegre edilip matris şeklinde yazılması durumunda Tablo 3.1 şeklinde matris gösterimi oluşmaktadır.

Tablo 3.1: Lokal koordinat sistemi matrisi

X_{Li}
Y_{Li}
θ_{Li}

 $=$

C	S	0
-S	C	0
0	0	1

 $*$

X_{Gi}
Y_{Gi}
θ_{Gi}

Bu denklemlerin i ve j düğüm noktalarına göre çözümleme yapılması durumunda üstteki matris eşitliği ayrı ayrı düğüm noktaları için uygulanacaktır. i ve j düğüm noktalarının denklemlerde yazılması durumunda Tablo 3.2'deki gibi aşağıdaki matris oluşacaktır.

Tablo 3.2: Global ve Lokal koordinat sistemi matrisi

X_{Li}
Y_{Li}
θ_{Li}
X_{Lj}
Y_{Lj}
θ_{Lj}

 $=$

C	S	0	0	0	0
-S	C	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	0	C	S	0
0	0	0	-S	C	0
0	0	0	0	0	1

 $*$

X_{Gi}
Y_{Gi}
θ_{Gi}
X_{Gj}
Y_{Gj}
θ_{Gj}

6×6 olarak gösterilen matris, dönüşüm matrisi olup R harfi ile gösterilmektedir. Bu matris ortogonal matris olmasından dolayı matrisin tersi ile transpozu birbirine eşit olacaktır ve Tablo 3.3'deki matris oluşacaktır. $C = \cos\theta$ ve $S = \sin\theta$ 'dir.

Tablo 3.3: Dönüşüm matrisi tersi ve transpozu

$$[R]^{-1} = [R]^T =$$

C	-S	0	0	0	0
S	C	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	0	C	-S	0
0	0	0	S	C	0
0	0	0	0	0	1

Şekil 3.9'da sistemin pozitif yön gösterimi yapılmıştır. i ve j noktalarının eksenel, yanal ve açısal vektör bileşenleri gösterilmiştir. Şekil 3.10'da ise bu sistemin bilgisayar programlarıyla kullanılması durumunda harflendirmenin daha da basitleştirilmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 3.9: Pozitif yön gösterimi



Şekil 3.10: Yön gösteriminin numaralandırılması

Matrisler kullanılarak kuvvet deformasyon ilişkileri lokal eksen için tanımlanabilir.

3.6. HİBRİD METASEZGİSEL ALGORİTMALAR

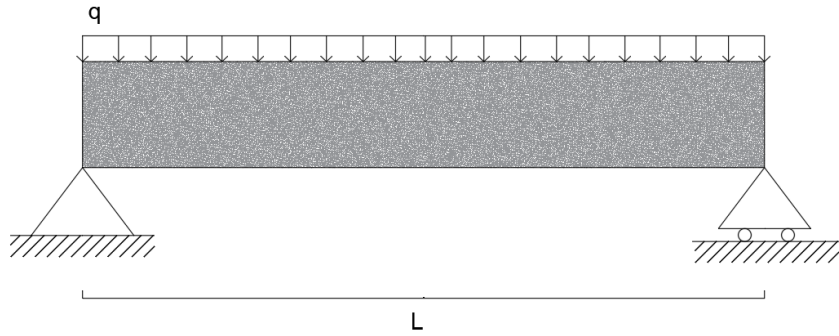
Metazgisel algoritmalar, doğadan esinlenerek oluşturulan algoritmalar olup; ekonomi, mühendislik, tıp alanları için kullanılan ve karmaşık problemlerin kısa sürede çözülmesini sağlamaktadır. Bu algoritmaların çeşitliliği ve gelişimi, daha efektif şekilde ve kısa sürede sonuçların elde edilmesi için arama kapasitesini geliştiren çok çeşitli hibrid metasezgisel algoritmaların [99] kullanımına ve gelişimine yol açmıştır. Bu algoritmalar iki veya daha çok aşamalı olan algoritmaların 1 aşamasının farklı algoritma ile kombinasyonu sonucu oluşturulmaktadır. Bu şekilde birçok hibrid algoritmalar oluşturulabilir ve bunlardan bazıları: TLBO-Jaya, TLBO-FPA, ACO-GA [100], GA-API (Hibrid karınca koloni- genetik algoritması), PSO-ACO (Parçacık Sürü Optimizasyonu - Karınca Koloni Optimizasyonu), DE-BBO (Hibrid Diferansiyel Evrim - Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon), HCS (Hibrid Guguk Kuşu Araması) örnek olarak verilebilir. Hibrid algoritmaların oluşturulup yapı ve yapı elemanları gibi farklı çeşitlerdeki problemlerde uygulanması durumunda ve amaç fonksiyonuna ulaşmasında, diğer algoritmalara göre daha az iterasyonda amaç fonksiyonuna ulaştığı ve standart sapma değerlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, TLBO- Jaya hibridi olarak öğretmen fazı ile Jaya algoritması kombinasyonu yapılarak hibrid algoritma oluşturulmuştur.

4. BULGULAR

Bu tez kapsamında yapılan inşaat mühendisliği problemleri bu bölümde anlatılmıştır. Bu problemler: kiriş tasarımı, çerçeve sistem tasarımı, istinat duvarı tasarımı, ayarlı kütle sönümleyici optimizasyonu örnekleridir.

4.1. DİKDÖRTGEN KESİTLİ KİRİŞ'İN FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE MALİYET OPTİMİZASYONU

Dikdörtgen kesitli betonarme kiriş tasarımı için kesit genişliği ve kesit yüksekliği maliyet optimizasyonu için tasarım değişkeni olarak tanımlanmıştır. Bu sınırlar yönetmeliklere uygun olacak şekilde seçilerek gerekli formüllerde ve algoritmalarda yerine yazılmıştır. Şekil 4.1'de dikdörtgen kesitli betonarme kirişin gösterimi yapılmıştır ve q yayılı yükü temsil etmektedir ve L kiriş uzunluğunu göstermektedir. Bu sayede inşaat mühendisliği problemi olan kiriş çözümünün kiriş üzerine yayılı yük etkiyerek ve hareketli ve sabit mesnet ile bağlandığı gösterildi.



Şekil 4.1: Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kiriş

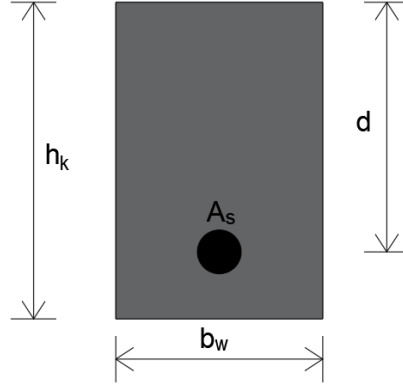
Şekil 4.2'de kirişin görünümü verilerek boyutları, donatı alanı gibi özellikleri gösterilmektedir.

d : faydalı yükseklik

h_k : kiriş yüksekliği

b_w : kiriş genişliği

A_s : Donatı alanı



Şekil 4.2: Betonarme Kiriş Görünümü

Amaç fonksiyonu maliyetin minimum olması durumuna göre oluşturulmuştur ve bu amaç fonksiyonu $Min f(x)$ Denklem (4.1)'de gösterilmektedir. Her harflendirmenin ne anlama geldikleri ve değerleri Tablo 4.1'de gösterilmektedir.

$$Min f(x) = C_c \times V_c + C_s \times W_s + A_k \times (C_k + C_{ki}) \quad (4.1)$$

Bu optimizasyonda Eurocode, TS500 ve ACI 318 yönetmelikleri kullanılarak ayrı algoritmalar yazılmıştır. 3 farklı beton çeşidi kullanılarak her bir yönetmelik için donatı ve beton hesabı tekrarlı şekilde yapılmıştır ve toplam maliyetin optimum değerine ulaşmasıyla birlikte yönetmelikler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Farklı yönetmeliklere ait kiriş tasarımı için gerekli formülasyonlar aşağıda gösterilmektedir.

Eurocode için denklemler aşağıdaki formüllerde gösterilmektedir.

Yükler altında kiriş için k değeri Denklem (4.2) kullanılarak bulunur ve bulunduktan sonra basınç donatısı gerekip gerekmediği kontrolleri yapılır. $k > k_{bal}$ olması durumunda yapı elemanı için basınç donatısı gerekir.

$$k = \frac{M}{f_{ck} \times b \times d^2}, \text{ eğer } k > k_{bal} = 0.167 \text{ ise basınç donatısı gerekir.} \quad (4.2)$$

Donatı alanını bulmak için z değerini (moment kolu) bulmak gerekmektedir. Denklem (4.3) ile z değeri bulunur ve gerekli formüller için kullanılır ve bulunan z değeri $0.95 \times d$ değeri ile sınırlandırılmıştır. Yani $z < 0.95 \times d$ olacak şekilde değerlerin seçilmesi gerekirken, bu tür kontrollerin yapıldığına dikkat edilmelidir.

$$z = d \times \left(0.5 + \sqrt{0.25 - \frac{k}{1.134}} \right) \quad (4.3)$$

Kiriş için gerekli donatı alanı Denklem (4.4)'teki formül ile bulunmaktadır. M kirişe etkiyen moment değerini ifade ederken, z moment kolunu ve f_{yk} ise donatının karakteristik akma dayanımını ifade etmektedir.

$$A_s = \frac{M}{0.87 \times f_{yk} \times z} \quad (4.4)$$

Bulunan donatı alanının (A_s) maksimum ve minimum donatı oranlarının kontrolleri yapılmalıdır. Öncelikle kirişin donatı alanı oranı Denklem (4.5)'teki denklemle bulunacaktır. Bulunan kiriş donatı oranı ile maksimum donatı oranı kontrolü için Denklem (4.6)'da bulunan değer karşılaştırılır ve maksimum donatı oranının 0.04'ten büyük olmaması gerektiğine dikkat edilmelidir. Minimum donatı kontrolü ise Denk 4.7'de ile kontrolü yapılacaktır ve minimum donatı alanının olması gereken en küçük değer %0.13'tür (Denklem 4.8).

Eğer kesit için kullanılan donatı alanı minimum ve maksimum donatı alanını sağlamazsa bu amaç fonksiyonu cezalandırılarak, bu kirişin uygulanabilmesinin yönetmeliğe göre mümkün olmayacağı ve kiriş kesitinin tekrar hesaplanması gerektiği söylenebilir.

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} \quad (4.5)$$

$$\frac{A_s}{b \times h} \leq \rho_{\max} = 0.04 \quad (4.6)$$

$$100 \times \frac{A_s}{b \times d} \geq \rho_{\min} = 26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} (\%) \quad (4.7)$$

$$\rho_{\min} = 26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} (\%) \geq \%0.13 \text{ olmalı} \quad (4.8)$$

TS500 yönetmeliği kullanılması durumunda kiriş tasarımı için gerekli formüller, aşağıdaki denklemler kullanılarak ifade edilmiştir.

Denklem (4.9)'da iki farklı denklem verilmektedir. Bu denklemler beton ve donatı tasarım dayanımlarının bulunması için gerekmektedir. Beton için beton basınç karakteristik dayanımı, 1.5 ile bölünmesi ile f_{cd} olan betonun basınç tasarım dayanımı bulunmaktadır. Donatı için donatı akma karakteristik dayanımı, 1.15'e bölünmesiyle f_{yd} olan donatı akma tasarım dayanımına ulaşılacaktır. Bu tür farklı katsayılarla bölünmesinin en önemli sebebi olarak kullanım ve oluşturulma aşamalarına göre betonun dayanımda azalmaların çeliğe göre daha fazla olmasıdır.

Denklem (4.10) için basınç ve çekme bölgesinde oluşan kuvvetlerin tarafsız eksene göre momentinin alınıp birbirine eşitlenmesi sonucu oluşmaktadır. Denklem (4.11) ise bulunan bu eşitlikte gerilme bloğu derinliği olan a yalnız bırakılıp eşitlikler sağlanması durumunda oluşacaktır.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5}, \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} \quad (4.9)$$

$$F_c = F_s \rightarrow 0.85 \times f_{cd} \times b \times a = A_s \times f_{yd} \quad (4.10)$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \times M}{0.85 \times f_{cd} \times b}} \quad (4.11)$$

Denklem (4.12)'de; kesitin boyutuna, kullanılan beton sınıfına, kullanılan donatı sınıfına ve yapıyı etkileyen yüklere bağlı olarak kirişin donatı alanının hesaplanması yapılır. d faydalı yükseklik olarak bilinirken, a ise basınç bloğu derinliğini ifade etmektedir.

$$A_s = \frac{M}{f_{yd} \times \left(d - \frac{a}{2} \right)} \quad (4.12)$$

Kiriş için bulunan donatı alanına göre kirişin donatı oranı bulunacaktır (Denklem 4.13). Maksimum ve minimum donatı sınır durumlarını karşılayıp karşılamadığı kontrolleri yapılacaktır. Bu kontrollerden olan maksimum kontrol için Denklem (4.15) kullanılırken, minimum donatı alanı kontrolü için Denklem (4.14) kullanılmaktadır. Kontrol sırasında karşılaştırılan değerlerin sağlanmaması durumunda kesit boyutları değiştirilerek tekrar hesaplamalar yapılmalıdır. f_{ctd} Betonun tasarım eksenel çekme dayanımını ifade etmektedir.

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} \quad (4.13)$$

$$\rho_{\min} = 0.8 \times \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (4.14)$$

$$\rho_{\max} = 0.85 \times \rho_b, \quad \rho_{\max} = 0.02, \quad \rho_{\max} = 0.235 \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (4.15)$$

ACI 318 yönetmeliği kiriş tasarımı için gerekli denklemler aşağıdaki formüllerde gösterilmiştir.

$$F_c = F_s \rightarrow 0.85 \times f_{ck} \times b \times a = A_s \times f_{yk} \quad (4.16)$$

TS500 yönetmeliğinde uygulanan formül ile Denklem (4.16) çok fazla benzerlik göstermektedir, ancak ACI 318 standardına göre formülde beton karakteristik basınç dayanımı ve donatı karakteristik akma dayanımı kullanılmalıdır. Denklem (4.17)'de moment kolu değeri bulunurken, kirişin donatı alanı Denklem (4.18) ile bulunacaktır.

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \times M}{0.85 \times f_{ck} \times b}} \quad (4.17)$$

$$A_s = \frac{M}{f_{yk} \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad (4.18)$$

Tasarım için gerekli donatı alanı oranını (Denklem 4.19) bulunmasıyla birlikte, maksimum ve minimum donatı alanı oranlarının sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

Bu oran, maksimum donatı alanı oranını (Denklem 4.20) aşması durumunda, kiriş fonksiyonu cezalandırılır. Ayrıca, bu oran, minimum donatı alanı oranından (Denklem 4.21) küçük ise minimum donatı alanı oranı kiriş donatı alanı oranına eşit olacak şekilde seçilir ve işlemlere devam edilir.

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} \quad (4.19)$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times \frac{f_{ck}}{f_{yk}} \times \frac{600}{600 + f_{yk}} \quad (4.20)$$

$$A_{s, \min 1} = \frac{\sqrt{f_{ck}}}{4 \times f_{yk}} \times b \times d, \quad A_{s, \min 2} = \frac{1.4}{f_{yk}} \times b \times d \quad (4.21)$$

4.1.1. Matematiksel Örnek 1

Tablo 4.1: Tasarım Kısıtları, Sabitleri ve Değişkenleri

Açıklama	Sembol	Birim	Değer
Minimum kesit genişliği	$b_{\min}$	mm	250
Maksimum kesit genişliği	$b_{\max}$	mm	400
Minimum kesit yüksekliği	$h_{\min}$	mm	400
Maksimum kesit yüksekliği	$h_{\max}$	mm	600
Yayılı Yük	q	kN/m	19
Kiriş uzunluğu	L	m	6
Beton basınç dayanımı	f_{ck}	MPa	25, 30, 35
Çelik akma dayanımı	f_{yk}	MPa	420
Çelik özgül ağırlığı	γ_s	t/m ³	7.86
Paspayı	c_c	mm	30

Tablo 4.1 (Devam): Tasarım Kısıtları, Sabitleri ve Değişkenleri

Açıklama	Sembol	Birim	Değer
m ³ beton maliyeti	C _c	TL/m ³	C25/30 - 790 C30/37 - 820 C35/45 - 875
m ³ çelik maliyeti	C _s	TL/ton	14900
m ² kalıp maliyeti	C _k	TL/m ²	104
m ² kalıp işçiliği	C _{ki}	TL/m ²	60

Tablo 4.1’de kesitin boyut değeri aralıkları, yayılı yük değeri, kiriş uzunluğu, maliyet değerleri, beton ve çelik özellikleri gibi probleminin çözümünde gerekli olan değerler verilmiştir. Tasarım değişkenleri; kesitin genişliği 250 mm ile 400 mm olarak belirlenirken, kesitin yüksekliği 400 mm ile 600 mm arasında olacak şekilde belirlenmiştir. Tasarım sabitleri; yayılı yük, kiriş uzunluğu, beton sınıfı fiyatları, donatı sınıfı fiyatı, donatı özgül ağırlığı, çelik akma dayanımı, beton basınç dayanımı, çelik-beton-kalıp maliyet fiyatlarıdır.

Tablo 4.2: Kiriş Tasarımı için Yönetmeliklere göre Kısıt Durumları

Eurocode 2	$g_1 = k < 0.167$ $g_2 = z < 0.95 \cdot d$ $g_3 = \frac{A_s}{b \times h} < 0.04$
TS500	$g_1 = 0 < d - \sqrt{a} < h$ $g_2 = \text{kiriş donatı oranı} < \begin{cases} \rho_{\max} = 0.85 \times \rho_b \\ \rho_{\max} = 0.02 \\ \rho_{\max} = 0.235 \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \end{cases}$
ACI 318	$g_1 = 0 < d - \sqrt{a} < h$ $g_2 = \frac{A_s}{b \times h} < 0.75 \cdot 0.85 \cdot k_1 \cdot (f_{ck}/f_{yk}) \cdot 600 / (600 + f_{yk})$

Tasarım kısıtları ise Tablo 4.2’de farklı yönetmelikler için gösterilmektedir. Buradaki kısıtlar basınç blok derinliğinin sınırlandırılmasına dayalı, maksimum – minimum donatı oranına bağlı olarak düzenlenmektedir.

Kiriş tasarımında; Eurocode, ACI 318 ve TS500 yönetmelikleri kullanılarak minimum maliyetli kesit boyutları bulunmuştur. Farklı beton sınıfları için bu örnek çözülmüştür. Optimizasyon için Matlab programı kullanılarak Jaya algoritması ve TLBO algoritmasına uygun kodlar yazılıp sonuçlar tablolarda gösterilmiştir. C25/30 beton sınıfı için kesit boyutları ve maliyet değerleri Tablo 4.3'te gösterilirken, C30/37 beton sınıfı için kesit boyutları ve maliyet değerleri Tablo 4.4'te gösterilmiştir ve C35/45 beton sınıfı için kesit boyutları ve maliyet değerleri Tablo 4.5'te gösterilmiştir. Yönetmeliklere göre kesit boyutları ve maliyet olarak Eurocode ve TS500 yönetmelikleri kullanıldığında birbirine çok yakın sonuçlar bulunurken, ACI 318 yönetmeliği kullanılması durumunda diğer iki yönetmeliğe kıyasla maliyetlerinin yaklaşık olarak %7.5 - %8.2 kadar daha düşük maliyette olduğu hesaplanmıştır.

Tablo 4.3: C25/30 beton sınıfı için

	Eurocode	TS500	ACI 318
b (mm)	250	250	250
h (mm)	419.2	419.3	400
A_s (mm²)	658.8	658.9	587.1
F(x) (TL)	1024	1024.5	946.55

Tablo 4.4: C30/37 beton sınıfı için

	Eurocode	TS500	ACI 318
b(mm)	250	250	250
h(mm)	406.3	406.5	400
A_s(mm²)	673.6	673.7	580.2
F(x)(TL)	1033	1033.5	958.4

Tablo 4.5: C35/45 beton sınıfı için

	Eurocode	TS500	ACI 318
b(mm)	250	250	250
h(mm)	400	400	400
A_s(mm²)	678.2	678.6	575.5
F(x)(TL)	1057	1058	985.4

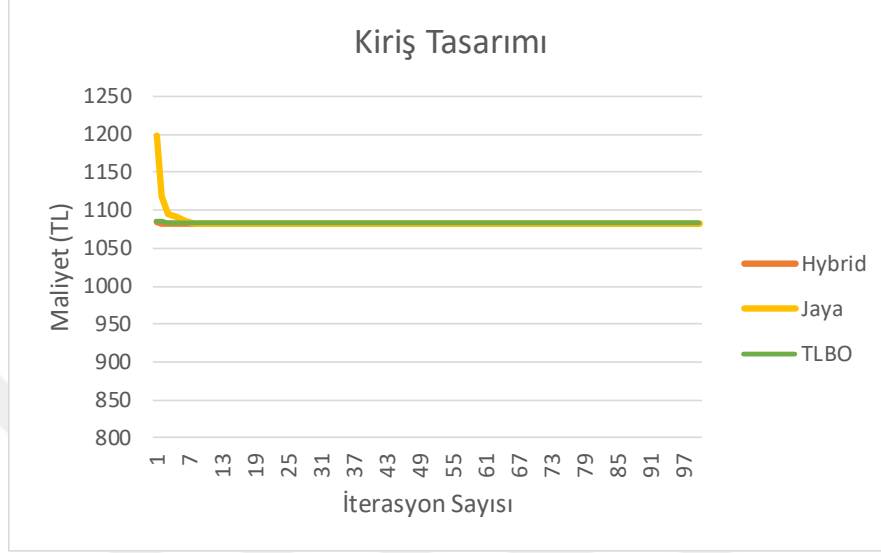
Kiriş tasarımı için yapılan diğer bir örnek ise ACI 318 yönetmeliğine göre kiriş üzerindeki yayılı yük 25 kN/m olacak şekilde C25/30 beton sınıfı kullanılarak 3 farklı algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon, Jaya algoritması ve Hibrid algoritma kullanılarak maliyet optimizasyonu algoritmaları oluşturulup amaç fonksiyonuna yaklaşık olarak kaç iterasyonda ulaştığının karşılaştırması yapılmıştır. Hibrid algoritması, TLBO-Jaya algoritmalarının birleştirilmesi ile oluşturuldu. Kullanılan 3 algoritma ayrı ayrı 10 kez analizi yapıldıktan sonra veriler kaydedilerek ortalama değerleri hesaplanmıştır. Öğrenme-Öğretme Tabanlı Optimizasyon ortalama 41-42 iterasyonda, Jaya algoritması ortalama 45 iterasyonda ve Hibrit algoritma ise yaklaşık 26 iterasyonda amaç fonksiyonuna ulaştığı gözlenilmiştir.

Jaya algoritmasının 1 aşamalı fazı bulunurken, TLBO ve Hibrid algoritmanın 2 aşamalı fazı bulunmaktadır. Bundan dolayı, bu algoritmaların amaç fonksiyonuna ulaşmasında daha iyi sonuçlar almasını sağlamıştır. Tablo 4.6'da 100 iterasyonda 10 farklı çalıştırma için değerler gösterilmektedir. Standart sapma değeri, analizler yapıldıktan sonra ortalama standart sapma hesabı yapılarak tabloya eklendi. Buradan standart sapma değeri en az hibrid algoritma bulunurken en fazla standart sapmaya sahip algoritma 3.14 ile Jaya algoritması olmuştur.

Tablo 4.6: Amaç fonksiyonuna ulaşılan iterasyon sayısı

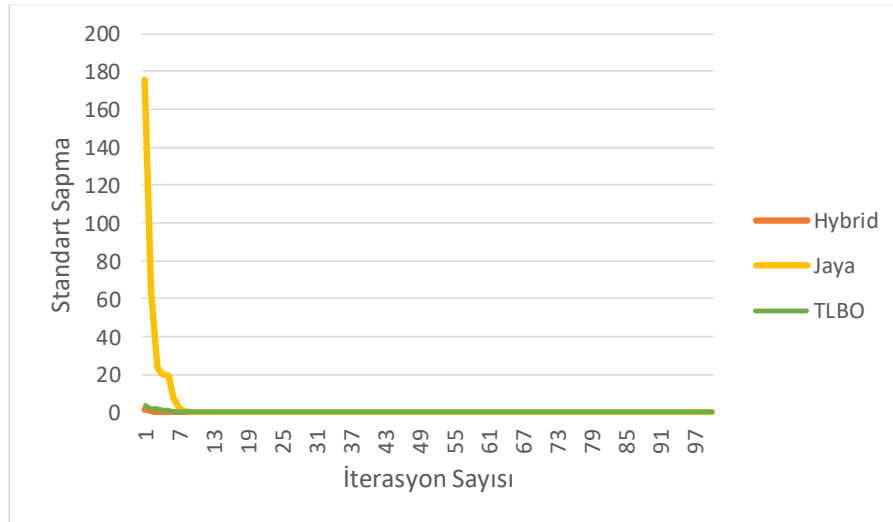
	b	h	Maliyet	Ortalama İterasyon Sayısı	Standart Sapma
Jaya	250	434	1083	45	3.14
TLBO	250	434	1083	41.1	0.11
TLBO-Jaya	250	434	1083	26	0.03

Şekil 4.3'te tasarımın farklı algoritmalar kullanılarak 10 analiz yapıldıktan sonra her algoritma için iterasyondaki ortalama değeri ayrı ayrı göstermektedir. Buradan Hibrit algoritma diğerlerine göre daha az iterasyon sayısında amaç fonksiyonuna ulaştığı görülürken, sonra TLBO ve Jaya algoritmasının amaç fonksiyonuna ulaştığı görülmüştür.



Şekil 4.3: Hibrid-TLBO-Jaya algoritmalarının minimum maliyete ulaştığı iterasyon sayısı karşılaştırılması

Şekil 4.4'te 3 ayrı algoritma için standart sapma değerleri bulunarak grafiği Excel ile çizdirilmiştir. Buradan en verimli olan algoritma en az iterasyon değerinde standart sapması sıfırlanan TLBO-Jaya hibridi olurken, Jaya algoritmasının standart sapmasının sıfırlanması diğer algoritmalarla göre en son gerçekleşmiştir.



Şekil 4.4: Hibrid-TLBO-Jaya algoritmalarının standart sapma karşılaştırması

4.2. ÇERÇEVE YAPILARIN MALİYET OPTİMİZASYONU

Çerçeve yapı sistemleri kolon ve kirişlerin birleşmesi ile oluşan ve döşemedeki ölü ve canlı yüklerin zemine güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayan sistemdir. Bu sistemler genel olarak maliyet açısından uygun olduğundan dolayı tercih edilmektedir ancak deprem bölgelerinde ve bazı zemin sınıflarının bulunduğu bölgelerde tek başına kullanımı çok uygun olmayıp perde duvarlarla desteklenmesi gerekmektedir. Denklem (4. 22)'de eleman iç kuvveti formülü verilmektedir.

$$[P_L]_6 = [K_L]_{6,6} * [\Delta_L]_{6,6} \quad (4.22)$$

Δ_L , elemanda oluşacak yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

K_L , eleman rijitlik matrisini ifade ederken

P_L , eleman iç luvvetlerini ifade etmektedir.

Rijitlik matrisi aşağıda gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

Kuvvet deplasman matrisleri global koordinata dönüştürülerek işlemlere devam edilir (Denklem 4.23, 4.24 ve 4.25).

$$[R]_{6,6} \cdot [P_G]_6 = [K_L]_{6,6} \cdot [R]_{6,6} \cdot [\Delta_G]_6 \quad (4.23)$$

$$[P_G] = [K_G] \cdot [\Delta_G] \quad (4.24)$$

$$[K_G] = [R]^T \cdot [K_L] \cdot [R] \quad (4.25)$$

R dönüşüm matrisini, K_G sistem rijitlik matrisini ifade etmektedir. Çerçeve yapıda kolon ve kirişin tasarımı, üzerine etkiyen yüklere göre tasarlanarak maliyet optimizasyon hesabı yapılmıştır ve kesitlerin boyutları belirlenmiştir. Bununla birlikte, donatı alanı hesabı yapılmıştır. Kesit boyutları belirlendikten sonra dönüşüm matrisleri ile yük ve deplasman bileşenleri, rijitlik bileşenleri farklı koordinat sistemlerine kolaylıkla dönüştürülerek her noktanın iç kuvvetlerine ve yer değiştirme değerlerine ulaşılmıştır.

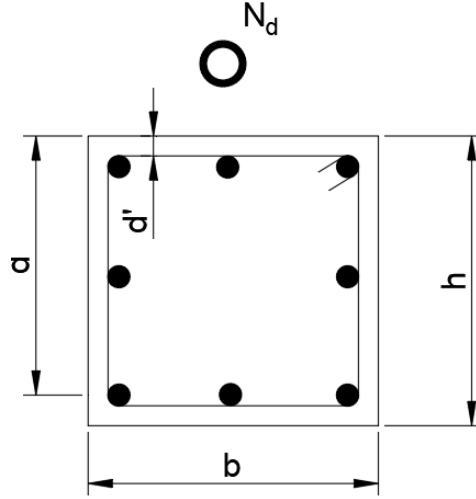
Tablo 4.7: Kolon Tasarımı veriler

Açıklama	Sembol	< > , Birim	Değer
Dikdörtgen kesitli kolon minimum değeri	b	$\geq$	300 mm
Dikdörtgen kesitli kolonun eğilme doğrultusundaki boyutu	h	$\geq$	300 mm
Kenar oranı	h/b	$\leq$	6
Net beton örtüsü	paspayı	$\geq$	25mm (köşe kenar kolonlarda) 20 mm (yapı içi kolonları)
Boyuna donatı	$\emptyset$	$\geq$	14
Kolonda Etriye Aralığı		$\leq$	$\frac{b}{3}$ 100 mm

Tablo 4.7’de çerçeve sistemde kolon tasarımı için gerekli sınır durumları gösterilmiştir.

Kolon hesaplamaları için farklı yöntemler bulunmaktadır. Abak ile çözümleme yapılırken, abak kullanılmadan çözümlemeler de yapılabilmektedir. Bu tasarımda, 2 sınır değeri bulunmaktadır: g_2 sınır değeri maksimum donatı değerinin aşılması durumunda uygulanacaktır. g_1 ise bu örnek için kolonun çekme kırılması yaparak basınç ve çekme donatısının akma durumuna göre tasarım yapılacağından bu sınırı sağlamak zorundadır. Basınç donatısının akmasına göre tasarım yapılmasının sebebi maliyet değerlerinin en aza indirilmesini sağlamak için yapılmış bir durumdur. Bu sayede gerilme değerlerinden maksimum seviyelerde faydalanılarak moment kapasitesinde artışlar gözlenecektir.

Kolon donatı oranı %1 den küçük gelmesi durumunda ya kolon alanında değişiklik yapılacaktır ya da minimum donatı oranına eşitlenip tekrar alan hesabı yapılacaktır.



Şekil 4.5: Kolon Görünümü

Denklem (4.26) ile sistemin dengeli durum için tarafsız eksen mesafesi belirlenir ve Denklem (4.27)'de basınç bloğu derinliği bulunur. Denklem (4.28)'de denge durumu için eksenel basınç kuvveti bulunur ve Denklem (4.29) ile Denklem (4.30) karşılaştırılması yapılır. Bu sayede donatının akıp akmadığı kontrolleri yapılır.

$$c_b = \frac{600}{600 + f_{yd}} \times d \quad (4.26)$$

$$a_b = k_1 \times c_b \quad (4.27)$$

$$N_b = 0.85 \times f_{cd} \times a_b \times b \quad (4.28)$$

$$\psi_c = 0.85 \times \frac{d'}{h} \times \frac{600}{600 - f_{yd}} \quad (4.29)$$

$$\text{Kontrol} = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} \quad (4.30)$$

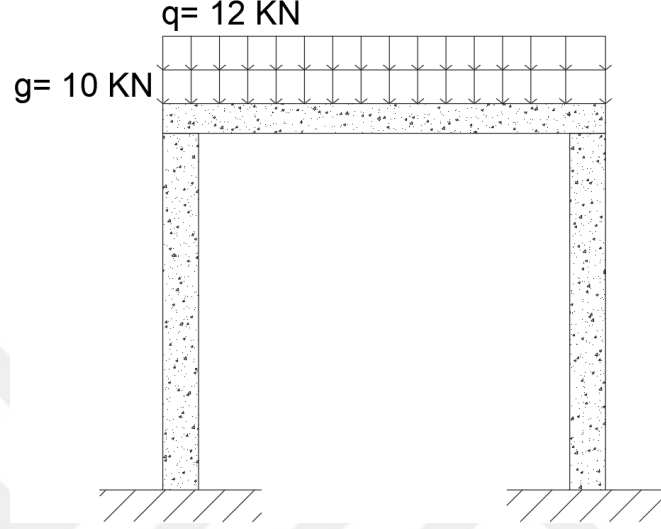
Denklem (4.31) ile basınç bloğu derinliği bulunur ve buradan donatı alanı (Denklem 4.32) hesaplarına geçilir.

$$a = \frac{N_d}{0.85 \times b \times f_{cd}} \quad (4.31)$$

$$A_{st} = 2 \times \frac{M - N_d \times (\frac{h}{2} - \frac{a}{2})}{f_{yd} \times (d - d')} \quad (4.32)$$

4.2.1. Matematiksel Örnek 2

Tablo 4.8’de tasarım için gerekli değerler verilmektedir ve bu tasarımda farklı beton sınıfı kullanılmasıyla birlikte tasarımlar yapılarak maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.6’da çerçeve sistem ve yük dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Çerçeve Sistem

Tablo 4.8: Matematiksel örnek için veriler

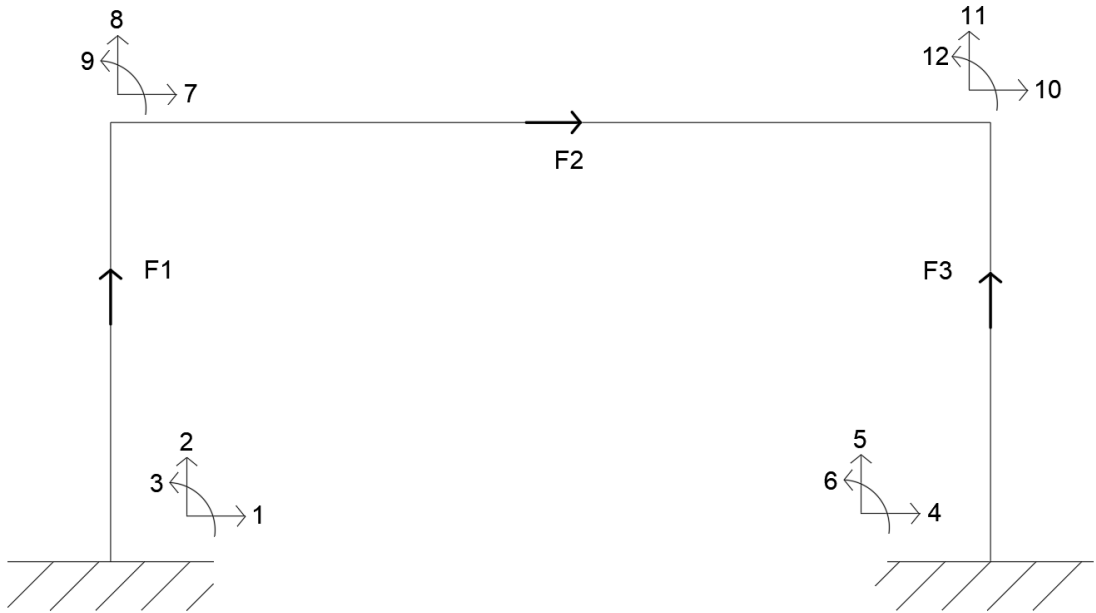
Açıklama	Sembol	Birim	Değer
Kiriş Minimum kesit genişliği	b_{min}	mm	250
Kiriş Maksimum kesit genişliği	b_{maks}	mm	400
Kiriş Minimum kesit yüksekliği	h_{min}	mm	400
Kiriş Maksimum kesit yüksekliği	h_{maks}	mm	600
Kolon Minimum kesit genişliği	b_{kmin}	mm	300
Kolon Maksimum kesit genişliği	b_{kmaks}	mm	600
Kolon Minimum kesit yüksekliği	h_{kmin}	mm	300
Kolon Maksimum kesit yüksekliği	h_{kmaks}	mm	600
Hareketli Yük	q	kN/m	12
Ölü yük	g	kN/m	10
Kiriş uzunluğu	L	m	6
Beton basınç dayanımı	f_{ck}	MPa	25, 30, 35
Çelik akma dayanımı	f_{yk}	MPa	420
Çelik özgül ağırlığı	γ_s	t/m ³	7.86
Paspayı	c_c	mm	30
m ³ beton maliyeti	C_c	TL/m ³	C25/30 - 790
			C30/37 - 820
			C35/45 - 875
m ³ çelik maliyeti	C_s	TL/ton	14900

Tablo 4.8 (Devam): Matematiksel örnek için veriler

Açıklama	Sembol	Birim	Değer
m ² kalıp maliyeti	C _k	TL/m ²	104
m ² kalıp işçiliği	C _{ki}	TL/m ²	60
Eksenel Yük	Nd	kN	300
Kolonda Etriye	Ø		8

$$P_d = 1.4 \cdot g + 1.6 \cdot q = 1.4 \cdot 10 + 1.6 \cdot 12 = 33.2 \text{ kN/m}$$

Bölüm 4.5'te ise matris deplasman yöntemine göre her noktanın pozitif yön durumlarının gösterimi yapılmıştır. Bu sistem için Şekil 4.7'de çerçeve yapının pozitif yön gösterimi ve numaralandırılması gösterilmektedir. En elverişsiz yükleme durumu göz önüne alınarak tasarım kuvveti bulunur ve moment hesaplanır. Buradan tasarım için moment hesaplamalarında kullanılacak yük değerine ulaşılmıştır. Verilen değerler sonucunda tasarım momenti hesabı yapıldığında açıklık momenti $M = 4.98 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$ olarak, ek olarak mesnet momentleri ise $9.96 \cdot 10^7 \text{ Nmm}$ olarak bulunmuştur. Buradan kiriş tasarımı için açıklık momentine göre kesit boyutları atamaları yapılarak donatı hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Kolon boyutlandırması ve donatı hesaplamaları için mesnetlerde oluşacak moment değerlerine göre hesaplar yapılmıştır ve böylece matris deplasman yönteminde kullanılacak moment değerleri hesaplanmıştır.

**Şekil 4.7:** Çerçeve yapı numaralandırma ve yön gösterimi

Tablo 4.9: Sınır değerleri

	$g_1 = \Psi < \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}}$
TS500	$g_2 = 0.04$

Tablo 4.9’da; g_1 kısıtı kesme kuvvetiyle kıyaslandığı zaman basınç ve çekme donatısının akma durumuna göre tasarlanabilmesi için bu şekilde bir eşitlik yapılarak işlemlere devam edilmiştir. Bu durumun sağlanmaması durumunda amaç fonksiyonu büyük değere eşitlenerek cezalandırılacaktır. g_2 kısıt durumunda maksimum donatı durumu kontrolleri yapılır ve kolon donatı oranı olması gereken maksimum donatı oranından büyük olması durumunda amaç fonksiyonu cezalandırılır. Kolon donatı alanı oranı, minimum donatı alanı oranının altında bir donatıya sahip olması durumunda ise minimum donatı alanı oranına eşitlenerek tekrar alan hesabı yapıp işlemlere devam edilir.

Kiriş tasarımında ise 4.1.1 başlık altında verilen örneklerle benzer işlemler gerçekleştirilmiştir. Ancak bazı farklı hesaplamalar (Moment hesabı) bulunduğundan bunlar sistemde ve optimizasyonda gerçekleştirilmiştir. Kiriş, iki kolona bağlandığından dolayı donatı hesabı açıklık ve mesnetlerde farklı olacak şekilde yapılmalıdır. Mesnetlerde kiriş boyunun 1/4’ü olacak şekilde ve açıklık için 2/4’lük bir bölgeye de açıklık donatı hesabından bulunan donatı yerleştirilmiştir. Mesnetlerde moment $P_d \cdot L^2/12$ iken, açıklıkta moment değeri $P_d \cdot L^2/24$ olarak bulunmaktadır. Buradan P_d , en verimsiz durum için tasarım kuvvetlerinin hesaplandığı eşitliktir. Ayrıca kolon ve kirişte kullanılması gereken etriyelerin donatı alanı hesabı yapılarak toplam maliyete eklenmiştir.

Tablo 4.10: Çerçeve Sistem Maliyet değerleri

Açıklama	Kiriş			Kolon			Maliyet
	b(mm)	h(mm)	$A_s(mm^2)$	b(mm)	h(mm)	$A_s(mm^2)$	
C25/30	250	400	834	327.17	342.75	1214.5	3290
C30/37	250	400	814	300	350.7	1052	3232
C35/45	250	404.6	789.3	300	348.2	1044.5	3284.6

Tablo 4.10’da farklı beton sınıflarının kullanılması durumunda çerçeve sistem elemanlarının kesit boyutlarının değerleri ve sınır durumları sağlanacak şekilde alan hesaplamaları gerçekleştirilerek her bir beton sınıfı için maliyet optimizasyonu yapıp amaç fonksiyonuna ulaşılmıştır. Buradan her beton sınıfı için kiriş kesit değerleri yaklaşık 250 mm ve 400 mm bulunurken, kolon kesit değerleri 300-350mm aralıklarında değerler aldığı görülmektedir. Farklı beton sınıflarının maliyet değerleri bulunurken, donatı fiyatı ton bazlı aynı fiyat olarak alındı. Yani donatının oluşturduğu maliyet, sistemde kullanılması gerekli olan donatı alanına bağlı olarak değişmektedir. Buradan beton sınıfı C25/30 olan tasarımın diğer beton sınıfı tasarımlarına göre daha pahalı olduğuna ve C30/37 beton sınıfı kullanılması durumunda, C25/30 kesit boyutlarıyla aynı olduğu görülmüştür. C25/30 ile C30/37 beton sınıfı tasarım maliyetleri arasında yaklaşık %2’lik bir maliyet farkı bulunmasına rağmen, C35/45 ile arasında çok fazla maliyet farkı bulunmamaktadır.

Matris deplasman yöntemi ile sistemin iç kuvvetleri ve deplasman değerleri bulunmaktadır ve bu yöntemin adımları aşağıda verilmiştir.

- Global eksen rijitlik matrisi her bir eleman için lokal eksene çevrilir.
- Dönüşüm matrisi her bir eleman için oluşturulur.
- Her bir eleman için global eksen rijitlik matrisi bulunur.
- Tüm elemanlar için bulunan global eksen rijitlik matrisleri süperpoze edilerek sistemin rijitlik matrisi oluşturulur.
- Sisteme etki eden yükler kullanılarak her bir nokta için yer değiştirme hesapları tamamlanır.
- Bulunan deplasman değerlerine göre her bir noktanın iç kuvvetleri bulunur.

Şekil 4.7’de çerçeve sisteminin elemanları F ile harflendirilerek gösterilmiştir. Bu elemanların iç kuvvetlerinin değerleri ve deplasman değerleri Tablo 11, 12 ve 13’te gösterilmektedir. Her bir çubuk için oluşan kuvvetler farklılık gösterebilirken deplasman değerlerinde de farklılıklar görülebilmektedir. Bu tabloların açıklama olarak adlandırılan satırda, iç kuvvet ve yer değiştirme durumların bilgisi verilirken; sütunda ise eleman serbestliklerinin bilgisi verilmektedir.

Tablo 4.11: F1 çubuğu için iç kuvvet ve deplasman değerleri

Açıklama	1 (kN)	2 (kN)	3 (kNm)	7 (kN)	8 (kN)	9 (kNm)
$[P_L]_{F1}$ (İç Kuvvet)	-99.6	33,19	33.04	99.6	-33.19	66.53
$[\Delta_L]_{F1}$ (Deplasman)	0	0	0	$1.66 \cdot 10^{-4}$	$4.98 \cdot 10^{-5}$	0.0037

Tablo 4.12: F2 çubuğu için iç kuvvet ve deplasman değerleri

Açıklama	4 (kN)	5 (kN)	6 (kNm)	10 (kN)	11 (kN)	12 (kNm)
$[P_L]_{F1}$ (İç Kuvvet)	-99.6	-33.19	-33.04	99.6	33.19	-66.53
$[\Delta_L]_{F1}$ (Deplasman)	0	0	0	$1.66 \cdot 10^{-4}$	$-4.98 \cdot 10^{-5}$	-0.0037

Tablo 4.13: F3 çubuğu için iç kuvvet ve deplasman değerleri

Açıklama	7 (kN)	8 (kN)	9 (kNm)	10 (kN)	11 (kN)	12 (kNm)
$[P_L]_{F1}$ (İç Kuvvet)	-33.19	$2.6 \cdot 10^{-15}$	33.07	33.19	$-2.6 \cdot 10^{-15}$	-33.07
$[\Delta_L]_{F1}$ (Deplasman)	$-4.98 \cdot 10^{-5}$	$1.66 \cdot 10^{-4}$	0.0037	$4.98 \cdot 10^{-5}$	$1.66 \cdot 10^{-4}$	-0.0037

Tablo 11, 12 ve 13'te her çubuk için yer değiştirmeler ve iç kuvvet değerleri bulunarak gösterilmiştir. Bu tablolardan çerçeve sistemler için tutulu olan numaralandırmalar (1, 2, 3, 4, 5, 6) için yer değiştirmeler sıfır olarak bulunurken, tutulu olmayan (7, 8, 9, 10, 11, 12) düğüm noktalarında yer değiştirmeler oluşacak ve bu yer değiştirmeler iki nokta içinde aynı değerleri alacaktır.

4.3. BETONARME İSTİNAT DUVARI MALİYET OPTİMİZASYONU

Kot farkı olan eğimli arazilerde (yol düzenlemeleri, yamaç yol yapımı vb.), zemin sınıfı iyi olmayan ve kayma riski olan durumlarda zeminin tutulmasını sağlar bunun yanı sıra derin kazı

$$\text{Devrilmeye karşı güvenlik durumu : } FS_{devrilme} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} \quad (4.33)$$

Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı 2 değerini alırken deprem yükleri altında güvenlik değeri en az 1.3 olmalıdır.

Öteleme kuvveti minimum 1.5 güvenlik durumunu sağlamalıdır.

$$FS_{kayma} = \frac{(\sum v)tg\varphi_2 + bc_a + P_p}{P_a \cos\alpha} \quad (4.34)$$

Taşıma gücü hesaplarında istinat duvarının simetri eksenine göre eksantriste değeri bulunur (Denklem 4.35 ve 4.36). Bu değer bulunduktan sonra taşıma kapasitesi değerine ulaşılır.

$$e = \frac{B}{2} - x' \quad (4.35)$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V} \leq \frac{B}{6} \quad (4.36)$$

$$q_{max,min} = \frac{\sum v}{\sum B} \times (1 \pm \frac{6e}{B}) \quad (4.37)$$

q değerinin maksimum ve minimum değerleri Denklem (4.37) ile bulunur.

K_a aktif durumundaki toprak basıncı katsayısı, K_p pasif durumundaki toprak basıncı katsayısı olarak tanımlanır. Bu değerler bulunarak istinat duvarı için gerekli hesaplamalar ve kontroller yapılır. Denklem (4.40) ve Denklem (4.41) ile istinat duvarın kuvvet değerlerine ulaşılır.

$$K_p = \tan^2(45 - \frac{\phi'}{2}) \quad (4.38)$$

$$K_a = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\theta}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\theta}} \quad (4.39)$$

ϕ' : Sürtünme açısı

H: İstinat duvarı yüksekliği

γ : Zemin özgül ağırlığı

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (4.40)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H_p^2 K_p \quad (4.41)$$

4.3.1. Matematiksel Örnek 3

İstinat duvarları tasarımında minimum paspayı değeri 40 mm olmalıdır ve Tablo 4.14'te istinat duvarı için gerekli sabit ve değişken değerleri gösterilmektedir. TS500 için geçerli sınır

değerleri kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Değişkenlerin maksimum ve minimum değerleri ve sistemin çözülmesi gereken bilgiler Tablo 4.14'te gösterilmektedir. Buna ek olarak B2 değeri ise 1.5-4 metre değerleri aralığında olacak şekilde belirlendi.

Tablo 4.14: İstinat duvarı tasarım sabitleri ve değişkenleri

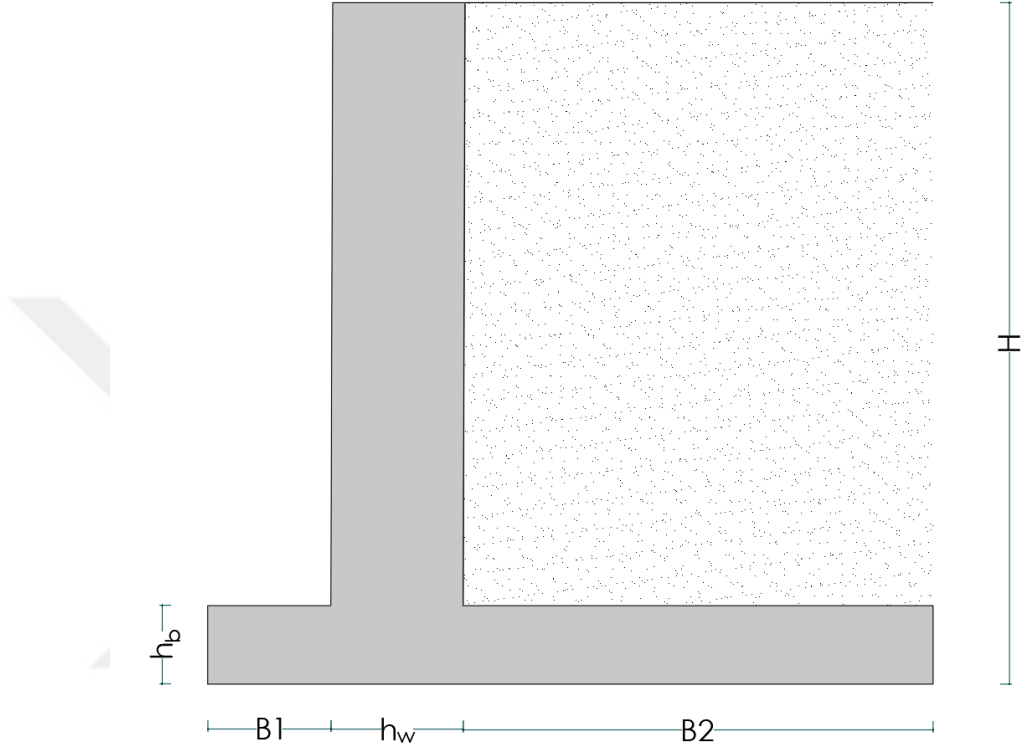
Açıklama	Sembol	Birim	Değer
Maksimum duvar kalınlığı	h_{wmin}	mm	300
Minimum duvar kalınlığı	h_{wmaks}	mm	600
Maksimum taban plak kalınlığı	h_{bmin}	mm	300
Minimum taban plak kalınlığı	h_{bmaks}	mm	600
Duvar arkası zemin ağırlığı	γ_s	kN/m ³	18
Sürüşarj Yüğü	q	kN/m	10
Duvar arkası zemin taşıma kapasitesi	q_u	kPa	300
Zemin içsel sürtünme açısı	ϕ_R	°	30
Beton basınç dayanımı	f_{ck}	MPa	25
Çelik akma dayanımı	f_{yk}	MPa	420
Çelik özgül ağırlığı	γ_s	t/m ³	7.86
Paspayı	c_c	mm	50
m ³ beton maliyeti	C_c	TL/m ³	790
m ³ çelik maliyeti	C_s	TL/ton	14900
m ² kalıp maliyeti	C_k	TL/m ²	104
m ² kalıp işçiliğı	C_{ki}	TL/m ²	60

İstinat duvarı hesaplamalarında devrilme kontrolü, kayma kontrolü ve zemin emniyet gerilmesi kontrolü yapılması gerekmektedir. Kontroller belirli katsayılardan fazla olmalıdır bu katsayılar Tablo 4.15'te gösterilmektedir. Ayrıca sistem için hesaplanan maksimum gerilme kuvvetinin, zemin emniyet gerilmesinden küçük olması ve minimum gerilme kuvvetinin ise 0'dan büyük olması gerekmektedir. Minimum gerilmenin 0'dan küçük olması ekstra hesaplamalar gerektirecektir.

Tablo 4.15: İstinat duvarı güvenlik kontrol katsayısı

Açıklama	Değer
Devrilme güvenlik kontrolü katsayısı	2
Kayma güvenlik kontrolü katsayısı	2
Zemin emniyet gerilme katsayısı	1

İstinat duvarı maliyet optimizasyonu için gerekli algoritmalar Jaya, TLBO ve Hibrid (TLBO-Jaya) algoritmalarını kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda tasarım için belirlenmiş olan sınır değerlerine göre değişkenlerin kesit değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 4.10'da istinat duvarı boyutlandırılması için isimlendirmeler gösterilmektedir.



Şekil 4.10: İstinat duvarı boyut gösterimi

Şekildeki adlandırmalar algoritmaların oluşturulmasında kolaylık sağlayarak işlemlerin ve formüllerin daha efektif şekilde kullanılmasını sağlamaktadır.

Tablo 4.16: İstinat duvarı maliyet optimizasyonu sonuçları

Açıklama	Birim	Değer
h_b	m	0.313
h_w	m	0.317
B2	m	3.21
B	m	3.53
Konsol ve Taban plak donatı alanı	mm ²	6300
Maliyet	TL	5691

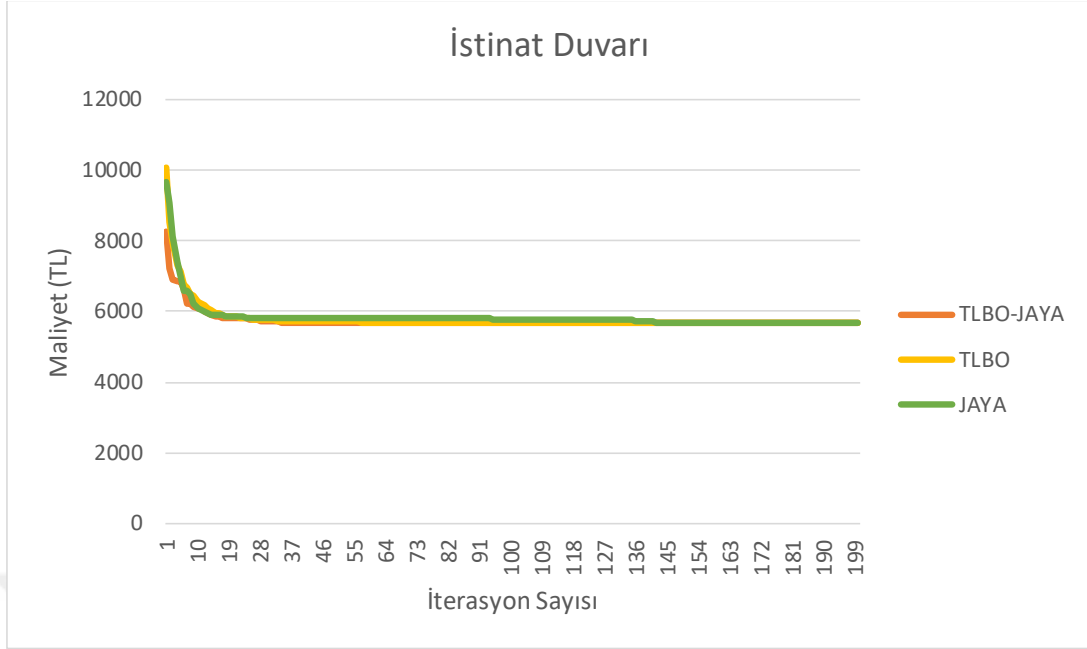
Kesit boyutları, maliyet ve kullanılması gereken donatı alanı Tablo 4.16’da gösterilmektedir. Malzeme maliyetlerinin Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayımlanan fiyat listelerine göre düzenlenmiştir. Tasarımda C25/30 dayanımlı beton kullanılarak gerekli donatı alanı hesaplamalarından sonra maliyet hesabı yapılmıştır. İstinat duvarı için maliyet 5691 TL/m olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.17’de istinat duvarı tasarımı için gerekli olan sınır durumları ve optimizasyonda oluşan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buradan güvenlik kontrolleri için kullanılan devrilme, kayma ve zemin emniyet gerilme kontrolü, sınır değerlerinden büyük gelmesi gerekir. Tabloda görüldüğü üzere her bir sonuç büyük değer olarak bulunmuştur. Maksimum kapasite, zemin taşıma kapasitenden küçük olmalı, buna ek olarak minimum kapasite 0’dan büyük olmalıdır. Donatı kontrollerinde ise minimum donatı oranı 0.01’den büyük olması gerekirken, maksimum donatı oranı 0.04’ten küçük olmak zorundadır.

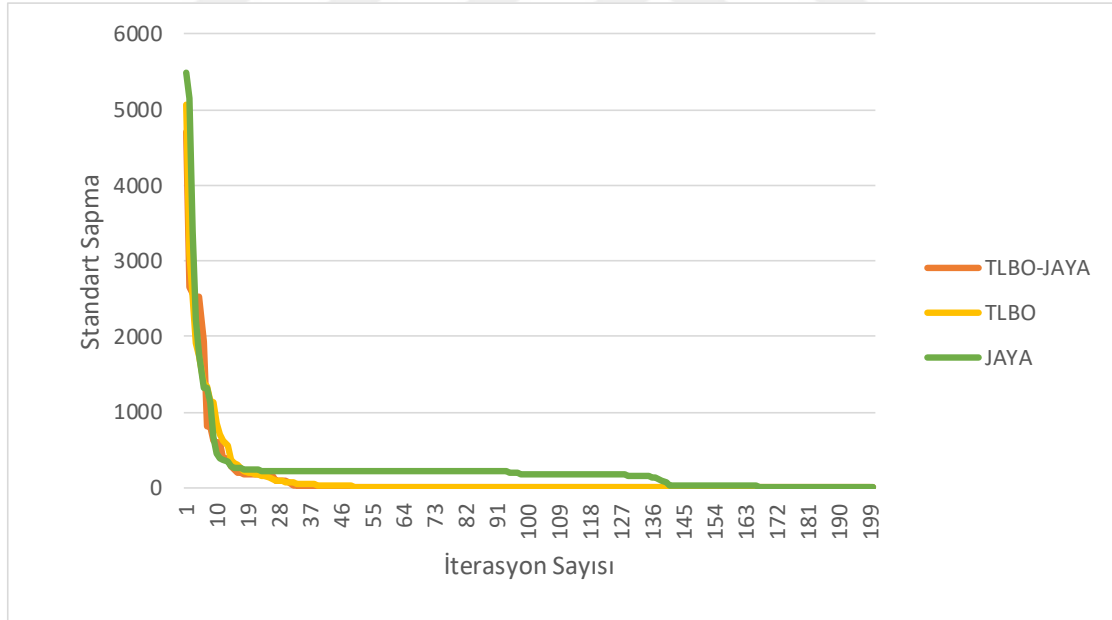
Tablo 4.17: İstinat duvarı kontrol sonuçları

Açıklama	Tasarım Değerleri ($\leq, \geq$)		Optimizasyon sonucu
Devrilme Kontrolü	2	$\leq$	2.71
Kayma Kontrolü	2	$\leq$	2.028
Zemin emniyet gerilmesi kontrolü	1	$\leq$	1.13
q_u kontrolü	300	$\geq$	265.75
q_{min} kontrolü	0	$\leq$	5.7×10^{-14}
Minimum donatı oranı	0.01	$\geq$	0.01
Maksimum donatı oranı	0.04	$\leq$	0.01

Şekil 4.11’de istinat duvarı tasarımı için 3 farklı algoritma kullanılarak 10 kez analizler gerçekleştirilmiştir ve nihai maliyet değerleri hepsi için aynı gelirken, bu maliyet değerine en az iterasyonda yaklaşan hibrid algoritma, sonra Jaya ve TLBO daha sonra ise FPA algoritması olmuştur. Toplam maliyet ise her birinde 5691 TL olarak bulunmuştur.



Şekil 4.11: Hibrid-TLBO-Jaya algoritmalarının minimum maliyete ulaştığı iterasyon sayısı karşılaştırılması



Şekil 4.12: Hibrid-TLBO-Jaya algoritmalarının standart sapma karşılaştırması

Şekil 4.12’de Jaya, TLBO ve Hibrid algoritmaları için 10 kez ayrı ayrı analizler gerçekleştirilip kaydedilmiştir. 200 iterasyon için kaydedilen 10 farklı analiz sonuçlarının ortalaması alındıktan sonra optimum maliyet değerine göre standart sapma değeri bulunmuştur. Standart sapma değerleri Hibrid algoritma kullanılması durumunda çok az iterasyonda sıfırlandığı görülürken, Jaya algoritması kullanılması durumunda ise diğer kullanılan algoritmalara göre standart sapma

değeri en son sıfıra yaklaşan algoritma olmuştur. Bu grafikte belirli iterasyondan sonra birbirleriyle çok yakın değerler aldığı gözlemlense de Tablo 4.18’de daha açıklayıcı şekilde verilmektedir.

Tablo 4.18: İstinat Duvarı Optimizasyon Sonuçları

Açıklama	$h_b(m)$	$h_w(m)$	$B_2(m)$	$B(m)$	İterasyon Sayısı	Standart Sapma Ortalaması	Maliyet(TL)
JAYA	0.317	0.313	3.21	3.53	268	99.5	5691
TLBO	0.317	0.313	3.21	3.53	414	52.2	5691
FPA	0.317	0.313	3.21	3.53	500+	73.2	5691
TLBO-JAYA(Hibrid)	0.317	0.313	3.21	3.53	215	48.27	5691

Tablo 4.18’de istinat duvarı kesit boyutları ve maliyet değeri her algoritma için bulunarak aynı değerlere sahip olduğu görülmektedir. Ancak bu sonuçları ulaşmak için belli iterasyon sayısına ihtiyaç duyulmaktadır. Her algoritma 10 kez analiz yapılmıştır ve bu 10 iterasyonun ortalaması alınarak yaklaşık kaç iterasyonda amaç fonksiyonuna ulaşıldığı gösterilmiştir. Jaya algoritması 10 kez analiz yapıldığında; 291, 390, 387, 208, 206, 242, 224, 194, 209, 327. iterasyon değerinde amaç fonksiyonuna ulaşmıştır. TLBO 10 kez analiz edildiğinde; 403, 427, 394, 441, 472, 428, 415, 393, 375, 386. itersayonda amaç fonksiyonuna ulaştı ve TLBO-Jaya hibrid algoritma için ise; 194, 238, 234, 229, 203, 207, 203, 201, 218, 219. iterasyonda amaç fonksiyonuna ulaşmıştır. FPA ise 250-300 iterasyonda amaç fonksiyonuna çok yakınsadığı ancak tam anlamıyla amaç fonksiyonu değerine 500 iterasyondan fazla iterasyonda ulaştığı gözlenmiştir. 500 iterasyon için standart sapmalarının toplamının ortalaması alınması durumunda algoritmalar hakkında daha iyi yorumlamalar yapılacağından bu iterasyon değeri seçilmiştir. En küçük standart sapma değeri Hibrid algoritma olurken, daha sonra sırasıyla TLBO, FPA ve Jaya algoritması en küçük standart sapma değerine sahip olmuştur. Bu da Jaya algoritmasının az iterasyonda amaç fonksiyonuna ulaşmasına rağmen TLBO, FPA ve Hibrid algoritmalar kadar amaç fonksiyonuna hızlı yakınsamadığı söylenebilmektedir.

4.4. TMD SİSTEM OPTİMİZASYONU

Pasif ayarlı kütle sönümleyici sistemleri, FEMA [101] kayıtları olan 44 farklı deprem kaydı kullanılarak tek serbestlik dereceli (TSD) sistem olarak incelenmiştir ve Matlab programı

kullanılarak zaman tanım alanına göre oluşturulan algoritmalarından sonuçlar alınmıştır. Analiz için gerekli denklemlerden olan doğal açısal frekans Denklem (4.42)'de, TMD rijitlik hesabı Denklem (4.43)'de ve sönüm oranı Denklem (4.44) ile hesaplanmaktadır.

$$w_s = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.42)$$

$$k_d = m_d \times w_{d,opt}^2 \quad (4.43)$$

$$C_d = C_r \times 2 \times m_d \times w_{d,opt} \quad (4.44)$$

Kullanılan tasarım değişkenleri periyot ve sönüm oranı olacak şekilde yazılmış olup TMD periyodu, yapının periyodunun 0.5 ile 1.5 arasında olacak şekilde rastgele değerler atanması sonucu oluşacak değerlerdir. Sönüm oranı ise %0.1 ile %5 arasında olacak şekilde rassal sayıların atandığı değerdir. Algoritma için yazılan kısıt değerlerinde amaç fonksiyonu cezalandırılarak o değerlerin elenmesi sağlanır. Bu değişkenlere bağlı olarak yapının deprem kaydı hareketlerine göre optimizasyonu gerçekleştirilir. TMD sisteminin kütlesi yapının kütlesinin %5' i olacak şekilde kabul edilerek tasarıma dâhil edilir. Bu şekilde algoritmada yazılan işlemler zaman tanım alanına göre gerçekleştirilerek rastgele atanan periyot ve sönüm oranı için en optimize değerlere ulaşılmıştır.

4.4.1. Matematiksel Örnek 4

Tablo 4.19'da problem için gerekli olan yapı kütlesi, yapı sönüm değeri ve yapı rijitlik değeri verilmiştir.

Tablo 4.19: Yapı Özellikleri

Sembol	Değer	Birim
m	2924	Kg
c	1581	Ns/m
k	1390000	N/m

Tablo 4.20'de TMD sistem için sönüm oranı ile periyot değerlerinin maksimum ve minimum aralıkları gösterilmesinin yanı sıra sistem için gerekli değerler gösterilmiştir.

Tablo 4.20: TMD Tasarım Özellikleri ve Kısıtları

Açıklama	Değer
TMD kütlesi	%5 (Yapı Kütlesinin)
TMD Maks. Sönüm Oranı	0.5
TMD Min. Sönüm Oranı	0.01
Maks. TMD periyodu	1.5* (Yapı Periyodu)
Min. TMD periyodu	0.5* (Yapı Periyodu)
Deformasyon Kapasitesi	$g(X) = \frac{\max(x_d - x_N)_{TMDli}}{ x_N _{TMDsiz}} \leq st_max$

Oluşturulan algoritmalar, belirlenen sınır durumları gibi sistem tasarımını etkileyecek durumlar amaç fonksiyonuna göre belirlenmektedir. Birçok farklı şekilde amaç fonksiyonu belirlenerek cezalandırma durumları gerçekleştirilebilir.

Öncelikle yapı için verilmiş olan kütle, rijitlik ve sönüm oranı değerlerine göre açısal frekans ile periyot değerleri bulunarak işlemlere devam edilmiştir.

$$w_s = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1390000}{2924}} = 21.8 \text{ rad / s}$$

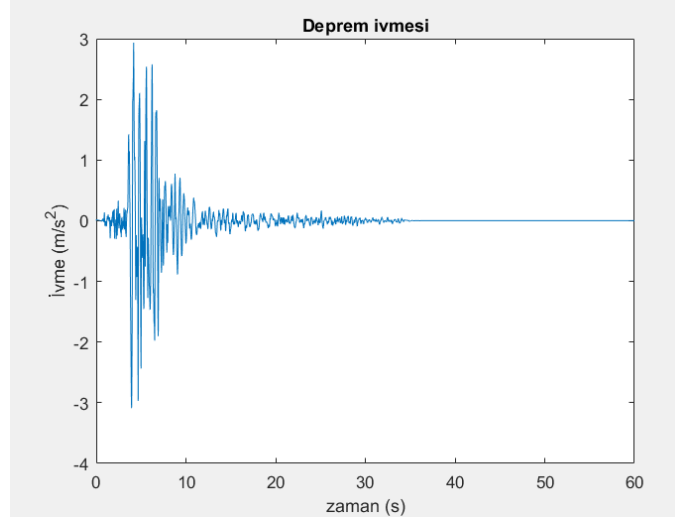
$$T = \frac{2\pi}{w_s} = \frac{2\pi}{21.8} = 0.288 \text{ s}$$

Tablo 4.21’de örnek yapı için FEMA deprem verileri olan 44 deprem kaydının; deprem yılı, bileşenleri ve kaydedilen hareketlerin bilgileri gösterilmiştir. Bu depremler ve büyüklükleri TMD sistem için gerekli periyot ve sönüm oranı için kullanılmıştır. Algoritmalar, yapıyı olumsuz şekilde etkileyebilecek deprem kaydını seçerek tasarımları ona göre gerçekleştirmektedir.

Tablo 4.21: FEMA Deprem Kayıtları ve Özellikleri

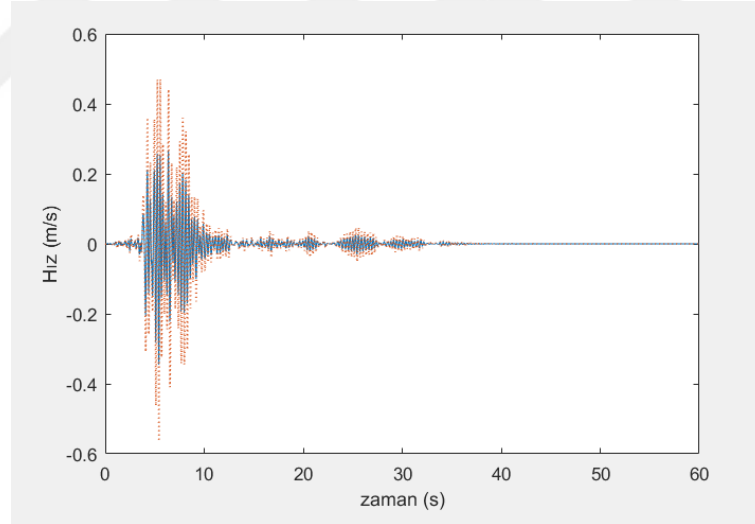
Deprem No	Yıl	Deprem Konumu	Kayıt Bilgileri		Kaydedilen Hareketler	
			Bileşen-1	Bileşen-2	PGA _{max} (g)	PGV _{max} (cm/s)
1	1994	Northridge	NORTHR/MUL009	NORTHR/MUL279	0.52	63
2	1994	Northridge	NORTHR/LOS000	NORTHR/LOS270	0.48	45
3	1999	Duzce, Turkey	DUZCE/BOL000	DUZCE/BOL090	0.82	62
4	1999	Hector Mine	HECTOR/HEC000	HECTOR/HEC090	0.34	42
5	1979	Imperial Valley	IMPVALL/H-DLT262	IMPVALL/H-DLT352	0.35	33
6	1979	Imperial Valley	IMPVALL/H-E11140	IMPVALL/H-E11230	0.38	42
7	1995	Kobe, Japan	KOBE/NIS000	KOBE/NIS090	0.51	37
8	1995	Kobe, Japan	KOBE/SHI000	KOBE/SHI090	0.24	38
9	1999	Kocaeli, Turkey	KOCAELI/DZC180	KOCAELI/DZC270	0.36	59
10	1999	Kocaeli, Turkey	KOCAELI/ARC000	KOCAELI/ARC090	0.22	40
11	1992	Landers	LANDERS/YER270	LANDERS/YER360	0.24	52
12	1992	Landers	LANDERS/CLW-LN	LANDERS/CLW-TR	0.42	42
13	1989	Loma Prieta	LOMAP/CAP000	LOMAP/CAP090	0.53	35
14	1989	Loma Prieta	LOMAP/G03000	LOMAP/G03090	0.56	45
15	1990	Manjil, Iran	MANJIL/ABBAR--L	MANJIL/ABBAR--T	0.51	54
16	1987	Superstition Hills	SUPERST/B-ICC000	SUPERST/B-ICC090	0.36	46
17	1987	Superstition Hills	SUPERST/B-POE270	SUPERST/B-POE360	0.45	36
18	1992	Cape Mendocino	CAPEMEND/RIO270	CAPEMEND/RIO360	0.55	44
19	1999	Chi-Chi, Taiwan	CHICHI/CHY101-E	CHICHI/CHY101-N	0.44	115
20	1999	Chi-Chi, Taiwan	CHICHI/TCU045-E	CHICHI/TCU045-N	0.51	39
21	1971	San Fernando	SFERN/PEL090	SFERN/PEL180	0.21	19
22	1976	Friuli, Italy	FRIULI/A-TMZ000	FRIULI/A-TMZ270	0.35	31

Yapıyı etkileyen deprem kuvvetlerinin zamana bağlı ivme değerleri Şekil 4.13'te gösterilmektedir. Hız zaman grafiğinde (Şekil 4.14) kırmızı renkte olan grafik yapının TMD'siz halinde etki eden hız değerlerini göstermekteyken, mavi renkli grafik; yapıya eklenen TMD sistem durumunda oluşacak hız değerlerini göstermektedir. Aşağıda gösterilen grafikler 100 iterasyon için alınan değer durumlarıdır.



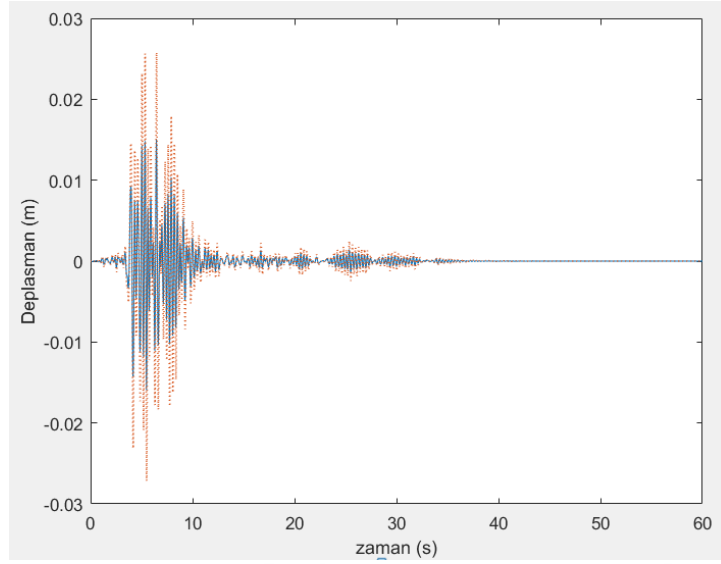
Şekil 4.13: FEMA zamana bağlı deprem ivme verileri (Imperial Valley-5. Deprem kaydı)

Şekil 4.14'te yapının zamana bağlı hız zaman grafiği TMD sistemi kullanıldıktan sonra ve kullanılmadan önceki değerlerini göstermektedir. Buradan pasif kontrol sisteminin kullanılması durumunda yapının hız-zaman değerlerinde önemli derecede azalmalar gözlenecektir.



Şekil 4.14: Hız zaman grafiği

Şekil 4.15'te yapıda deprem yükleri altında zamana bağlı oluşan yer değiştirmeler gösterilmiştir. Kırmızı renkte olan grafik TMD'siz sistem, mavi renkte olan sistem ise TMD'li sistemi göstermektedir. Maksimum deplasman değeri 5. Deprem kaydında hesaplanmasıyla birlikte, kontrol sistemi hesabı için bu deprem kaydı kullanılmıştır. Böylece, oluşabilecek en verimsiz koşullarda dahi yapı hasar almayacak şekilde tasarlanmış olacaktır.



Şekil 4.15: Deplasman-zaman grafiği

Tablo 4.22’de sönümlü yapının ve sönümsüz yapının farklı iterasyon durumlarına göre minimum deplasman değerine ulaşmak için gerekli TMD sistemin periyot ve sönüm oranı değeri gösterilmiştir. 1000 iterasyon için maksimum yer değiştirme 0.0478 m olarak hesaplanırken, 100 iterasyon için maksimum yer değiştirme 0.0442 m olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.22: TMD’li ve TMD’siz sistem için periyot ve sönüm oranı değerleri

Açıklama	Periyot	Sönüm Oranı
TMD’siz sistem	0.288s	-
100 iterasyon için TMD’li sistem	0.379s	0.45
1000 iterasyon için TMD’li sistem	0.367s	0.32

5. TARTIŞMA

5.1. DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME KİRİŞ OPTİMİZASYONU

Eurocode 2 [102], TS500 [103] ve ACI 318 [104] yönetmelikleri ayrı ayrı kullanılarak malzeme sınır değerleri ve formülleri birçok algoritmaya eklenerek farklı beton sınıflarında minimum maliyetli oluşabilecek kesit boyutlarına ulaşarak [105-108], bu yönetmelikler arasında hem maliyet olarak hem de kesit boyutları olarak karşılaştırma yapılmıştır. Bekdaş ve Niğdeli [109] çalışmasında rassal arama tekniğini (RST) kullanarak farklı beton sınıfları için maliyet optimizasyonları, Fedghouche ve Tiliouine [110] Eurocode 2 yönetmeliği kullanarak T kesitli betonarme kiriş optimizasyonunu gerçekleştirdi. Geleneksel yöntemde algoritmalar kullanılmadan deneme-yanılma ile tasarım yapılması; kesitlerin boyutlarının atanıp sonra donatı alanı hesabı kontrollerin yapılması minimum maliyetli tasarım yapmayı engellemektedir [111]. Bu yüzden yazılım programları kullanılarak optimizasyon çalışmalarının daha da geliştirilmesi sonucunda verimli sonuçlara daha rahatça ulaşılabilecektir. Bu algoritmalar kendi arasında kombin edilip çalıştırıldıklarında diğer analiz durumlarına göre daha az iterasyonda amaç fonksiyonuna ulaşılacağı görülmektedir. Hibrid yöntemlerin daha da gelişmesi ile çok değişkenli ve karşılaştırmalı problemlerin analiz sonuçlarına daha kısa sürede ulaşabilme fırsatı tanıyacaktır.

5.2. ÇERÇEVE SİSTEMLERİN OPTİMİZASYONU

Bu çalışmada betonarme çerçeve yapı tasarımı tek açıklıklı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Malzemenin en verimli şekilde kullanılması için metasezgisel algoritma kullanılarak maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmesi sonucunda tasarım değişkenleri bulunmuştur. Sistemi etkileyen kuvvetlere göre; elemanların iç kuvvetleri ve deplasman değerleri matris deplasman yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Matris deplasman yöntemi ile bu değerlerin bulunması yapı hakkında yorum yapabilmemize katkıda bulunmasının yanı sıra uygulanabilirliğinin kontrolünün yapılmasını da sağlayabilmektedir.

Bracci ve diğ. [112] yapısal çerçevenin deprem performansına göre değerlendirerek zarar görmesi ve çökme gibi durumların güvenlik değişkenleri üzerinde çalışma yapılmıştır.

Joseph M. ve diğ. çalışmasında deprem yüklerine göre 3 serbestlik dereceli sistemin performans tasarımı gerçekleştirilmiştir. Rajeev ve Krishnamoorthy [113] çalışmasında Genetik algoritmasını kullanarak 3 katlı sistem için optimizasyon gerçekleştirmiştir.

5.3. İSTİNAT DUVARI OPTİMİZASYONU

Bu çalışmada TLBO, FPA, Hibrid ve Jaya algoritması kullanılarak sürşarj ve zemin yükleri altında kesit ve donatı alanı optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Dağdeviren ve Kaymak [114] çalışmasında Arı Koloni Algoritması kullanarak koloni sayısı arttırılmasıyla birlikte yaklaşık olarak 1000 iterasyonda amaç fonksiyonuna ulaşırken, Jaya algoritmasında ise 1000 iterasyonda amaç fonksiyonuna ulaşmıştır. Bu koloni sayısı çok arttırıldığı zaman daha az iterasyonda amaç fonksiyonuna ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Bekdaş ve diğ. [115] TLBO kullanarak farklı yükseklik için 3 durum için minimum maliyet değeri bulunmuştur. Ayrıca, en düşük değer 1040 TL olarak hesaplanmıştır. Buradan farklı yapı özellikleri ve kesit boyutlarına sahip istinat duvarları için optimizasyon çeşitleri kullanılarak hesap yapıldığı görülmektedir. Maliyetler arasındaki farklar yıllar içinde değişen malzeme fiyatlarından, farklı kesit, yükleme, zemin yükü, beton sınıfı gibi etmenlerden kaynaklanmaktadır.

5.4. PASİF KONTROL SİSTEMİ OPTİMİZASYONU

Bu çalışmada zaman tanım alanına göre optimizasyon yapılarak TMD sistemin 44 depreme göre periyot ve sönüm oranının optimize değerleri bulunmuştur. Optimizasyon sürecinin iterasyon sayısı arttırıldıkça daha doğru sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Marano ve diğ. [116] çalışmasında kütle oranı optimizasyonunu 2 duruma göre gerçekleştirmiştir. Bunlardan biri tam yaklaşım ile diğeri ise yarı yaklaşım ile yapılmıştır. Tam yaklaşımli optimizasyonda daha verimli sonuçlar elde edildiği gözlenilmiştir. Kamgar ve diğ. [117] yapıda en olumsuz etkiyi yaratabilecek dinamik kuvvetin etkisiyle 10 katlı yapının en üst katında oluşan yer değiştirmelere göre Warburton yöntemi kullanarak TMD optimizasyonu gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar, yapıların dinamik yükler altında hasar almadan belirli yer değiştirme seviyelerinde kalmasını sağlayacak şekilde kontrol sisteminin tasarımlarının yapılabilmesi için gerçekleştirilmiştir. Bu sistemler genel olarak kullanımı maliyetli sistemlerdir. Yapı malzemesi ve kontrol sistemlerinin farklılaşıp gelişmesiyle birlikte bu tür sistemlerin kısa sürede daha fazla yapıya entegre edilip kullanılması zaman içerisinde gerçekleşecektir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında 4 farklı problemin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar minimum maliyetli dikdörtgen kesitli betonarme kiriş, minimum maliyetli betonarme istinat duvarı, minimum maliyetli çerçeve sistem ve minimum yer değiştirme sağlanacak şekilde yapıda pasif kontrol sistemi optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. Günümüzde bu örneklerin tasarımında çoğu zaman deneme yanılma ile tasarım gerçekleştirilmektedir. Bu tür tasarımlar en efektif kesit değerlerine veya malzeme özelliklerine uygun olmayabilmektedir ve bu yüzden sürdürülebilir çevre kapsamında istenilmeyen malzeme kullanımına. Bu da fazla maliyete neden olmaktadır. Bundan dolayı tasarım mühendisleri, metasezgisel algoritmalar kullanarak yapı hangi amaçla tasarlanacaksa ona uygun algoritmalar geliştirmelidir. Tasarım yaptığı alanda konuya hâkim olmalı ve bu sayede ön boyutlandırma da uygun değerlerin olabileceği aralıkların belirlenmesine katkıda bulunacaktır.

6.1. DİKDÖRTGEN KESİTLİ KİRİŞİN FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE MALİYET OPTİMİZASYONU

Belirli yükler altında kiriş tasarımı 3 farklı yönetmeliğin sınırlandırma durumlarına ve formüllerine göre algoritmalar oluşturularak tasarlanmıştır. Dikdörtgen kesitli betonarme kirişin maliyet optimizasyonu önceki yapılan çalışmalarda yönetmelikler ayrı olacak şekilde farklı yükleme kombinasyonlarına göre tasarımı yapılırken, bu tezde 3 yönetmeliğe göre tasarım yapıp karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımlar sonucunda ACI 318 yönetmeliğinde farklı beton sınıfları göz önünde alındığında kesit değerleri olarak genişliği 250 mm ve yüksekliği 400 mm olarak hesaplanmıştır. Ancak TS500 ve Eurocode yönetmeliğine göre C25/30 ve C30/37 beton sınıfı kullanıldığında diğer yönetmeliğe göre farklı kesit değerlerine ulaşılırken minimum maliyet değeri de yaklaşık olarak %8 daha fazla hesaplanmıştır. Bu şekilde maliyetinin düşük olması tasarımda kullanılması gereken donatı alanının daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Eurocode ve TS500'de yaklaşık olarak 670 mm² donatı alanı kullanılması gerekirken, ACI 318'de yaklaşık olarak 580 mm² donatı alanı kullanılması gerekmektedir. Ancak C35/45 beton sınıfı kullanıldığında tüm yönetmelikler için kesit

boyutları aynı değerler aldığı görülmüştür. Maliyet olarak Eurocode ve TS500 arasında çok fark olmazken ACI 318'de daha düşük maliyetle tasarım yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Geri dönüştürülebilir malzemelerin yapı elemanlarının yapımında kullanılmasıyla birlikte dayanım artması olabilmemesinin yanı sıra maliyetlerde azalmalar gözlenebilir. Hibrid algoritmaların kullanılması ile amaç fonksiyonuna çok vakit kaybetmekten ulaşılırken bu algoritmaların zamanla gelişimiyle çok kompleks sistemlerin ve değişkenlerin çok fazla olduğu yapıların optimizasyon sürelerinde önemli derecede kısaltmalar olacaktır.

6.2. ÇERÇEVE YAPILARIN MALİYET OPTİMİZASYONU

Çerçeve sistem tasarımları, sistem üzerinde bulunan yük değerlerine göre tasarım yükü hesaplandıktan sonra tasarım aşamasına geçilmektedir. Bu tez kapsamında verilen örnekte, çerçeve sisteme yayılı yük etki etmektedir. Böylece, bu yayılı yüklerin kiriş üzerinde oluşturduğu ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde aktaracağı kesme kuvveti, moment ve eksenel kuvvet değerlerine göre tasarım yapılmıştır. Bu tasarım yapılırken moment değerine göre kiriş için minimum maliyet oluşturacak şekilde sınır durumlarının sağlandığı kesit boyutları ve donatı alanı hesabı gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalardan sonra yayılı yükün oluşturduğu kuvvetler her iki kolona aktarılarak her bir kolonun sınır durumlarının sağlanacağı şekilde gerçekleştirildikten sonra yapı sisteminin kesitleri bulunarak maliyet hesaplarına geçilmiştir. Maliyet için gerekli değerler optimizasyon aşamasında algoritmada sabit olarak eklenmiştir. Bulunan kesit boyutları ve donatı alanı için maliyetler hesaplanarak iterasyonlar sonucunda minimum maliyet değerine ulaşılmıştır. Maliyet hesaplamaları tamamlandıktan sonra çerçeve sistemde lokal eksen yer değiştirme ve iç kuvvetlerin bulunabilmesi için Matris Deplasman Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem global eksenin lokal eksenlere dönüştürülerek çözümlerin yapıldığı bir yöntemdir. Rijitlik matrisi, dönüşüm matrisi (sistem elemanlarının şekline yani açısına bağlı olarak değişmektedir) gibi matrislerden yer değiştirmelere, iç kuvvetlere, global eksen rijitlik matrisine ulaşılmıştır. Bu hesaplamaların sıralaması Bölüm 4'te 4.3. başlığı altında anlatılmıştır. İç kuvvetlerin bulunduğu aşamada dikkat edilmesi gereken durumlardan biri ise sistemi etkileyen kuvvetlerin matrise girerken doğru şekilde girilmesidir. Bu sıralama, yönlendirme için verilen numaralandırmalara göre yapılacaktır. Eğer bu numaralandırmalara uygun olmayacak şekilde matrise eklenmesi durumunda iç kuvvet değerleri ve lokal eksen yer değiştirmeleri hatalı olarak hesaplanacaktır. Değerlerin matrise yanlış girilmesi durumunda, tasarım için belirli yönlerdeki yer değiştirme değerleri ile uyumsuzluklar olacağından tekrar

tasarım yapılması istenilecektir. Bu tür durumların olmaması için numaralandırmaların doğru şekilde matrislere eklenmesi gerekir. Her bir noktanın ayrı ayrı iç kuvvetleri ve yer değiştirme değerleri Bölüm 4'teki grafikte verilmiştir. Buradan kolonların ankastre olarak bağlandığı kısımda yer değiştirmelerin olmadığı görülürken, (ankastre sistem özelliğinden dolayı) kirişin her iki ucunda yer değiştirmeler olacağı görülmektedir ve bu da verilen grafikteki değerlerden kolayca anlaşılmaktadır.

Kompleks yapılar için yeni çözüm yöntemleri geliştirilerek optimizasyonlar gerçekleştirilebilir. Bu sayede yapı ve sistem tasarımlarında ön boyutlandırma (geleneksel tasarım) yapmadan tasarım için uygun kesitlerin belirlenip amaç fonksiyonuna ulaşması sağlanabilir.

6.3. BETONARME İSTİNAT DUVARI MALİYET OPTİMİZASYONU

Bu örnekte betonarme istinat duvarı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Betonarme istinat duvarı tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar; duvarın kayması, yüklerin taşınması ve devrilme gibi durumlardır. Tasarım yapılırken bu durumların sınır durumlarına göre karşılaştırma yapılarak güvenli tarafta kalınması ve duvar arkasında zeminin tutulması için gerekli kesit boyutları hesaplamaları yönetmeliklere uygun olacak şekilde algoritma olarak yazılmıştır. Bu algoritma minimum maliyeti hedefleyecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Minimum maliyet, kesit boyutları ve kullanılacak donatının yönetmeliği sağlayacak şekilde minimum değerde tutulmasıyla sağlanmıştır. Bu tasarımda 4 farklı algoritma kullanılmıştır (FPA, TLBO, JAYA, TLBO-Jaya hibridi). Kesit boyutları, donatı alanı ve maliyet gibi değerler her algoritma için aynı gelirken, bu değerlere ulaştığı iterasyon sayılarında büyük farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Hibrid algoritma en az iterasyonda ve en az standart sapma ile amaç fonksiyonuna ulaşırken, Jaya algoritması TLBO ve FPA'ya göre daha az iterasyonda amaç fonksiyonuna ulaşmasına rağmen, standart sapma değeri diğer algoritmalara göre daha fazla bulunmuştur. Yapı sistemlerinin gelişimiyle ve farklı hammadde kullanımının yapı malzemesine ilavesiyle maliyet açısından tasarruflar yapılabileceği söylenebilir. Ayrıyeten Hibrid algoritmalar kullanılması durumunda çok düşük iterasyonlarda amaç fonksiyonuna ulaşıldığı görülmüştür ve bu algoritmaların kendisini geliştirmesiyle birlikte tasarımlar hiç vakit kaybetmeden tamamlanacaktır.

6.4. TMD SİSTEM OPTİMİZASYONU

Dünya üzerinde yapı sistemleri günden güne gelişmektedir ve bu sistemlerden biri ise yapı kontrol sistemleridir. Bu yapı kontrol sistemleri yapıyı deprem ve rüzgâr yüklerinden korumak için kullanılmaktadır. Yapı tasarımları ne kadar bölgenin depremselliğine göre tasarlanmış olsa da bazen istenilmeyen sebeplerden dolayı yapı hasar almakta ve göçme oluşarak can kayıplarına sebep olabilmektedir. Bu yüzden yapının daha güvenilir tarafta kalmasını sağlamak için bu sistemler tercih edilmektedir. Pasif kontrol sistemleri için 44 deprem kaydı göz önüne alınarak TMD sistem zaman tanım alanı optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımda TMD kütlesi, yapı kütlesinin %5'i olacak şekilde seçilmiştir. En uygun sistem özellikleri bu kütle değerinde geldiği düşünüldüğünden dolayı bu şekilde seçilerek algoritmalar oluşturulmuştur. TMD sisteminin periyot değeri yapı periyodunun 0.5 ile 1.5 katı değerleri arasında olacak şekilde ve sönüm oranı %0.1 ile %5 arasında olacak şekilde seçilmiştir. Oluşturulan algoritmalar sonucunda sistem sönüm oranı ve periyot değerlerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. TMD kullanılmadığı durumda sistemin periyodu 0.288 s olarak hesaplanırken, sisteme TMD eklenmesi durumunda bu periyot değeri 100 iterasyon için 0.379 s olarak hesaplanmıştır. Grafikler kontrol edildiğinde TMD'li sistemin TMD'siz sisteme göre yapının yer değiştirmesinde önemli derecede azalmalar olduğu ve yapıyı etkileyen hız değerlerinde de düşüş olduğu gözlenmiştir. Bu sistem 100 ve 1000 iterasyon için 2 kez ayrı ayrı çalıştırılıp sonuçları hesaplandıktan sonra periyotları arasında çok fark gözlenmezken, sönüm oranı değerleri arasında fark gözlenmektedir (0.32 (1000 iterasyon) ve 0.45 (100 iterasyon)). Şekil 4.15'te yer değiştirmelerinde ise bu sistem kullanılmadan 0.042 mm iken, sistem kullanıldıktan sonra büyük oranda düşüşlerin olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Isalgue A., Lovey F. C., Patrick Terriault P., Ferran Martorell F., Rosa Maria TorraR. M., Torra V., SMA for Dampers in Civil Engineering
2. Bykiv N., Yasniy P., Lapusta Yu., Iasnii V., Finite element analysis of reinforced-concrete beam with shape memory alloy under the bending, *Procedia Structural Integrity*: 36 (2022) 386-393
3. Pranno A, Fabrizio G, Lonetti P, Luciano R, Maio U, An improved fracture approach to investigate the degradation of vibration characteristics for reinforced concrete beams under progressive damage, *International Journal of Fatigue* 163 (2022) 107032
4. Neild SA, Williams MS, McFadden PD., Non-linear behaviour of reinforced concrete beams under low-amplitude cyclic and vibration loads. *Eng Struct* 2002;24: 707–18.
5. Voggu S, Sasmal S. Dynamic nonlinearities for identification of the breathing crack type damage in reinforced concrete bridges. *Structural Health Monitoring* 2021;20: 339–59.
6. Cerri MN, Vestroni F., 2000, Detection of damage in beams subjected to diffused cracking. *J Sound Vib* 234:259–76
7. Pierott R., Hammad A. W. A., Haddad A., Garcia S., Falcon G., 2021, A Mathematical Optimization Model for the Design and Detailing of Reinforced Concrete Beams, *English Structure* 245 112861
8. Luo H., Paal S. G., 2021, Metaheuristic Least Square Support Vector Machine-based Lateral Strength Modelling of Reinforced Concrete Columns Subjected to Earthquake Loads, *Structures*: 33 748-758
9. Wang AP, Fung RF, Huang SC., 2001, Dynamic analysis of a tall building with a tuned-mass-damper device subjected to earthquake excitations. *Journal of Sound and Vibration*; 244(1):123-136.

10. Sadek F, Mohraz B, Taylor AW, Chung RM., 1997 A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*; 26(6):617-635.
11. Li Q, Cao H, Li G, Li S, Liu D., 1999 Optimal design of wind-induced vibration control of tall buildings and high-rise structures. *Wind and Structures, An International Journal*; 2(1):69-83.
12. Chey M., Mander J.B., Chase J.G., Carr A., 2009 Semi-Active Tuned Mass Damper Building System: Application., *Researchgate*; 39(1): 69-89
13. Bekdaş G., Niğdeli S. M., 2016, Optimum Design of Reinforced Concrete Columns Employing Teaching-Learning Based Optimization, *Challenge Journal of Structural Mechanics*: 216-219
14. Kayabekir A. E., Bekdaş G., Niğdeli S. M., 2021, Developments on Metaheuristic-Based Optimization in Structural Engineering, *Advances in Structural Engineering-Optimization*: 326
15. Liao T.W., Two hybrid differential evolution algorithms for engineering design optimization, *Applied Soft Computing* 10 (2010) 1188–1199.
16. Dokeroglu T., Sevinc E., Kucukylmaz T., Cosar A., 2019 A survey on new generation metaheuristic algorithms, *Sciencedirect*; 106040
17. Qiao W., Yang A. Z., 2019, Solving Large-Scale Function Optimization Problem by Using a New Metaheuristic Algorithm Based on Quantum Dolphin Swarm Algorithm, *IEEE Access*, 7: 138972-138989
18. Erfani S. Rajasegarar M., S., Leckie C., Karunasekera S., "Highdimensional and large-scale anomaly detection using a linear one-class SVM with deep learning," *Pattern Recognit.*, vol. 58, pp. 121_134, Oct. 2016.
19. Sun C., Jin Y., Ding J., Zeng J., Cheng R., "Surrogate-assisted cooperative swarm optimization of high-dimensional expensive problems," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 21, no. 4, pp. 644_660, Aug. 2017.
20. Gu S., Cheng R., Jin Y., "Feature selection for high-dimensional classification using a competitive swarm optimizer," *Soft Comput.*, vol. 22, no. 3, pp. 811_822, Feb. 2018.
21. Frohlich H., Chapelle O., Scholkopf B., "Feature selection for support vector machines by means of genetic algorithm," in *15th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, 142- 148, 2003.

22. Rao R. V., Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7 (2016) 19-34
23. Rao R.V., Teaching-learning based optimization: A novel method for constrained mechanical design optimization problems, *Computer Aided Design* 43 (2011) 303-315
24. Yang X.S., Flower .pollination Algorithm for Global Optimization, *UCNC* 240-249, 2012
25. Yang X. S., Gandomi A. H., Bat Algorithm: A novel approach for global engineering optimization, *Engineering Computations*, 2014
26. Dorigo M., Stutzle T., *Ant Colony Optimization*. London: MIT Press, 2004
27. Kennedy J., Eberhart R. C., Shi Y., *Swarm Intelligence*. London: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
28. Liao T. Warren , Two hybrid differential evolution algorithms for engineering design optimization, *Applied Soft Computing* 10 (2010) 1188-1199.
29. Türkan Y. S., 2015, *Proje Yönetiminde Planlama ve Kontrol Teknikleri*, Ofis Yayın Matbaacılık, ISBN: 978-605-5227-34-0
30. Ersoy U., 2019, *Betonarme Davranış ve Hesap İlkeleri*, Evrim Yayınevi, ISBN: 978-975-5032-39-9
31. Meral E., 2018, *Yapısal Parametrelerin Betonarme Kolonların Eğrilik Sünekliğine Etkileri*, OKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, 28-43
32. Celep Z., Kumbasar, N. *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı*. İstanbul: Beta Dağıtım; 2004.
33. Yüksel B., Jamal R., Foroughi S., 2020, *Kirişlerde Basınç Donatısı Oranının Moment-Eğrilik İlişkisine Etkisi*, Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, 1-17
34. Özkal F. M., 2017, *Betonarme yüksek kirişlerde boşluk konumu ve şeklinin yapısal davranış üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi*, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt22, Sayı2 149-160

35. Sakcalı G. B., Tekeli H., Demir F., 2016, Betonarme binalarda perde duvar miktarının bina performansına etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 157-167
36. Barros A. F. M., Barros M. H. F. M., Ferreira C.C., Optimal design of rectangular RC sections for ultimate bending strength, Springer, 45:845-860, 2012
37. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018 Sayı: 30364
38. Chakrabarty B. K., 1992, Model for Optimal Design of Reinforced Concrete Beam, Journal of Structural Engineering, Journal of Structural Engineering Volume:118 Issue:11
39. Lu R., Luo Y., 1994, Conte J. P., Reliability evaluation of reinforced concrete beams, Structural Safety 277-298
40. Bekdaş G., Niğdeli S. M., 2015, Optimum design of reinforced concrete beams using teaching-learning-based optimization, International Conference on Optimization Techniques in Engineering, 3 7-9
41. Zivari A., Habibi A., Khaledy N., 2019, Development of an analytical method for optimum design of reinforced concrete beams considering both flexural and shear effects, Computers and Concrete an International Journal, 117-123
42. Guerra A., Kioussis P. D., 2006, Design optimization of reinforced concrete structures, Computer and Concrete, 313-334
43. Ulusoy S., Kayabekir A. E., Bekdaş G., Niğdeli S. M., 2020, Metaheuristic algorithms in optimum design of reinforced concrete beam by investigating strength of concrete, Challenge Journal Concrete Research Letters, 11(2) 26-30
44. Fedghouche F., Tiliouine B., 2012, Minimum cost design of reinforced concrete T-beams at ultimate loads using Eurocode2, Engineering Structures, 42 43-50
45. Habibi A., Ghawami F., Shahdzaheh M. S., 2016, Development of optimum design curves for reinforced concrete beams based on the INBR9, Computers and Concrete, 18-5 983-998

46. Rahmanian, I., Lucet, Y. and Tesfamariam, S. (2014), "Optimal design of reinforced concrete beams: A review", *Comput. Concrete*, 13(4), 457-482
47. Chutani S., Singh J., 2017, Design Optimization of Reinforced Concrete Beams, *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 98, 429-435
48. Doğangün A., 2019, *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, Birsen Yayın ve Dağıtım, ISBN: 978-975-511-310-X
49. Uçar T., Toumatari S. G., Ertutar Y., Çerçeve düzlemi içinde eklenen perdelerin betonarme binaların yapısal özelliklerine etkilerinin incelenmesi, *Journal of Advanced Technology Science*, Cilt 3, Sayı 1, 56-68, 2014
50. Bekdaş G., Niğdeli S. M., 2014, OPTIMIZATION OF RC FRAME STRUCTURES SUBJECTED TO STATIC LOADING 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), 20-25
51. Degertekin S. O., 2012, Improved harmony search algorithms for sizing optimization of truss structures, *Computers & Structures*, 229-241
52. Esfandiari M. J., 2020, Progressive collapse design of reinforced concrete frames using structural optimization and machine learning, *Structures*, 1252-1264
53. Rakıcı E., Bekdaş G., Niğdeli S. M., 2020, Optimal Cost Design of Single-Story Reinforced Concrete Frames Using Jaya Algorithm, *International Conference on Harmony Search Algorithm*, 179-186
54. Paya-Zaforteza I., Yepes V., Hospitaler A., Gonzalez-Vidoso F., 2009, CO2-optimization of reinforced concrete frames by simulated annealing, *Engineering Structures*, 31 1501-1508
55. Gharehbaghi S., 2017, Damage controlled optimum seismic design of reinforced concrete framed structures, *Structural Engineering and Mechanics*, 65 53-68
56. Lee M. S., Hong K., Choi S. W., 2016, Genetic Algorithm Based Optimal Structural Design Method for Cost and CO2 Emissions of Reinforced Concrete Frames, *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 29-5, 429-436

57. Arama Z. A., Kayabekir A. E., Bekdaş G., Sustainable Optimum Design of RC Retaining Walls: The Influence of Structural Material and Surrounding Soil Properties, *Advances in Structural Engineering –Optimization*, 326 249-297
58. Khajehzadeh M., 2016, A New Hybrid Algorithm for CO₂ Emissions Optimization of Retaining Walls, *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 2394-2827
59. 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
60. Bekdaş G., Temür R., 2017, Grey Wolf Optimizer for Optimum Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls, *International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics*, 260008-1
61. Ghazavi M., 2011, Optimization of Reinforced Concrete Retaining Walls Using Ant Colony Method, *Hydraulic Engineering Repository*
62. Temür R., Bekdaş G., 2018, Optimum Design of Reinforced Concrete Retaining Walls, *Handbook of Research on Predictive Modeling and Optimization Methods in Science and Engineering*, 19
63. Ceranic, B., & Fryer, C. 2001. An Application of Simulated Annealing to Optimum Design of Reinforced Concrete Retaining Structures. *Journal of Computers and Structures*, Vol. 79, pp. 1569-1581
64. Ahmadi-Nedushan B., Varaei H., 2009, Optimal design of reinforced concrete retaining walls using a swarm intelligence technique, *Structural and Environmental Engineering*, 26: 1-12
65. Khajehzadeh M., Taha M. R., Shafie A., Eslami M., 2011, Modified particle swarm optimization for optimum design of spread footing and retaining wall, *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 415-427

66. Kaveh A., Abadi A. S. M., 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
67. Ghazavi M., Bonab S. B., 2011, Optimization of Reinforced Concrete Retaining Walls Using Ant Colony Method, *Bundesanstalt für Wasserbau*, 297-305
68. Kalemci E. N., İkizler S. B., Dede T., Angin Z., 2020, Design of reinforced concrete cantilever retaining wall using Grey wolf optimization algorithm, *Structures* 23 245-253
69. Xu C., GORDAN B., KOOPIALIPOOR M., ARMAGHANI D. J., TAHIR M. M., ZHANG A. X., 2019, Improving Performance of Retaining Walls Under Dynamic Conditions Developing an Optimized ANN Based on Ant Colony Optimization Technique, *IEEE Access*, 94392-94700
70. Sheikholeslami R., Khalili B. G., Zahrai S. M., 2014, Optimum Cost Design of Reinforced Concrete Retaining Walls Using Hybrid Firefly Algorithm, in *International Journal of Engineering and Technology*, 6 465-470
71. Septimiu L., 2005, Passive, Active and Semi-Active Control System in Civil Engineering, *Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy: Constructions, Architecture Section*
72. Davalos C., Escudero C., Cano G., Hernandez V., Cruz S., DAMAGE MODELLING OF HYSTERETIC ENERGY DISSIPATIVE DEVICES IN BUILDING SEISMIC RESPONSE CONTROL, *Researchgate*, 2017, 1883-1890
73. Bekdaş G., Niğdeli S. M., Mass ratio factor for optimum tuned mass damper strategies, *International Journal of Mechanical Sciences*, 71 68-84, 2013
74. Zyl A. V., Altıntaş Y., Ostling D., 2022, Parametric design of boring bars with adaptive tuned mass dampers, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 38 491-499

75. T. Haskett, B. Breukelman, J. Robinson and J. Kottelenberg, 2004, Tuned mass dampers under excessive structural excitation, Report of the Motioneering Inc., Guelph, Ontario, Canada NIK IB8
76. Fitzgerald B., Basu B., Nielsen S. R. K., 2013, Active Tuned mass dampers for control of in plane vibrations of wind turbine bladers, Structural Control Health Monit. 20 1377-1396
77. Casado C. M., Jesus D. S., Diaz L. M., Lorenzana A., 2011, Vibration control of pedestrian bridges, Dyna, 86 318-327
78. Öncü-Davas S., Alhan C., Realibility of semi- active isolation under far-fault earthquakes, Mechanical System and Signal Processing 114 (2019) 146-164
79. Aldemir A., Ersin A., Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, Türkiye Mühendislik Haberleri Sayısı 435, 2005, 81-89
80. Bekdaş G., Niğdeli S. M., Estimating optimum parameters of tuned mass dampers using harmony search, Engineering Structures, 33 2716-2723, 2011 Frahm H. Device for damping of bodies. US Patent No: 989,958. 1911
81. Melik M., Deprem Etkisindeki Yapıların Aktif Kütle Sönümleyici ve Aktif Kiriş Kontrol Sistemleri ile Korunması, Yöktez, 2002
82. Şahin M., Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Pasif ve Aktif Kontrol Sistemleri, Tasarım Kuram, 1999, Sayı 1: 60-65
83. Zhang B. R., Soong T. T., 2012, Seismic design of viscoelastic dampers for structural applications, J. Structural Engineering, 118: 1375-1392
84. Kayabekir A. E., Bekdaş G., Niğdeli S. M., Geem Z. W., Optimum Design of Pid Controlled Active Tuned Mass Damper via Modified Harmony Search, Applied Science, 2020, 10, 2976
85. Wang L., Nagarajaiah S., Shi W., Zhou Y., 2022, Seismic performance improvement of base-isolated structures using a semi-active tuned mass damper, Engineering Structures, 271: 114963

86. Niğdeli S. M., Bekdaş G., 2018 Performance comparison of location of optimum TMD on seismic structures, *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics* , 3 99-106
87. Farshidianfar A., Soheili S., 2013, Ant colony optimization of tuned mass dampers for earthquake oscillations of high-rise structures including soil–structure interaction, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 51 14-22
88. Salehiziarani A., Mohammadi R. K., 2018, Optimisation of the mass and damping ratio of the tuned mass damper, *Australian Journal of Structural Engineering*, 20-3
89. Abdulsalam I., Al-Janabi M., Al-Taweel M. G., 2019, Optimum design of tuned mass damper systems for seismic structures, *Earthquake Resistant Engineering Structures*, 104 ISSN: 1743-3509
90. Valencia L. A., Caicedo-Diaz D. A., Valencia-Gomez Y., 2022, Optimal design of tuned mass dampers through differential evolution method for reducing the dynamic response of structures subjected to earthquake loads, *CIENCIAS SOCIALES APLICADAS*, 17-2
91. Araz O., Kahya V., 2021, Design of series tuned mass dampers for seismic control of structures using simulated annealing algorithm, *Archieve of Applied Mechanics*, 4343-4359
92. Nigdeli, S. M., Bekdas, G., 2014, Optimum tuned mass damper approaches for adjacent structures, *Earthquakes and Structures*, 7(6), 1071-1091
93. Kambar E., Samea P., Khatibinia M., 2017, Optimizing parameters of tuned mass damper subjected to critical earthquake, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, (27-7)
94. Lu X., Ding K., Shi W., Weng D., 2012, Tuned mass dampers for human-induced vibration control of the Expo Culture Centre at the World Expo 2010 in Shanghai, China, *Structural Engineering and Mechanics*, 43-5 : 607-621

95. Çoşut M., Bekdaş G., Niğdeli S. M., 2022, Cost Optimization and Comparison of Rectangular Cross-Section Reinforced Concrete Beams Using TS500, Eurocode 2 and ACI 318 code, *Soft Computing and Applications*, 140: 83-91
96. Bekdaş G., Nigdeli M. N., Yücel M., Kayabekir A. E., 2021, Yapay Zeka optimizasyon Algoritmaları ve Mühendislik Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara, ISBN:978-975-02-6637-9
97. Yang X. S., 2012, Flower pollination algorithm for global optimization, *UCNC-LNCS*, 240-249
98. Öztörün N. K., Köroğlu E. Ö., *Matris Deplasman Yöntemi*, İstanbul Üniversitesi Cerrahapaşa, 2. Baskı
99. Ting T. O., Yang X-S., Cheng S., Huang K., 2015, Hybrid Metaheuristic Algorithms: Past, Present and Future, *Recent Advances in Swarm Intelligence and Evolutionary Computation, Studies in Computational Intelligence* 585, 71-83
100. Csébfalvi A., 2009, A hybrid meta-heuristic method for continuous engineering optimization, *53(2)*, 93-100
101. FEMA P-695. Quantification of Building Seismic Performance Factors. Washington.
102. Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1 : General Rules and rules for buildings, EN 1991-1-2 2010.
103. Türk Standardları Enstitüsü, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, 2000
104. ACI 318-95, Building code requirement for structural concrete and commentary, 1995
105. Fedghouche F., Tiliouine B., Minimum cost design of reinforced concrete T beams at ultimate loads using Eurocode 2, *Engineering Structures* 42 (2012) 43-50
106. Barros MHFM, Martins RAF, Barros AFM. Cost optimization of singly and doubly reinforced concrete beams with EC2-2001. *Struct Multidisc Optim* 2005;30:236–42
107. Barros MHFM, Barros AFM, Ferreira CA. 2004, Closed form of optimal design of rectangular reinforced concrete sections, *Eng Comput*, 7:761–76

108. Ferreira CC, Barros MHFM, Barros AFM. Optimal design of reinforced concrete T-section in bending. Eng Struct 2003;25:951–64
 109. Bekdaş G., Niğdeli S. M., 2013, Rassal Arama Tekniği İle Betonarme Kirişlerin Farklı Beton Dayanımları İçin Optimizasyonu, Ulusal Mekanik Kongresi, 105-110
 110. Fedghouche, F., Tiliouine, B., “Minimum cost design of reinforced concrete T-beams at ultimate loads using Eurocode2”, Eng. Struct., 42, 43–50, 2012
 111. Bekdaş G., Niğdeli S. M., The Optimization of Slender Reinforced Concrete Columns, Structural Mechanics, 183-184, 2014
 112. Bracci J. M., Reinhorn A. M., Mander J. B., 1995, Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designed for Gravity Loads: Performance of Structural System, Structural Journal, 92-5, 597-609
 113. Rajeev S., Krishnamoorthy C.S., 1998, Genetic Algorithm–Based Methodology for Design Optimization of Reinforced Concrete Frames, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 63-74
 114. Dağdeviren U., Kaymak B., 2015, Optimum Design of Reinforced Concrete Retaining Walls using Artificial Bee Colony Algorithm, Digital Proceeding of ICOCEE, 1171-1180
 115. Bekdaş G., Niğdeli S. M., Temür R., Kayabekir A. E., 2016, Restricted Optimum Design of Reinforced Concrete Retaining Walls, International Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2367-8992, 326-332
 116. Marano G. C., Greco R., Chiaia B., 2010, A comparison between different optimization criteria for tuned mass dampers design, Journal of Sound and Vibration, 329 4880-4890
 117. Kamgar R., Samea P., Khatibinia M., 2017, Optimizing parameters of tuned mass damper subjected to critical earthquake, Structure Design Tall Spec. Buildings, 1-16
- <https://rmak-yap-sistemleri.business.site/>
- <https://kappa.gen.tr/prefabrik-beton-celik-yapi-elemanlari/>
- <https://www.insaport.com/makale/yuksel-kaya/bina-performans-duzeyleri-nelerdir/>

<https://www.chicagocondofinder.com/blog/plaza-on-dewitt-condos.html>

<https://santiyede.com/betonarme-yapi-sistemleri-perde-duvarli-ve-cerceveli-betonarme-sistemleri/>

<https://www.sanalsantiye.com/test-dayanma-yapilarina-ne-kadar-hakimiz/>

<http://www.acelinsaat.com/devam-eden-projeler/>

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taipei_101_Tuned_Mass_Damper.png

https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Taipei_101_Tuned_Mass_Damper_2010.jpg



İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

UYARI: Bu bölümde intihal programında çıkan benzerlik yüzdesinin bulunduğu detaylı raporun ilk sayfasının yer alması tüm öğrenciler için zorunludur! Bu uyarıyı okuduktan sonra siliniz!



ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

- ☐ Etik Kurul izni gerekmektedir.
- ☒ Etik Kurul izni gerekmemektedir.

Muhammed ÇOŞUT



KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

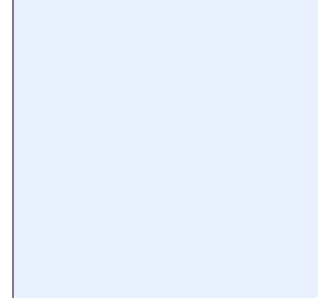
- ☐ Kurum izni gerekmektedir.
- ☒ Kurum izni gerekmemektedir.

Muhammed ÇOŞUT



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	
Doğum Tarihi	03.05.2021
Uyruğu	☐ T.C. ☐ Diğer:
E-Posta Adresi	
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	
Yüksek Lisans	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	

Makale ve Bildiriler