

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ÜÇLÜ SARKAÇ İZOLATÖRLERLE SİSMİK OLARAK İZOLE EDİLEN
ÇELİK KONSTRÜKSİYON BİNALARIN OPTİMUM TASARIMI**

Refik Burak TAYMUŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KASIM 2021

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ÜÇLÜ SARKAÇ İZOLATÖRLERLE SİSMİK OLARAK İZOLE EDİLEN
ÇELİK KONSTRÜKSİYON BİNALARIN OPTİMUM TASARIMI**

Refik Burak TAYMUŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KASIM 2021

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇLÜ SARKAÇ İZOLATÖRLERLE SİSMİK OLARAK İZOLE EDİLEN
ÇELİK KONSTRÜKSİYON BİNALARIN OPTİMUM TASARIMI

Refik Burak TAYMUŞ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 30/11/2021 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU (Danışman)	
Doç. Dr. Ferhat ERDAL	
Doç. Dr. Serdar ÇARBAŞ	
Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK	
Doç. Dr. Barış ERDİL	

ÖZET

ÜÇLÜ SARKAÇ İZOLATÖRLERLE SİSMİK OLARAK İZOLE EDİLEN ÇELİK KONSTRÜKSİYON BİNALARIN OPTİMUM TASARIMI

Refik Burak TAYMUŞ

Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Kasım 2021; 166 sayfa

Sismik izolasyonun yapıların periyodunu artırdığı ve kat ötelemelerini düşürdüğü gerçeğini göz önünde bulundurarak, yapıların deprem dayanımı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Fakat yapıların güvenli sınırlar içerisinde kalacak şekilde belirli deformasyonlara izin verilmesi kaydıyla izole binaların sabit tabanlı binalardan daha hafif tasarımlara sahip olabileceği ve böylece yapının tasarım maliyetini de düşürebileceği araştırılmalıdır. Bu çalışmanın amacı sismik izole ve sabit tabanlı yapıların optimum ağırlık tasarımlarını yapmak ve sonuçların karşılaştırılmasıyla sismik izolasyonun yapı ağırlığına etkisini gözlemlemektir. Araştırma için, 4 adet 2D çelik çerçeve ve 4 adet 3D uzay çelik çerçeve modeli tasarlanmıştır. Her bir çerçeve modeli hem sismik izole olarak hem de sabit tabanlı olarak ele alınmıştır. Sismik izolasyon için sürtünme bazlı izolatör aygıtlarından olan üçlü sürtünmeli sarkaç izolatör mesnetler kullanılmıştır. Optimum tasarımlar için yapay arı kolonisi, karga arama ve Archimedes optimizasyon algoritmalarına dayalı olarak bir optimizasyon programı geliştirilmiştir. Sınırlayıcı fonksiyonları katlar arası ötelenme, en üst kat ötelemesi, mukavemet ve geometrik sınırlayıcılardır ve bu sınırlayıcılar için LRFD-AISC yönetmeliğine uyulmuştur. Yürütülen optimizasyon analizleri sonucunda sismik izolasyonun yapıların ağırlığını önemli oranda azalttığı görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELELER: Üçlü sürtünmeli sarkaç izolatör mesnet, Sismik izolasyon, Çelik çerçevelerin optimum ağırlık tasarımı, Yapay arı kolonisi algoritması, Karga arama algoritması, Archimedes arama algoritması

JÜRİ: Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Doç. Dr. Ferhat ERDAL

Doç. Dr. Serdar ÇARBAŞ

Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Doç. Dr. Barış ERDİL

ABSTRACT

OPTIMUM DESIGN OF SEISMIC ISOLATED STEEL CONSTRUCTION BUILDINGS WITH TRIPLE FRICTION PENDULUM BEARINGS

Refik Burak TAYMUŞ

PhD Thesis in Civil Engineering Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim AYDOĞDU

November 2021; 166 pages

Considering the fact that seismic isolation increases the period of the structures and decreases the floor drifts, it is known that it has a great effect on the earthquake resistance of the structures. However, it should be investigated that isolated buildings can have lighter designs than fixed-base buildings, and thus reduce the design cost of the structure, provided that certain deformations are allowed so that the structures remain within safe limits. The aim of this study is to make optimum weight designs of seismic isolated and fixed base structures and to observe the effect of seismic isolation on the weight of the structure by comparing the results. For the research, 4 2D steel frames and 4 3D space steel frame models were designed. Each frame model is considered both seismically isolated and fixed base. For seismic isolation, triple friction pendulum isolator bearings, which are friction-based isolator devices, are used. An optimization program has been developed based on artificial bee colony, crow search and Archimedes optimization algorithms for optimum designs. Limiter functions are inter-storey drift, top story offset, strength and geometric constraints and LRFD-AISC regulation has been complied with for these constraints. As a result of the optimization analyses carried out, it was observed that seismic isolation significantly reduced the weight of the structures.

KEYWORDS: Triple friction pendulum isolator device, Seismic isolation, Optimum weight design of steel frames, Artificial bee colony algorithm, Crow search algorithm, Archimedes optimization algorithm

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Assoc. Prof. Dr. Ferhat ERDAL

Assoc. Prof. Dr. Serdar ÇARBAŞ

Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Assoc. Prof. Dr. Barış ERDİL

ÖNSÖZ

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın konusu sismik izolasyonun yapının optimum ağırlığı üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır. Çalışmanın her noktasında gerek bilimsel gerekse manevi anlamda desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve çalışmanın bu noktaya gelmesinin baş mimarı olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunmaktan onur duyarım. Ayrıca tüm tez sürecinde çalışmanın daha verimli ve daha donanımlı olabilmesi için birikimlerini ve fikirlerini bizlerle paylaşan ve bu sayede çalışmanın daha zengin olmasına büyük katkı sağlayan Tez İzleme Komitesi üyeleri kıymetli hocalarım Sayın Doç. Dr. Ferhat ERDAL ve Sayın Doç. Dr. Serdar ÇARBAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bu noktaya gelmemde büyük pay sahibi olan sevgili eşim Fatma TAYMUŞ'a ve değerli ailem Mesut ve Gülten TAYMUŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Optimizasyon	1
1.2. Optimizasyon Problemi	1
1.2.1. Tasarım değişkeni	1
1.2.2. Tasarım kısıtlamaları.....	1
1.2.3. Amaç fonksiyonu	2
1.2.4. Optimizasyon probleminin matematiksel modellemesi	2
1.2.5. Optimizasyon teknikleri	3
1.3. Yapısal Optimizasyon.....	4
1.3.1. Yapısal optimizasyon probleminin matematiksel modellemesi	4
1.3.2. Yapısal optimizasyon teknikleri	4
1.3.2.1. Analitik metotlar.....	5
1.3.2.2. Nümerik metotlar.....	5
1.3.2.3. Stokastik arama metotları.....	6
1.4. Sismik İzolasyon	9
1.4.1. Sismik İzolatör Türleri	10
1.4.1.1. Elastomerik mesnetler.....	10
1.4.1.2. Kurşun çekirdekli mesnetler.....	11
1.4.1.3. Sürtünme bazlı mesnetler.....	12
1.5. Tezin Amacı	14
2. KAYNAK TARAMASI.....	16
2.1. Çelik Yapı Sistemlerinin Optimum Tasarımı	16
2.2. Yapay Arı Kolonisi (ABC), Karga Arama (CSA) ve Archimedes Optimizasyon (AOA) Algoritmaları.....	18
2.3. Sismik İzole Yapı Sstemlerinin Optimum Tasarımı	21

3. MATERYAL VE METOT.....	22
3.1. Çelik Çerçevelerin Optimum Maliyet Tasarımı.....	22
3.1.1. Amaç fonksiyonu	22
3.1.2. Tasarım sınırlayıcıları	22
3.1.2.1. Mukavemet sınırlayıcıları	22
3.1.2.2. Yanal öteleme sınırlayıcıları	23
3.1.2.3. Geometrik sınırlayıcılar	24
3.1.3. Tasarımın performans (fitness) değerinin belirlenmesi	26
3.2. Optimizasyon Algoritmaları	27
3.2.1. Yapay Arı Kolonisi (ABC) Algoritması	27
3.2.2. Karga arama algoritması (CSA).....	29
3.2.3. Archimedes optimizasyon algoritması (AOA)	32
3.2.4 Optimizasyon yöntemlerine ait arama parametrelerinin belirlenmesi	34
3.3. Üçlü Sarkaç İzolatör Mesnetler (TFPB)	36
3.3.1. TFPB davranışı	37
3.3.2. TFPB tasarımı	41
3.3.3. TFPB için SAP 2000 modellemesi	45
3.3.3.1. TFPB link elemanları.....	46
3.3.3.2. TFPB için SAP 2000 modelinin oluşturulması	47
3.4. Tasarım Örnekleri.....	49
3.4.1. 2D çerçeve örnekleri	49
3.4.1.1. 4 katlı modeller.....	49
3.4.1.2. 8 katlı modeller.....	53
3.4.2. 3D çerçeve modelleri	58
3.4.2.1. 4 katlı model.....	58
3.4.2.2. 6 katlı model.....	61
3.4.2.3. 8 katlı model.....	64
3.4.2.4. 10 katlı model.....	68
3.4.3. Hassasiyet analizi için kullanılan çerçeve örneği.....	72
3.5. Yükleme Detayları.....	73
3.5.1. Deprem yükü.....	73
3.5.1.1. Tasarım ivme spektrumu.....	73

3.5.1.2. Eşdeğer deprem yükü yöntemi	75
3.5.1.3. Mod birleştirme analiz yöntemi.....	78
3.5.2. Rüzgar yükü.....	79
3.5.2.1. Rüzgar yükü dağılım katsayısı (C_f)	79
3.5.2.2. Rüzgar basıncı (q).....	80
3.5.2.3. Rüzgar yükü etki alanı (A).....	80
3.5.3. Yük kombinasyonları	81
4. BULGULAR	82
4.1. Üçlü Sarkaç İzolatör Mesnetlerin SAP 2000 Modellemelerinin Doğrulaması...	83
4.2. 2D Tasarım Örnekleri	84
4.2.1. 42FBNB kodlu tasarım örneği.....	84
4.2.2. 42FBB kodlu tasarım örneği.....	85
4.2.3. 42FBB (Diyagonal) kodlu tasarım örneği.....	86
4.2.4. 42SINB kodlu tasarım örneği	87
4.2.5. 42SIB kodlu tasarım örneği.....	88
4.2.6. 42SIB (Diyagonal) kodlu tasarım örneği	89
4.2.7. 82FBNB kodlu tasarım örneği.....	90
4.2.8. 82FBB kodlu tasarım örneği.....	91
4.2.9. 82FBB (Diyagonal) kodlu tasarım örneği	92
4.2.10. 82SINB kodlu tasarım örneği	93
4.2.11. 82SIB kodlu tasarım örneği.....	94
4.2.12. 82SIB (Diyagonal) kodlu tasarım örneği	95
4.3. 3D Tasarım Örnekleri	96
4.3.1. 43FBNB kodlu tasarım örneği.....	96
4.3.2. 43SINB kodlu tasarım örneği	98
4.3.3. 63FBNB kodlu tasarım örneği.....	100
4.3.4. 63SINB kodlu tasarım örneği	101
4.3.5. 83FBNB kodlu tasarım örneği.....	103
4.3.6. 83SINB kodlu tasarım örneği	104
4.3.7. 103FBNB kodlu tasarım örneği.....	106
4.3.8. 103SINB kodlu tasarım örneği	107
4.4. Sabit Tabanlı Sistemlerle İzolasyon Tabanlı Sistemlerin Karşılaştırılması.....	109

4.5. İzolasyon Tabanlı Sistemlerin Maliyet Üzerine Bir Değerlendirmesi	109
5. TARTIŞMA.....	113
5.1. 2D Tasarım Örneklerinden Elde Edilen Bulgularının Tartışılması.....	113
5.2. 3D Tasarım Örneklerinden Elde Edilen Bulguların Tartışılması.....	114
6. SONUÇLAR.....	117
7. KAYNAKLAR	119
8. EKLER	128
EK-1 AOA Algoritması Hassasiyet Analizi Sonuçları	128
EK-2 CSA Algoritması Hassasiyet Analizi Sonuçları	160
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Üçlü Sarkaç İzolatörlerle Sismik Olarak İzole Edilen Çelik Konstrüksiyon Binaların Optimum Tasarımı” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

30/11/2021

Refik Burak TAYMUŞ



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler:

$\vec{x}$	: Kesitler vektörü
$W\left(\vec{x}\right)$	: Kesitlere göre hesaplanan ağırlık fonksiyonu
$g_{id}\left(\vec{x}\right)$	: Kat ötelemesi fonksiyonu
$g_{td}\left(\vec{x}\right)$	: En üst kat ötelemesi fonksiyonu
P_p	: Yapay arı kolonisi algoritması için kaynak uygunluk değerine göre hesaplanan olasılık değeri
α	: Yapay arı kolonisi algoritması için [0,1] aralığında rastgele seçilen bir değer
β	: Yapay arı kolonisi algoritması için [0,1] aralığında rastgele seçilen bir değer
R_i	: Üçlü sarkaç izolatörlerin i. yüzey eğrilik yarıçapı
d_i	: Üçlü sarkaç izolatör i. kayıcı palakanın yatay yer değiştirme kapasitesi
R_{effi}	: Üçlü sarkaç izolatörlerin i. yüzey eğrilik etkili yarıçapı
h_i	: Üçlü sarkaç izolatör i. kayıcı palakanın yüksekliği
μ_i	: Üçlü sarkaç izolatör i. kayma yüzeyinin sütrünme katsayısı
W	: Eksenel yük

Kısaltmalar:

42FBNB	: 4 katlı 2 boyutlu sabit tabanlı yalın model
42SINB	: 4 katlı 2 boyutlu izolasyon tabanlı yalın model
42FBB	: 4 katlı 2 boyutlu sabit tabanlı güçlendirme güçlendirmeli model
42SIB	: 4 katlı 2 boyutlu izolasyon tabanlı güçlendirme güçlendirmeli model
82FBNB	: 8 katlı 2 boyutlu sabit tabanlı yalın model
82SINB	: 8 katlı 2 boyutlu izolasyon tabanlı yalın model

82FBB	: 8 katlı 2 boyutlu sabit tabanlı güçlendirme güçlendirmeli model
82SIB	: 8 katlı 2 boyutlu izolasyon tabanlı güçlendirme güçlendirmeli model
43FBNB	: 4 katlı 3 boyutlu sabit tabanlı yalın model
43SINB	: 4 katlı 3 boyutlu izolasyon tabanlı yalın model
63FBNB	: 6 katlı 3 boyutlu sabit tabanlı yalın model
63SINB	: 6 katlı 3 boyutlu izolasyon tabanlı yalın model
83FBNB	: 8 katlı 3 boyutlu sabit tabanlı yalın model
83SINB	: 8 katlı 3 boyutlu izolasyon tabanlı yalın model
103FBNB	: 10 katlı 3 boyutlu sabit tabanlı yalın model
103SINB	: 10 katlı 3 boyutlu izolasyon tabanlı yalın model
İter	: Algoritmadaki maksimum iterasyon sayısı
ABC	: Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony)
AOA	: Archimedes Optimizasyon Algoritması
CSA	: Karga Arama Algoritması (Crow Search Algorithm)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Sismik izolasyonun yapıların periyoduna ve paralelinde spektral ivmeye olan etkisi	10
Şekil 1.2. Elastomerik mesnet kesit görünüşü (Arfen 1999)	11
Şekil 1.3. Kurşun çekirdekli mesnet kesit görünüşü (Pillar 1997)	12
Şekil 1.4. Tekli sürtünmeli sarkaç mesnet (EPS 2012)	13
Şekil 1.5. İkili sürtünmeli sarkaç mesnet (Constantinou 2004)	13
Şekil 1.6. Üçlü sürtünmeli sarkaç mesnet (EPS 2012)	14
Şekil 3.1. Kiriş-Kolon bağlantısı ve sınırlayıcı parametreleri.....	25
Şekil 3.2. Kolon-Kolon bağlantısı ve sınırlayıcı parametreleri.....	26
Şekil 3.3. TFPB bileşenleri ve sürtünme yüzeyleri	36
Şekil 3.4. TFPB parametreleri.....	37
Şekil 3.5. i. kayma yüzeyi yatay hareketi ve kayma rijitliği	38
Şekil 3.6. TFPB için kayma rejimleri	39
Şekil 3.7. TFPB modelleme parametreleri.....	42
Şekil 3.8. TFPB üzerinde oluşan eksenel yük kaynaklı basınç bölgeleri	43
Şekil 3.9. TFPB geometrik sınır değerleri	45
Şekil 3.10. Fenz ve Constantinou (2008) çalışmasında TFPB için SAP 2000 modellemesi.....	46
Şekil 3.11. TFPB kayma yüzeylerinin yatay hareket esnasındaki fiziksel davranışı	47
Şekil 3.12. TFPB SAP 2000 modelinin X-Z ve Y-Z koordinatları için görünüşü	48
Şekil 3.13. 42FBNB model geometrisi.....	50
Şekil 3.14. 42SINB model geometrisi	50
Şekil 3.15. 42FBB model geometrisi.....	51
Şekil 3.16. 42SIB model geometrisi	51
Şekil 3.17. 42FBB (Diyagonal) model geometrisi	52
Şekil 3.18. 42SIB (Diyagonal) model geometrisi	52

Şekil 3.19. 82FBNB model geometrisi.....	54
Şekil 3.20. 82SINB model geometrisi	54
Şekil 3.21. 82FBB model geometrisi.....	55
Şekil 3.22. 82SIB model geometrisi	56
Şekil 3.23. 82FBB (Diyagonal) model geometrisi	56
Şekil 3.24. 82SIB (Diyagonal) model geometrisi	57
Şekil 3.25. 43FBNB model geometrisi.....	59
Şekil 3.26. 43SINB model geometrisi	60
Şekil 3.27. 43FBNB ve 43SINB modellerinin kolon aplikasyonu.....	60
Şekil 3.28. 63FBNB model geometrisi.....	62
Şekil 3.29. 63SINB model geometrisi	63
Şekil 3.30. 63FBNB ve 63SINB modellerinin kolon aplikasyonu.....	63
Şekil 3.31. 83FBNB model geometrisi.....	65
Şekil 3.32. 83SINB model geometrisi	66
Şekil 3.33. 83FBNB ve 83SINB modellerinin kolon aplikasyonu.....	67
Şekil 3.34. 103FBNB model geometrisi	69
Şekil 3.35. 103SINB model geometrisi	70
Şekil 3.36. 103FBNB ve 103SINB modellerinin kolon aplikasyonu.....	71
Şekil 3.37. Hassasiyet analizi için kullanılan çelik çerçeve örneği (Lee vd. 2011)	72
Şekil 3.38. Yatay elastik tasarım spektrumu	74
Şekil 3.39. Tasarım ivme spektrumu	78
Şekil 3.40. Azaltılmış tasarım ivme spektrumu	79
Şekil 3.41. C_f katsayısının emme ve basınç dağılım katsayıları (TS 498).....	80
Şekil 3.42. Rüzgar yükü etki alanları.....	81
Şekil 4.1. Üçlü sarkaç izolatör mesnet örneğinin analitik ve SAP 2000 modellemeleri için F- Δ eğrileri.....	83

Şekil 4.2. 42FBNB tasarım örneği için Iter – W eğrisi	84
Şekil 4.3. 42FBB tasarım örneği için Iter – W eğrisi	85
Şekil 4.4. 42FBB (Diyagonal) tasarım örneği için Iter – W eğrisi.....	86
Şekil 4.5. 42SINB tasarım örneği için Iter – W eğrisi.....	87
Şekil 4.6. 42SIB tasarım örneği için Iter – W eğrisi.....	88
Şekil 4.7. 42SIB (Diyagonal) tasarım örneği için Iter – W eğrisi.....	89
Şekil 4.8. 82FBNB tasarım örneği için Iter – W eğrisi	90
Şekil 4.9. 82FBB tasarım örneği için Iter – W eğrisi	91
Şekil 4.10. 82FBB (Diyagonal) tasarım örneği için Iter – W eğrisi.....	92
Şekil 4.11. 82SINB tasarım örneği için Iter – W eğrisi.....	93
Şekil 4.12. 82SIB tasarım örneği için Iter – W eğrisi.....	94
Şekil 4.13. 82SIB (Diyagonal) tasarım örneği için Iter – W eğrisi	95
Şekil 4.14. 43FBNB tasarım örneği için Iter – W eğrileri	96
Şekil 4.15. 43SINB tasarım örneği için Iter – W eğrileri	98
Şekil 4.16. 63FBNB tasarım örneği için Iter – W eğrileri.....	100
Şekil 4.17. 63SINB tasarım örneği için Iter – W eğrileri	102
Şekil 4.18. 83FBNB tasarım örneği için Iter – W eğrileri	103
Şekil 4.19. 83SINB tasarım örneği için Iter – W eğrileri	105
Şekil 4.20. 103FBNB tasarım örneği için Iter – W eğrileri	106
Şekil 4.21. 103SINB tasarım örneği için Iter – W eğrileri	108

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Hassaslık analizi için alınan arama parametre değerleri	35
Çizelge 3.2. Optimizasyon işlemi için seçilen parametre değerleri	36
Çizelge 3.3. TFPB tasarımı için kullanılabilir R_I ve DC değerleri (Constantinou vd. 2010).....	42
Çizelge 3.4. 2D çerçeve modelleri aks açıklığı ve kat yüksekliği değerleri	49
Çizelge 3.5. 4 katlı 2D tasarım örneklerinin bağlantı noktası, eleman ve grup sayıları.....	50
Çizelge 3.6. 42FBNB ve 42SINB modellerinin eleman grupları.....	51
Çizelge 3.7. 42FBB ve 42SIB, 42FBB (Diyagonal) ve 42SIB (Diyagonal) modellerinin eleman grupları	53
Çizelge 3.8. 8 katlı 2D tasarım örneklerinin bağlantı noktası, eleman ve grup sayıları.....	53
Çizelge 3.9. 82FBNB ve 82SINB modellerinin eleman grupları.....	55
Çizelge 3.10. 82FBB, 82SIB, 82FBB (Diyagonal) ve 82SIB (Diyagonal) modellerinin eleman grupları	57
Çizelge 3.11. 4 katlı 3D tasarım örneklerinin bağlantı noktası, eleman ve grup sayıları.....	58
Çizelge 3.12. 4 katlı 3D tasarım örneklerinin kat yükseklikleri.....	58
Çizelge 3.13. 43FBNB ve 43SINB modellerinin eleman grupları.....	61
Çizelge 3.14. 6 katlı 3D tasarım örneklerinin bağlantı noktası, eleman ve grup sayıları.....	62
Çizelge 3.15. 6 katlı 3D tasarım örneklerinin kat yükseklikleri.....	62
Çizelge 3.16. 63FBNB ve 63SINB modellerinin eleman grupları.....	64
Çizelge 3.17. 8 katlı 3D tasarım örneklerinin bağlantı noktası, eleman ve grup sayıları.....	64
Çizelge 3.18. 8 katlı 3D tasarım örneklerinin kat yükseklikleri.....	64
Çizelge 3.19. 63FBNB ve 63SINB modellerinin eleman grupları.....	67

Çizelge 3.20. 10 katlı 3D tasarım örneklerinin bağlantı noktası, eleman ve grup sayıları.....	68
Çizelge 3.21. 10 katlı 3D tasarım örneklerinin kat yükseklikleri.....	68
Çizelge 3.22. 103FBNB ve 103SINB modellerinin eleman grupları.....	71
Çizelge 3.23. Örneklerin optimum tasarımı için uygulanan yükler	73
Çizelge 3.24. Seçilen tatbik yerleşimi için ivme spektrumu parametreleri	73
Çizelge 3.25. Eşdeğer deprem yönteminin uygulama kriterleri.....	75
Çizelge 3.26. Deprem tasarım sınıfları	76
Çizelge 3.27. Bina yükseklik sınıfları.....	76
Çizelge 3.28. Rüzgar hızı ve rüzgar basıncı değerleri.....	80
Çizelge 3.29. Tasarım örneklerine uygulanan yük kombinasyonları	81
Çizelge 4.1. Tasarım örnekleri ve notasyonları.....	82
Çizelge 4.2. Doğrulama analizi için kullanılan üçlü sarkaç izolatör parametreleri (Fenz ve Constantinou 2008)	83
Çizelge 4.3. 42FBNB optimum analiz sonuçları.....	84
Çizelge 4.4. 42FBNB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri.....	84
Çizelge 4.5. 42FBB optimum analiz sonuçları	85
Çizelge 4.6. 42FBB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri	85
Çizelge 4.7. 42FBB (Diyagonal) optimum analiz sonuçları.....	86
Çizelge 4.8. 42FBB (Diyagonal) tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri.....	86
Çizelge 4.9. 42SINB optimum analiz sonuçları.....	87
Çizelge 4.10. 42SINB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri	87
Çizelge 4.11. 42SIB optimum analiz sonuçları.....	88
Çizelge 4.12. 42SIB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri.....	88
Çizelge 4.13. 42SIB (Diyagonal) optimum analiz sonuçları	89
Çizelge 4.14. 42SIB (Diyagonal) tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri	89
Çizelge 4.15. 82FBNB optimum analiz sonuçları.....	90

Çizelge 4.16.	82FBNB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri.....	90
Çizelge 4.17.	82FBB optimum analiz sonuçları	91
Çizelge 4.18.	82FBB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri	91
Çizelge 4.19.	82FBB (Diyagonal) optimum analiz sonuçları.....	92
Çizelge 4.20.	82FBB (Diyagonal) tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri	92
Çizelge 4.21.	82SINB optimum analiz sonuçları	93
Çizelge 4.22.	82SINB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri	93
Çizelge 4.23.	82SIB optimum analiz sonuçları.....	94
Çizelge 4.24.	82SIB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri.....	94
Çizelge 4.25.	82SIB (Diyagonal) optimum analiz sonuçları	95
Çizelge 4.26.	82SIB (Diyagonal) tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri	95
Çizelge 4.27.	43FBNB optimum analiz sonuçları.....	96
Çizelge 4.28.	43FBNB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri.....	97
Çizelge 4.29.	43SINB optimum analiz sonuçları	98
Çizelge 4.30.	43SINB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri	99
Çizelge 4.31.	63FBNB optimum analiz sonuçları.....	100
Çizelge 4.32.	63FBNB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri.....	101
Çizelge 4.33.	63SINB optimum analiz sonuçları	101
Çizelge 4.34.	63SINB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri	102
Çizelge 4.35.	83FBNB optimum analiz sonuçları.....	103
Çizelge 4.36.	83FBNB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri.....	104
Çizelge 4.37.	83SINB optimum analiz sonuçları	104
Çizelge 4.38.	83SINB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri	105
Çizelge 4.39.	103FBNB optimum analiz sonuçları.....	106
Çizelge 4.40.	103FBNB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri.....	107
Çizelge 4.41.	103SINB optimum analiz sonuçları	107

Çizelge 4.42. 103SINB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri	108
Çizelge 4.43. Sabit tabanlı ve izolasyon tabanlı sistemlerin optimum ağırlık karşılaştırmaları	109
Çizelge 4.44. 2D modeller için λ ve λ_x değerleri.....	111
Çizelge 4.45. 3D-ABC algoritmali model için λ ve λ_x değerleri.....	111
Çizelge 4.46. 3D-AOA algoritmali model için λ ve λ_x değerleri	112
Çizelge 4.47. 3D-CSA algoritmali model için λ ve λ_x değerleri	112



1. GİRİŞ

1.1. Optimizasyon

Optimizasyon, bir fonksiyonun en iyi sonucuna ulaşmayı hedefleyen bir matematik dalıdır. Bu hedefe ulaşmak için belirlenen kısıtlamaları da sağlaması gerekir. Optimum çözüm metotları, bu kısıtlamalar altında mevcut olan seçenekler arasından en iyiyi bularak uygulamayı esas alır. Optimizasyonun en çok kullanıldığı alanlar uygulamalı matematik, bilgisayar bilimi, mühendislik ve ekonomidir. Optimizasyon yöntemleri genellikle doğal yaşam üzerinde yapılan birtakım izlenimler neticesinde ortaya çıkmıştır. Hayvanların yiyecek bulma noktasında en kısa yolu kullanma içgüdüleri veya avlanırken tükettikleri enerjiyi minimum seviyede tutacak şekilde bir strateji izlemeleri birer doğal optimum çözüm tekniğidir.

1.2. Optimizasyon Problemi

Bir optimizasyon probleminin oluşturulmasında ilk hedef problemin ana elemanlarının belirlenmesidir. Bu ana elemanlar tasarım değişkenleri, tasarım kısıtlamaları ve amaç fonksiyonudur. Sonraki adımda çözümlenecek problemin matematiksel modeli oluşturulur. Son olarak kullanılacak optimizasyon algoritması belirlenir ve modele uygulanır.

1.2.1. Tasarım değişkeni

Tasarım değişkeni, bir optimizasyon probleminin çözümlenmesinde çözüme etki eden değişkenlerdir. Yapı mühendisliği için yapı elemanlarının boyutları veya malzeme mühendisliğinde malzemelerin hacimsel miktarları tasarım değişkenlerine birer örnek olarak verilebilir. Tasarım değişkenleri iki gruba ayrılır: (i) sürekli tasarım değişkenleri, (ii) ayrık tasarım değişkenleri. Sürekli tasarım değişkenleri, elemanın sadece kendisi için belirlenen alt ve üst sınırlarda alabildiği değer değişkenidir. Buna örnek olarak, çelik bir profilin derinliğinin sadece belirlenen sınırlar içerisinde değer alabilmesi verilebilir. Ayrık tasarım değişkeni ise belirli bir değer listesinden sadece belirli değerleri alabilen değişkenlerdir. Örneğin, cıvata bağlantılı çelik profillerde kullanılan cıvata sayısı bir ayrık değişkendir. Aynı zamanda, bir çelik tasarım probleminde kullanılacak çelik profiller, tasarıma uygun olarak önceden hazırlanan bir profil listesinden belirli sınır şartları altında seçileceğinden, bu profiller de ayrık tasarım değişkenlerinin bir örneğidir. Ayrık tasarım değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümlenmesi sürekli değişkenli tasarım problemlerine göre daha zordur. Fakat mühendislik tasarım problemleri için ayrık değişkenli tasarım daha uygundur.

1.2.2. Tasarım kısıtlamaları

Optimum tasarım problemlerinde ele alınan tasarım değişkenleri belirli sınırlayıcıları sağlayacak şekilde seçilmelidir. Bu sınırlayıcılara tasarım kısıtlamaları denir. Tasarım kısıtlamaları ikiye ayrılır: (i) Boyut kısıtlamaları, (ii) Davranış kısıtlamaları. Boyut kısıtlamaları adından da anlaşılacağı gibi tasarımda kullanılan elemanların boyutlarının belirlenen alt ve üst sınırlar çerçevesinde kalmasını sağlayan kısıtlamadır. Örnek verilecek olursa, tasarımda seçilecek bir yapı elemanının genişliğinin veya derinliğinin alabileceği minimum ve maksimum değerler göz önüne

alınarak, mevcut eleman listesinden bu değerlere göre seçim yapılır. Davranış kısıtlamaları ise yapının bir bütün olarak davranışı esas alınarak, bu davranışın belirlenen kriterler dışına çıkmasını engelleyen kısıtlamalardır. Yapısal bir optimum tasarım probleminin çözümlenmesinde, yapının kat ötelemelerinin belirli sınırlarda tutulması veya yapı elemanlarının her birinin tasarım yüklemelerine karşı mukavemet göstermesinin sağlanması davranış kısıtlamalarına birer örnek olarak verilebilir.

1.2.3. Amaç fonksiyonu

Amaç fonksiyonu, tasarım etkinliğinin ne yönde olacağını belirleyen tasarım değişkenlerine bağlı bir fonksiyondur. Optimum tasarımlar en iyi sonucun elde edilmesini sağlayan çözüm teknikleridir. Bazı problemlerde en iyi sonuç istenen değerin maksimize edilmesi, bazı problemlerde ise tam tersi bu değerin minimize edilmesidir. Örneğin, yapısal bir optimum tasarım probleminde amaç giriş elemanlarının düşey yer değiştirmelerinin minimum olmasını sağlamak ise, o girişin rijitliğinin maksimum seviyelere getirilmesi gereklidir. Öte taraftan, bir yapının belirlenen tasarım kısıtlamalarını sağlaması şartıyla en düşük ağırlığa sahip olacak şekilde tasarlanması amaç fonksiyonunun minimizasyon için çalışacağı anlamına gelir.

1.2.4. Optimizasyon probleminin matematiksel modellemesi

Optimum tasarım problemlerinin matematiksel modellemesi, tasarım kısıtlamalarına bağlı amaç fonksiyonunun minimizasyonu veya maksimizasyonu için gerekli tasarım değişkenlerinin değerlerini belirlemeye dayalı bir çözüm algoritmanın hazırlanmasıdır. Bu algoritma fonksiyonlara bağlı olarak şu şekilde ifade edilebilir:

Tasarım için belirlenen eşitsizlik kısıtlamaları ve eşitlik kısıtlamaları fonksiyonları;

$$\begin{aligned} g_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \leq 0, g_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \leq 0, \dots, g_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \leq 0 \\ h_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0, h_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0, \dots, h_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0 \end{aligned} \quad (1.1a)$$

Bağıntı (1.1a)'deki kısıtlamalara bağlı olarak belirlenen amaç fonksiyonu;

$$f(x) = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1.1b)$$

Bağıntı (1.1b)'deki amaç fonksiyonunu minimize veya maksimize etmek için çözümlenecek tasarım değişkeni vektörü;

$$X^T = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n] \quad (1.1c)$$

Burada n algoritmada kullanılacak toplam tasarım değişkeni sayısı ve x_n ise n . sıradaki tasarım değişkenidir.

1.2.5. Optimizasyon teknikleri

Optimum çözüm tekniklerinin çok eskilere dayanmaktadır. Lagrange, Cauchy, ve Newton dönemlerinde optimum tekniklerin kullanıldığına dair izler mevcuttur (Krishna 2009). Diferansiyel analiz optimizasyon tekniklerinin geliştirilmesinde Newton ve Leibnitz'in analiz alanındaki katkılarının payı büyüktür. Öte taraftan, bir fonksiyonun minimum değerinin belirlenmesi ile ilgili varyasyon hesabı Bernoulli, Euler, Lagrange, ve Weirstrass dönemlerine kadar gittiği görülmektedir (Krishna 2009). Lagrange, bilinmeyen çarpanlarının ekli olduğu sınırlayıcı optimizasyon problemlerinin çözümünü veren bir yöntem keşfetti (Krishna 2009). Cauchy, sınırlayıcısız minimize optimizasyon problemlerinin çözülmesinde en dik iniş yönteminin ilk uygulamasını gerçekleştirdi. Fakat, optimum tasarım problemlerinde çözüm yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması 20. yüzyılın ortalarından itibaren başladı. Bilgisayar teknolojisinin giderek gelişmesiyle birlikte, daha öncesinde çözümü mümkün görünmeyen sayısal analizler hızlı bir şekilde çözülmemeye başladı. Bu sayede sayısal optimizasyon prosedürlerinin uygulamaları gelişim gösterdi ve hızlı ve güvenilir çözümler veren yeni yöntemler geliştirilmeye başlandı. Doğrusal programlama problemlerinin çözümü için kullanılan Simpleks Yöntemi 1947'de Dantzig tarafından bulundu (Dantzig ve Thapa 1997). 1957'ye gelindiğinde Bellman tarafından dinamik programlama problemlerinin çözümünü ağılayan Optimallik İlkesi geliştirildi (Bellman 1957). Bu çalışmalar ışığında, Kuhn ve Tucker sınırlayıcılara dayalı optimizasyon problemlerinin çözüm yöntemlerinin gelişimi üzerine çalışmalar yaptılar (Kuhn ve Tucker 1951). Bu çalışma, doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinin çözümü için birçok yöntemin geliştirilmesinin temelidir.

1960'lara gelindiğinde doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinin çözümünü elde edebilen yöntemlerde gelişme kaydedildi. (Zoutendijk 1960) çalışmasında, doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinin çözümü için, doğrusal olmayan amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların kullanıldığı bir yöntem olan uygulanabilir yönler yöntemi tanıtıldı. Yürütülen bir başka çalışmada, karmaşık optimizasyon problemlerini çözebilmek adına geometrik programlama tekniği geliştirildi (Duffin vd. 1967). Doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilen bir başka yöntem olan ceza fonksiyonu yöntemi de yine bu dönemlerde geliştirildi (Carroll 1968; Fiacco ve McCorMick 1968). Bu yöntemler genel olarak mühendislik tasarım problemlerinin çözümü için tasarlanmıştı. Fakat daha sonra gözlemlendi ki problemler karmaşık hale geldikçe çözümler güvenilir olmaktan çıkıyordu ve hatta bazı durumlarda yakınsama problemlerinden dolayı çözüm elde edilemiyordu. Buna bağlı olarak, ayrık tasarım problemleri olarak sınıflandırılan mühendislik tasarım problemleri için hızlı ve güvenilir çözümler veren yeni yaklaşımlara ihtiyaç olduğu ortaya çıktı.

Stokastik arama tekniklerinin geliştirilmesiyle ayrık programlama problemleri için etkili çözümler elde edilmeye başlandı (Dorigo 1992; Reeves 1993; Paton 1994; Xie ve Steven 1997; Van Laarhoven ve Aarts 1998; Matheek 1998; Adami 1998; Mitchell 1998; Melanie 1998; Goldberg 1998; Dasgupta 1999; Bonabeau vd. 1999; Dorigo vd. 1999; Flake 2000; Kennedy vd. 2001; Geem ve Kim 2001; Kochenberger ve Glover 2003; De Castro ve Von Zuben 2005; Dreio vd. 2006). Bu teknik yapısal optimizasyon problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan birçok çözüm algoritmasının geliştirilmesine imkân sağlamıştır. Günümüzde sıklıkla kullanılan

genetik algoritma, evrimsel stratejiler algoritması, tavlama simülasyonu algoritması, tabu arama algoritması, karınca kolonisi algoritması ve parçacık sürüsü algoritması stokastik arama teknikleri altyapısıyla oluşturulmuş optimizasyon algoritmalarının bazılarıdır (Geem 2009).

1.3. Yapısal Optimizasyon

Bir yapının sağlam ve güvenilir olmasının yanı sıra maliyet açısından da makul seviyelerde tasarlanmış olması oldukça önemlidir. Bu bağlamda, yapısal optimizasyonun temel amacı yapının sağlam ve güvenilir olmasıyla birlikte olabildiğince minimum maliyetli olmasını sağlayan çözümler sunmaktır. Yapının, şartnamelerde verilen sınırlayıcılara uymak koşuluyla güvenli olarak hizmet verebileceği minimum kesitlerin belirlenip yapıya tatbik edilmesiyle yapının maliyet-performans açısından en uygun duruma getirilmesi yapısal optimizasyon sayesinde gerçekleşir.

1.3.1. Yapısal optimizasyon probleminin matematiksel modellemesi

Bir yapısal optimizasyon probleminin matematiksel modeli için temel fonksiyonlar şu şekilde ifade edilebilir:

Tasarım için belirlenen sınırlayıcı fonksiyonları;

$$g_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{gs}) \leq 0, g_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{gs}) \leq 0, \dots, g_{gs}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{gs}) \leq 0 \quad (1.2a)$$

Bağıntı (1.2a)'deki kısıtlamalara bağlı olarak belirlenen amaç fonksiyonu;

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{gs}) = \sum_{n=1}^{gs} x_n \cdot \sum_{m=1}^{es} \delta_m \cdot L_m \quad (1.2b)$$

Bağıntı (1.2b)'deki amaç fonksiyonunu minimize veya maksimize etmek için çözümlenecek tasarım değişkeni vektörü;

$$X^T = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_{gs}] \quad (1.2c)$$

Burada, amaç fonksiyonu yapıdaki her bir gruba ait elemanların ağırlıklarının bir fonksiyonudur. Ayrıca sınırlayıcı fonksiyonları da yapının tasarımı için kullanılacak tasarım şartnamesine göre belirlenen fonksiyonlardır. “gs” yapı sistemindeki elemanların bulunduğu grup sayısı, “es” n numaralı grubu oluşturan elemanların sayısı, “ δ_m ” m numaralı elemanın özgül ağırlığı, “ L_m ” m numaralı elemanın boyu, “ x_n ” n numaralı gruptaki elemanların kesit alanı ve “ X^T ” grup elemanlarının kesit alanları vektörüdür.

1.3.2. Yapısal optimizasyon teknikleri

Yapıların optimizasyonu için üç temel metot bulunmaktadır. Bunların ilki analitik metotlar, ikincisi nümerik metotlar, ve sonuncusu ise stokastik arama metotlarıdır.

1.3.2.1. Analitik metotlar

Analitik metotlar genellikle yapı elemanlarının geometrik yapılarını ve optimal düzenlerini elde etmek için kullanılır (Haftka ve Grandhi 1986). Klasik matematiksel teorilere ve varyasyonel yöntemlere dayalı olarak çalışırlar. Optimum şartlara göre düzenlenmiş denklem sistemlerinin tam çözümü şeklinde sonuç elde ederler. Bu yüzden yapı elemanlarının temel çözümü için iyi bir çözüm yöntemi olsa bile, büyük ve karmaşık yapı sistemlerinde optimum çözüm elde edebilmek için yeterli değildir.

1.3.2.2. Nümerik metotlar

Nümerik metotlarda çözümler yaklaşım tabanlıdır. Çözüm için bir optimum tasarım algoritması oluşturulur ve bu algoritma ile yapının optimum çözümü iteratif olarak gerçekleştirilir. Optimum tasarım algoritmalarını oluşturmak iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi matematiksel programlama yöntemi diğeri ise optimallik kriterleri yöntemidir.

Matematiksel programlama yöntemi

Matematiksel programlama yönteminde, belirlenen kısıtlamalara bağlı olarak sürekli değişkenlere bağlı bir fonksiyonu maksimize veya minimize etmeye dayalı bir prensipte çalışırlar. Bu yöntem doğrusal ve doğrusal olmayan programlar şeklinde iki ayrı şekilde sınıflandırılır. Bu yöntemde, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar tasarım değişkenlerine bağlı fonksiyonlardır. Tasarım değişkenlerinin doğrusal ve doğrusal olmamasına bağlı olarak; bu yöntem doğrusal ve doğrusal olmayan programlama olarak iki sınıfa ayrılır. Doğrusal olmayan programlamada, optimum çözüm için bir başlangıç noktası belirlenir ve çözüm buradan başlar. Daha sonra sınırlayıcıları sağlamak şartıyla amaç fonksiyonunun değişim ölçüsüne göre ilerleyerek amaç fonksiyonunun değerini düşürmeye çalışır. Matematiksel programlama yöntemi küçük çaplı optimizasyon problemlerinin çözümü için uygun bir yöntem olsa da büyük çaplı problemlerde çözüm bulmaları oldukça zordur.

Optimallik kriterleri yöntemi

İlk kez (Prager ve Shield 1967) çalışmasında tanıtılan bu yöntem, bazı karakteristik özelliklerin optimum çözüm esnasında elde edilebileceği varsayımına dayalıdır. İki aşamalı olarak uygulanan yöntemde birinci aşama Kuhn-Tucker doğrusal olmayan programlama şartları ve diğer aşama ise Lagrange çarpanıdır. İlk aşamada, ya Kuhn-Tucker şartlarından ya da yapıdaki gerinim-enerji yoğunluğunun düzgün dağılım gösterdiği varsayımına bağlı sezgisel bir şarttan herhangi birini kullanarak bir optimallik kriteri elde edilir. Optimallik kriterleri yöntemi iki aşamalı prosedür olarak uygulanmaktadır. İlk adımda, ya Kuhn-Tucker koşulları kullanılarak ya da yapıdaki gerinim enerji yoğunluğunun tekdüze olduğu şartı gibi sezgisel bir koşul kullanılarak bir optimallik kriteri türetilir. İkinci aşamada ise, elde edilen optimallik kriterine göre yapı yeniden boyutlandırılır. Optimallik kriterleri yöntemi tasarım değişkenlerini sürekli değerler olarak ele alır. Bu yöntem üzerinde yapılacak bazı değişikliklerle ayrık optimizasyon problemlerinin çözümü mümkündür.

1.3.2.3. Stokastik arama metotları

Büyük ve karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde oldukça etkili bir yöntem olan stokastik arama metotları yakın zamanda geliştirilen, olasılığa dayalı geçiş kuralları kullanan bir optimum çözüm metodudur. Yöntem tamamen doğal yaşamdan elde edilen izlenimlerden esinlenilerek geliştirilmiştir. Hedefe ulaşmak için en kısa yolu keşfetme veya yapılacak herhangi bir eylem için en az enerjiyi harcama gibi doğal optimum çözümleri algoritmalar vasıtasıyla simüle eder. Stokastik arama yöntemlerinden bazıları genetik algoritma, evrimsel stratejiler, tavlama simülasyonu, parçacık sürüsü optimizasyonu, tabu arama, karınca kolonisi, uyumluluk arama, yapay arı kolonisi, karga arama ve Archimedes optimizasyonu yöntemleridir.

Genetik algoritma

Stokastik arama metotlarının en popüler optimizasyon algoritmalarından biri olan genetik algoritma evrim teorisine dayalı olarak türetilmiştir. 1975 yılında John Holland tarafından geliştirilen bu algoritma Darwin'in hayatta kalış teorisini esas alır (Holland 1975). Algoritma, ilk olarak rastgele veya kısıtlamalara göre seçilmiş bireylerden oluşan başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıyla çalışmaya başlar. Bu bireyler programa uygun olarak kodlanmış diziler olarak ele alınırlar. Bireyler uygunluk fonksiyonuna tabi tutularak optimum çözüme yaklaşma durumuna göre uygunluk değerleri hesaplanır. Sonrasında bireyler çözüm döngüsüne girer ve maksimum döngü sayısına ulaşıldığında bir çözüm elde edilemezse bireylere seçme, güçlendirmelama ve mutasyon adı verilen üç evrim operatörü uygulanır. Seçme işleminde, hesaplanan uygunluk değerlerine göre popülasyona yeni bireyler seçilir. Daha sonra güçlendirmelama operatörü devreye girerek bu yeni bireylerin karşılıklı olarak belirli bir kısmı değiştirilerek yeni özellikte bireyler oluşturur. Son operatör olan mutasyon ise güçlendirmelanan bireylerin kromozomlarının içerisindeki herhangi bir geni mutasyon olasılığına bağlı olarak değiştirir. Evrim operatörlerine maruz kalarak oluşan yeni bireyler tekrar çözüm döngüsüne girer ve prosedür kullanıcının tanımladığı durdurma kriterlerinden biri (örneğin: maksimum döngü sayısına ulaşma) elde edilinceye kadar devam eder.

Evrimsel stratejiler

İlk olarak Rechenberg ve Schwefel'in 1964 yılında Berlin'deki bir deneysel çalışma sonucunda geliştirdiği algoritma sürekli optimizasyon problemlerinin çözümü için tasarlanmıştır (Rechenberg 1973; Schwefel 1981). Adaptasyon ve evrimin karmaşık mutasyon ve değişim işlevleri fikirlerine dayalı bu algoritma, ebeveyn bireylerden oluşan başlangıç popülasyonunun mutasyon, seçme ve rekombinasyon operatörlerinden geçerek yeni popülasyonlar oluşturması şeklinde çalışır. Büyük ölçekli optimizasyon problemleri için etkili bir çözüm yöntemi olarak kullanılmaktadır. (Rajasekaran vd. 2004), (Ebenau vd. 2005) ve (Hasançebi vd. 2009) çalışmalarında, büyük ölçekli optimizasyon problemlerinin çözümü için bu algoritma kullanılmış ve etkin bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Tavlama simülasyonu

Tavlama simülasyonu ilk olarak Kirkpatrick vd. (1983)'in çalışmasında tanıtılmış, yapısal optimizasyon problemlerinde (özellikle çelik yapı tasarımları için) yaygın olarak kullanılan bir stokastik yöntemdir. Balling (1991), May ve Balling (1992), Topping vd. (1993) ve Hasaebi ve Erbatur (2002a, b) alışmalarında çelik yapı sistemlerinin optimum özümlelerinde bu yöntemin etkili olduğu görülmüştür. Bu yöntem bir malzemenin tavlama prosedüründen yola çıkılarak geliştirilmiştir. Malzemeler tavlarken ilk olarak malzeme belirli bir dereceye kadar ısıtılarak atomların ayrışması ve daha yüksek enerji durumlarında hareket etmesine sebep olur. Sonrasında malzeme kontrollü bir şekilde soğutularak bu atomların sabit duruma geçmeleri için en optimum konumu bulmaları sağlanır. Buna bağlı olarak, tavlama algoritmasında ilk olarak rastgele bir yapı tasarlanır ve bu yapı tasarımının yakınlarında yeni yapı tasarımları üretilir. Bu yeni yapı tasarımlarının amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır ve sonrasında sıcaklık düşürülmeye başlanarak sistemin düşük sıcaklıkta optimum durumda dondurulması hedeflenir. Algoritma optimum sonuç elde edinceye kadar bu döngü tekrarlanır.

Paracak sürüsü optimizasyonu

İlk olarak Kennedy ve Eberhart'ın 1995 yılında yaptıkları çalışmalarında tanıtılan bu yöntem, böcek ve balıkların sürü halindeki hareketlerine dayanarak türetilmiştir (Kennedy vd. 2001). Sürü halinde hareket eden hayvanların, yiyecek arama ve kendilerini koruma gibi içgüdüsel olarak sergiledikleri rastgele davranışlarda, hedeflerine kolayca ulaştıkları gözlemlenmiştir. Algoritma, sürüdeki her bir parçacığın, sürü içerisindeki konumu en iyi olan parçacığa göre konumunu ayarlamasına dayalıdır. Her bir parçacık, önceki tecrübesinden faydalanarak bir sonraki adımda kendini daha iyi bir konuma getirir ve bu döngü parçacıkların en iyi konuma gelmelerine kadar devam eder. Fourie ve Groenwold (2002) ve Perez ve Behdinan (2007) alışmalarında, yapısal optimizasyon problemlerinde paracak sürüsü algoritmasının etkili bir performans gösterdiği belgelenmiştir.

Tabu arama

1989 yılında Glover tarafından tanıtılan tabu arama yöntemi, bir çözümün komşuluğunda, bu çözümünden iteratif olarak yeni çözümler elde etmeye dayanır (Glover 1989). Bir değerlendirme fonksiyonu vasıtasıyla her iterasyonda en yüksek değerlendirme puanını alan hareket seçilerek bir tabu listesi oluşturulur. Tabu listesi önceki bir hareketin tersine dönmesini engeller. Tabu arama yöntemi çelik yapı tasarımları için kullanılmış ve etkili sonuçlar elde edilmiştir (Değertekin vd. 2006a, b, 2007a, b, 2008; Hasaebi vd. 2009).

Karınca kolonisi

Karınca kolonisi algoritması ilk olarak Marco Dorigo tarafından yapılan doktora tezinde tanıtılmıştır (Dorigo et al 1991a, b, 1992, 1996). Algoritma karıncaların yiyecek bulma amacıyla en kısa yolu keşfetme içgüdülerinden yola çıkılarak geliştirilmiştir. Karıncalar yiyecek bulmak için gidip geldiklerinde feromon adı verilen bir maddeyi

yola bırakırlar. Sonradan gelen karıncalar buldukları feromon seviyelerine göre hangi yolu daha yoğun bir şekilde kullanacaklarına karar verirler. Karınca kolonisi algoritmasında ilk adım olarak iterasyon sayısı, karınca sayısı ve başlangıç feromon seviyesi belirlenir. İkinci adımda tüm karıncaların hedefe ulaşip ulaşmadığı gözlemlenir. Hedefe ulaşmada başarısız olunmuşsa olasılık dağılımını kullanarak bir çözüm oluşturulur ve yerel feromonlar güncellenir. Bu adımdan sonra en uygun yol belirlenir ve sadece bu yolun feromon seviyesi güncellenir. Eğer yine hedefe ulaşamamışsa ikinci adıma dönülerek başarı sağlanana kadar döngüye devam edilir.

Harmoni arama

Harmoni arama algoritması, bir müzisyenin doğaçlama yaparak başarılı bir melodi çıkarabilmek için uyguladığı prosedürden esinlenerek türetilmiştir. Yapısal optimizasyon problemleri için etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Müzisyenler doğaçlama yaparken rastgele seçtikleri notalarla melodi yapmaya başlarlar. Sonrasında istedikleri melodiyi elde edemezlerse önceki notayı komşu notalarla değiştirerek daha iyi bir melodi elde etmeye çalışırlar. İstedikleri harmoniyi bulduklarında da o notayı hafızalarına atarlar. Yapısal optimizasyon problemlerinde de başlangıç değişkenleri rastgele olarak atandıktan sonra, istenen sonuç elde edilemezse bu değişkenler değiştirilerek sonuca gitmeye çalışılır. Bu değişkenler içerisinde uyumlu olanlar hafızaya atılır. En iyi sonuca ulaşana dek bu prosedür devam eder.

Yapay arı kolonisi

Yapay arı kolonisi yöntemi ilk olarak Karaboğa ve Baştürk tarafından, yiyecek arama sırasında minimum enerji harcaması için arıların davranışlarını gözlemleyerek geliştirilmiştir (Karaboğa 2005; Baştürk ve Karaboğa 2006; Karaboğa ve Baştürk 2007a, b, 2008; Karaboğa ve Akay 2011; Karaboğa vd. 2014). Yöntem çalışan arıları işçi, gözcü ve kâşif arılar olarak sınıflandırır. İşçi arılar, nektar kaynaklarından polen toplamayı ve koloni ile kaynaklar hakkında bilgi paylaşmayı ele alır. Gözcü arılar işçi arılardan gelen bilgilere göre kaynağa uçmaya karar verirler. Tükenmiş bir kaynak oluşması durumunda, kâşif arıları tükenmiş kaynaklar yerine yeni kaynak ararlar. Algoritmanın her döngüsünde görevli arılar bir kaynak seçer ve gözcü arılar işçi arılarla aynı toplam uçuş sayısına sahiptir. Kâşif arılar, tükenmiş kaynağa uçan işçi arının yerini alır. Bu nedenle yöntemde işçi arı, gözcü arı ve yiyecek kaynağı sayıları eşittir. Yöntemde, nektar kaynağı, kaynağın konumu ve kaynağın kalitesi sırasıyla aday çözümü, tasarım değişkenlerini ve çözümün uygunluğunu temsil eder. Bu algoritma ile ilgili daha detaylı bilgiler sonraki bölümlerde verilecektir.

Karga arama

Karga arama algoritması ilk olarak Askarzadeh (2016) çalışmasında tanıtılmıştır. Kargalar yiyecek buldukları zaman onları saklayarak depolama ve yeri geldiğinde de sakladıkları yeri hatırlayabilen zeki hayvanlardır. Aynı zamanda yüzleri tanıma ve

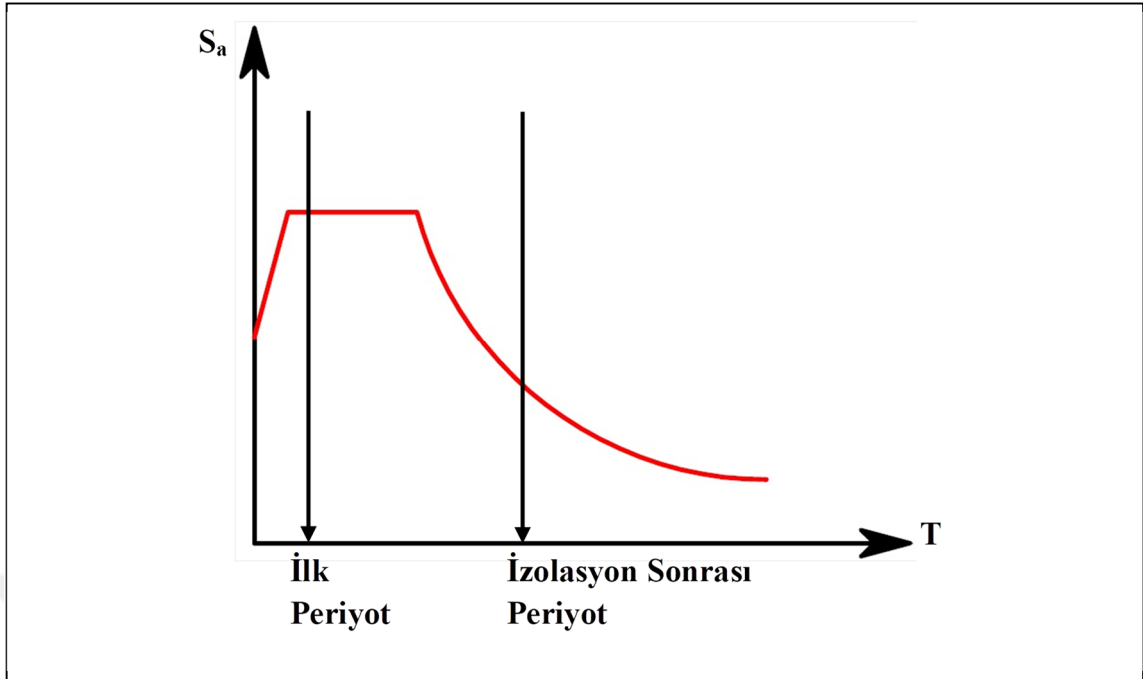
tehlike anında kendi türlerini uyarma gibi kabiliyetlere sahiptirler. Algoritma kargaların bu davranışlarının bir simülasyonu olarak türetilmiştir. Algoritmanın ilk adımında rastgele bir karga sürüsü belirlenir. Daha sonra uyumluluk fonksiyonu denilen bir fonksiyon yardımıyla kargaların konumu değerlendirilir ve değerlendirmeden elde edilen veriler bir başlangıç hafızasında depolanır. Daha sonra her bir karga rastgele seçtiği bir başka kargaya göre konumunu günceller. Bu güncellemenin ardından başlangıç hafızası yenilenir ve istenen uyumluluk değerleri elde edilinceye kadar bu döngü devam eder. Algoritmayla ilgili daha detaylı bilgiler sonraki bölümlerde verilecektir.

Archimedes optimizasyonu

Popülasyon tabanlı bir algoritma olan Archimedes optimizasyon algoritması ilk olarak Hasim vd. (2021) çalışmasında tanıtıldı. Algoritma Archimedes'in kaldırma kuvveti yasasına dayalı olarak türetilmiştir. Sıvılarda kaldırma kuvveti, sıvıya batırılan bir nesneden dolayı yer değiştiren sıvının ağırlığına eşittir. Buna bağlı olarak, batırılan nesnenin ağırlığı yer değiştiren sıvıdan büyükse nesne batar. Aksi durumlarda nesne batmaz ve sıvının yüzeyinde yüzer. Algoritmaya göre batırılan nesneler bireylerdir. Algoritmanın amacı ise batırılan bireylerin ağırlıklarını, sıvının ağırlığıyla eşit olacak şekilde optimize etmektir. Stokastik optimizasyon algoritmaları içerisinde en yeni yöntemlerden birisi olan bu algoritma yapısal optimizasyon problemlerinin çözümünde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Daha fazla bilgi ilerleyen bölümlerde detaylıca verilecektir.

1.4. Sismik İzolasyon

Yapılara en büyük hasarı veren etken depremlerdir. Depremi şiddetine bağlı olarak, yapılarda maddi manevi çok ciddi zararlar meydana gelebilmektedir. Depremlerin etkilerini bertaraf edebilmek için yapı mühendisliği alanında yıllar içerisinde birçok çalışma yapılmıştır. Sismik izolasyon, bu çalışmaların bir meyvesi olarak ortaya çıkmış, yapılarda deprem etkisini minimize etmek için kullanılan en etkili yöntemdir. Sismik izolasyon, yapının temeline yerleştirilen izolatör aygıtları sayesinde, gelen yer hareketinden kaynaklı yatay kuvvetleri üst yapıya olabildiğince az miktarda aktararak yapının deprem sebebiyle alacağı hasarı en aza indirmeyi amaçlar. Aygıtların temel çalışma prensibi, yapının temelinde yatay yer değiştirmeyi artırarak yapının periyodunu yükseltmektir. Yapının periyodunun artmasıyla depremden kaynaklı spektral ivmelerin şiddeti ve paralelinde depremin hasar verici etkisi olabildiğince azaltılmış olur (Şekil 1.1). Sismik izolasyonun tatbik edilmesinde dikkat edilmesi gereken husus, tatbik edilecek yapının konumlandığı zemin durumudur. Yumuşak zeminlerde yapının periyodunu artırmak yapıya gelen spektral ivme değerlerinin de artmasına sebep olacağından bu tür zemine sahip yapılarda sismik izolasyon uygulanmamalıdır.



Şekil 1.1. Sismik izolasyonun yapıların periyoduna ve paralelinde spektral ivmeye olan etkisi

1.4.1. Sismik İzolatör Türleri

Sismik izolasyon için çeşitli izolatör aygıtları kullanılmaktadır. Bunlar arasında en çok kullanılan türler elastomerik mesnetler, kurşun çekirdekli mesnetler ve sürtünme bazlı mesnetlerdir.

1.4.1.1. Elastomerik mesnetler

Elastomerik mesnetler, vulkanize kauçuk ve çelik katmanlardan oluşan dikkörtgen veya silindir şeklinde üretilen bir sismik izolasyon malzemesidir (Şekil 1.2). Kauçuk katmanlar yapıya gelen yatay kuvvetlerden kaynaklı yatay hareketi sönümlerken çelik katmanlar da üst yapıdan gelen düşey kuvvetlere karşı dayanım sağlamaktadır. Köprüler ve viyadükler başta olmak üzere, binalarda da başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.



Şekil 1.2. Elastomerik mesnet kesit görünüşü (Arfen 1999)

1.4.1.2. Kurşun çekirdekli mesnetler

Elastomerik mesnetlere yakın çalışma prensibine sahip olan kurşun çekirdekli mesnetler, elastomerik mesnetlerdeki katmanların ortasına bir kurşun çekirdek yerleştirilerek üretilen bir mesnet türüdür (Şekil 1.3). Bu çekirdeğin amacı mesnete daha fazla rijitlik ve sönümlene enerji katmak ve bununla beraber uniform bir şekil değiştirme yeteneği kazandırmaktır. Maliyeti elastomerik mesnetlerden daha fazla olan bu mesnet türü, güvenliğin daha fazla ihtiyaç duyulduğu riskli bölgelerde sıklıkla tatbik edilmektedir.



Şekil 1.3. Kurşun çekirdekli mesnet kesit görünüşü (Pillar 1997)

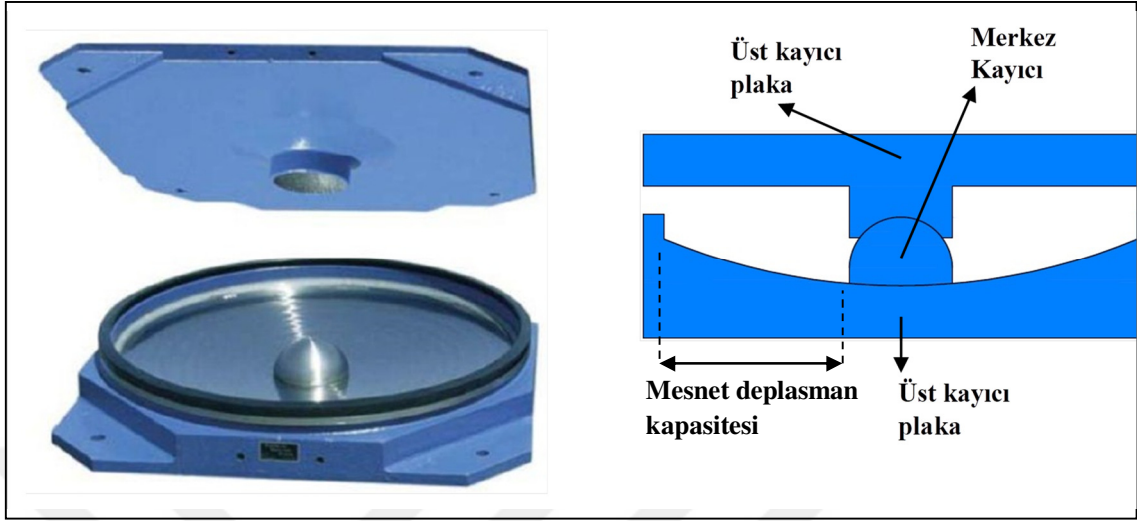
1.4.1.3. Sürtünme bazlı mesnetler

Sürtünmeye bağlı çalışan mesnetler, sürtünme kuvveti etkisiyle yatay yer hareketlerini kontrol eden ve izolasyon sağlayan mesnetlerdir. Günümüzde en sık kullanılan sürtünmeli mesnet türleri sürtünmeli sarkaç mesnetlerdir. Sürtünmeli sarkaç mesnetler de tekli, ikili ve üçlü olmak üzere 3 tipe sahiptir.

Tekli sürtünmeli sarkaç mesnetler

Tekli sürtünmeli sarkaç izolatörler alt plaka, üst kayıcı plaka ve merkez kayıcı olmak üzere 3 bileşenden oluşur (Şekil 1.4). Alt plaka konkav bir yüzeye sahiptir ve sabit bir konumdadır. Üst kayıcı plaka ise merkez kayıcı vasıtasıyla yatay yönde hareket edebilir. Merkez kayıcının alt yüzeyi alt plakanın konkav yüzeyi üzerinde kayabilen yapıda ve üst yüzeyi ise üst kayıcı plakanın dönmesini sağlayan bir mafsallık görevi görebilecek yapıda tasarlanmıştır. Tek sürtünme yüzeyine sahip olduğundan dolayı gerekli yatay yer değiştirme kapasitesini sağlamak için diğer iki sarkaç mesnet türüne

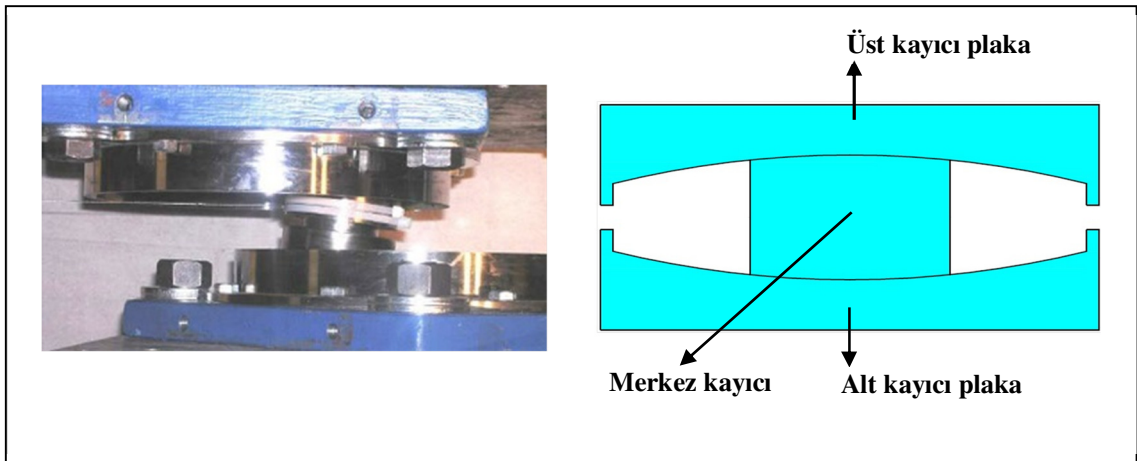
göre daha büyük çapta üretilmesi gerektiğinden, günümüz şartlarında pek sık kullanılmamaktadır.



Şekil 1.4. Tekli sürtünmeli sarkaç mesnet (EPS 2012)

İkili sürtünmeli sarkaç mesnetler

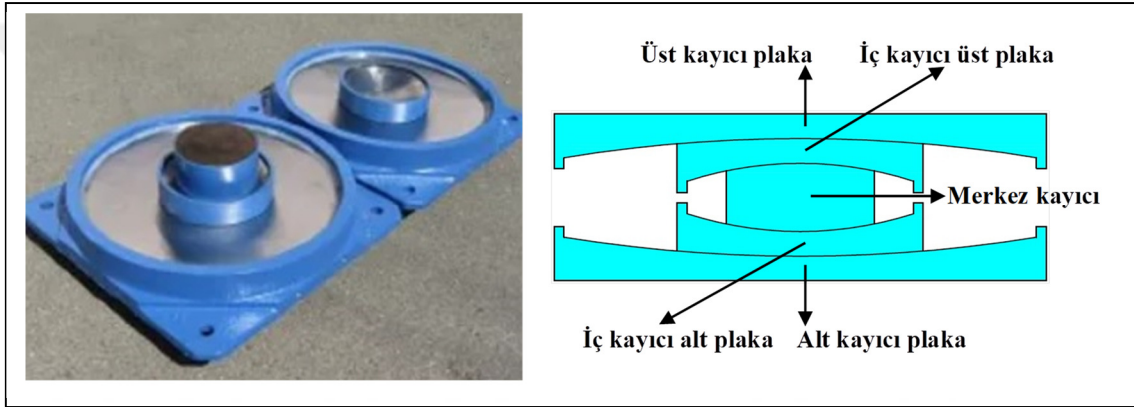
İkili sürtünmeli sarkaç izolatörler alt ve üst kayıcı plaka ve merkez kayıcı olmak üzere 3 bileşenden oluşur (Şekil 1.5). Her iki plaka da konkav bir yüzeye sahiptir. Merkez kayıcının alt ve üst yüzeyi plakaların konkav yüzeyleriyle uyumlu bir formdadır. Mesnet, merkez kayıcı alt plaka üzerinde ve üst plaka da merkez kayıcı üzerinde yatayda kayarak hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Sahip olduğu iki sürtünme yüzeyinden dolayı gerekli yatay yer değiştirme kapasitesini daha küçük çaplarda üretilmeyle de sağlayabilir.



Şekil 1.5. İkili sürtünmeli sarkaç mesnet (Constantinou 2004)

Üçlü sürtünmeli sarkaç mesnetler

Sürtünmeli sarkaç mesnetler içerisinde en yenisi üçlü sürtünmeli sarkaç mesnetlerdir. Üçlü sürtünmeli sarkaç mesnetler 5 bileşenden oluşur: (i) üst kayıcı plaka, (ii) alt kayıcı plaka, (iii) iç kayıcı üst plaka, (iv) iç kayıcı alt plaka, (v) merkez kayıcı (Şekil 1.6). Mesnet, bütün alt ve üst plakalar simetrik olacak şekilde tasarlanmıştır. İki en dışta ve ikisi içte olmak üzere 4 sürtünme yüzeyine sahiptir. İç yüzeylerde yüzey sürtünme katsayıları birbirine eşittir. Dış yüzeylerde ise sürtünme katsayıları farklı olabilir fakat kesinlikle iç yüzeydekilerden büyüktür. İç yüzeylerdeki küçük sürtünme katsayıları sayesinde geçişli kayma rejimleri oluşturmaktadır. Bu durum, diğer sürtünmeli mesnet türleriyle kıyaslandığı zaman bir avantaj teşkil etmektedir. Bu mesnet türü ile ilgili daha detaylı bilgiler ilerideki bölümlerde verilecektir.



Şekil 1.6. Üçlü sürtünmeli sarkaç mesnet (EPS 2012)

1.5. Tezin Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, sismik izole ve sismik izole olmayan çelik çerçevelerin optimum ağırlık tasarımlarını yaparak sismik izolasyonun ağırlık üzerindeki etkisini araştırmaktır. Buna bağlı olarak, 2 boyutlu çelik çerçeveler, düzenli ve düzensiz çelik uzay çerçeveler bu çalışmada kullanılmıştır. Yapay arı kolonisi, karga arama yöntemi ve Arcihemed optimizasyon algoritması, formüle edilen optimizasyon problemini çözmek için seçilen optimizasyon yöntemleridir. Sismik izolasyon için kullanılan izolatör aygıtı sürtünme bazlı mesnet türlerinden üçlü sürtünmeli sarkaç izolatör mesnettir. Bu tez 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, optimizasyon ile ilgili genel tanımlar, optimizasyon problemlerinin unsurları, yapısal optimizasyon problemlerinde kullanılan bazı optimizasyon yöntemleri, sismik izolasyon ile ilgili genel tanımlar ve bazı sismik izolasyon aygıtları kısaca ele alınmıştır. İkinci bölümde, bu çalışmayla bağdaşık kaynaklardan oluşan bir kaynak taraması yapılmıştır. Kaynak taraması iki kısım şeklinde yürütülmüştür. Birinci kısım, kullanılacak optimizasyon algoritmalarıyla alakalı çalışmaları kapsamaktadır. İkinci kısımda ise sismik izole yapıların optimizasyonu ile ilgili çalışmalar ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, çalışmanın

materyal ve metot kısmı bulunmaktadır. Bu bölümde ilk olarak yapay arı kolonisi, karga arama algoritması ve Archimedes optimizasyon algoritmalarının tüm detayları ve formülasyonları verilmiştir. Ayrıca, bu algoritmalara bağlı olarak geliştirilen Excel (1982) tabanlı bilgisayar programı hakkında tüm detaylar verilmiştir. Daha sonra üçlü sürtünmeli sarkaç izolatör mesnetin davranış ve tasarım detayları ele alınmıştır. Tasarım detayları için Constantinou vd. (2010) tarafından çıkarılan “LRFD-Based Analysis And Design Procedures For Bridge Bearings And Seismic Isolators” teknik raporundan faydalanılmıştır. Mesnetin fiziksel davranışı formülize edilmiş ve bu davranışla birebir uyum sağlayan bir link modeli SAP 2000 (1972) programı kullanılarak elde edilmiştir. Bir sonraki adımda, çalışmada kullanılacak çelik çerçeve modelleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Çalışmada, ikisi 4 katlı ikisi 8 katlı olmak üzere toplam 4 adet 2D çerçeve modeli ve 4, 6, 8 ve 10 katlı 4 adet uzay çelik çerçeve modeli ele alınmıştır. Uzay çerçeve modellerinden 4 ve 8 katlı olanlar düzensiz diğer ikisi düzenli kat planına sahiptirler. Her bir model hem sabit tabanlı hem de sismik izole olarak ele alınmıştır. Bu bölümün son adımında, çerçeve örneklerine uygulanacak yüklemeler ve yük kombinasyonları tüm detaylarıyla açıklanmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde, hazırlanan çelik çerçeve modelleri geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlarla, çalışmanın amacına uygun olarak gerekli karşılaştırmalar yapılmış ve karşılaştırma sonuçları tartışılmıştır.



2. KAYNAK TARAMASI

Çalışma için gerekli kaynak taraması 4 alt bölümden oluşmaktadır. İlk olarak çelik yapı sistemlerinin optimum tasarımını genel olarak ele alan bir kaynak araştırması yapılmıştır. Daha sonra çalışmada kullanılan ABC, AOA ve CSA algoritmalarının kullanıldığı çalışmalar hakkında araştırma yürütülmüştür. Bir sonraki bölümde üçlü sarkaç izolatörlerle alakalı çalışmalar irdelenmiştir. Son olarak sismik tabanlı yapı sistemlerinin optimum tasarımına yönelik yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

2.1. Çelik Yapı Sistemlerinin Optimum Tasarımı

Çelik yapıların optimum tasarımıyla alakalı literatürde bir çok çalışma mevcuttur. Sarma ve Adeli (2000) tarafından çelik yapıların maliyet optimizasyonu üzerinde bir çalışma yürütüldü. Çalışmada maliyet fonksiyonu sadece ağırlıktan değil yapı güvenilirliğini etkileyecek bir çok kriterden meydana geliyordu. Çalışmanın sonucunda, kullanılan maliyet fonksiyonuna bağlı elde edilen maliyetin sadece ağırlığa bağlı elde edilen maliyetten % 7 – 26 kadar daha avantajlı olduğu gösterildi. Yine Sarma ve Ademi (2002)'nin çelik yapıların ömür boyu kullanım maliyeti üzerine yaptıkları bir çalışmada, 4 kriterden oluşan bir optimizasyon modeli kullanıldı. Bu kriterler en düşük maliyetli kesitlerin seçilmesi, en hafif kesitlerin seçilmesi, minimum farklı kesit tipi sayısı ve en düşük çevre uzunluğuna sahip kesitlerin seçilmesiydi. Optimizasyon analizleri için LRFD ve ASD kodları kullanıldı ve sonuçlar karşılaştırıldı. Sonuç olarak en düşük maliyetli kesitlerin seçimi, en hafif kesitlerin seçimi ve en düşük çevre uzunluğuna sahip kesitlerin seçimiyle yapılan analizlerde LRFD daha iyi sonuç verirken, minimum farklı kesit tipiyle yapılan analizlerde ASD daha iyi sonuç vermiştir. Doğan vd. (2009)'nin büyük ölçekli çelik yapıların optimum ağırlık tasarımı üzerine yaptıkları bir çalışmada, yapay arı kolonisi ve genetik algoritma teknikleriyle düzeltilmiş parçacık sürü algoritmasının performansını karşılaştırdılar ve düzeltilmiş parçacık sürü algoritmasının diğer iki algoritmaya göre daha iyi bir performans gösterdiğini sonucunu elde ettiler. Bir başka çalışmada, Kaveh vd. (2012) tarafından genetik algoritma kullanarak büyük ölçekli çelik yapıların başlangıç ve yaşam boyu kullanım maliyetine dayalı optimum tasarımı yapıldı ve sonuç olarak kullanılan yöntemin makul bir çözüm süresi göz önüne alındığında çok büyük yapıların optimum tasarımında başarılı bir yöntem olduğu görüldü. 2012'de Aydoğdu ve Saka (2012) tarafından düzensiz çelik çerçevelerin optimum tasarımı üzerinde yapay arı kolonisi algoritması kullanılarak çarpılma etkisinin göz önüne alındığı bir çalışma gerçekleştirildi. Yapılan çalışmada optimasyon probleminin formülasyonu LRFD-AISC koşullarına göre oluşturuldu. Sonuç olarak çarpılma etkisinin yapının ağırlığının kayda değer oranlarda artmasına sebep olduğu görülmüştür. Nouri ve Ashtari (2015)'nin genetik algoritma kullanarak rüzgar yüküne maruz kalan payanda destekli yüksek çelik yapıların ağırlık ve topoloji optimizasyonu üzerine yaptıkları çalışmada, rüzgar yükü etkisinin yapının yüksekliğine bağlı olarak arttığı ve buna bağlı olarak yapının optimum ağırlığını artırdığı, payanda rijitliğinin ve payanda sayısının bu ağırlığı düşürme etkisine sahip olduğu ve optimum payanda sayısının yapının mimari yapısına bağlı kriterler için önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Saka vd. (2015) soğuk şekillendirilmiş çelik elemanlara sahip yapı sistemlerinin birkaç optimizasyon algoritması kullanılarak optimum tasarımı üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yürüttüler. Çalışmada kullanılan algoritmalar ateşböceği algoritması, guguk kuşu arama algoritması, vergi uçuşuyla

yapay arı kolonisi algoritması, biyocoğrafya optimizasyon algoritması ve öğretme-öğrenme esaslı optimisyon algoritmasıdır. Çalışmanın sonucunda tüm algoritmaların birbirine yakın etkili sonuçlar verdiği, elde edilen optimum sonuçlardan en ağır olanı ve en hafif olanı arasında sadece % 1.2'lik önemsiz bir fark olduğu ortaya çıkmıştır. Kaveh vd. (2015)'nin yürüttüğü bir çalışma 3D çelik çerçevelerin guguk kuşu arama algoritmasını kullanarak sismik optimum tasarımını sundu. Sismik davranışın mod birleştirme ve eşdeğer deprem yükü yöntemiyle yapı örneğine etkitildiği bu çalışmada, her iki sismik yükleme yöntemiyle de yapının optimum ağırlığının birbirine çok yakın çıktığı fakat sismik davranışların ve malzeme dağılımlarının her iki yöntem için farklı olduğu sonucuna varılmıştır. Cicconi vd. (2016) çelik yapıların optimum tasarımını destekleyen genetik algoritma ve sanal prototipleme araçlarına dayalı bir tasarım metodolojisi oluşturdular. Bu metodolojiye bağlı olarak yapılan optimizasyon analizi sonucunda yapı örneklerinin ağırlıklarının % 5 – 15 aralığında azaldığı görülmüştür. Saka vd. (2016)'nin çelik yapı tasarım optimizasyonunda sürü zekasının kullanımı üzerine yaptıkları çalışmada yapay arı kolonisi algoritması, parçacık sürü optimizasyon algoritması, karınca kolonisi algoritması, ateş böceği algoritması ve guguk kuşu arama algoritması teknikleri kullanılarak yapı örneklerinin optimum ağırlıkları elde edildi ve her bir algoritmadan elde edilen sonuçlar ve algoritmaların performansları kıyaslandı. Sonuç olarak en hafif tasarım yapay arı kolonisi algoritmasından en ağır tasarım ise guguk kuşu arama ve ateş böceği algoritmalarından elde edildi. Ayrıca performans olarak yine en hızlı yakınsamayı yapay arı kolonisi algoritması gösterirken en yavaş yakınsamayı guguk kuşu ve karınca kolonisi algoritmaları göstermiştir. Prendes-Gero vd. (2016) genetik algoritma ile İspanyol, Avrupa ve Amerikan bina kodlarını kullanarak çelik yapıları optimize ettiler. Yapılan optimizasyon analizleri sonucunda Avrupa bina kodunun kullanımıyla en hafif tasarım elde edilirken Amerikan bina kodunun kullanımıyla en ağır tasarım elde edildi. Akbari ve Ayubirad (2017) çelik yapıların sismik optimizasyonu üzerinde yapmış oldukları bir çalışmada, sıralı ikinci dereceden programlama yöntemi ve genetik algoritma yöntemini kullandılar. Optimum tasarımlarda, yüksek katlı çerçevelerde sıralı ikinci dereceden programlama yönteminin genetik algoritmaya göre daha düşük maliyetli bir tasarım sonucu verdiğini gözlemlediler. Barraza vd. (2017)'nin genetik algoritma ve parçacık sürüsü optimizasyon algoritmasını kullanarak çelik yapıların çok amaçlı optimum sismik tasarımı için yürüttükleri çalışmada, her iki algoritmanın da optimum sonuç elde etmede etkili olduğu fakat parçacık sürüsü algoritmasının genetik algoritmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Aynı yıl yapılan bir başka çalışmada, Cheng ve Jin (2017) çelik kafes kemer köprülerin güvenilirlik tabanlı optimum tasarımını elde ettiler ve deterministik optimum tasarımdan elde edilen sonuçlarla karşılaştırdılar. Kullanılan güvenilirlik tabanlı metod genetik algoritmanın, sonlu elemanlar yönteminin ve birinci derece güvenilirlik yönteminin bir integrasyonuydu. Sonuç olarak deterministik tabanlı optimizasyon analizlerinden daha hafif bir tasarım elde edildi. Çelik yapıların optimum tasarımı için yürütülen bir başka çalışmada, Gholizadeh ve Baghchevan (2017) kaotik ateş böceği algoritmasını kullanarak çok amaçlı bir optimizasyon çalışması yaptılar ve yöntemin hem yapısal test problemleri için hem de çok amaçlı performans dayalı optimum tasarım için etkili olduğunu gösterdiler. Gholizadeh vd. (2020)'nin yürüttüğü bir çalışmada, çelik çerçeve sistemlerinin performans dayalı optimum tasarımı için yeni bir algoritma geliştirildi. Newton metasezgisel optimizasyon algoritması denilen bu yöntem yakın zamanlı diğer birkaç yöntemle karşılaştırıldı ve diğer yöntemlerden daha etkili sonuç verdiği görüşüne varıldı. Ayrıca yöntemin yakınsama performansının da

oldukça başarılı olduğu görüldü. Benzer şekilde, çelik yapı sistemlerinin performansa dayalı optimum tasarımı için yeni bir başka algoritma Wang vd. (2020) tarafından önerildi. Önerilen yöntemin tasarım değişkenleri profil kesit alanları ve atalet momentleriydi. Yapılan optimizasyon analizleri neticesinde, önerilen yöntemin sadece kesit alanlarına bağlı deformasyon tabanlı tasarım yönteminden daha iyi sonuç verdiği gözlemlendi. Hosseini vd. (2021) tarafından burkulmada sınırlanmış çelik güçlendirme elemanları üzerine yapılan bir çalışmada, optimizasyon analizleri için 5 farklı yapay zeka algoritması kullanılmıştır (parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması, karıştırılmış kurbağa sıçrama algoritması, iç arama algoritması, yarasa ve parçacık sürüsü optimizasyonlarının bir kombinasyonu, politik optimizasyon algoritması). Sonuç olarak yarasa ve parçacık sürüsü optimizasyon algoritmalarının kombinasyonundan elde edilen yöntem diğer yöntemlerden daha hızlı ve etkili çözüm verdiği görülmüştür. Ayrıca bir başka çıkarımda da yuvarlak kesitli güçlendirme elemanları kullanıldığında dikdörtgen kesitli olanlara göre daha hafif tasarımlar elde edildiği sonucuna varılmıştır. Yine 2021 yılında yapılan bir başka çalışmada, çelik yapı sistemlerinde kullanılan bir doğrusal olmayan viskoz sönümleyicinin yapının kullanım süresi maliyetleri göz önüne önüne alınarak optimum tasarımı yapıldı. Tasarımın amaç fonksiyonun sönümleme üssü olduğu bu çalışmanın sonucunda, elde edilen optimum üs değerinin geleneksel olarak sabit verilen değerlerin % 30 – 50'si kadar olduğu görülmüştür (Kolour vd., 2021).

2.2. Yapay Arı Kolonisi (ABC), Karga Arama (CSA) ve Archimedes Optimizasyon (AOA) Algoritmaları

Karaboğa (2005) tarafından yapılan çalışmada, arıların besin arama durumunda gösterdikleri davranışlar gözlemlenmiş ve yapay arı kolonisi algoritması ilk ke tanıtılmıştır. Daha sonra, Karaboğa ve Baştürk (2008) tarafından hazırlanan bir başka çalışmada, yapay arı kolonisi algoritmasının büyük boyutlu örnekler üzerindeki performansını incelenmiş ve algoritmanın evrimsel algoritmalar olan diferansiyel evrim algoritması ve genetik algoritmadan daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Hadidi vd. (2010)'nin yapmış olduğu bir başka çalışma yapay arı kolonisi algoritmasının bir modifikasyonunu sundu ve bu modifiye algoritma 2D ve 3D çelik çerçeve sistemleri üzerinde test edildi. Elde edilen sonuçlar klasik yapay arı kolonisi algoritmasından elde edilenlerle kıyaslandı ve modifiye algoritmanın daha hafif tasarımlar sağladığı gözlemlendi. Sönmez (2011) çalışmasında, kafes yapılarının ağırlığını en aza indirmek için uyarlanabilir ceza fonksiyonu yaklaşımına sahip yapay arı kolonisi algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma ile daha önceki çalışmalarda kullanılan 2D ve 3D çerçeve örneklerinin optimum tasarımları yapılmış ve sonuçlar önceki çalışmalardan elde edilenlerle kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonuçları değerlendirildiğinde önerilen algoritmanın yapı tasarımlarında daha iyi olduğu ve daha iyi sonuçlar verdiği öngörülmüştür. Aydoğdu vd. (2012) tarafından uzay çelik çerçeve sistemlerinin optimum tasarımında yapay arı kolonisi algoritmasının dinamik harmoni arama ve karınca kolonisi algoritmalarıyla karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada sınırlayıcı fonksiyonlar olarak LRFD-AISC koşullarına uygun olarak geometrik sınırlayıcılar, mukavemet sınırlayıcıları, kat ötemesi sınırlayıcıları ve yer değiştirme sınırlayıcıları kullanılmıştır. Sonuç olarak yapay arı kolonisinin diğer iki algoritmadan daha iyi yakınsama performansı gösterdiği ve daha etkili optimum sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir. Yapay arı kolonisi algoritmasının kullanıldığı bir başka çalışmada, Öztürk vd. (2012) tasarım değişkenlerinin kiriş yüksekliği, kiriş

genişliği ve donatı alanı olduğu basit mesnetli bir betonarme kirişin optimum tasarımı elde etmeye çalıştılar. ASC 318-08 şartnamesine göre sınırlayıcıların kullanıldığı tasarımdan elde edilen sonuçlar literatürde var olanlarla kıyaslanmış ve birbirlerine çok yakın oldukları görülmüştür. Talatahari (2012) tarafından yürütülen bir çalışmada elik iskelet ereve sistemlerinin optimum tasarımında ABC algoritmasıyla diğer optimizasyon algoritmaları olan genetik algoritma (GA), büyük patlama büyük çöküş algoritması (BB-BC) ve karınca kolonisi algoritması (ACO) karşılaştırılmış ve ABC algoritmasının diğer algoritmalarından daha etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. Jahjouh vd. (2013) sürekli betonarme kirişlerin optimum tasarımı ile ilgili bir çalışma yürütmüş ve literatürde daha önce çalışılmış olan örneklerin ABC algoritması ile optimum tasarımı yapmışlardır. Sonuç olarak ABC algoritması ile elde edilen sonuçların daha önce elde edilen sonuçlara göre % 20.4 kadar daha fazla maliyet avantajı sağladığı ortaya ıkmıştir. Sevim ve Sönmez (2015) tarafından ABC algoritması kullanılarak uzay elik çerçevelerin optimum tasarımı üzerine bir çalışma yürütülmüş ve ABC algoritmasının çok tutarlı ve etkili sonuçlar verdiği kanısına varılmıştir. arbaş (2015) tarafından ağsı kubbelerin optimum tasarımı üzerine yapılan bir çalışmada, hazırlanan kubbe rnekleri ABC ve klasik harmoni arama algoritmaları ile optimize edilmiş, sonuçları karşılaştırılmış ve ABC algoritmasının daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Aydın vd. (2015) ABC algoritması kullanarak diyagonal elik güçlendirmelerin yapı üzerindeki optimum yerleşimini konu alan bir çalışma yapmış ve elde edilen sonuçlardan her bir optimal elik güçlendirme yerleşiminin kendi tasarım amacı için iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Aydoğdu vd. (2016)'nin uzay elik çerçevelerin optimum tasarımı üzerine yaptıkları bir çalışma vergi uçuşu dağılımlı ABC algortmasıyla dinamik harmoni arama ve karınca kolonisi algoritmalarının bir karşılaştırmasını sunmuştur. Yapılan çalışmada vergi uçuşu dağılımlı ABC algoritmasının diğer iki algortmadan daha etkili çözümler elde edebildiği gözlemlenmiştir. Tapao ve Cheerarot (2017) betonarme çerçevelerin optimum tasarımı için ABC algoritmasını kullanmışlardır. Algoritmanın parametreleri olan arı sayısı, yiyecek kaynağı sayısı, deneme limiti ve maliyet tasarımı durdurma şartlarının istatistiksel sonuçlarla sunulduğu çalışmada, yiyecek kaynağının arısı sayısından daha düşük olduğu durumlar için ABC algoritmasının tüm tasarım örnekleri için iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştir. Yıldırım ve Aydoğdu (2017)'nin ABC algoritması kullanarak tek geçişli güneş hava ısıtıcılarının termo-hidrolik optimizasyonu üzerine yaptıkları çalışma, algoritmanın bu tür sistemlerin optimizasyonu için uygun bir algoritma olduğunu ve etkili sonuçlar verdiğini göstermiştir. Aydoğdu vd. (2017)'nin yürütmüş oldukları bir çalışmada vergi uçuşu dağılımının optimum tasarımlardaki etkisi araştırılmıştir. elik iskelet yapı örnekleri üzerinde yapılan bu çalışmada ABC algoritması, biyocoğrafya algoritması ve beyin fırtınası algoritması kullanılmış ve bu üç algoritma da vergi uçuşu dağılımı entegre edilerek geliştirilmiştir. Sonuç olarak vergi uçuşu dağılımının dahil olduğu algoritmaların, klasik algoritmalarından elde edilen optimum sonuçlardan maksimum % 14.1 oranında daha fazla avantaj elde ettiği gözlemlenmiştir. Latif ve Saka (2019)'nin bağlı kemer köprülerin optimum tasarımı konu alan çalışmasında ABC algoritmasının geliştirilmiş bir versiyonu sunulmuş, sunulan versiyondan elde edilen sonuçlar klasik ABC algoritması ve üstel büyük patlama büyük çöküş algoritmasından elde edilenlerle karşılaştırılmış ve üstel büyük patlama büyük çöküş algoritmasının diğerlerinden daha iyi bir yakınsama oranına sahip olduğu buna karşın sunulan geliştirilmiş ABC algoritmasının diğerlerine göre 1.7'lik daha düşük sıralama ortalamasına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kaveh vd. (2020)'nin

7 farklı üstsezgisel optimizasyon algoritmasını karşılaştırdıkları çalışmalarında, düzlemsel çelik çerçeve örneklerinin optimum tasarımını gerçekleştirdiler. Kullanılan algoritmalar ABC, büyük patlama büyük çöküş, döngüsel partenogenez, guguk kuşu arama, termal değişim optimizasyon, öğretim öğrenme tabanlı optimizasyon ve su buharlaşma optimizasyon algoritmalarıdır. Sonuç olarak tüm algoritmaların etkili ve makul sonuçlar verdiği, en iyi ağırlık, ortalama ağırlık ve ortalama ağırlık standart sapmaları açısından bakıldığında su buharlaşma, guguk kuşu arama ve termal değişim optimizasyon algoritmalarının daha iyi performans gösterdikleri, en hızlı yakınsamanın ise termal değişim, su buharlaşma ve öğretim öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmalarında olduğu gözlemlenmiştir. Aydoğdu ve Saka (2021)'nin ABC algoritmasının farklı varyantlarının performanslarını kıyasladıkları çalışmalarında ABC algoritmasının geliştirilen 6 farklı varyantı ve klasik ABC algoritması kullanılarak iskelet çelik yapı sistemlerinin optimum tasarımları yapılmıştır. Kullanılan ABC varyantları dikey öğrenmeyle ABC, hızlı ABC, noel kaotik ABC, yönlendirilmiş ABC, geliştirilmiş ABC ve vergi uçuşu dağılımıyla ABC algoritmalarıdır. Yapılan çalışmanın sonucu olarak vergi uçuşu dağılımıyla ABC ve hızlı ABC algoritmalarının diğer varyantlar ve klasik ABC algoritmasına göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Askarzadeh (2016) tarafından karga arama algoritması (CSA) ilk defa ortaya atılmış, algoritmanın performansı diğer üstsezgisel bir takım algoritmalarla karşılaştırılmış ve algoritmanın umut verici sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Hassanien vd. (2018)'nin kaba arama şemasına sahip karga arama algoritması kullanarak mühendislik optimizasyon problemlerinin çözümü üzerine yaptıkları çalışmada, literatürden elde edilen tasarım örneklerini kullandılar ve bu örnekler için önceki çalışmalarda elde edilen sonuçları önerilen algorithmadan elde edilenlerle karşılaştırdılar. Sonuç olarak önerilen algoritmanın önceki çalışmalarda kullanılan diğer algoritmalarla göre daha iyi sonuç verdiğini gözlemladiler. Javidi vd. (2019) CSA algoritmasının gelişmiş bir versiyonunu önererek yapıların optimum tasarımında önerilen algorithmayla klasik CSA ve diğer bir takım yeni geliştirilmiş üstsezgisel algoritmaları karşılaştırdılar ve sonuç olarak önerilen algoritmanın hem klasik CSA algoritmasından hem de diğer algoritmalarla daha iyi veya rekabetçi sonuçlar verdiğini ortaya koydular. Yine Javidi vd. (2020)'nin yürütmüş olduğu bir başka çalışmada, uzay çelik çerçevelerin ağırlık ve çöküş enerjisi optimizasyonu için çok amaçlı bir modifiye CSA algoritması kullanıldı ve elde edilen sonuçlar çok amaçlı parçacık sürü algoritması ve baskın olmayan sıralamalı genetik algorithmadan elde edilenlerle karşılaştırıldı. Yapılan bu karşılaştırmayla geliştirilen çok amaçlı modifiye CSA algoritmasının diğer iki algorithmaya göre daha iyi performans sergilediği gözlemlendi. Lin vd. (2020) tarafından zemin yapı etkileşiminin göz önüne alındığı manyetoreolojik sönümleyicilerle birbirlerine bağlı yapışık yapıların modifiye CSA ve genetik algoritma kullanılarak optimize edildiği bir çalışma yürütüldü. Sonuç olarak modifiye CSA algoritmasının genetik algorithmaya göre doğruluk ve çözüm gücü açısından daha iyi performans sergilediği gözlemlenmiştir. Aynı yıl yapılan bir başka çalışmada, Wu vd. (2020) basit ve komplike yapıların optimum tasarımları için vergi uçuşuyla CSA algoritmasını, standart CSA ve vergi uçuşuyla parçacık sürü algoritmasıyla karşılaştırdılar. Sonuç olarak hem basit hem de komplike yapı sistemleri için vergi uçuşuyla CSA algoritmasının diğer algoritmalarla göre daha tatmin edici bir performansla sahip olduğu görülmüştür. Ke vd. (2021)'nin yapıların enerji optimizasyonu üzerine yaptıkları çalışmada, gerçek bir bina modelinin optimum tasarımı geliştirilmiş bir CSA algoritması, kızamık otu algoritması, atalet ağırlığıyla parçacık sürü optimizasyon

algoritması ve karınca kolonisi algoritması kullanılarak yapılmış ve geliştirilmiş CSA algoritmasından elde edilen çözümler diğerleriyle kıyaslanmıştır. Sonuç olarak geliştirilmiş CSA algoritmasının daha düşük çözüm süresiyle diğerlerinden daha uygun sonuç verdiği yargısına varılmıştır.

2.3. Sismik İzole Yapı Sistemlerinin Optimum Tasarımı

Literatürde sismik izole yapılarla ilgili çok sayıda optimizasyon çalışması bulunmaktadır. Rizzian vd. (2017) tarafından optimum tasarım ana parametrelerinin üst yapı malzeme maliyeti, üst kat yer değiştirmesi ve ivme olduğu sismik izoleli betonarme yapıların boyutlandırma optimizasyonu üzerine bir çalışma sunulmuş ve çalışmanın sonucunda izolatör sisteminin en üst kat ötelemesi ve katlara gelen ivmeleri azaltma etkisine sahip olduğu görülmüş fakat yapının toplam maliyetine kendi maliyetinden dolayı herhangi bir avatnaj sağlamadığı gözlemlenmiştir. Diğer bir çalışmada, Jiang vd. (2020) tarafından yakın fay bölgesinde sismik izoleli basit mesnetli köprü modelinde kullanılan izolatör cihazları darbe etkisi dikkate alınarak optimize edilmiştir. Çerçevik vd. (2020) tarafından yürütülen bir çalışmada ise sismik izolasyon sistemlerinin izolatör periyodu ve sönüm oranı, çatı ivmesini en aza indirecek şekilde metasezgisel arama yöntemleri kullanılarak optimum şekilde tasarlanmıştır. Skandalos vd. (2020) sabit tabanlı, tabandan yalıtılmış ve katlar arası yalıtılmış yapılar üzerinde sismik tepki açısından karşılaştırmalı bir optimizasyon çalışması yürütmüş ve en optimum izolasyon yerleştirme durumunu incelemişlerdir. Tsipianitis ve Tsompanakis (2021)'in yapmış olduğu bir çalışmada, sürü zekası algoritması sismik olarak izole edilmiş bir sıvı depolama tankının sismik tepkisinin optimal hesabı yapılmıştır. Kayar tabanlı izolatör aygıtları olan tek sürtünmeli sarkaç ve üçlü sürtünmeli sarkaç izolatörlerinin kullanıldığı çalışmada izolatörün sismik tepkiye etkisinin yanı sıra izolatörlerin boyutsal parametrelerinin de optimum tasarımları yapılmıştır. Peng vd. (2021)'nin bir çalışmasında, sıradışı yer hareketlerinde izolatör cihazlarının olası hasarlarını önleyerek yapıların sismik performansını iyileştiren adaptif bir kayar tabanlı izolasyon sisteminin optimum tasarımı elde edildi.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çelik Çerçevelerin Optimum Maliyet Tasarımı

Çelik çerçevelerin optimum tasarımlarının çalışma prensibi, uygun bir çelik kesit listesinden belirlenen, sınır şartlarını ve servis verilebilirliği sağlayacak ve amaç fonksiyonu için en iyi sonucu bulacak şekilde çerçeve eleman kesitlerinin seçilmesi ve bu işlemin iteratif bir şekilde devam etmesidir. Optimum maliyet tasarımında amaç fonksiyonu üst yapının ağırlığıdır çünkü üst yapıların maliyetleri ağırlıklarıyla doğru orantılıdır. Üst yapı ne kadar hafif olursa kullanılan malzeme de bir o kadar az kullanılmış demektir. Bu da maliyetin azalması anlamına gelmektedir. Tasarım için oluşturulan amaç fonksiyonu ve tasarım sınırlayıcıları aşağıda detaylıca belirtilmiştir.

3.1.1. Amaç fonksiyonu

Çelik çerçevelerde bir üst yapının optimum ağırlık tasarımı için amaç fonksiyonunun ana işlevi Bağlantı (3.1)'deki gibidir.

$$W \begin{pmatrix} \vec{x} \\ x \end{pmatrix} = \sum_{r=1}^{NG} m_r \cdot \sum_{s=1}^{t_r} l_s \quad (3.1)$$

Bağlantı (1)'de, “ $\vec{x}$ ” kesit listesinden seçilen kesitler vektörü, “ $W \begin{pmatrix} \vec{x} \\ x \end{pmatrix}$ ”

çerçeve modelinin bu kesitler vektörüne bağlı ağırlık fonksiyonu, “ NG ” optimize edilecek çelik çerçeve modelinde gruplanmış elemanların grup sayısı, “ m_r ” r numaralı gruba atanacak olan kesitin birim ağırlığı, “ t_r ” r numaralı gruba ait eleman sayısı ve “ l_s ” r numaralı gruba atanan kesitin boyudur.

3.1.2. Tasarım sınırlayıcıları

Optimum tasarım için kullanılacak tasarım fonksiyonları mukavemet sınırlayıcıları, yanal öteleme sınırlayıcıları ve geometrik sınırlayıcılarıdır.

3.1.2.1. Mukavemet sınırlayıcıları

Güvenilir bir çelik çerçeve tasarımı yapabilmek için, çerçeveyi oluşturan yapı elemanlarının belirli bir gerilme seviyesini aşmamaları gerekir. Bu durumun sağlanabilmesi için çelik çerçevelerin optimum tasarımında mukavemet sınırlayıcıları kullanılır. Mukavemet sınırlayıcıları için temel fonksiyon Bağlantı (3.2)'de verilmiştir. Bağlantı (3.2)'ye göre, “ M_n ” çerçeve örneğinin nominal eğilme momenti, “ M_u ” tasarım momenti, “ P_n ” nominal eksenel dayanım, “ P_u ” eksenel tasarım yüküdür.

$$g_s \left(\begin{matrix} \rightarrow \\ x \end{matrix} \right) = \begin{cases} \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) - 1 \leq 0 & \text{eğer } \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \\ \frac{P_u}{2\phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) - 1 \leq 0 & \text{eğer } \frac{P_u}{\phi P_n} < 0.2 \end{cases} \quad (3.2)$$

3.1.2.2. Yanal öteleme sınırlayıcıları

Yanal öteleme sınırlayıcıları, çerçeveyi oluşturan düğümlere ait yatay deplasmanlarının kullanılabilirlik sınır durumlarına göre belirli bir sınır değer altında kalıp kalmadığını belirleyen sınırlayıcı fonksiyonlarıdır. Yanal öteleme sınırlayıcıları en üst kat öteleme ve katlar arası öteleme sınırlayıcıları olmak üzere ikiye ayrılır. Yanal öteleme sınırlayıcıları için temel fonksiyonlar Bağntı (3.3) ve (3.4)'te verilmiştir. Bağntı (3.3) kat ötelemelerinin ve Bağntı (3.4) yapının tepe noktasının ötelemesinin sınırlayıcı fonksiyonlarıdır.

$$g_{id} \left(\begin{matrix} \rightarrow \\ x \end{matrix} \right) = \frac{\Delta_{jl}^{str}}{h_{sx} / Ratio} - 1 \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n_{st} \quad l = 1, 2, \dots, n_{lc} \quad (3.3)$$

$$g_{td} \left(\begin{matrix} \rightarrow \\ x \end{matrix} \right) = \frac{\Delta_{jl}^{top}}{H / Ratio} - 1 \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n_{jtop} \quad l = 1, 2, \dots, n_{lc} \quad (3.4)$$

Yukarıdaki Bağntı (3.3) ve (3.4) için, “ n_{lc} ” analizdeki yükleme durumu sayısı, “ H ” çerçevenin yüksekliği, “ n_{jtop} ” en son katın düğüm noktası sayısı, “ Δ_{jl}^{top} ” j numaralı noktanın l numaralı yükleme durumu için yapının tepe noktası deplasman değeri, “ Δ_{jl}^{st} ” j numaralı katın l numaralı yükleme durumu için kat ötelemesi değeri, “ n_{st} ” çerçevedeki kat sayısı, “ h_{sx} ” kat yüksekliği ve “ $Ratio$ ” ASCE Ad Hoc Committee Report (Ad Hoc Committee on Serviceability 1986)’dan alınan yanal deplasman sınırlama oranıdır. Bu rapora göre alınan sınırlama oranlarının alt ve üst sınır değer denklemleri Bağntı (3.5) ve (3.6)’da verilmiştir.

$$\text{En üst kat için: } 250 \leq Ratio \leq 750 \quad (3.5)$$

$$\text{Ara katlar için: } 200 \leq Ratio \leq 500 \quad (3.6)$$

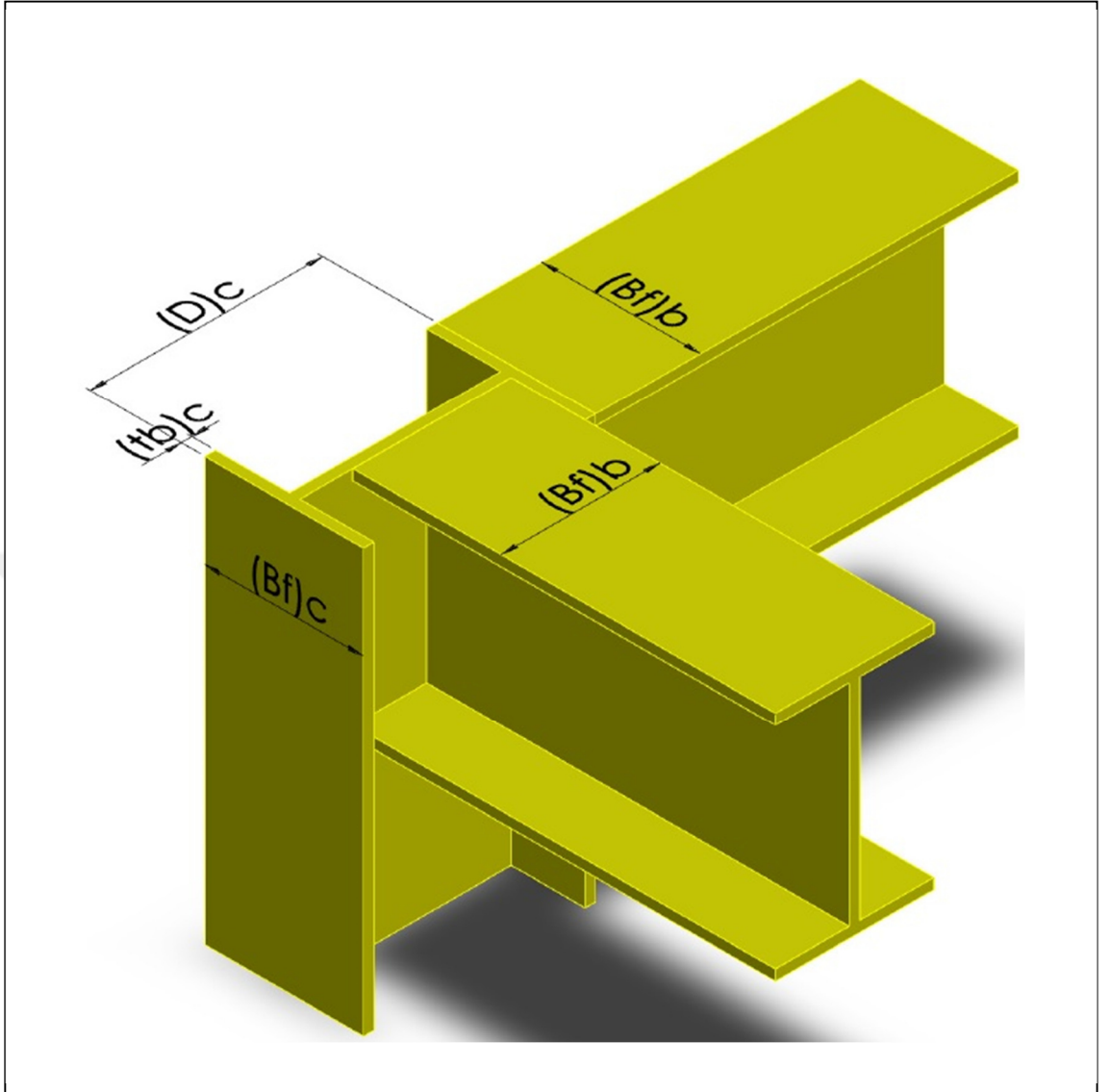
3.1.2.3. Geometrik sınırlayıcılar

Çelik çerçevelerin tasarımında, birbirini takip eden herhangi iki katın kesişen kolonları için, üst kattaki kolonda kullanılan profilin gövde genişliğinin alt kattakinden daha büyük olması istenen bir durum değildir. Aynı şekilde kolonlarla kirişlerin birleşiminde de kirişin gövde genişliğinin kolonun gövde genişliğinden büyük olmaması amaçlanır. Bu sebeple çelik çerçevelerin optimum tasarımında, yukarıda bahsi geçen şartların sağlanabilmesi için geometrik sınırlayıcılar kullanılır. Çelik çerçevelerin optimum tasarımı için kolon-kolon ve kiriş-kolon bağlantılarının geometrik sınırlayıcı fonksiyonları sırasıyla Bağntı (3.7) ve (3.8)'da verilmiştir.

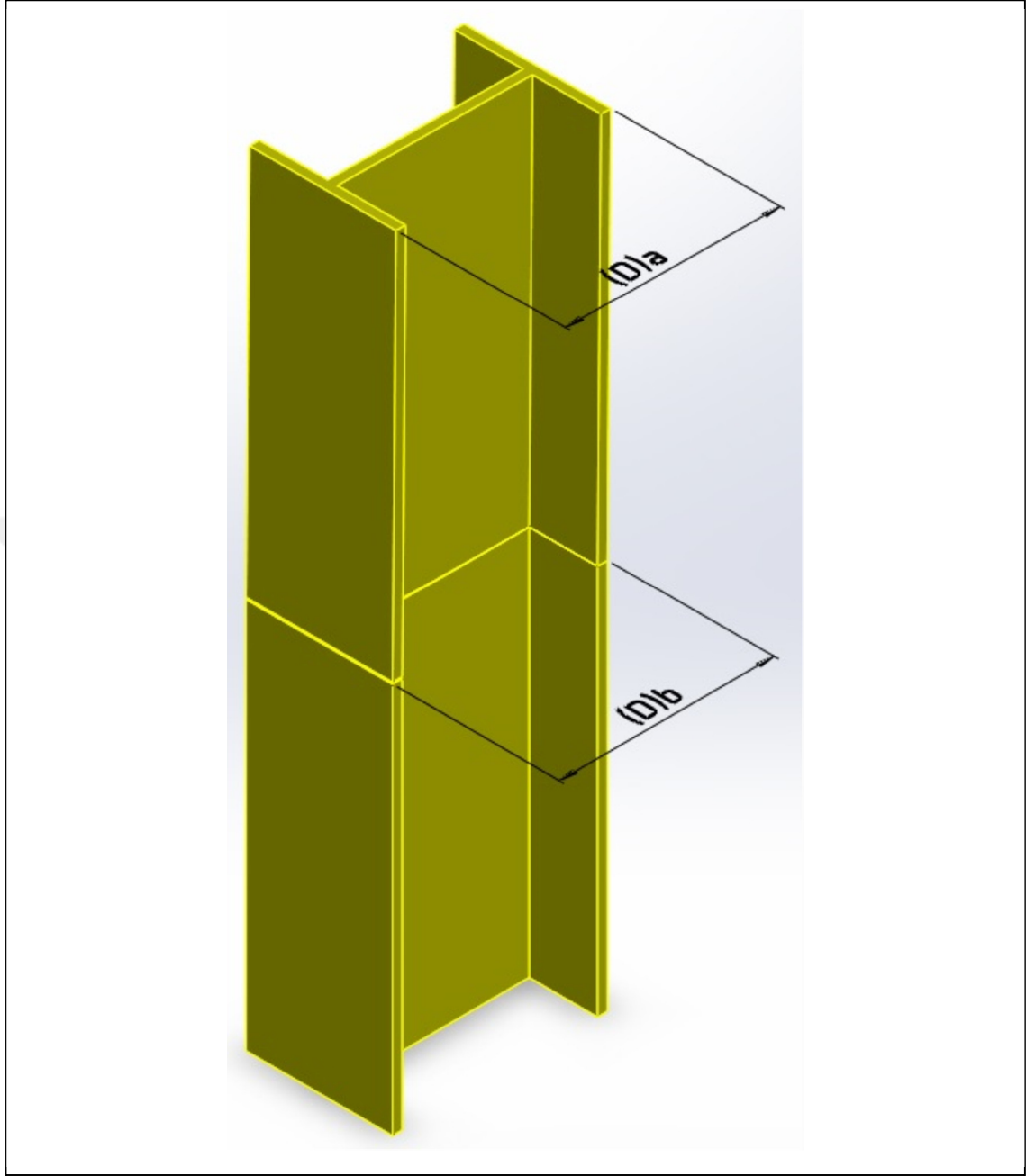
$$g_{cc} \begin{pmatrix} \rightarrow \\ x \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^{n_{ccj}} \left(\frac{D_i^a}{D_i^b} - 1 \right) + \sum_{i=1}^{n_{ccj}} \left(\frac{m_i^a}{m_i^b} - 1 \right) \leq 0 \quad (3.7)$$

$$g_{bc} \begin{pmatrix} \rightarrow \\ x \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^{n_{bcj1}} \left(\frac{B_f^{bi}}{B_f^{ci}} - 1 \right) \leq 0 \quad \text{veya} \quad \sum_{i=1}^{n_{bcj2}} \left(\frac{B_f^{bi}}{D^{ci} - 2t_b^{ci}} - 1 \right) \leq 0 \quad (3.8)$$

Bağntı (3.7) ve (3.8) için, “ n_{ccj} ” kolon-kolon bağlantı noktalarının sayısı, “ m_i^a ” i . bağlantı noktası için üst kat kolon profilinin birim ağırlığı, “ m_i^b ” i . bağlantı noktası için alt kat kolon profilinin birim ağırlığı, “ D_i^a ” i . bağlantı noktası için üst kat kolon profilinin derinliği, “ D_i^b ” i . bağlantı noktası için alt kat kolon profilinin derinliği, “ n_{bcj1} ” kolon-kiriş gövdeden bağlantı noktalarının sayısı, “ n_{bcj2} ” kolon-kiriş başlıktan bağlantı noktalarının sayısı, “ B_f^{ci} ” i . bağlantı noktası için kolon profilinin genişliği ve “ B_f^{bi} ” i . bağlantı noktası için kiriş profilinin genişliğidir. Şekil (3.1) ve (3.2)'de sırasıyla kiriş-kolon ve kolon-kolon bağlantıları ve aynı zamanda “ B_f^b ”, “ B_f^c ”, “ D^b ” ve “ D^c ” parametreleri görülmektedir.



Şekil 3.1. Kiriş-Kolon bağlantısı ve sınırlayıcı parametreleri



Şekil 3.2. Kolon-Kolon bağlantısı ve sınırlayıcı parametreleri

3.1.3. Tasarımın performans (fitness) değerinin belirlenmesi

Eğer optimum çözüm elde edilmek istenen yapı örneği için Bağlantı (3.2) - (3.8)'de verilen denklemlerin sağlanamaması durumunda bir ceza fonksiyonu vasıtasıyla yapının ağırlığı artırılır. Bu ceza fonksiyonu Bağlantı (3.9)'da verilmiştir.

$$W_p = (1 + P)^\epsilon \quad (3.9)$$

Bağıntı (3.9)'da, “ W_p ” yapının cezalı ağırlığı, “ P ” toplam ceza değeri ve “ ε ” ceza katsayısıdır. Ceza katsayısı için ele alınacak değer için, Aydoğdu vd. (2017) tarafından yürütülen çalışmadan faydalanılmıştır. Çalışmada, ceza katsayısı değeri 2 olarak ele alınmış ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Buna bağlı olarak bu çalışmada da ceza katsayısı değeri 2 olarak ele alınmıştır. Toplam ceza değeri için kullanılan formül Bağıntı (3.10)'da gösterilmiştir.

$$P = \sum_{i=1}^{NC} C_i \quad (3.10)$$

Bağıntı (3.10)'da gösterilen parametrelerden “ NC ” optimizasyon problemindeki toplam sınırlayıcı sayısı ve “ C_i ” i . sınırlayıcı fonksiyonu için sınırlayıcı ihlalidir. Sınırlayıcı ihlali değerinin belirlenmesi için Bağıntı (3.11)'den faydalanılmıştır.

$$C_i = \begin{cases} 0 & \text{eğer } g_i\left(\vec{x}\right) \leq 0 \\ g_i\left(\vec{x}\right) & \text{eğer } g_i\left(\vec{x}\right) > 0 \end{cases} \quad (3.11)$$

Bağıntı (3.11) için, “ $g_i\left(\vec{x}\right)$ ” i . sınırlayıcı fonksiyonunun “ $\vec{x}$ ” kesitler vektörüne bağlı değeridir. Elde edilen ceza ağırlığına bağlı olarak bir uygunluk değeri hesaplanır. Uygunluk değeri “ Fit ” ile gösterilmiştir ve Bağıntı (3.12)'de formüle edilmiştir.

$$Fit = \frac{1}{W_p} \quad (3.12)$$

3.2. Optimizasyon Algoritmaları

Çalışmada kullanılan optimizasyon algoritmaları yapay arı kolonisi (ABC), karga arama yöntemi (CSA) ve Archimedes optimizasyon algoritması (AOA)'dır. Algoritmalarla ilgili tüm detaylar takip eden alt bölümlerde verilmiştir.

3.2.1. Yapay Arı Kolonisi (ABC) Algoritması

ABC optimizasyon algoritması ilk olarak 2005 yılında tanıtılmıştır (Karaboğa 2005). Algoritma, arıların yiyecek arama sırasında minimum enerji harcamak için gösterdikleri davranışların gözlemlenmesiyle geliştirilmiştir. Yöntem, yiyecek arama prosedüründe arıları işçi, gözcü ve kâşif arılar olarak sınıflandırır. İşçi arılar, nektar kaynaklarından (NS'ler) polen toplar ve koloni ile NS hakkında bilgi paylaşırlar. Gözcü arılar işçi arılardan gelen bilgilere göre NS'ye uçmaya karar verme yetkisine sahiptirler. Kâşif arılar ise, gelen bilgiler doğrultusunda NS'lerin yetersiz olması durumuna göre

işçi arıların yerini alırlar ve yeni NS'ler keşfetmek için uçarlar. Her bir işçi arının bildirdiği kaynağa bir gözcü arı uçtuğundan işçi arı ve gözcü arı sayıları eşittir. Aynı zamanda kaşif arılar da işçi arıların yerini aldığından işçi arı sayısı kadar da kaşif arı olmalıdır. Böylece algoritmaya göre işçi arı sayısı, gözcü arı sayısı ve kaşif arı sayısı aynıdır. Yöntemde, NS, NS'nin konumu ve NS'nin kalitesi sırasıyla aday çözümü, tasarım değişkenlerini ve çözümün uygunluğunu temsil eder. ABC algoritmasının optimizasyon süreci 4 fazdan oluşur: (i) başlangıç fazı, (ii) işçi arı fazı, (iii) gözcü arı fazı, (iv) kaşif arı fazı. Bu fazların her biri aşağıda detaylıca verilmiştir.

1. Başlangıç fazı

Yiyecek kaynakları için bir başlangıç çözüm vektörleri (yapı tasarımları) oluşturulur. Bu vektör Bağntı (3.13)'te verilmiştir.

$$\vec{x}_{pi} = \vec{x}_{li} + \alpha \cdot \left(\vec{x}_{ui} - \vec{x}_{li} \right) \quad (3.13a)$$

$$p = 1, 2, \dots, PN \quad (3.13b)$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (3.13c)$$

Burada, “PN” algoritmadaki yiyecek kaynaklarının sayısı, “n” çözüm vektörünün eleman sayısı, “ $\vec{x}_p$ ” algoritmadaki çözüm vektörü, “ $\vec{x}_l$ ” çözüm vektörünün alt sınır değeri, “ $\vec{x}_u$ ” çözüm vektörünün üst sınır değeri ve “ α ” [0,1] aralığında rastgele bir değerdir. Elde edilen çözümler değerlendirilir ve Bağntı (3.12)'ye göre performans değerleri hesaplanır. Elde edilen çözümler performans değerleri ile kaydedilerek algoritma hafızası oluşturulur. Hafızadaki her çözüm için kullanılma sayılarını kaydeden vektör tanımlanır. Başlangıçta tüm çözümlerin kullanılma sayıları sıfırdır.

2. İşçi arı fazı

İşçi arılar, başlangıçta belirlenen çözüm vektörünün komşuluğu içerisinde yeni yiyecek kaynakları için araştırma yaparlar. Bağntı (3.14) bu yeni komşu yiyecek kaynaklarının formülasyonunu göstermektedir.

$$\vec{v}_{pi} = \vec{x}_{pi} + \beta \cdot \left(\vec{x}_{pi} - \vec{x}_{ki} \right) \quad (3.14)$$

Bağntı (3.14)'te, “ $\vec{v}_p$ ” çözüm vektörünün yeni değeri (yiyecek kaynağının yeni konumu), “ β ” [-1,1] aralığında değişen rastgele bir değer ve “ $\vec{x}_k$ ” rastgele seçilmiş komşu yiyecek kaynağıdır. Yiyecek kaynağının yeni konumunun

bulunmasından sonra, işçi arılar bu yeni konumun uygunluğunu değerlendirir ve Bağntı (3.12)'ye göre performans değeri hesaplanır. Yeni konumun performans değeri eski değerinden daha iyi ise eski çözüm algoritma hafızasından çıkarılır ve yeni çözüm eski çözümün yerine geçer. Aksi taktirde eski çözüm hafızada kalır ve çözüme ait yiyecek kaynağının kullanılma sayısı bir arttırılır. Bu algoritma hafızası yenileme işlemine aç gözlü seçim (Greedy selection) denir.

3. Gözcü arı fazı

İşçi arılar, gözcü arılara buldukları yiyecek kaynakları hakkında bilgi verirler ve gözcü arılar da aldıkları bu bilgiye göre yiyecek kaynağının gitmeye değer olup olmadığına karar verirler. Her bir işçi arı için bilgi alışverişi yapan sadece bir gözcü arı vardır. Algoritmaya göre, işçi arıların gözcü arılarla paylaştıkları bilgi bir önceki fazda hesaplanan uygunluk fonksiyonu değeridir. Bu uygunluk değerine göre, gözcü arılar tarafından yiyecek kaynağının bir olasılık değeri hesaplanır. Bu olasılık değeri Bağntı (3.15) ile hesaplanır.

$$P_p = \frac{fit_p \left(\vec{x}_p \right)}{\sum_{p=1}^{PN} fit_p \left(\vec{x}_p \right)} \quad (3.15)$$

Burada, “ P_p ” bulunan yiyecek kaynağının uygunluk değerine bağlı hesaplanan olasılık değeridir. Gözcü arılar hesaplanan olasılık değerlerine göre belirledikleri yiyecek kaynaklarına uçarlar ve işçi arıları fazındaki gibi konum güncelleme ve aç gözlü seçim işlemlerini uygularlar.

4. Kaşif arı fazı

Bu fazda kullanılma sayısı limit değeri aşan yiyecek kaynakları tespit edilir. Limiti aşan yiyecek kaynakları algoritma hafızasından çıkarılır ve bu kaynağa uçan işçi arılar kaşif arıya dönüşür. Kaşif arılar çıkarılan yiyecek kaynaklarının yerine Bağntı (3.13)'teki gibi rasgele yeni yiyecek kaynakları belirler.

Kaşif arı fazından sonra işçi arı fazına geri dönülür. Maksimum tekrar (iterasyon) sayısına ulaşmıyca kadar Bağntı (3.13)-(3.15) arasındaki prosedürler tekrarlanır. Bu çalışmada iterasyon bir çözümün değerlendirilmesi olarak tanımlanmıştır.

3.2.2. Karga arama algoritması (CSA)

CSA optimizasyon algoritması ilk olarak 2016 yılında tanıtılmıştır (Askarzadeh 2016). Kargaların yiyecek bulma ve onları koruma adına sergiledikleri davranışlardan esinlenilerek türetilmiştir. Kargalar bilindiği üzere çok zeki hayvanlardır. Gördükleri yüzleri tanırlar ve buna bağlı olarak tanımadıkları bir yüzle karşı karşıya kaldıklarında sürüdeki diğer kargaları uyarırlar. Ayrıca çok iyi bir yiyecek çalma ve saklama ustasıdır. Diğer kuş türlerini gözlemlerler ve onların yiyecek sakladıkları yeri bulup,

o yerin savunmasız olduğu anda yiyeceği çalarlar. Elde ettikleri yiyeceklerin yağmalanmasını önlemek için, sakladıkları yeri değiştirirler. Hafızaları çok güçlü olduğu için yiyecek sakladıkları yeri birkaç ay boyunca unutmazlar.

Yöntemde kargalar bir çözümü temsil ederler. Karganın konumu çözümü oluşturan tasarım değişkenleridir. Kargalar konum değiştirdikçe bağlı oldukları çözüm güncellenir. Kargaların performans değerleri kargalara atanan çözümlerin performans değerleri ile doğru orantılıdır. CSA algoritması 8 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar aşağıda detaylı bir şekilde verilmiştir.

1. Optimizasyon problemi ayarlanabilir parametreleri başlatma

Optimizasyon probleminin, karar değişkenlerinin ve sınırlayıcıların belirlendiği adımdır. Bunların belirlenmesinden sonra ayarlanabilir parametre değerleri tespit edilir. Ayarlanabilir parametreler sırasıyla bir sürüdeki karga sayısı, ortamdaki sürü sayısı, maksimum iterasyon sayısı ($iter_{maks}$), uçuş uzunluğu (fl) ve farkındalık olasılığı (AP) dır.

2. Kargaların pozisyonlarını ve hafızalarını başlatma

Bir sürüdeki karga sayısının “ N ” olduğu ve ortamdaki sürü sayısının da “ d ” olduğunu varsayarak, ortamdaki tüm kargaların konumları bir matris olarak tanımlanabilir. Bu matris Bağıntı (3.16)’da gösterilmiştir. Benzer şekilde, tüm kargaların hafızaları Bağıntı (3.17)’deki matrisle verilmiştir.

$$\text{Karga Konum Matrisi} = \begin{bmatrix} x_{11} & . & . & x_{1d} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ x_{N1} & . & . & x_{Nd} \end{bmatrix} \quad (\text{Askarzadeh 2016}) \quad (3.16)$$

$$\text{Karga Hafıza Matrisi} = \begin{bmatrix} m_{11} & . & . & m_{1d} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ m_{N1} & . & . & m_{Nd} \end{bmatrix} \quad (\text{Askarzadeh 2016}) \quad (3.17)$$

3. Amaç fonksiyonunu değerlendirme

Amaç fonksiyonu uygunluk değerini elde edebilmek için, karar değişkenlerine bağlı olarak kargaların pozisyon kaliteleri Bağıntı (3.12)’ye göre tespit edilir. Pozisyon ve performans verileri ABC algoritmasında olduğu gibi algoritma hafızasına kaydedilir ve sürü oluşturulur.

4. Yeni pozisyon belirleme

Kargalar yeni pozisyonlar belirlemek istediklerinde, sürü içerisinde rastgele seçmiş oldukları bir kargayı takip ederek o karganın yiyeceklerini sakladığı yeri

öğrenmeye çalışırlar. Bu yüzden o kargayı takip etmeye başlarlar. Böylece karga önceki konumunu güncellemiş olur. Bu prosedürün tüm kargalar için olduğunu varsayarak, bu yeni pozisyonlar Bağntı (3.18) ile belirlenir.

$$x_i^{iter+1} = \begin{cases} x_i^{iter} + r_i \cdot fl_i^{iter} \cdot (m_j^{iter} - x_i^{iter}) & ; r_j \geq AP_j^{iter} \\ \text{rastgele bir pozisyon} & \text{eğer} & ; r_j < AP_j^{iter} \end{cases} \quad (\text{Askarzadeh 2016}) \quad (3.18a)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, N \quad \text{ve} \quad i \neq j \quad (3.18b)$$

$$iter = 1, 2, \dots, iter_{maks} \quad (3.18c)$$

Herhangi bir karga sürüsü için Bağntı (3.18)'de, “ x_i^{iter} ” i numaralı karganın “ $iter$ ” numaralı iterasyondaki konumu, “ r_i ” ve “ r_j ” $[0,1]$ arasında rastgele bir değer, “ fl_i^{iter} ” i numaralı karganın “ $iter$ ” numaralı iterasyondaki uçuş uzunluğu, “ m_j^{iter} ” j numaralı karganın “ $iter$ ” numaralı iterasyondaki hafıza değeri ve “ AP_j^{iter} ” j numaralı karganın “ $iter$ ” numaralı iterasyondaki farkındalık olasılığı değeridir.

5. Yeni konumların elverişliliğini kontrol etme

Elde edilen yeni konumların elverişlilik durumuna göre kargaların yeni konumları belirlenir. Bu işlem ABC algoritmasındaki aç gözlü seçim ile benzer şekilde uygulanır. Yeni konum değeri elverişli olan kargaların konumları yeni bulunan değere güncellenir. Yeni konum değeri elverişli olmayanlar ise eski konum değeriyle devam eder.

6. Yeni pozisyonların uygunluk fonksiyonlarının değerlendirilmesi

Her bir karganın uygunluk fonksiyonu değeri, elde edilen yeni konumlarına bağlı olarak tespit edilir.

7. Hafızaları yenileme

Kargaların yeni hafıza değerleri Bağntı (3.19) vasıtasıyla belirlenir ve hafıza değerleri vektörü bu değerlere bağlı olarak güncellenir.

$$m_i^{iter+1} = \begin{cases} x_i^{iter+1} & ; f(x_i^{iter+1}), f(m_i^{iter}) \text{ 'dan iyiye} \\ m_i^{iter} & ; \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (\text{Askarzadeh 2016}) \quad (3.19)$$

Burada, “ $f(x_i^{iter+1})$ ” ve “ $f(m_i^{iter})$ ” sırasıyla “ x_i^{iter+1} ” ve “ m_i^{iter} ” değerlerine bağlı olarak hesaplanan amaç fonksiyonu değerleridir.

8. Sonlandırma kriterini kontrol etme

4. adımdan 7. adıma kadar olan prosedür birbirini takip eden iterasyonlarla devam eder ve maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığı zaman prosedür durur. İterasyonların sonlanmasıyla birlikte, hafızadaki en iyi değer kaydedilir. Bu değer optimizasyon probleminin çözümü olarak alınır.

3.2.3. Archimedes optimizasyon algoritması (AOA)

Çok yeni bir algoritma olan Archimedes optimizasyon algoritması, Archimedes'in kaldırma kuvveti yasasından esinlenilerek türetilen popülasyon tabanlı bir algoritmadır. Algoritmaya göre sıvıya batırılan nesneler popülasyon bireyleridir. Amaç batırılan bireylerin ağırlıklarını, sıvının ağırlığıyla eşit olacak şekilde optimize etmektir. Algoritma 6 adımdan oluşmaktadır. Bu adımların tüm detayları aşağıda detaylandırılmıştır.

Adım 1. Başlatma

Popülasyondaki tüm bireylerin başlangıç pozisyonları belirlenir. Bu pozisyonların belirlenmesi için Bağıntı (3.20) kullanılır.

$$O_i = lb_i + rand \cdot (ub_i - lb_i) \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.20a)$$

$$i = 1, 2, \dots, N \quad (3.20b)$$

Burada, “ O_i ” popülasyon içerisindeki i numaralı birey, “ N ” popülasyondaki toplam birey sayısı, “ ub_i ” arama uzayındaki üst sınır değeri, “ lb_i ” arama uzayındaki alt sınır değeri ve “ $rand$ ” [0,1] aralığında rastgele seçilen bir değerdir. Daha sonrasında her bir bireyin başlangıç hacim, yoğunluk ve ivme değerleri sırasıyla Bağıntı (3.21), (3.22) ve (3.23) ile tanımlanır.

$$vol_i = rand \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.21)$$

$$den_i = rand \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.22)$$

$$acc_i = lb_i + rand \cdot (ub_i - lb_i) \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.23)$$

Tüm bireylerin başlangıç pozisyonu, hacmi, yoğunluğu ve ivmesi belirlendikten sonra, bu değerler üzerinden bir değerlendirme yapılır ve uygunluk değeri en iyi olan bireyler seçilir.”

Adım 2. Hacim ve yoğunluk değerlerini güncelleme

Hacim ve yoğunluk değerleri bir sonraki iterasyon adımı için yeniden hesaplanır. Bu hesaplamalar için denklemler sırasıyla Bağıntı (3.24) ve (3.25)'de verilmiştir.

$$den_i^{t+1} = den_i^t + rand \cdot (den_{best} - den_i^t) \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.24)$$

$$vol_i^{t+1} = vol_i^t + rand \cdot (vol_{best} - vol_i^t) \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.25)$$

Bağıntı (3.24) ve (3.25) göz önüne alındığında, “ vol_{best} ” ve “ den_{best} ” sırasıyla başlangıç değerleri içerisinde en iyi uygunluk değerine sahip hacim ve yoğunluk değerleridir. Ayrıca “ t ” iterasyon adımı temsil eder.

Adım 3. Transfer operatörü ve yoğunluk faktörü

Objelerin ilk olarak batırıldığı durumda, objelerin çarpışma durumları oluşabilir ve objeler bu çarpışmadan belirli bir süre sonra denge durumuna geçebilir. Bu durumu temsilen bir transfer operatörü oluşturulur (Bağıntı (3.26)). Algoritmadaki yoğunluk azaltma faktörü de Bağıntı (3.27) ile belirlenebilir.

$$TF = e^{\left(\frac{t-t_{maks}}{t_{maks}}\right)} \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.26)$$

$$d^{t+1} = e^{\left(\frac{t_{maks}-t}{t_{maks}}\right)} - \left(\frac{t}{t_{maks}}\right) \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.27)$$

Adım 4. İvme değerini güncelleme

İvme değerinin güncellenmesi için üç durum söz konusudur. Birinci durum bireyler arasında çarpışma varken ivme güncellemesi, ikinci durum bireyler arasında çarpışma yokken ivme güncellemesi, üçüncü durum ise normalize ivme değeridir.

- Çarpışma var durumuna göre güncelleme

Bu durumda $TF \leq 0.5$ olarak ele alınır. Materyaller içerisinde rastgele bir tanesi seçilir ve buna bağlı olarak Bağıntı (3.28) kullanılarak ivme güncellenir.

$$acc_i^{t+1} = \frac{den_{mr} + vol_{mr} \cdot acc_{mr}}{den_i^{t+1} \cdot vol_i^{t+1}} \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.28)$$

- Çarpışma yok durumuna göre güncelleme

Bu durumda $TF > 0.5$ olarak ele alınır. Bağıntı (3.29) kullanılarak ivme güncellenir.

$$acc_i^{t+1} = \frac{den_{best} + vol_{best} \cdot acc_{best}}{den_i^{t+1} \cdot vol_i^{t+1}} \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.29)$$

- Normalize ivme değeri

Değişim yüzdesine göre hesaplanan ivme değeridir. Bağntı (3.30)'da verilen denklem vasıtasıyla hesaplanır.

$$acc_{i-norm}^{t+1} = u \cdot \frac{acc_i^{t+1} - \min(acc)}{\max(acc) - \min(acc)} + l \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.30)$$

Bağntı (3.30)'a göre, “ u ” ve “ l ” sırasıyla normalizasyon üst ve alt aralıklarıdır ve yine sırasıyla 0.9 ve 0.1 olarak alınmıştır.

Adım 5. Pozisyonları güncelleme

Bireylerin pozisyonları bu adımda güncellenir ve bu güncelleme için gerekli denklem Bağntı (3.31)'de verilmiştir (Hasim vd. 2021).

$$x_i^{t+1} = \begin{cases} x_i^t + C_1 \cdot rand \cdot acc_{i-norm}^{t+1} \cdot d \cdot (x_{rand} - x_i^t) & \text{eğer } TF \leq 0.5 \\ x_{best}^t + F \cdot C_2 \cdot rand \cdot acc_{i-norm}^{t+1} \cdot d \cdot (T \cdot x_{best} - x_i^t) & \text{eğer } TF > 0.5 \end{cases} \quad (3.31)$$

Burada, $C_1 = 2$ ve $C_2 = 6$, “ x_{best} ” bireylerin başlangıç pozisyonlarından uygunluk değeri en yüksek olan pozisyon, “ x_{rand} ” rastgele bir bireyin pozisyonudur. “ T ” transfer operatörü ile doğru orantılıdır ve Bağntı (3.32) ile hesaplanabilir.

$$T = C_3 \cdot TF \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.32)$$

T değerinin değişimi $[0.3C_3, 1]$ aralığında ve zamana bağlıdır ve ilk olarak en iyi pozisyon değerinin belirli bir yüzdesini alarak başlar. bu yüzde değeri başlangıçta düşük bir değerdir ve zamanla artar. Bu artışın bir sonucu olarak da başlangıçta büyük olan güncel pozisyon ve en iyi pozisyon arasındaki fark aşama aşama düşer. “ F ” ise hareket yönünü değiştiren parametredir ve Bağntı (3.33) ile hesaplanır.

$$F = \begin{cases} 1 & \text{eğer } P \leq 0.5 \\ -1 & \text{eğer } P > 0.5 \end{cases} \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.33a)$$

$$P = 2 \cdot rand - C_4 \quad (\text{Hasim vd. 2021}) \quad (3.33b)$$

Adım 6. Son değerlendirme

Tüm iterasyonlar sonucunda yapılan değerlendirme ile uygunluk değeri en iyi olan pozisyon, hacim, yoğunluk ve ivme değerleri depolanır. Bu depolanan değerler optimizasyon problemi için bulunan en iyi çözümlerdir.

3.2.4 Optimizasyon yöntemlerine ait arama parametrelerinin belirlenmesi

Meta-sezgisel yöntemler stokastik yapılar içermesi sebebiyle bu yöntemlerin farklı türdeki optimizasyon problemlerinin çözümünde uyumluluk sorunları görülebilir. Bu nedenle yöntemlere ait arama parametrelerin yeni tür optimizasyon problemlerinde

yeniden ayarlanması gerekebilir. Hassaslık analizi olarak da adlandırılan bu işlem meta-sezgisel yöntemlerinin performansının artırılmasında önemli rol oynamaktadır. Literatürde ABC algoritması birçok yapısal optimizasyon problemlerine uygulanmış ve bu çalışmalarda gerekli hassaslık analizleri yapılmıştır (Aydogdu vd. 2016). Bu nedenle ABC yöntemine ait arama parametreleri doğrudan referans çalışmalarından alınmıştır (Aydogdu vd. 2016, Aydogdu vd. 2017). CSA ve AOA yöntemleri yeni yöntemler olması nedeniyle bu yöntemler için hassaslık analizi yapılmıştır. Tez çalışmasında izolatörlü yapıların Sap2000 OAPI yardımıyla optimizasyonu yapıldığı için bu işlem oldukça uzun sürmektedir. Bu nedenle hassaslık analizi için tez çalışması için seçilen izolatörlü yapılardan farklı olarak literatürde kıyaslama örneği olarak da ele kullanılan 47 elemanlı kafes yapısı seçilmiştir. Örnek ile ilgili ayrıntılı bilgi bölüm 3.4.3'te verilmiştir. Hassaslık analizi için alınan arama parametre değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Hassaslık analizi için alınan arama parametre değerleri

Yöntem	Parametre	Alınan Değerler
CSA	Sürü Sayısı	20; 40; 50; 100; 200
	fl	0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 4
	AP	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7;0,8; 0,9
AOA	Birey sayısı	20; 40; 50; 100; 200
	C1	0,5; 1; 2; 4
	C2	0,5; 1; 2; 4
	C3	0,5; 1; 2; 4
	C4	0,5; 1; 2; 4

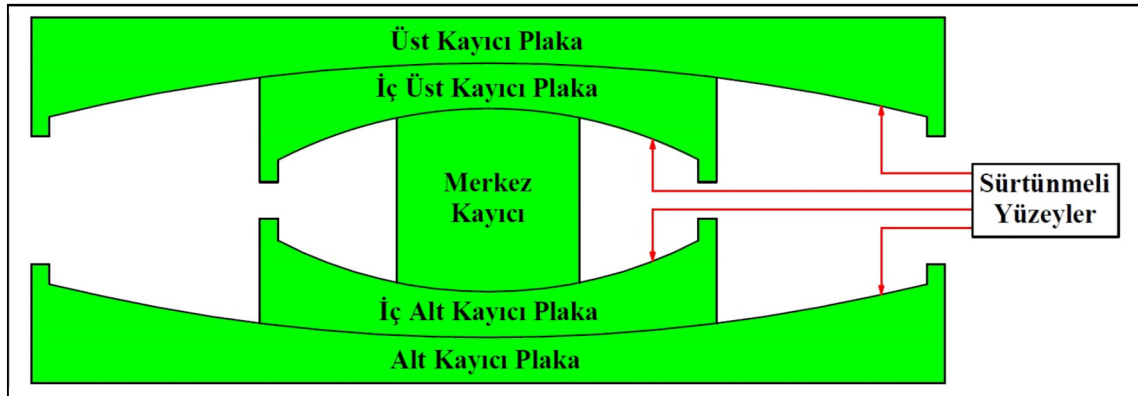
Çizelge 3.1'de verilen parametre kombinasyonlarına göre toplam 1550 test yapılmıştır. Her bir test için örnek 20 defa farklı çekirdek (seed) değerlerine göre optimize edilmiştir. Her bir test sonucunda elde edilen sonuçlar tablo halinde EK-1'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda optimizasyon işlemi için seçilen parametre değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Optimizasyon işlemi için seçilen parametre değerleri

Yöntem	Parametre	Alınan Değerler
ABC	Yiyecek sayısı	5; 10; 12; 18
	Limit	3; 13; 15; 20
CSA	Sürü Sayısı	5; 10; 12; 18
	f _l	2
	AP	0.1
AOA	Birey sayısı	5; 10; 12; 18
	C1	2
	C2	1
	C3	2
	C4	0.5

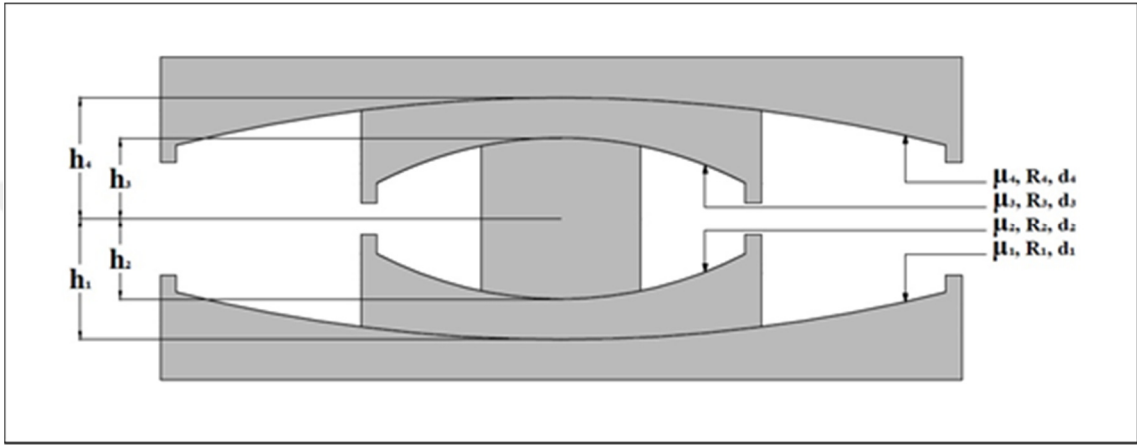
3.3. Üçlü Sarkaç İzolatör Mesnetler (TFPB)

TFPB sürtünme bazlı izolasyon aygıtlarıdır. Diğer sürtünme bazlı mesnet türleri arasında en yenisi olan bu mesnetler simetrik tasarıma sahiptirler. Mesneti oluşturan 5 bileşen bulunmaktadır. Bunlardan ikisi alt ve üst kayıcı plakalar, diğer ikisi iç kayıcı plakalar ve bir diğeri de merkez kayıcıdır (Şekil 3.3). Bileşenler arasında içbükey sürtünmeli temas yüzeyleri bulunmaktadır. Her bir bileşen, üzerinde konumlandığı diğer bileşen üzerinde bu sürtünmeli yüzeyler sayesinde yatay yönde hareket edebilirler. Yüzeylerin içbükey olması, bu hareket esnasında bir rijitlik oluşmasına imkan sağlar. Mesnetler genellikle iç kayıcı yüzeylerin sürtünme katsayıları birbirlerine eşit ve dış kayıcı yüzeylerin sürtünme katsayılarından küçük olacak şekilde tasarlanır. Dış kayıcı yüzeyler için sürtünme katsayılarının eşit olması şart değildir.

**Şekil 3.3.** TFPB bileşenleri ve sürtünme yüzeyleri

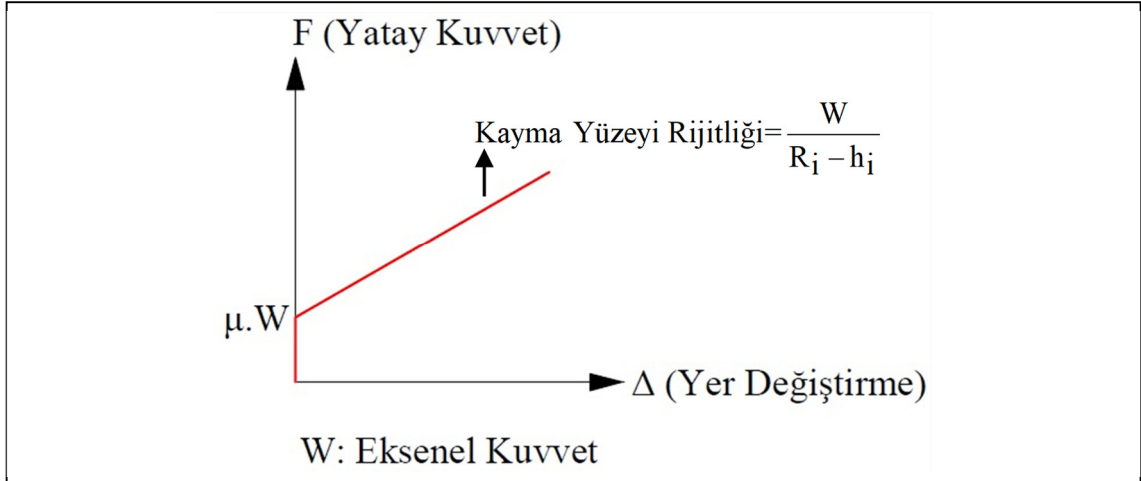
3.3.1. TFPB davranışı

TFPB'lerin kayma davranışı mesnetin parametrelerine bağlıdır. Bu parametreler içbükey kayma yüzeyi yarıçapları (R_i), kayma yüzeyi sürtünme katsayıları (μ_i), kayıcı bileşenlerin yükseklikleri (h_i) ve kayıcı bileşenlerin yer değiştirme kapasiteleri (d_i)'dir (Şekil 3.4). Bu parametrelere bağlı olarak kayma davranışının iki ana etkeni vardır. Birincisi kayma rejimi ikincisi ise kayma rijitliğidir. Kayma rejimi yatay sürtünme kuvvetine bağlı olarak hareketin yüzeyler arasında değişimini ifade eder. Kayma rijitliği ise herhangi bir kayma yüzeyinin etkili eğrilik yarıçapıyla (R_i-h_i) ters orantılı olarak değişen rijitlik sabitidir (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. TFPB parametreleri

Sarkaç mesnetlerde yatay hareket, yatay kuvvetin yüzeylerdeki sürtünme kuvvetine ulaşmasıyla başlar. TFPB'lerde sürtünme katsayıları için sıralama $\mu_2 = \mu_3 < \mu_1 \leq \mu_4$ şeklindedir. İlk hareket sürtünme kuvvetinin en küçük olduğu yüzeylerde meydana gelir. Yatay kuvvet arttıkça diğer sürtünme kuvvetlerine de ulaşılır ve böylece tüm kayıcılar yatay yönde aktif hale gelir. Yatay hareket esnasında kayma yüzeyleri belirli sınır değerlerine bağlı olarak değişir. Kayma rejimleri bu sınır değerleri arasında kalan bölgelerdir. Kayma rijitlikleri her bir kayma yüzeyi için farklı bir değere sahiptir. Fakat yatay hareket başladıktan sonra, kayma rijitliği rejimde etkin kayma yüzeylerinin bireysel rijitliklerinin bileşkesi olan hesaplanır.



Şekil 3.5. i. kayma yüzeyi yatay hareketi ve kayma rijitliği

Sürtünme bazlı izolatör mesnetlerde, yüzeyin gerçek sürtünme katsayısı yerine, hesaplamalarda etkili sürtünme katsayısının kullanılması gerekmektedir. Etkili sürtünme katsayıları ve yüzeylerin etkili yarıçapları Bağlantı (3.34)'le hesaplanabilir.

$$R_{effi} = R_i - h_i \quad (3.34a)$$

$$\mu_{eff2} = \mu_{eff3} = \frac{R_2}{R_{eff2}} \cdot \mu_2 \text{ (Sarlis vd. 2013)} \quad (3.34b)$$

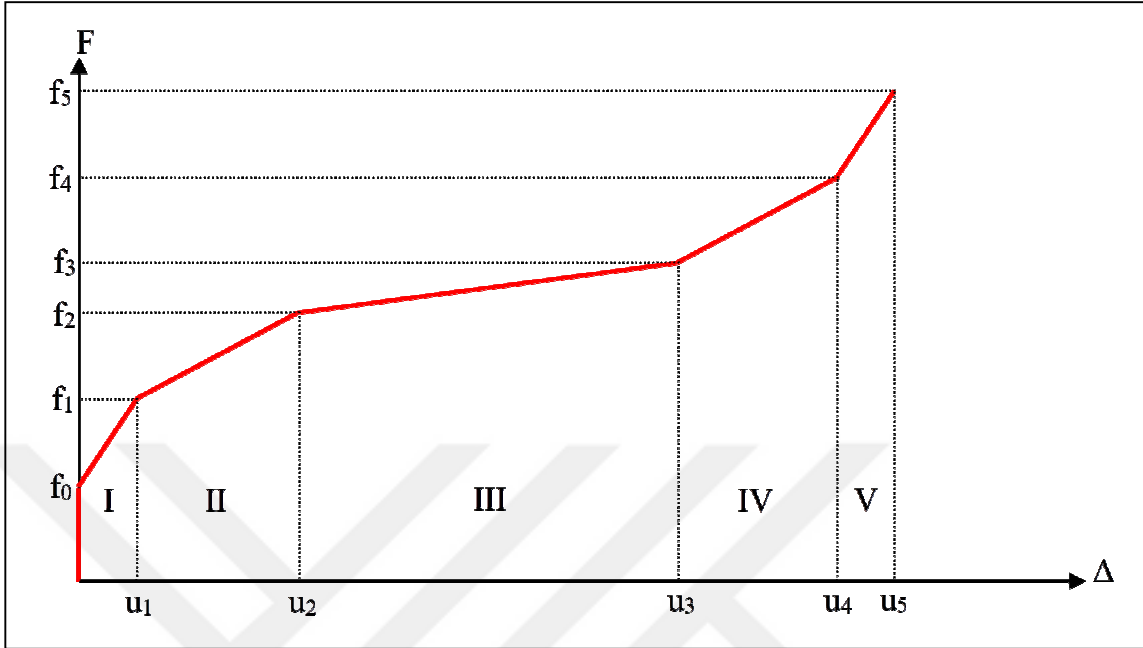
$$\mu_{eff1} = \frac{\mu_1 R_1 - \mu_2 R_2}{R_{eff1} - R_{eff2}} \text{ (Sarlis vd. 2013)} \quad (3.34c)$$

$$\mu_{eff1} = \frac{\mu_1 R_1 - \mu_2 R_2}{R_{eff1} - R_{eff2}} \text{ (Sarlis vd. 2013)} \quad (3.34d)$$

Etkili sürtünme katsayılarının hesaplanmasıyla, kayma yüzeylerinde meydana gelen sürtünme kuvvetleri için formül Bağlantı (3.35)'teki gibi olur.

$$F_{si} = W \cdot \mu_{effi} \quad (3.35)$$

TFPB için yer değiştirme kapasitesine ulaşana kadar toplam 5 rejim söz konusudur. Bu rejimler Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. TFPB için kayma rejimleri

Rejimler için sınır kuvvet ve yer değiştirme değerleri Bağntı (3.36)-(3.41)’de verilmiştir. Bağntılar için Fenz ve Constantinou (2008)’nun yaptığı çalışmadan faydalanılmıştır.

Yatay hareketin başlaması:

Kayma hareketinin başlaması için yatay kuvvetin en küçük sürtünme kuvvetine ulaşması gerekir. Buna bağlı olarak hareketin başlangıcı olan sürtünme kuvveti Bağntı (3.36)’da verilmiştir.

$$f_0 = W \cdot \mu_{eff2} \quad (3.36)$$

Rejim-I:

Kayma hareketi 2. ve 3. yüzeylerde gerçekleşmektedir. 1. ve 4. yüzeylerde hareket yoktur. Bağntı (3.37) bu rejimdeki sınır değerleri ve kayma rijitliği formüllerini göstermektedir.

$$\text{Kayma Rijitliği} = \frac{W}{R_{eff2} + R_{eff3}} \quad (3.37a)$$

$$f_1 = W \cdot \mu_{eff1} \quad (3.37b)$$

$$u_1 = 2 \frac{\mu_1 R_1 R_{eff2} - \mu_2 R_2 R_{eff1}}{R_{eff1} - R_{eff2}} \quad (3.37c)$$

Rejim-II:

Kayma hareketi 1. ve 3. yüzeylerde gerçekleşmektedir. 2. ve 4. yüzeylerde hareket yoktur. Bağlantı (3.38) bu rejimdeki sınır değerleri ve kayma rijitliği formüllerini göstermektedir.

$$\text{Kayma Rijitliği} = \frac{W}{R_{eff1} + R_{eff3}} \quad (3.38a)$$

$$f_2 = W \cdot \mu_{eff4} \quad (3.38b)$$

$$u_2 = u_1 + (\mu_4 R_4 - \mu_1 R_1) \frac{R_{eff1} + R_{eff2}}{R_{eff1} - R_{eff2}} \quad (3.38c)$$

Rejim-III:

Kayma hareketi 1. ve 4. yüzeylerde gerçekleşmektedir. 2. ve 3. yüzeylerde hareket yoktur. Bağlantı (3.39) bu rejimdeki sınır değerleri ve kayma rijitliği formüllerini göstermektedir.

$$\text{Kayma Rijitliği} = \frac{W}{R_{eff1} + R_{eff4}} \quad (3.39a)$$

$$f_3 = f_1 + \frac{d_1}{R_1} W \quad (3.39b)$$

$$u_3 = d_1 + \frac{R_{eff1} + R_{eff2}}{R_{eff1} - R_{eff2}} (\mu_1 R_1 - \mu_2 R_2) - \mu_4 R_1 \quad (3.39c)$$

Rejim-IV:

Kayma hareketi 2. ve 4. yüzeylerde gerçekleşmektedir. 1. ve 3. yüzeylerde hareket yoktur ve 1. yüzey yer değiştirme kapasitesine ulaşmıştır. Bağlantı (3.40) bu rejimdeki sınır değerleri ve kayma rijitliği formüllerini göstermektedir.

$$\text{Kayma Rijitliği} = \frac{W}{R_{eff2} + R_{eff4}} \quad (3.40a)$$

$$f_4 = f_2 + \frac{d_1}{R_1} W \quad (3.40b)$$

$$u_4 = 2d_1 \frac{R_{eff1}}{R_1} - 2 \left(\frac{\mu_4 R_1 R_{eff2} - \mu_2 R_2 R_{eff1}}{R_{eff1} - R_{eff2}} \right) \quad (3.40c)$$

Rejim-V:

Kayma hareketi 2. ve 3. yüzeylerde gerçekleşmektedir. 1. yüzeyden sonra 4. yüzey de yer değiştirme kapasitesine ulaşmıştır. Bağntı (3.41) bu rejimdeki sınır değerleri ve kayma rijitliği formüllerini göstermektedir.

$$\text{Kayma Rijitliği} = \frac{W}{R_{eff2} + R_{eff3}} \quad (3.41a)$$

$$f_5 = \frac{W}{R_{eff2} + R_{eff3}} (d_1 + d_2 + d_3 + d_4 - u_4) + f_4 \quad (3.41b)$$

$$u_5 = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad (3.41c)$$

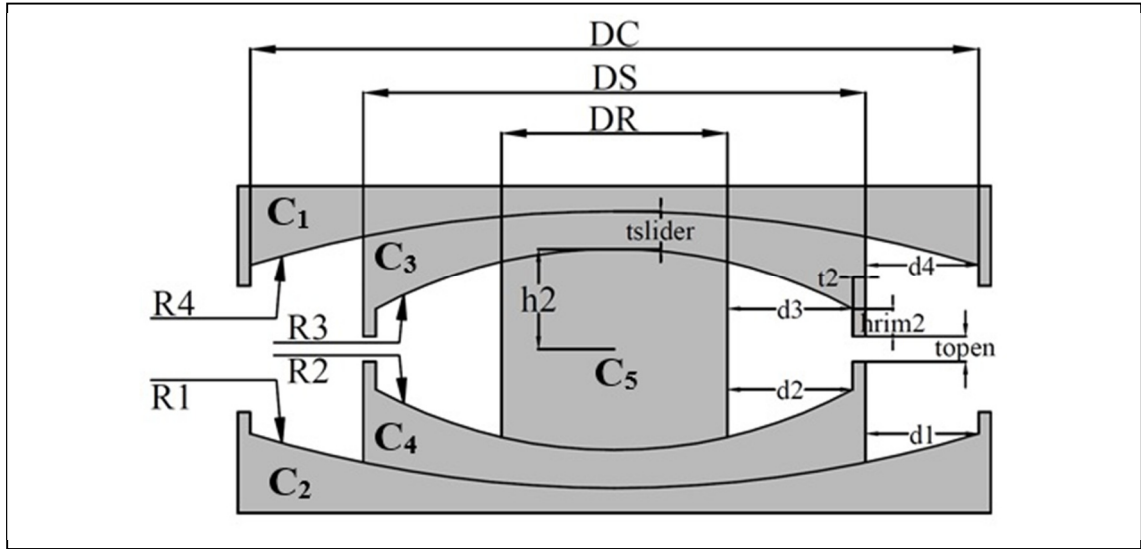
3.3.2. TFPB tasarımı

Bu çalışmada kullanılacak TFPB'lerin tasarlanması için Constantinou vd. (2010)'nin hazırlamış oldukları "LRFD-Based Analysis and Design Procedures for Bridge Bearings and Seismic Isolators" teknik raporundan faydalanılmıştır. Tasarım için gerekli parametreler Şekil 3.7'de gösterilmiştir. TFPB simetrik bir geometriye sahip olduğundan dolayı üst ve alt kayıcıların yarıçapları, yükseklikleri ve yer değiştirme kapasiteleri birbirlerine eşittir (Bağntı (3.42)).

$$R_2 = R_3 \quad R_1 = R_4 \quad (3.42a)$$

$$h_2 = h_3 \quad h_1 = h_4 = h_2 + t_{slider} \quad (3.42b)$$

$$d_2 = d_3 \quad d_1 = d_4 \quad (3.42c)$$



Şekil 3.7. TFPB modelleme parametreleri

“ R_I ” ve “ DC ” parametreleri için kullanılabilir değerler Çizelge 3.3’de verilmiştir. Seçme işlemi yürütülen analizlerden elde edilen yapı ağırlığına göre yapılmaktadır.

Çizelge 3.3. TFPB tasarımı için kullanılabilir R_I ve DC değerleri (Constantinou vd. 2010)

R_I (inch)	61	61	61	61	61	88	88	88	88	88	88	88	88	88
DC (inch)	14	18	22	31	36	27	31	36	39	41	44	46	51	56

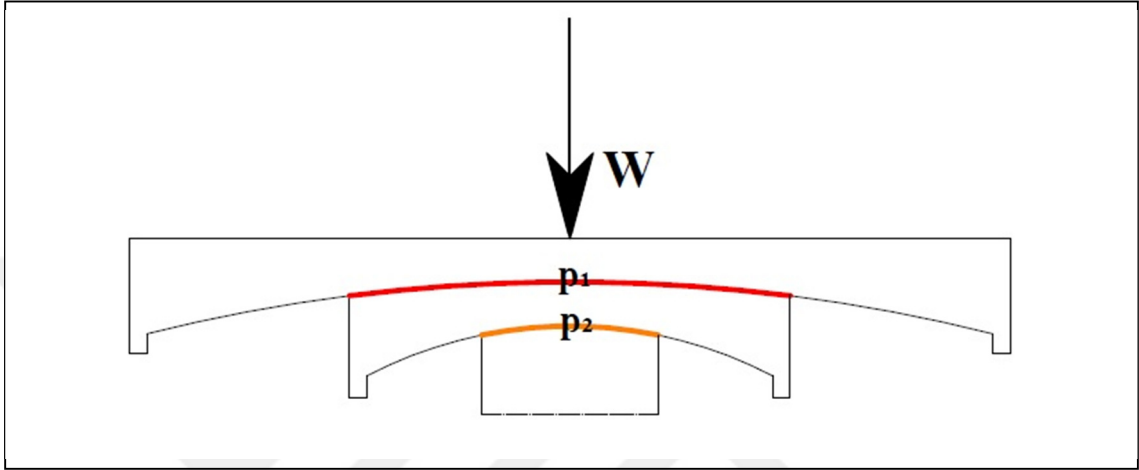
Yer değiştirme kapasiteleri için, teknik raporun ön gördüğü sınırlama etkili yarıçapın %20’sinden fazla olmaması gerektiğidir. İlk etapta etkili yarıçap hesaplanamadığı için, güvenli tarafta kalmak adına yer değiştirme kapasiteleri gerçek yarıçapın %15’i olacak şekilde hesaplama yapılmıştır. Bağntı (3.43) bu kabule bağlı olarak “ d_I ” parametresinin formülasyonunu gösterir.

$$d_I = 0.15R_I \quad (3.43)$$

Tablo 1’den seçilen “ R_I ” ve Bağntı (3.43)’ten hesaplanan “ d_I ” değerlerine bağlı olarak, “ DS ” değeri Bağntı (3.44)’den elde edilir.

$$DS = DC - 2d_I \quad (3.44)$$

İzolatör mesnetler, yapının ağırlığına bağlı olarak eksenel basınca maruz kalırlar. TFPB için bu basınç değeri sürtünme katsayılarının hesaplanması için bir parametredir. TFPB üzerinde iki farklı basınç değeri vardır (Şekil 3.8). Bunlardan birincisi üst kayıcı plaka üzerinde iç kayıcı plakanın yapmış olduğu basınç değeri, p_1 , ikincisi ise iç kayıcı plaka üzerinde merkez kayıcının yapmış olduğu basınç değeri, p_2 , dir. “DS” değerinin hesaplanmasıyla, Bağntı (3.45) kullanılarak “ p_1 ” hesaplanabilir. Hesaplamalarda, kuvvet birimi *kips* olarak alınmalıdır.



Şekil 3.8. TFPB üzerinde oluşan eksenel yük kaynaklı basınç bölgeleri

$$p_1 = \frac{W}{\frac{\pi \cdot DS^2}{4}} \quad (3.45)$$

“ p_1 ” değerinin hesaplanmasından sonra, birinci kayma yüzeyinin sürtünme katsayısı olan “ μ_1 ” değeri Bağntı (3.46)’dan elde edilir.

$$\mu_1 = 0.122 - 0.01p_1 \quad (3.46)$$

Bu çalışmada, mesnet davranışının daha etkili olması için “ μ_1 ” değeri minimum % 5 olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Eğer bu sınırın altında bir değer elde edilirse, tablo 1’den yeni “ R_1 ” ve “ DC ” değerleri seçilerek Bağntı (3.43) - (3.46)’daki prosedür istenen değer elde edilene kadar tekrarlanmalıdır. Hesaplanan “ μ_1 ” değerine bağlı olarak “ μ_2 ” değeri için formül Bağntı (3.47)’de verilmiştir.

$$\mu_2 = 0.30\mu_1 \quad (3.47)$$

Bağntı (3.46)’daki formül “ μ_2 ” değeri için yazılır ve buradan “ p_2 ” çekilirse Bağntı (3.48) elde edilir.

$$\mu_2 = 0.122 - 0.01p_2 \quad \Rightarrow \quad p_2 = \frac{0.122 - \mu_2}{0.01} \quad (3.48)$$

“ p_2 ” merkez kayıcının iç kayıcı plaka üzerinde oluşturduğu basınç değeri olduğundan Bağntı (3.45)’teki formül “ p_2 ” için yazılabilir. Böylece elde edilen yeni formülden “ DR ” değeri hesaplanabilir (Bağntı (3.49)).

$$p_2 = \frac{W}{\frac{\pi \cdot DR^2}{4}} \Rightarrow DR = \sqrt{\frac{4W}{\pi \cdot p_2}} \quad (3.49)$$

Yer değiştirme kapasitelerinin daralmaması ve tasarım geometrisinde herhangi bir uyumsuzluk (örneğin $DS > DC$) oluşmaması için “ DR ” değeri “ DS ” değerinin % 50’sinden küçük ve % 25’inden büyük olacak şekilde bir tasarım yapılmıştır. Bu sınırın dışında kalan herhangi bir tasarım için yukarıdaki tüm prosedür belirlenen aralıktaki değerlere ulaşana kadar en baştan tekrarlanmalıdır.

Mesnet tasarımında, toplam yüksekliğin gereğinden fazla olması mesnette stabilize problemine neden olabilir. Bu nedenle alt ve üst plakaların en yakın uç noktaları arasındaki boşluğun (t_{open}) yatay hareket esnasında plakalar arasında herhangi bir çakışma olmayacak şekilde optimum bir değer olması gerekir. Bu çalışmada bu boşluk değeri 1 inch olarak ele alınmıştır. Ayrıca “ t_2 ”, “ t_{slider} ” ve “ h_{rim2} ” parametreleri için daha önce pratikte kullanılan TFPB modellerinden faydalanılarak formülasyonlar türetilmiştir ve sırasıyla Bağntı (3.50), (3.51) ve (3.52)’de verilmiştir.

$$t_2 = \frac{DS}{30} \quad (3.50)$$

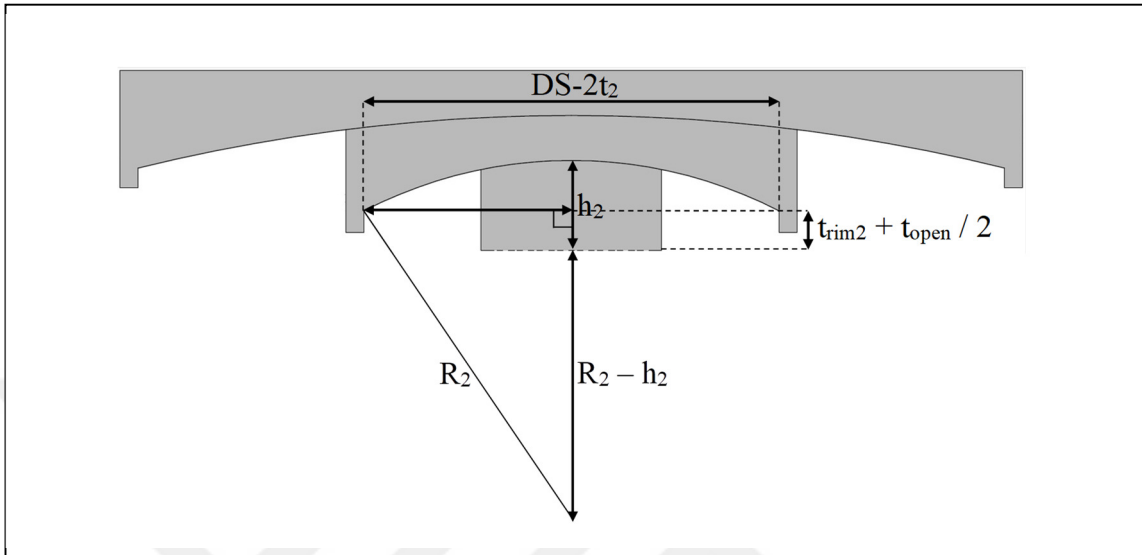
$$t_{slider} = \frac{DS}{7} \quad (3.51)$$

$$h_{rim2} = \frac{DS}{20} \quad (3.52)$$

Daha önce hesaplanan “ DR ”, “ DS ” ve “ t_2 ” değeri, “ d_2 ” değerinin hesaplanabilmesini sağlar (Bağntı (3.53)).

$$d_2 = \frac{DS - DR - 2t_2}{2} \quad (3.53)$$

“ h_2 ” değerinin hesabı için mesnetin geometrik sınır değerlerinin korunması gerekir. Aksi takdirde, mesnetin üst ve alt plakalarının iç içe geçme durumu söz konusu olabilir. Buna bağlı olarak, Şekil 3.9’daki geometriye göre “ h_2 ” değeri hesaplanır. “ h_2 ” değeri için formül Bağlantı (3.54)’te verilmiştir.



Şekil 3.9. TFPB geometrik sınır değerleri

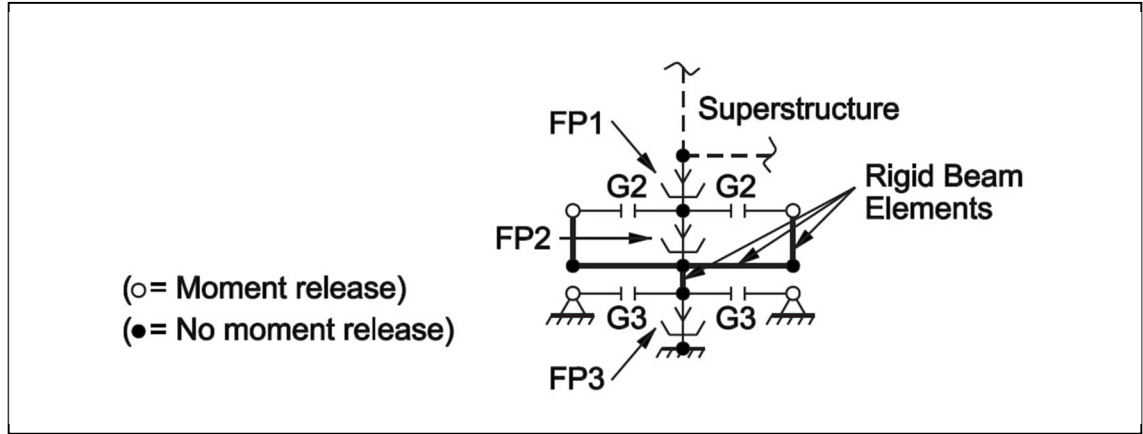
$$h_2 = R_2 - \sqrt{R_2^2 - \left(\frac{DS}{2} - t_2\right)^2} + h_{rim2} + \frac{t_{open}}{2} \quad (3.54)$$

Tüm parametreler Bağıntı (3.42) - (3.54)'teki prosedüre göre hesaplandıktan sonra, üst ve alt kayıcı plakaların yükseklik değerini temsil eden “ h_l ” değeri Bağıntı (3.55) ile elde edilir.

$$h_1 = h_2 + t_{slider} \quad (3.55)$$

3.3.3. TFPB için SAP 2000 modellemesi

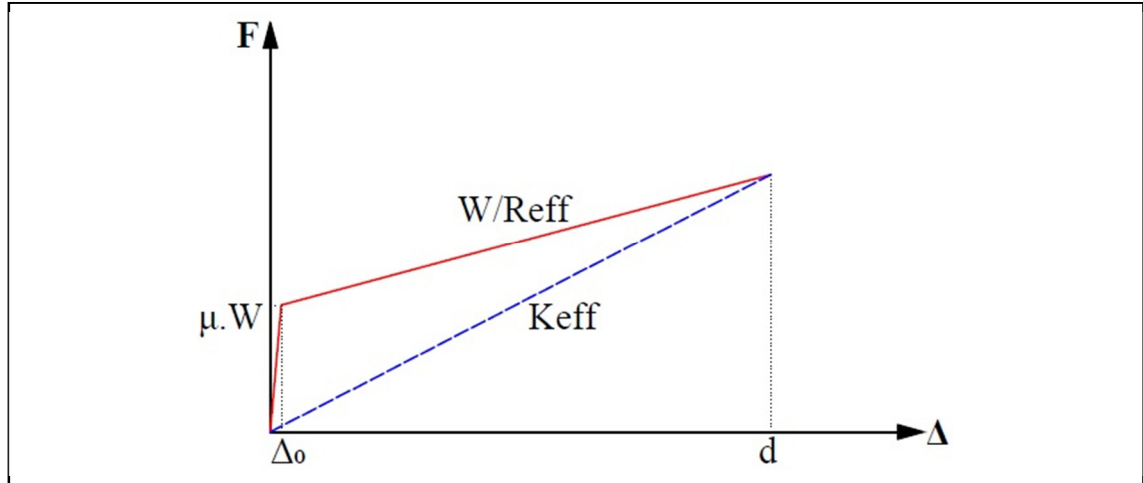
TFPB’lerin davranışını SAP 2000 programında modellemek için daha önce Fenz ve Constantinou (2008) tarafından bir çalışma yürütüldü. Bu model SAP 2000 programına entegre “Friction Isolator” ve “Gap” link elemanlarından oluşuyordu (Şekil 3.10). Bu çalışmadan faydalanılarak, TFPB için bir SAP 2000 modeli hazırlanmıştır. Modelleme ayrıntıları alt bölümlerde verilmiştir.



Şekil 3.10. Fenz ve Constantinou (2008) çalışmasında TFPB için SAP 2000 modellemesi

3.3.3.1. TFPB link elemanları

TFPB'nin yatay yükler altında davranışını benzeştirmek için oluşturulacak SAP 2000 modelinde, mesnetin iç yüzeylerinde sürtünme katsayıları eşit olduğundan dolayı bu iki yüzey tek bir yüzey olarak ele alınmıştır. Buna bağlı olarak, modelde toplam 3 kayma yüzeyi mevcuttur. Her bir yüzeydeki kayma davranışının modellenmesi için “*Plastic Wen*” ve “*Gap*” link elemanları kullanılmıştır. “*Plastic Wen*” linkler yüzeylerdeki kayma hareketinin fiziksel davranışını, “*Gap*” linkler ise yer değiştirme kapasitelerini simüle etmektedir. Her iki link doğrusal olmayan özelliklere göre tasarlanmıştır. “*Plastic Wen*” parametreleri “effective stiffness”, “effective damping”, “stiffness”, “yield strength”, “post yield stiffness ratio” ve “yielding exponent”dir. “effective stiffness” linkin doğrusal rijitliğidir (Şekil 3.11) ve Bağntı (3.56) ile hesaplanır. “effective damping” bu modellemeye 0 olarak ele alınmıştır. “stiffness” kayma öncesi rijitliktir (Şekil 3.11) ve büyük bir değer olmalıdır (Bağntı (3.57)) (Bu çalışmada 100000 kN/m). “post yield stiffness ratio” kayma hareketi başladıktan sonra oluşan rijitliğin kayma başlamadan önceki rijitlik değerine oranıdır (Bağntı (3.58)). “yielding exponent”, mesnetin yatay hareketine bağlı olarak ortaya çıkan kuvvet-yer değiştirme eğrisindeki rejim geçişleriyle ilgili bir parametredir ve bu çalışmada geçişlerin daha keskin olması istendiği için 22 alınmıştır. “*Gap*” parametreleri ise “effective stiffness”, “effective damping”, “stiffness” ve “open”dir. “effective stiffness” değeri “stiffness” değerinin %0,2’si olarak kabul edilmiştir. “effective damping” değeri “*Gap*” linkleri için de 0 olarak ele alınmıştır. “stiffness” hareket başlamadan önce “*Gap*” elemanının rijitliğidir ve davranışın doğruluğu açısından oldukça büyük bir değer alınmalıdır (Bu çalışma için 100000 kN/m) “open” kayma yüzeyindeki tek taraflı yer değiştirme kapasitesidir (Bağntı (3.59)).



Şekil 3.11. TFPB kayma yüzeylerinin yatay hareket esnasındaki fiziksel davranışı

$$\text{effective stiffness } (K_{eff}) = \frac{W \cdot \left[(d - \Delta_0) \cdot \frac{1}{R_{eff}} + \mu \right]}{d} \quad (3.56)$$

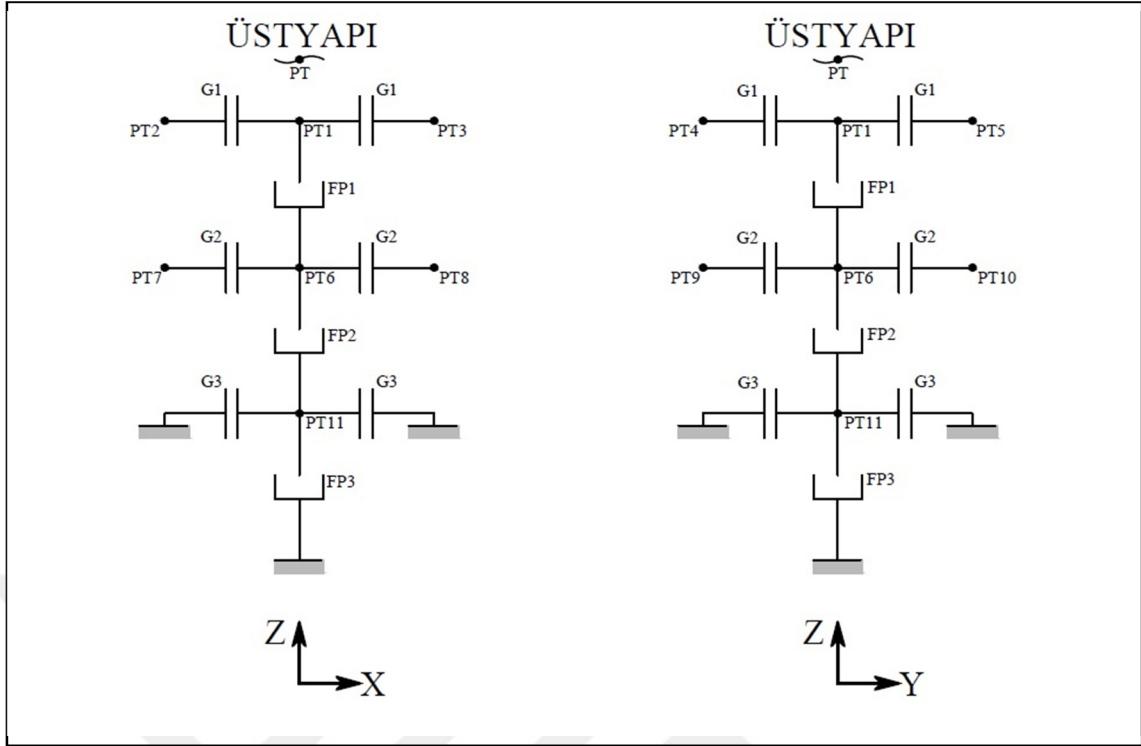
$$\text{stiffness } \left(\frac{\mu \cdot W}{\Delta_0} \right) = 10000 \quad (3.57)$$

$$\text{post yield stiffness ratio} = \frac{\frac{W}{R_{eff}}}{\frac{\mu \cdot W}{\Delta_0}} \quad (3.58)$$

$$\text{open} = d \quad (3.59)$$

3.3.3.2. TFPB için SAP 2000 modelinin oluşturulması

Çalışmada yapı örneklerine tatbik edilecek SAP 2000 modeli Şekil 3.12’de gösterilmiştir. “PT” üst yapının mesnete bağlandığı noktayı temsil eder. En alttaki 3 nokta tüm yönlerde harekete kapalıdır. Mesnet üzerindeki “PT” noktası dahil olmak üzere PT1’den PT11’e kadar tüm noktalar sadece x ve y yönünde yatay harekete açıktır. “PT” ve PT1, PT2-PT6 ve PT7-PT11 nokta gruplarının her biri için “equal” sınırlayıcı kullanılmıştır ve böylece her bir gruptaki noktaların tüm yönlerde aynı hareketi yapması sağlanmıştır. “FP1”, “FP2” ve “FP3” “Plastic Wen” linklerini, “G1”, G2” ve “G3” “Gap” linklerini gösterir.



Şekil 3.12. TFPB SAP 2000 modelinin X-Z ve Y-Z koordinatları için görünüşü

Elde edilen SAP 2000 modelinde, kayma yüzeyi sayısı gerçek mesnet modelindekinden farklıdır (Gerçek mesnet modeli 4 kayma yüzeyine sahipken elde edilen SAP 2000 modeli 3 yüzeye sahiptir). Buna bağlı olarak, gerçek mesnetin yatay yöndeki davranışının benzeştirilebilmesi için, SAP 2000 modelindeki yüzey etkili yarıçaplarının, yer değiştirme kapasitelerinin ve sürtünme katsayılarının gerçek modeldeki değerlerin bir fonksiyonu olarak modifiye edilmesi gerekir (Bağıntı (3.60), (3.61) ve (3.62)).

$$\bar{R}_{eff1} = R_{eff2} + R_{eff3} \quad (\text{Fenz ve Constantinou 2008}) \quad (3.60a)$$

$$\bar{R}_{eff2} = R_{eff1} - R_{eff2} \quad (\text{Fenz ve Constantinou 2008}) \quad (3.60b)$$

$$\bar{R}_{eff3} = R_{eff4} - R_{eff3} \quad (\text{Fenz ve Constantinou 2008}) \quad (3.60c)$$

$$\bar{d}_1 = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 - (\bar{d}_2 + \bar{d}_3) \quad (\text{Fenz ve Constantinou 2008}) \quad (3.61a)$$

$$\bar{d}_2 = \frac{R_{eff1} - R_{eff2}}{R_{eff1}} d_1 \quad (\text{Fenz ve Constantinou 2008}) \quad (3.61b)$$

$$\bar{d}_3 = \frac{R_{eff4} - R_{eff3}}{R_{eff4}} d_4 \quad (\text{Fenz ve Constantinou 2008}) \quad (3.61c)$$

$$\bar{\mu}_1 = \mu_2 = \mu_3 \text{ (Fenz ve Constantinou 2008)} \quad (3.62a)$$

$$\bar{\mu}_2 = \mu_1 \text{ (Fenz ve Constantinou 2008)} \quad (3.62b)$$

$$\bar{\mu}_3 = \mu_4 \text{ (Fenz ve Constantinou 2008)} \quad (3.62c)$$

3.4. Tasarım Örnekleri

Çalışmada, 4 adet 2D ve 4 adet 3D tasarım örneği kullanılmıştır. 2D örneklerin ikisi 4 katlı ve diğer ikisi 8 katlıdır. Hem 4 katlı hem de 8 katlı 2D örneklerde, aynı çerçeve örneği hem yalın hem de güçlendirme güçlendirme kullanılarak tasarlanmış ve böylece ikiye farklı model elde edilmiştir. 3D modeller 4, 6, 8 ve 10 katlı olarak tasarlanmıştır. 4 ve 8 katlı örnekler düzensiz, 6 ve 10 katlı örnekler düzensiz kat planına sahiptirler. Tüm tasarım örnekleri sabit tabanlı (FB) ve izolasyon tabanlı (SI) olarak ele alınmıştır. SI modellerde, mesnetlerin stabilite problemiyle karşılaşmaması için dikey yönde hareketi engellemek için tabanda (mesnetlerin üzerinde) kalın ve ağır bir rijit döşeme bulunur. SAP 2000 modellerinde bu stabiliteyi sağlamak adına, mesnetlerin bağlı olduğu üst noktalar ve bu noktalara komşu diğer noktalar arasında rijit birer bağ kirişi kullanılmıştır. Tasarım örnekleri için bir notasyon kullanılmıştır. Bu notasyon sırasıyla kat sayısı, boyut, taban türü ve güçlendirme güçlendirme durumuna göre yapılmıştır. Kat sayısı örnek kaç katlıysa onun sayısal değeridir. Boyut parametresi 2D modeller için 2 ve 3D modeller için 3'tür. Taban türü parametresi sabit tabanlı olan örnekler için "FB" izolasyon tabanlı olanlar için "SI"dir. Güçlendirme güçlendirme için, eğer örnekte mevcutsa "B" değilse "NB" yazılır. Örneğin güçlendirme güçlendirme olmayan izolasyon tabanlı 4 katlı 3D tasarım örneğinin kodu "43SINB" olarak gösterilir. Çalışmada AOA ve CSA hassaslık analizi için 47 elemanlı bir kafes örneği kullanılmıştır. Bu örneğin ayrıntıları bölüm 3.4.3'te verilmiştir.

3.4.1. 2D çerçeve örnekleri

2D çerçeve örnekleri 4 ve 8 katlı çerçeve modelleridir. Modellerin hepsinde açıklıklar 6 m ve kat yükseklikleri 3m olarak alınmıştır (Çizelge 3.4). Tüm 2D modeller için detaylar alt bölümlerde verilmiştir.

Çizelge 3.4. 2D çerçeve modelleri aks açıklığı ve kat yüksekliği değerleri

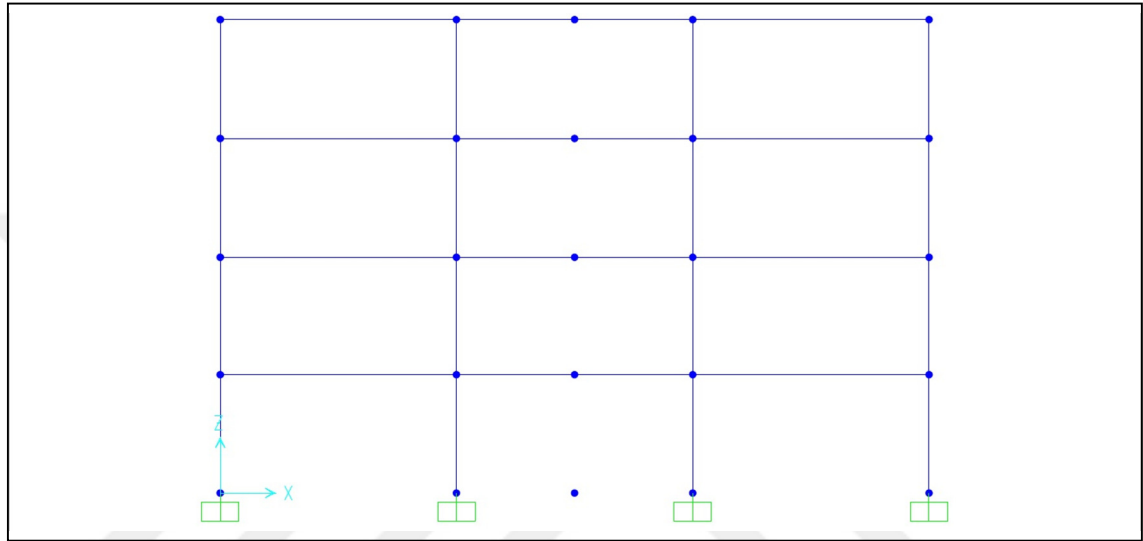
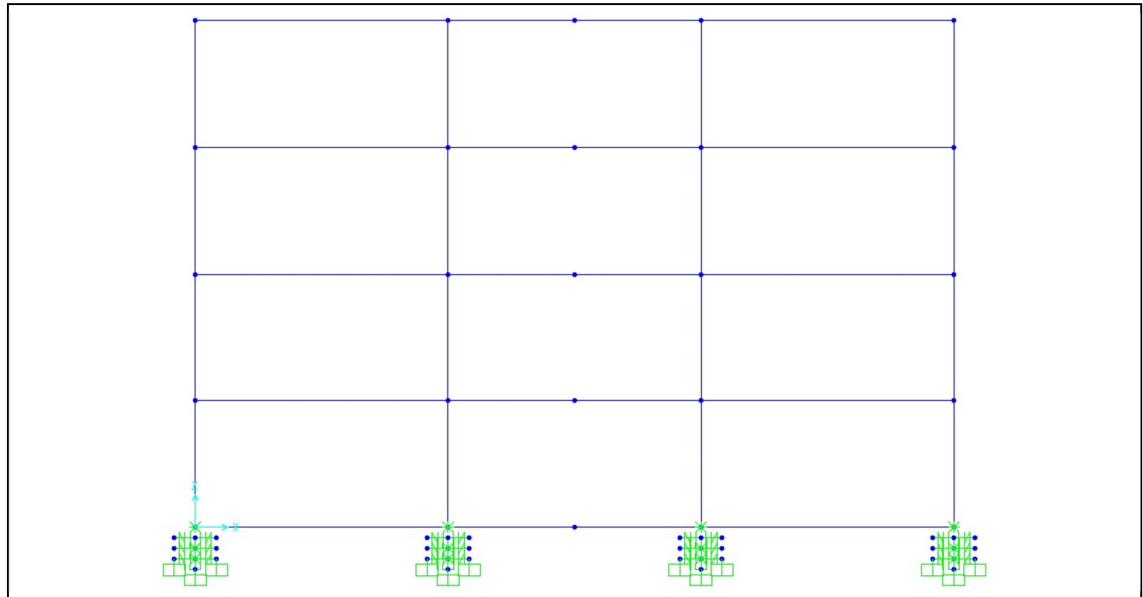
	4 katlı çerçeve örnekleri	8 katlı çerçeve örnekleri
Aks açıklıkları	6 m	6 m
Kat yükseklikleri	3 m	3 m

3.4.1.1. 4 katlı modeller

4 katlı 2D modeller Şekil 3.13 – 3.18'de gösterilmiştir. Çizelge 3.5'te bu örneklerin bağlantı noktası sayısı, eleman sayısı ve grup sayısı verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.6 42FBNB ve 42SINB, Çizelge 3.7 ise 42FBB, 42SIB, 42FBB (Diyagonal) ve 42SIB (Diyagonal) modellerindeki elemanların bağlı bulundukları grupları gösterir.

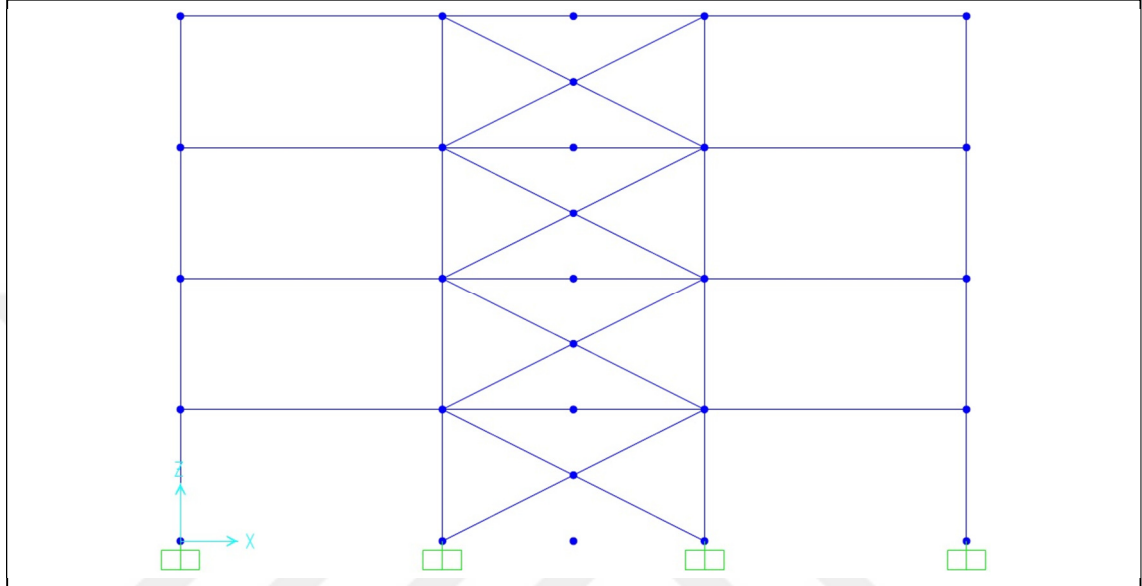
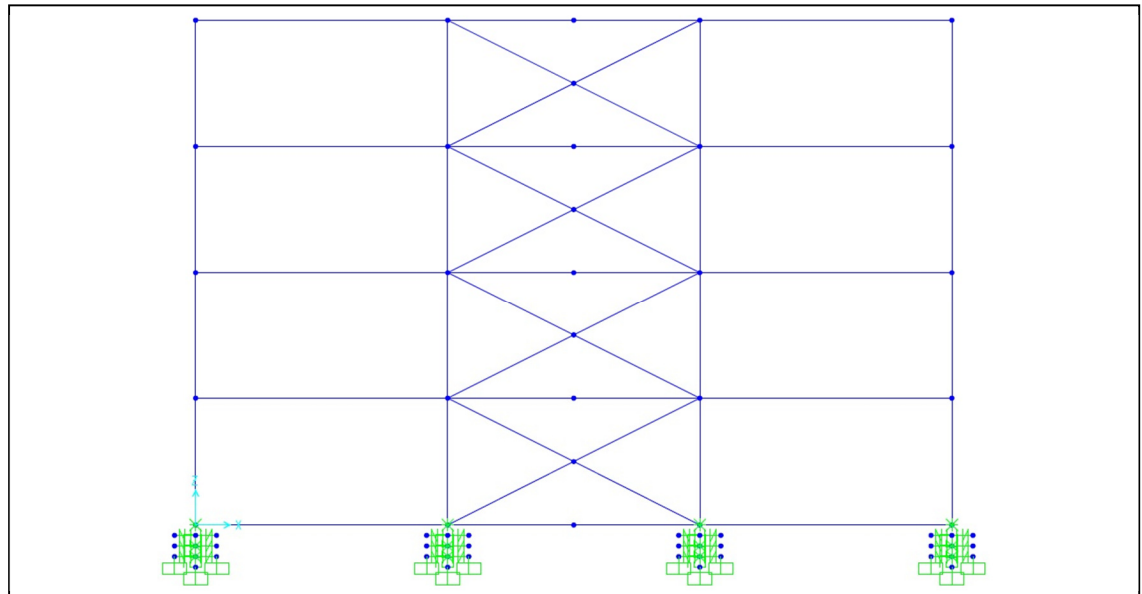
Çizelge 3.5. 4 katlı 2D tasarım örneklerinin bağlantı noktası, eleman ve grup sayıları

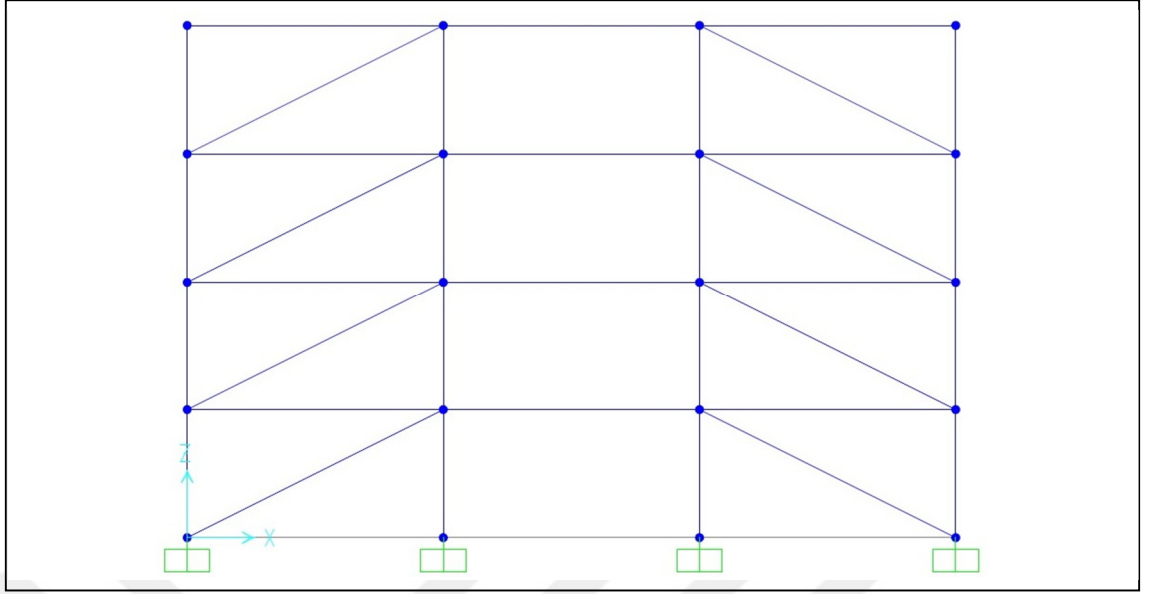
	42FBNB	42FBB	42FBB (Diyagonal)	42SINB	42SIB	42SIB (Diyagonal)
Bağlantı nokta sayısı	20	24	20	20	24	20
Eleman sayısı	28	44	36	31	47	39
Grup sayısı	3	7	7	3	7	7

**Şekil 3.13.** 42FBNB model geometrisi**Şekil 3.14.** 42SINB model geometrisi

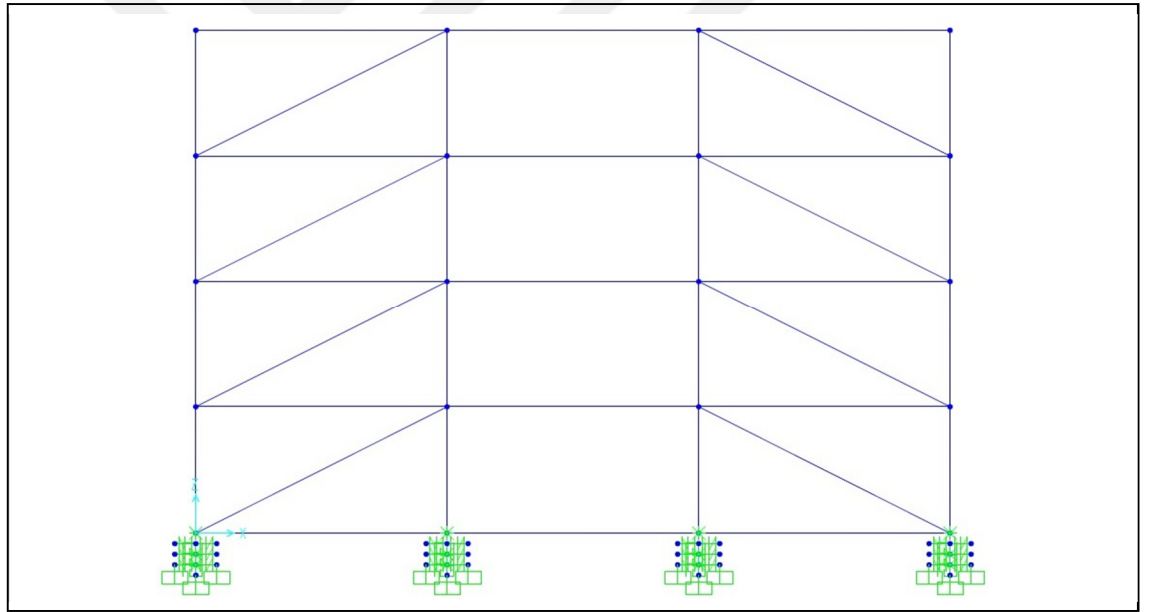
Çizelge 3.6. 42FBNB ve 42SINB modellerinin eleman grupları

	Grup Elemanları
1. Grup	1-4. kat köşe kolonlar
2. Grup	1-4. kat iç kolonlar
3. Grup	1-4. kat kirişler

**Şekil 3.15.** 42FBB model geometrisi**Şekil 3.16.** 42SIB model geometrisi



Şekil 3.17. 42FBB (Diyagonal) model geometrisi



Şekil 3.18. 42SIB (Diyagonal) model geometrisi

Çizelge 3.7. 42FBB ve 42SIB, 42FBB (Diyagonal) ve 42SIB (Diyagonal) modellerinin eleman grupları

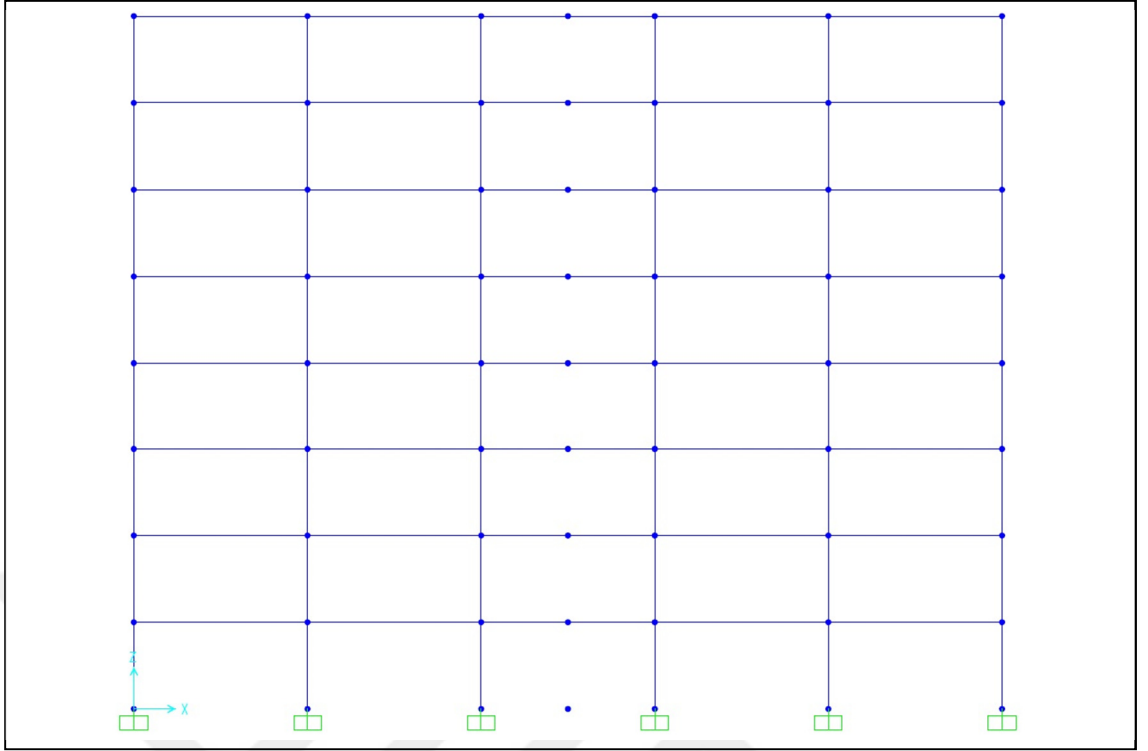
	Grup Elemanları
1. Grup	1-4. kat köşe kolonlar
2. Grup	1-4. kat iç kolonlar
3. Grup	1-4. kat kirişler
4. Grup	1. kat güçlendirme elemanları
5. Grup	2. kat güçlendirme elemanları
6. Grup	3. kat güçlendirme elemanları
7. Grup	4. kat güçlendirme elemanları

3.4.1.2. 8 katlı modeller

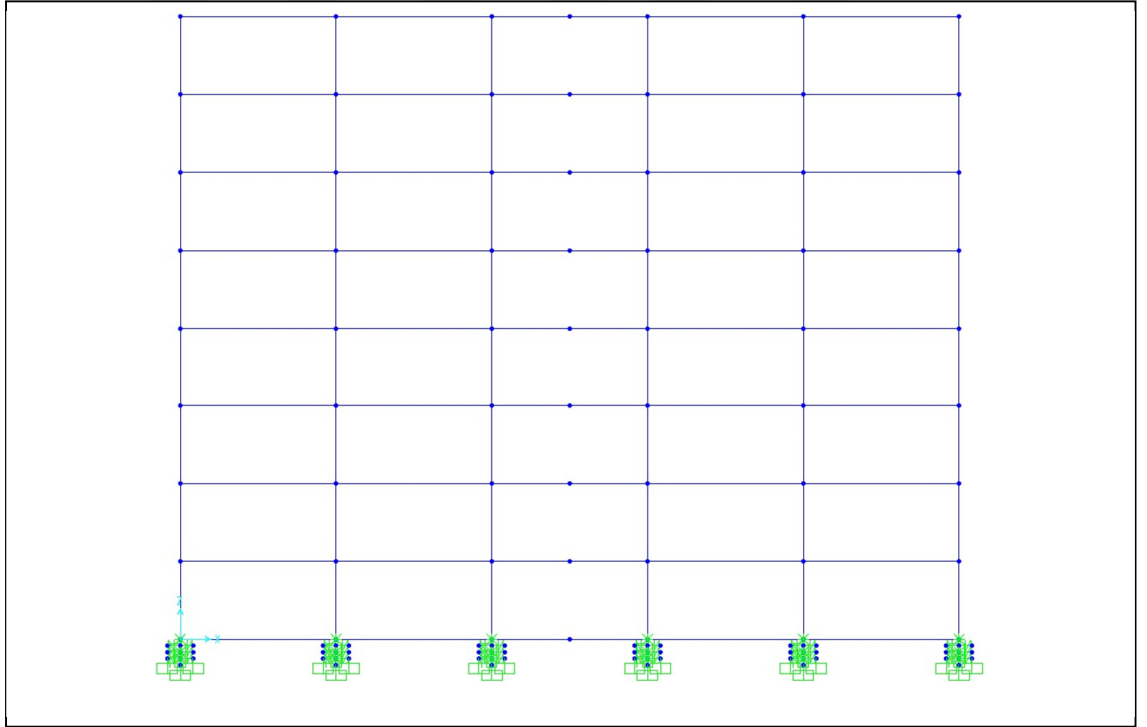
8 katlı 2D modeller Şekil 3.19 – 3.24’de gösterilmiştir. Çizelge 3.8’de bu örneklerin bağlantı noktası sayısı, eleman sayısı ve grup sayısı verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.9 82FBNB ve 82SINB, Çizelge 3.10 ise 82FBB, 82SIB, 82FBB (Diyagonal) ve 82SIB (Diyagonal) modellerindeki elemanların bağlı bulundukları grupları gösterir.

Çizelge 3.8. 8 katlı 2D tasarım örneklerinin bağlantı noktası, eleman ve grup sayıları

	82FBNB	82FBB	82FBB (Diyagonal)	82SINB	82SIB	82SIB (Diyagonal)
Bağlantı nokta sayısı	54	70	54	54	70	54
Eleman sayısı	88	152	120	93	157	123
Grup sayısı	6	14	14	6	14	14



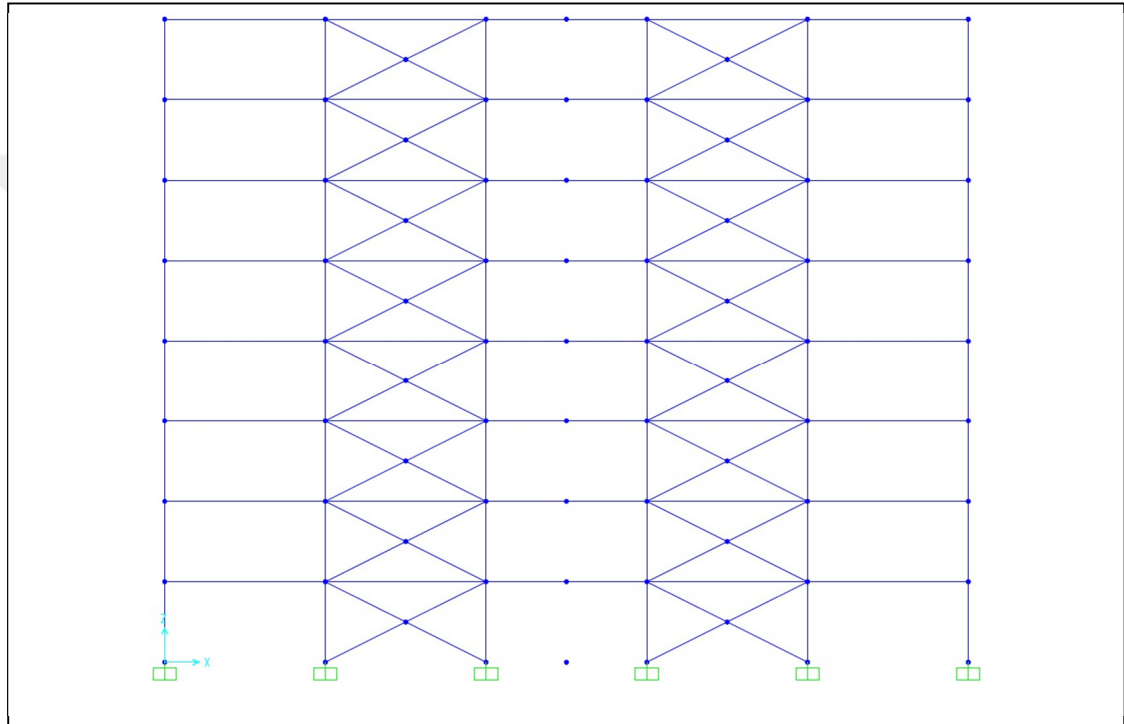
Şekil 3.19. 82FBNB model geometrisi

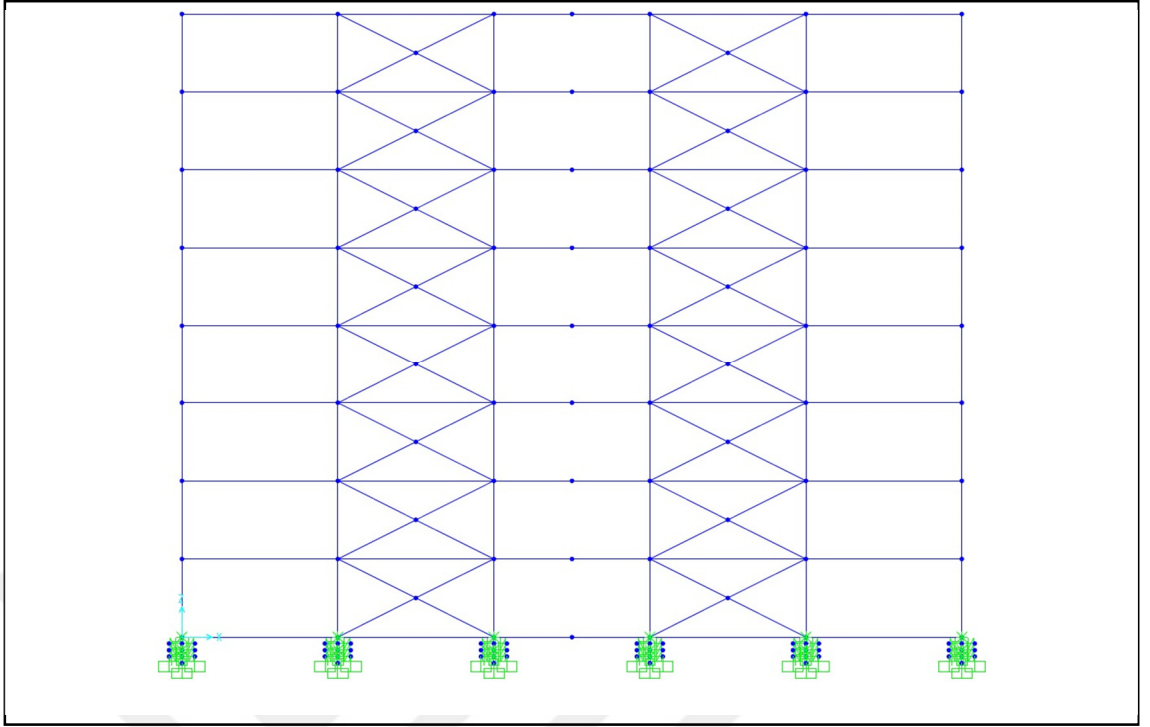


Şekil 3.20. 82SINB model geometrisi

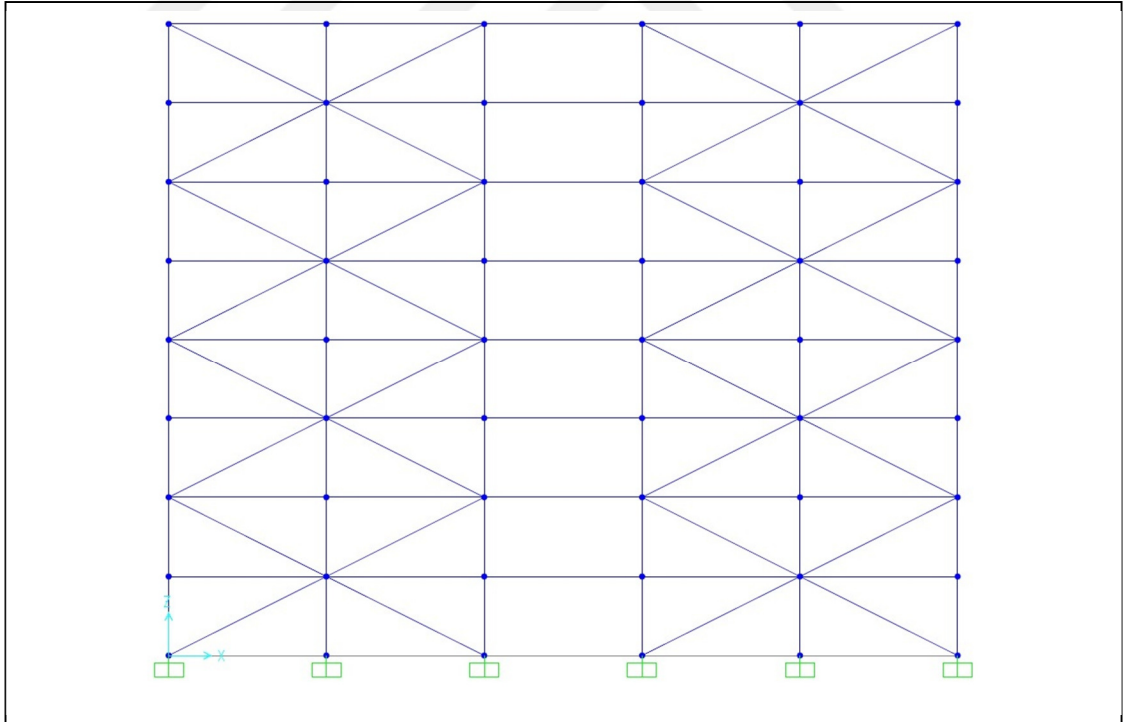
Çizelge 3.9. 82FBNB ve 82SINB modellerinin eleman grupları

Grup Elemanları	
1. Grup	1-4. kat köşe kolonlar
2. Grup	5-8. kat köşe kolonlar
3. Grup	1-4. iç kolonlar
4. Grup	5-8. kat iç kolonlar
5. Grup	1-4. kat kirişler
6. Grup	5-8. kat kirişler

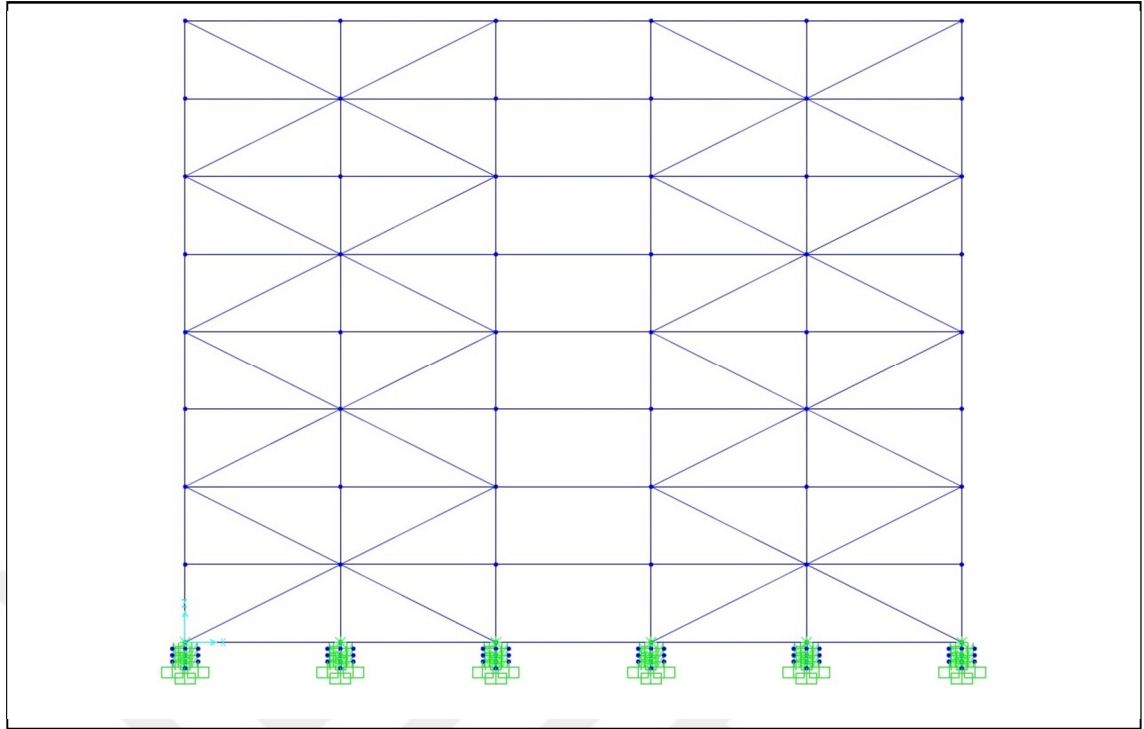
**Şekil 3.21.** 82FBB model geometrisi



Şekil 3.22. 82SIB model geometrisi



Şekil 3.23. 82FBB (Diyagonal) model geometrisi



Şekil 3.24. 82SIB (Diyagonal) model geometrisi

Çizelge 3.10. 82FBB, 82SIB, 82FBB (Diyagonal) ve 82SIB (Diyagonal) modellerinin eleman grupları

	Grup Elemanları
1. Grup	1-4. kat köşe kolonlar
2. Grup	5-8. kat köşe kolonlar
3. Grup	1-4. iç kolonlar
4. Grup	5-8. kat iç kolonlar
5. Grup	1-4. kat kirişler
6. Grup	5-8. kat kirişler
7. Grup	1. kat güçlendirme elemanları
8. Grup	2. kat güçlendirme elemanları
9. Grup	3. kat güçlendirme elemanları
10. Grup	4. kat güçlendirme elemanları
11. Grup	5. kat güçlendirme elemanları
12. Grup	6. kat güçlendirme elemanları
13. Grup	7. kat güçlendirme elemanları
14. Grup	8. kat güçlendirme elemanları

3.4.2. 3D çerçeve modelleri

3D çerçeve örnekleri 4, 6, 8 ve 10 katlı uzay çerçeve modelleridir. Modeller ile ilgili tüm detaylar alt bölümlerde verilmiştir.

3.4.2.1. 4 katlı model

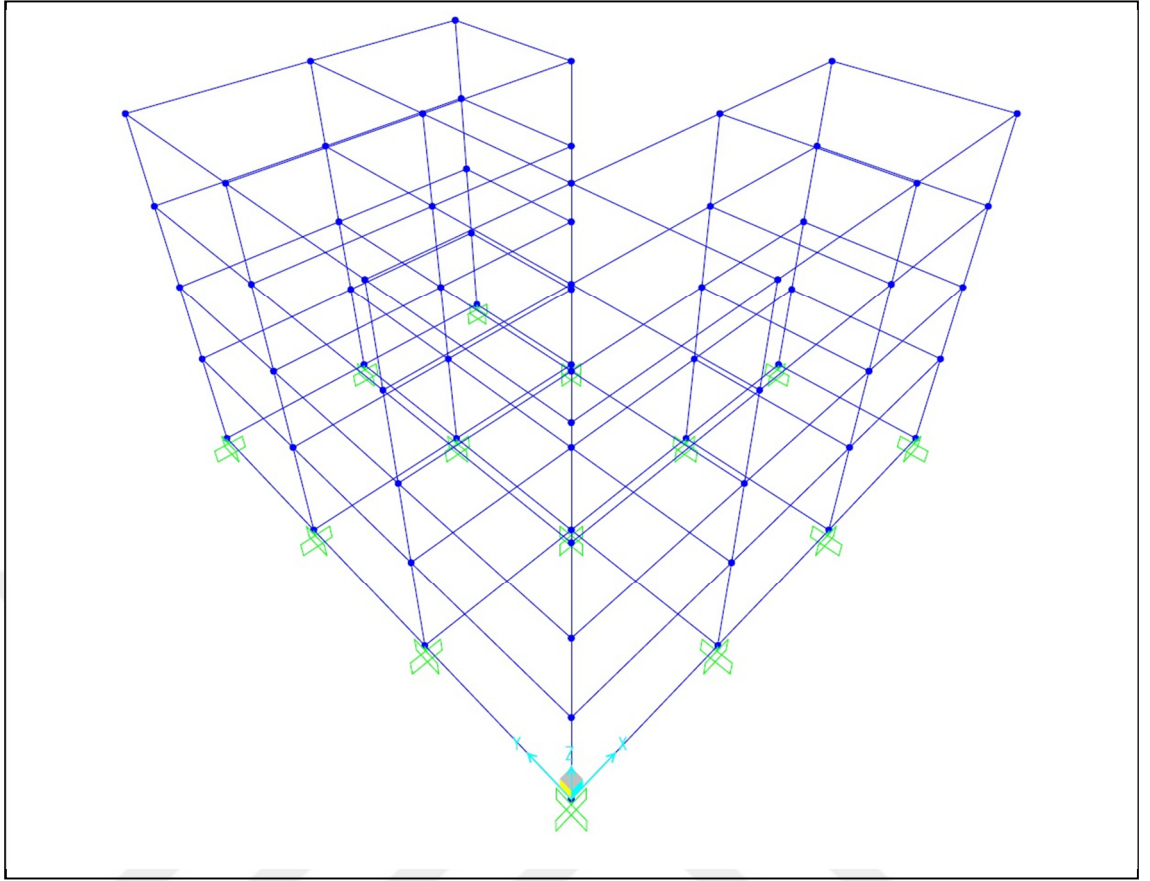
43FBNB ve 43SINB modeller Şekil 3.25 ve 3.26'da gösterilmiştir. Her iki model de aynı kolon aplikasyonuna sahiptir ve Şekil 3.27'te verilmiştir. Çizelge 3.11'de bu örneklerin bağlantı noktası sayısı, eleman sayısı ve grup sayısı, Çizelge 3.12'de kat yükseklikleri verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.13 43FBNB ve 43SINB modellerindeki elemanların bağlı bulundukları grupları gösterir.

Çizelge 3.11. 4 katlı 3D tasarım örneklerinin bağlantı noktası, eleman ve grup sayıları

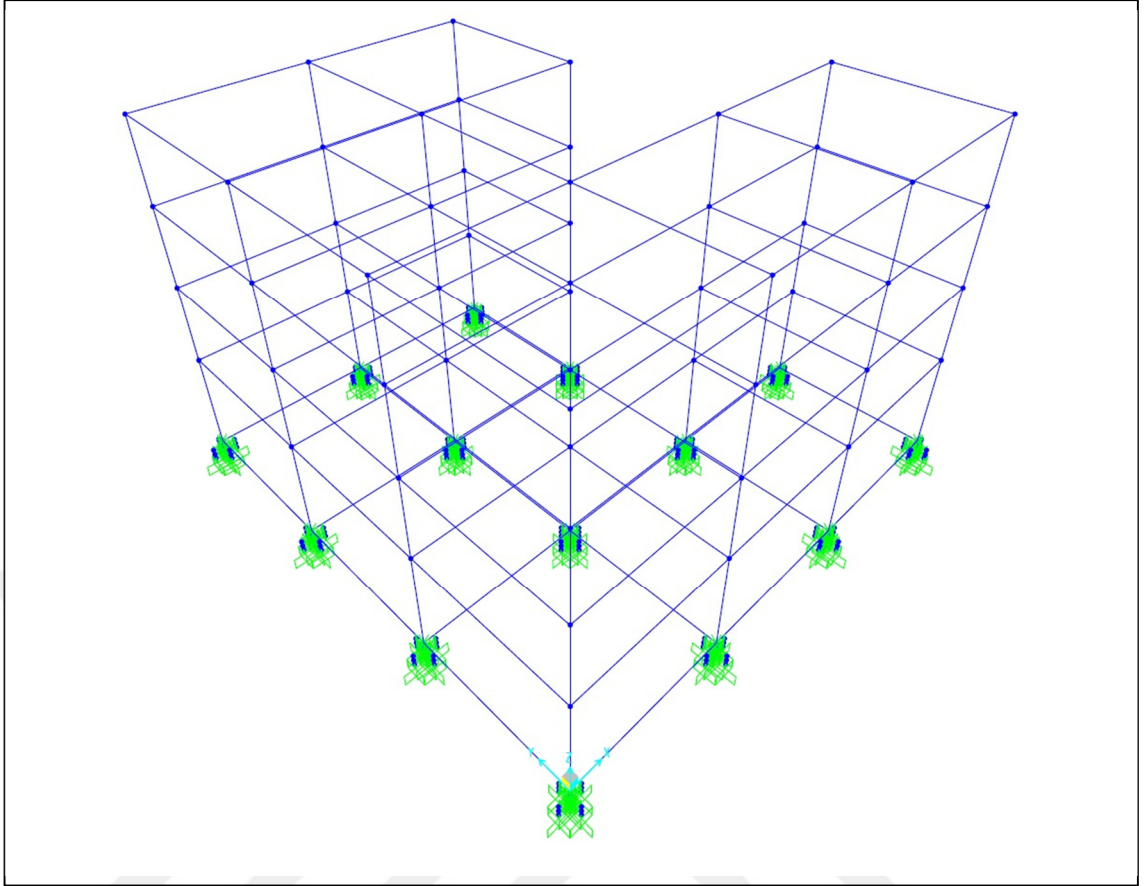
	43FBNB	43SINB
Bağlantı noktası sayısı	70	70
Eleman sayısı	132	151
Grup sayısı	30	30

Çizelge 3.12. 4 katlı 3D tasarım örneklerinin kat yükseklikleri

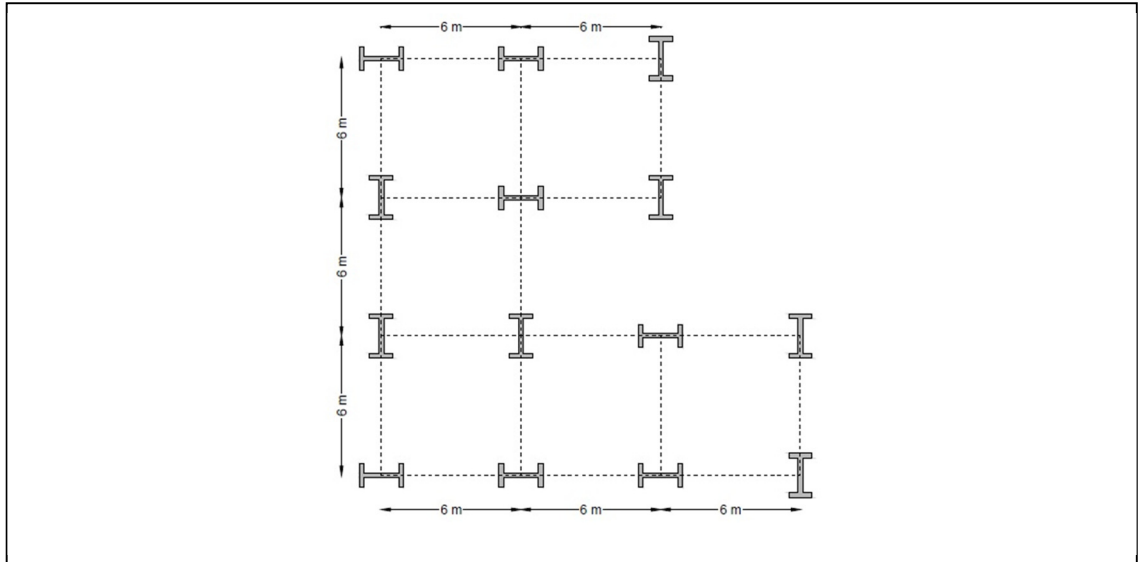
Kat numarası	43FBNB	43SINB
1	4.5 m	4.5 m
2	3.6 m	3.6 m
3	3.6 m	3.6 m
4	3.6 m	3.6 m



Şekil 3.25. 43FBNB model geometrisi



Şekil 3.26. 43SINB model geometrisi



Şekil 3.27. 43FBNB ve 43SINB modellerinin kolon uygulaması

Çizelge 3.13. 43FBNB ve 43SINB modellerinin eleman grupları

	Grup Elemanları
1. Grup	X=18, Y=0 için 3 ve 4. kat kolonları
2. Grup	X=18, Y=0 için 1 ve 2. kat kolonları
3. Grup	X=12, Y=0 için 3 ve 4. kat kolonları
4. Grup	X=12, Y=0 için 1 ve 2. kat kolonları
5. Grup	X=6, Y=0 için 3 ve 4. kat kolonları
6. Grup	X=6, Y=0 için 1 ve 2. kat kolonları
7. Grup	X=0, Y=0 için 3 ve 4. kat kolonları
8. Grup	X=0, Y=0 için 1 ve 2. kat kolonları
9. Grup	X=18, Y=6 için 3 ve 4. kat kolonları
10. Grup	X=18, Y=6 için 1 ve 2. kat kolonları
11. Grup	X=12, Y=6 için 3 ve 4. kat kolonları
12. Grup	X=12, Y=6 için 1 ve 2. kat kolonları
13. Grup	X=6, Y=6 için 3 ve 4. kat kolonları
14. Grup	X=6, Y=6 için 1 ve 2. kat kolonları
15. Grup	X=0, Y=6 için 3 ve 4. kat kolonları
16. Grup	X=0, Y=6 için 1 ve 2. kat kolonları
17. Grup	X=12, Y=12 için 3 ve 4. kat kolonları
18. Grup	X=12, Y=12 için 1 ve 2. kat kolonları
19. Grup	X=6, Y=12 için 3 ve 4. kat kolonları
20. Grup	X=6, Y=12 için 1 ve 2. kat kolonları
21. Grup	X=0, Y=12 için 3 ve 4. kat kolonları
22. Grup	X=0, Y=12 için 1 ve 2. kat kolonları
23. Grup	X=12, Y=18 için 3 ve 4. kat kolonları
24. Grup	X=12, Y=18 için 1 ve 2. kat kolonları
25. Grup	X=6, Y=18 için 3 ve 4. kat kolonları
26. Grup	X=6, Y=18 için 1 ve 2. kat kolonları
27. Grup	X=0, Y=18 için 3 ve 4. kat kolonları
28. Grup	X=0, Y=18 için 1 ve 2. kat kolonları
29. Grup	1 ve 2. kat kirişleri
30. Grup	3 ve 4. kat kirişleri

3.4.2.2. 6 kath model

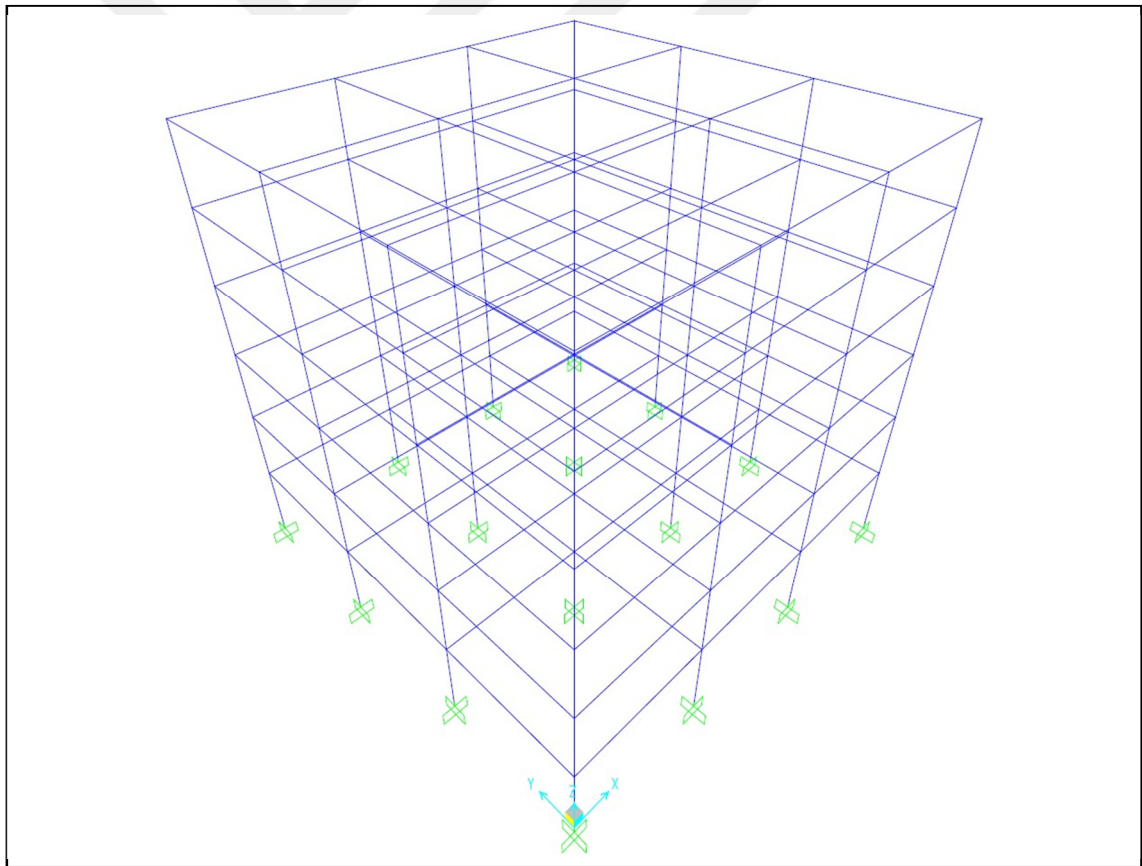
63FBNB ve 63SINB modeller Şekil 3.28 ve 3.29’da gösterilmiştir. Her iki model de aynı kolon aplikasyonuna sahiptir ve Şekil 3.30’da verilmiştir. Çizelge 3.14’de bu örneklerin bağlantı noktası sayısı, eleman sayısı ve grup sayısı, Çizelge 3.15’de kat yükseklikleri verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.16 63FBNB ve 63SINB modellerindeki elemanların bağlı bulundukları grupları gösterir.

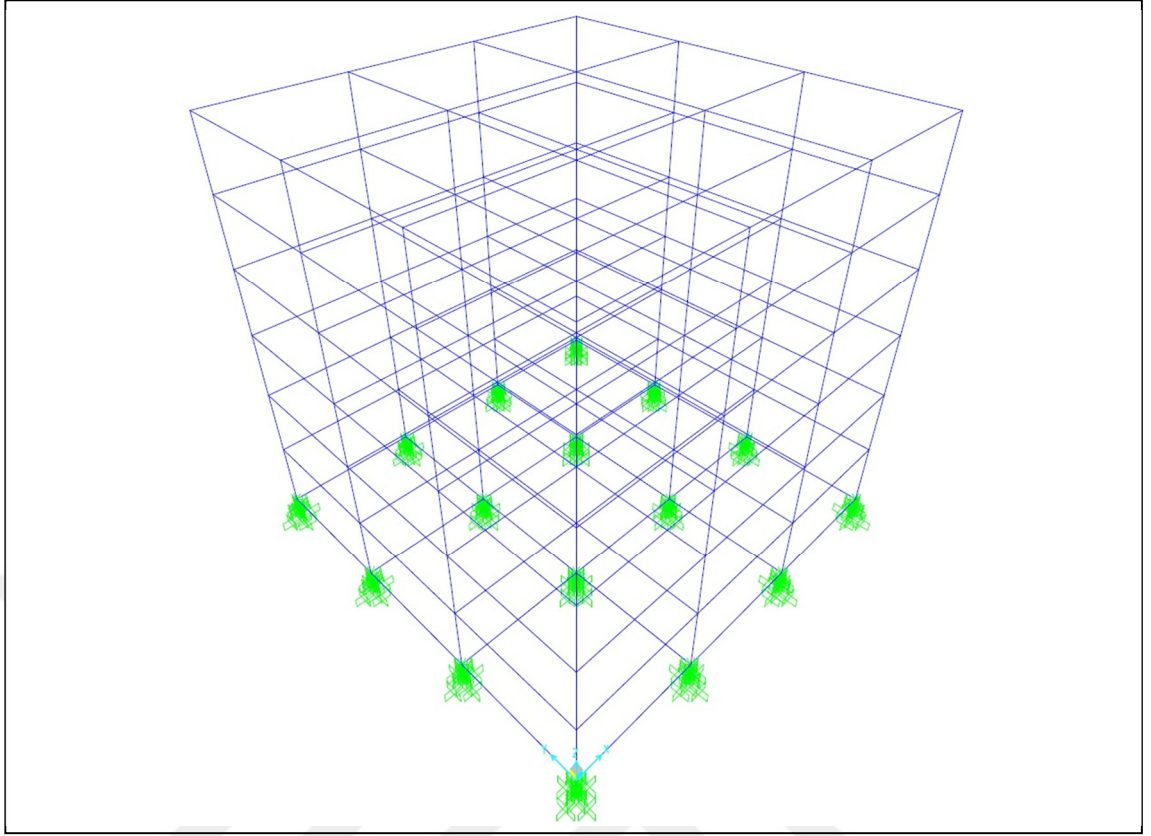
Çizelge 3.14. 6 katlı 3D tasarım örneklerinin bağlantı noktası, eleman ve grup sayıları

	63FBNB	63SINB
Bağlantı noktası sayısı	112	112
Eleman sayısı	240	264
Grup sayısı	12	12

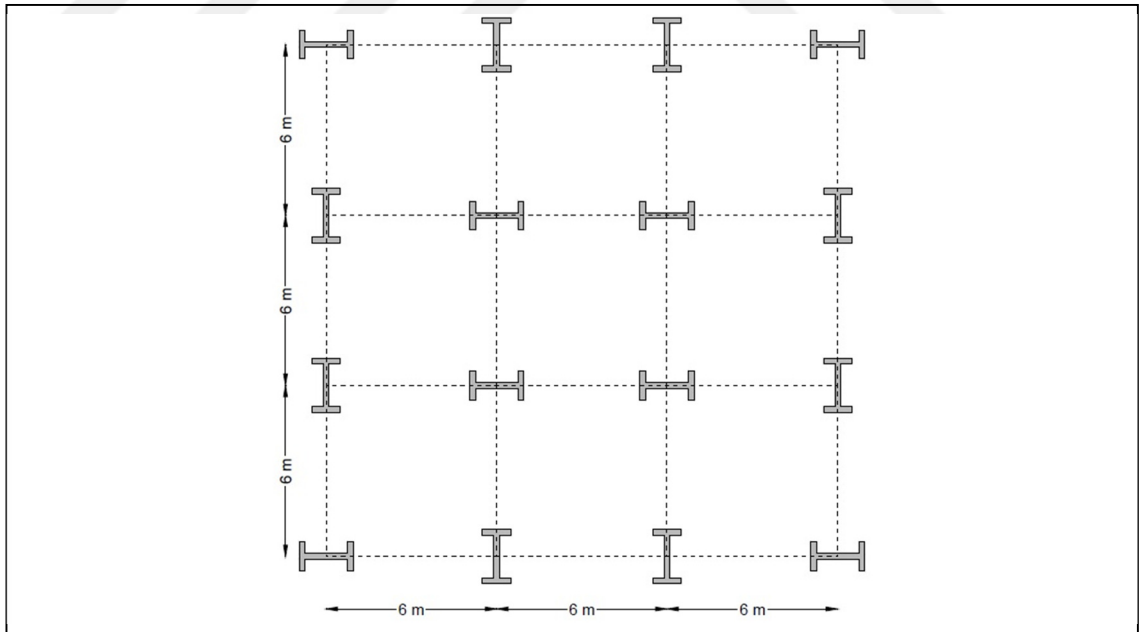
Çizelge 3.15. 6 katlı 3D tasarım örneklerinin kat yükseklikleri

Kat numarası	63FBNB	63SINB
1	3 m	3 m
2	3 m	3 m
3	3 m	3 m
4	3 m	3 m
5	3 m	3 m
6	3 m	3 m

**Şekil 3.28.** 63FBNB model geometrisi



Şekil 3.29. 63SINB model geometrisi



Şekil 3.30. 63FBNB ve 63SINB modellerinin kolon aplikasyonu

Çizelge 3.16. 63FBNB ve 63SINB modellerinin eleman grupları

	Grup Elemanları
1. Grup	1-4. kat köşe kolonları
2. Grup	1-4. kat x doğrultusu kenar kolonları
3. Grup	1-4. kat y doğrultusu kenar kolonları
4. Grup	1-4. kat iç kolonları
5. Grup	1-4. kat kenar kirişleri
6. Grup	1-4. kat iç kirişleri
7. Grup	5-6. kat köşe kolonları
8. Grup	5-6. kat x doğrultusu kenar kolonları
9. Grup	5-6. kat y doğrultusu kenar kolonları
10. Grup	5-6. kat iç kolonları
11. Grup	5-6. kat kenar kirişleri
12. Grup	5-6. kat iç kirişleri

3.4.2.3. 8 katlı model

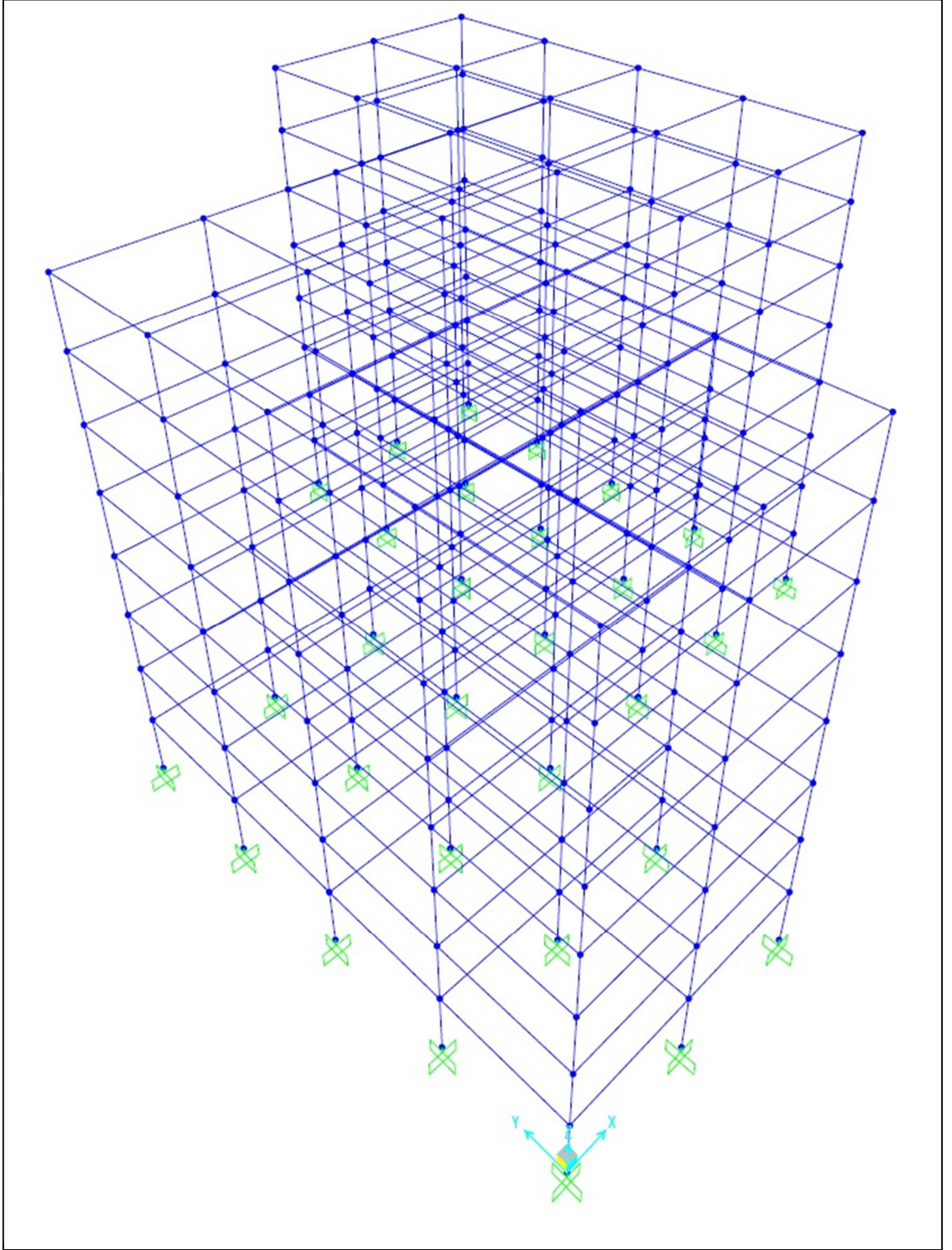
83FBNB ve 83SINB modeller Şekil 3.31 ve 3.32’de gösterilmiştir. Her iki model de aynı kolon aplikasyonuna sahiptir ve Şekil 3.33’de verilmiştir. Çizelge 3.17’de bu örneklerin bağlantı noktası sayısı, eleman sayısı ve grup sayısı, Çizelge 3.18’de kat yükseklikleri verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.19 83FBNB ve 83SINB modellerindeki elemanların bağlı bulundukları grupları gösterir.

Çizelge 3.17. 8 katlı 3D tasarım örneklerinin bağlantı noktası, eleman ve grup sayıları

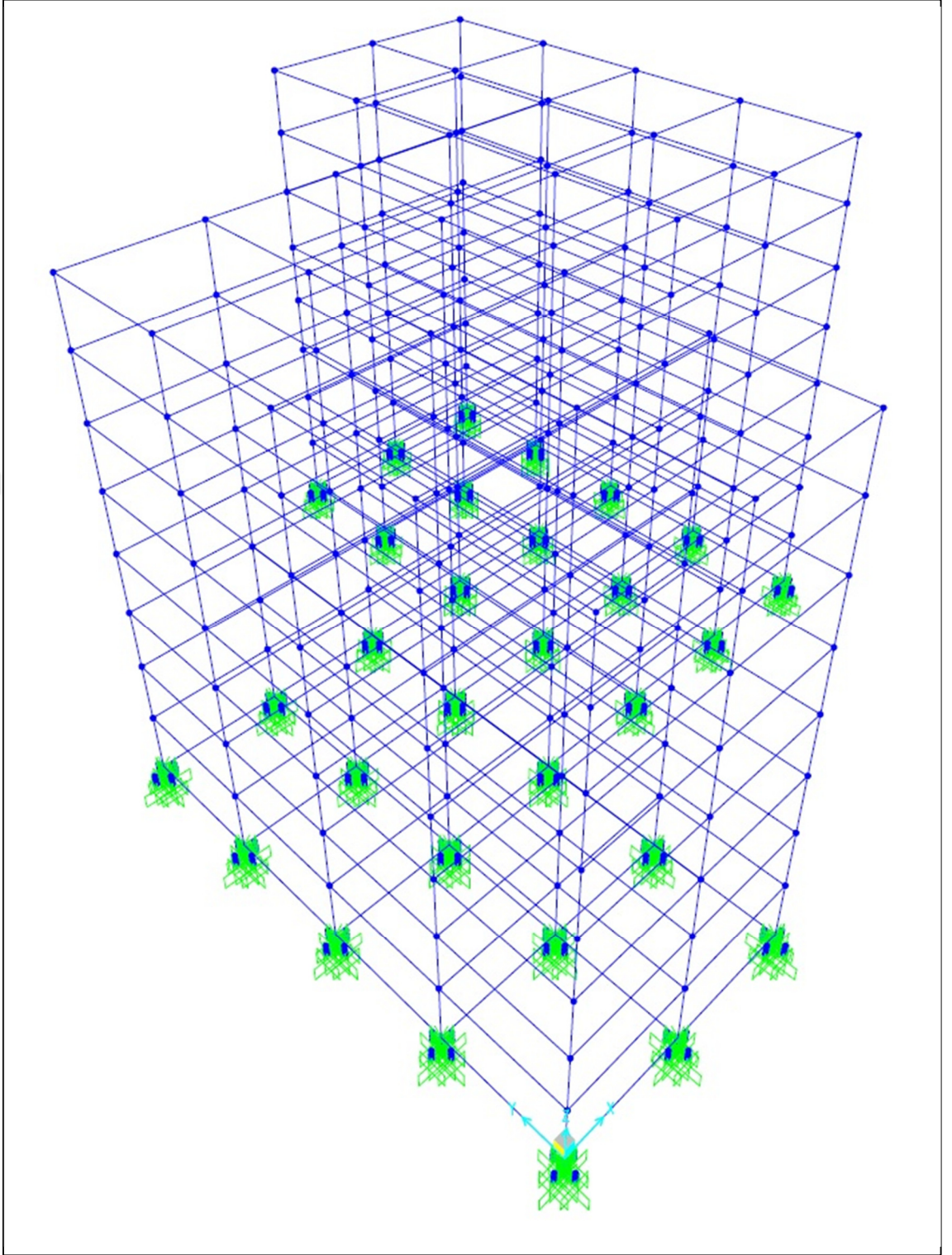
	83FBNB	83SINB
Bağlantı noktası sayısı	270	270
Eleman sayısı	616	663
Grup sayısı	10	10

Çizelge 3.18. 8 katlı 3D tasarım örneklerinin kat yükseklikleri

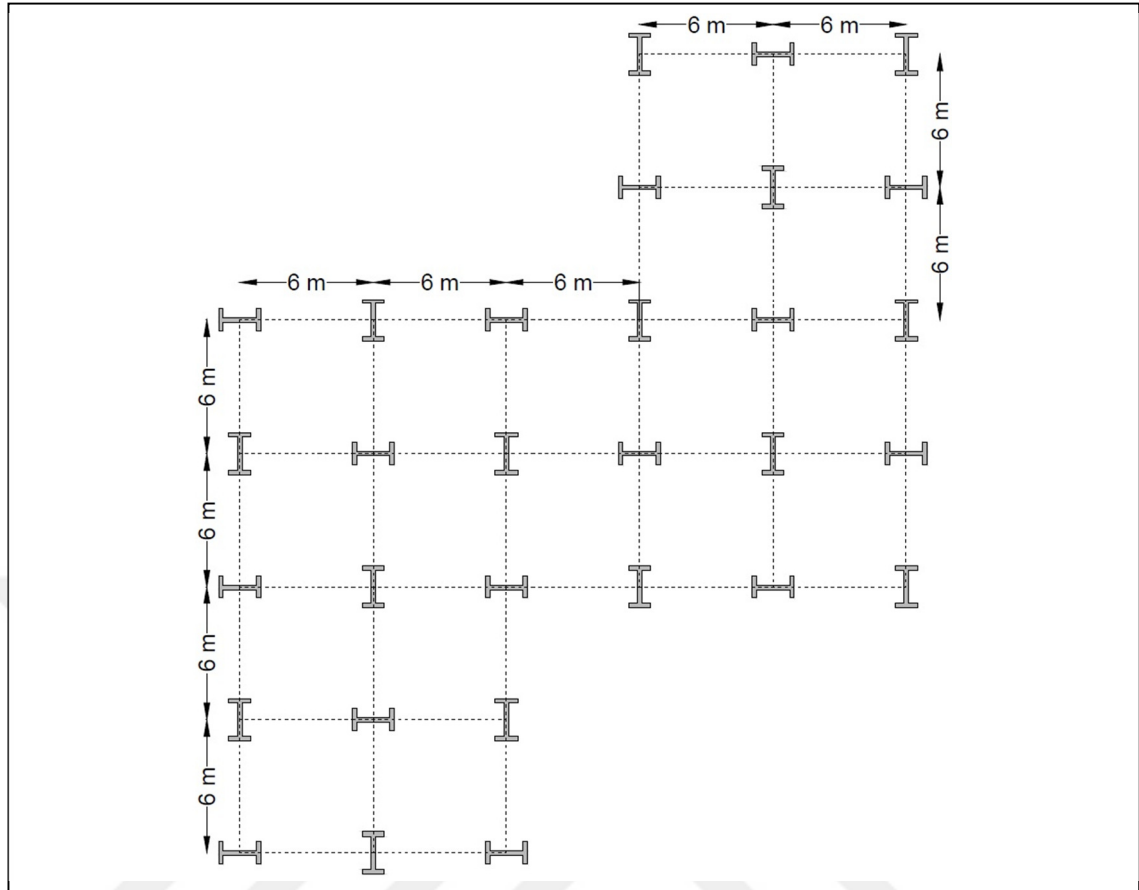
Kat numarası	83FBNB	83SINB
1	3 m	3 m
2	3 m	3 m
3	3 m	3 m
4	3 m	3 m
5	3 m	3 m
6	3 m	3 m
7	3 m	3 m
8	3 m	3 m



Şekil 3.31. 83FBNB model geometrisi



Şekil 3.32. 83SINB model geometrisi



Şekil 3.33. 83FBNB ve 83SINB modellerinin kolon aplikasyonu

Çizelge 3.19. 63FBNB ve 63SINB modellerinin eleman grupları

Grup Elemanları	
1. Grup	1-4. kat köşe kolonları
2. Grup	1-4. kat kenar kolonları
3. Grup	1-4. kat iç kolonları
4. Grup	5-8. kat köşe kolonları
5. Grup	5-8. kat kenar kolonları
6. Grup	5-8. kat iç kolonları
7. Grup	1-4. kenar kirişleri
8. Grup	1-4. iç kirişleri
9. Grup	5-8. kenar kirişleri
10. Grup	5-8. iç kirişleri

3.4.2.4. 10 katlı model

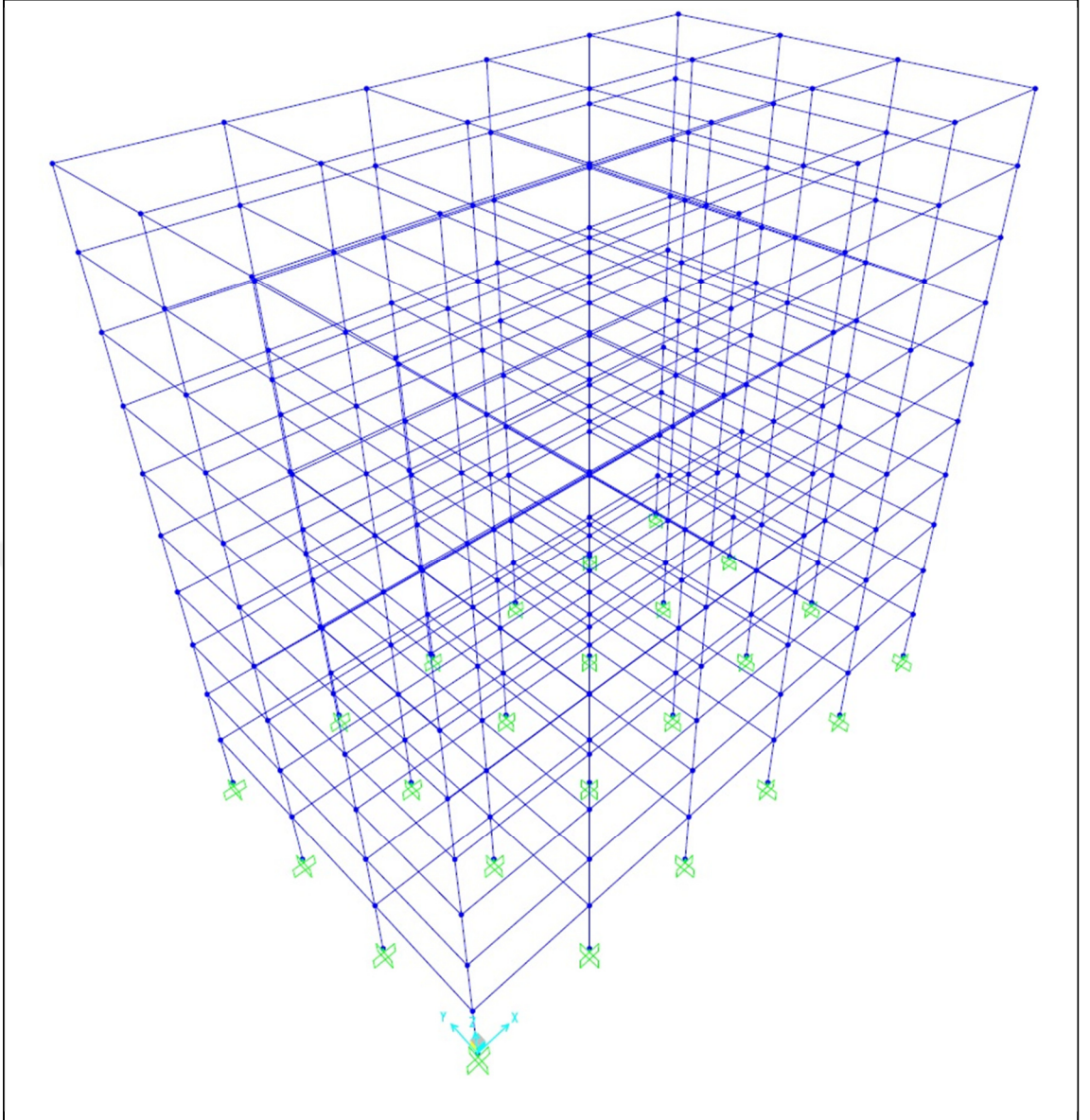
103FBNB ve 103SINB modeller Şekil 3.34 ve 3.35'te gösterilmiştir. Her iki model de aynı kolon aplikasyonuna sahiptir ve Şekil 3.36'da verilmiştir. Çizelge 3.20'de bu örneklerin bağlantı noktası sayısı, eleman sayısı ve grup sayısı, Çizelge 3.21'de kat yükseklikleri verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.22 103FBNB ve 103SINB modellerindeki elemanların bağlı bulundukları grupları gösterir.

Çizelge 3.20. 10 katlı 3D tasarım örneklerinin bağlantı noktası, eleman ve grup sayıları

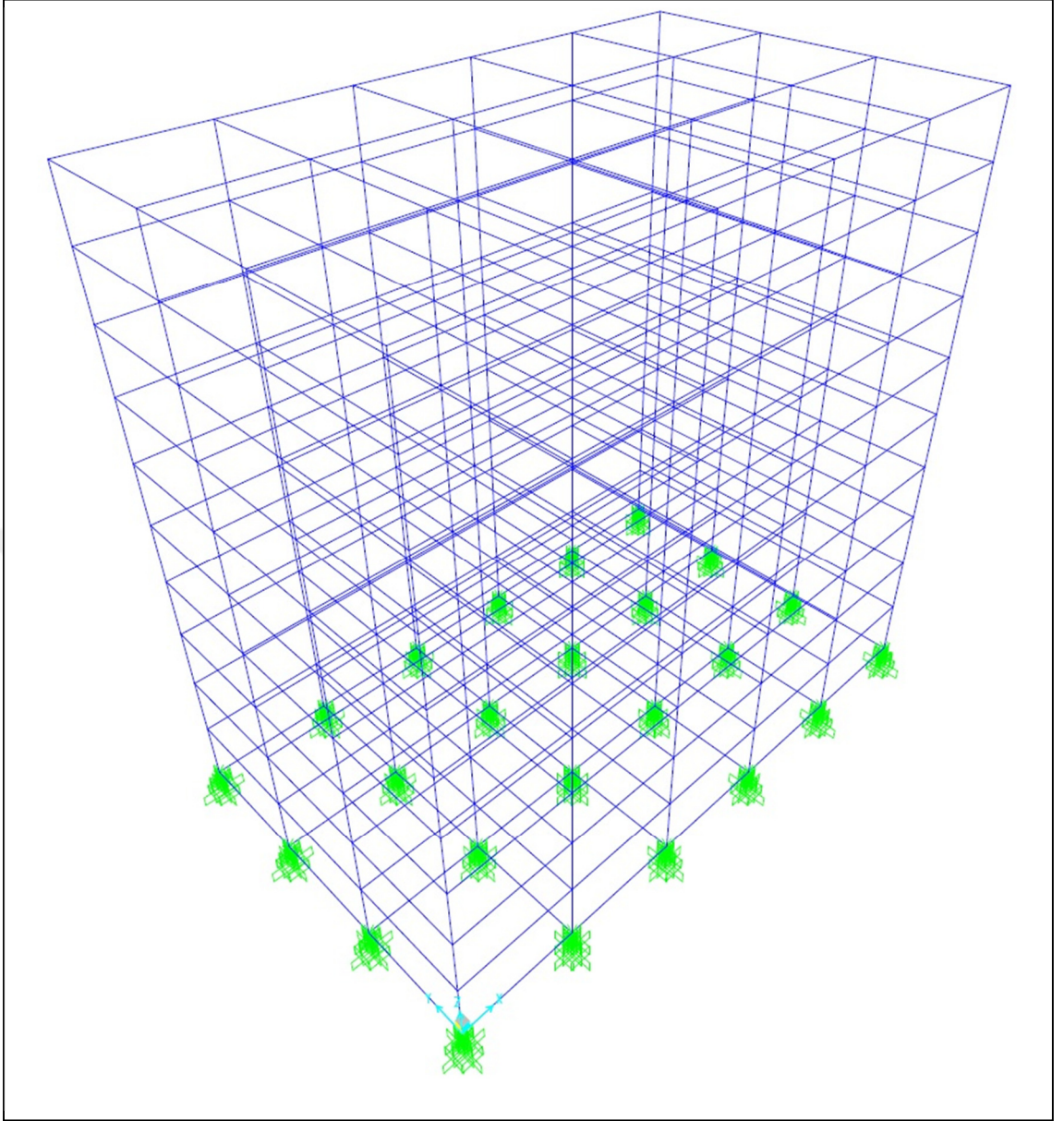
	103FBNB	103SINB
Bağlantı noktası sayısı	264	264
Eleman sayısı	620	658
Grup sayısı	18	18

Çizelge 3.21. 10 katlı 3D tasarım örneklerinin kat yükseklikleri

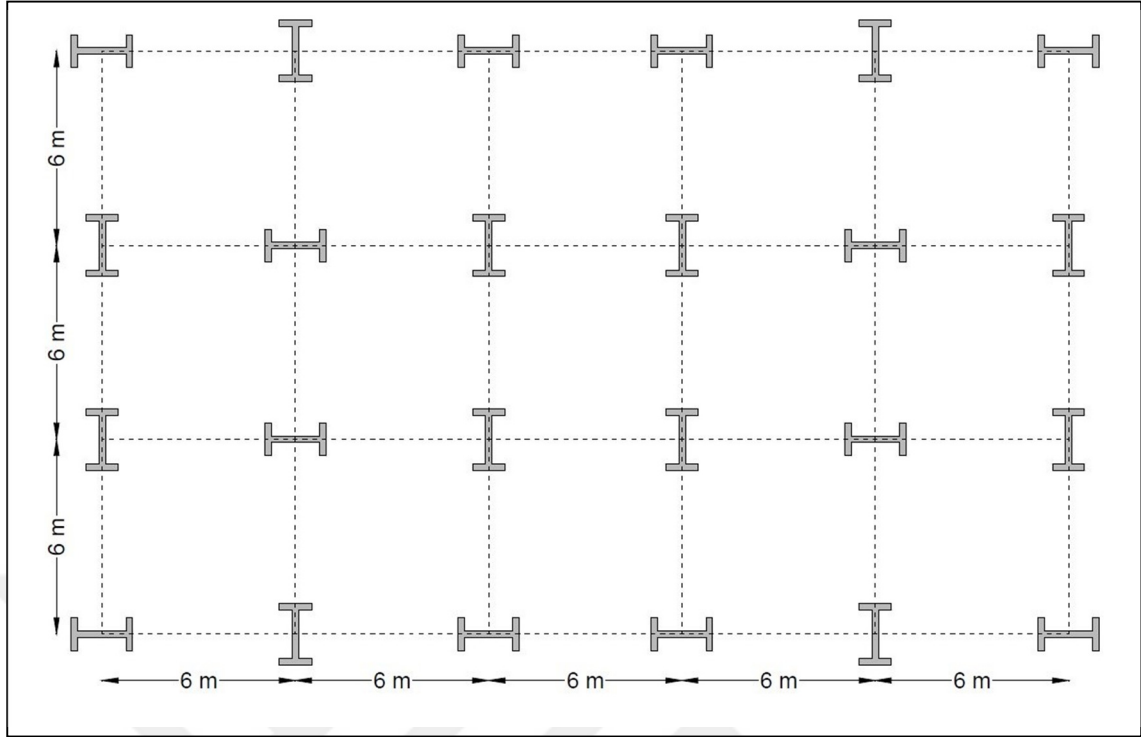
Kat numarası	83FBNB	83SINB
1	3 m	3 m
2	3 m	3 m
3	3 m	3 m
4	3 m	3 m
5	3 m	3 m
6	3 m	3 m
7	3 m	3 m
8	3 m	3 m
9	3 m	3 m
10	3 m	3 m



Şekil 3.34. 103FBNB model geometrisi



Şekil 3.35. 103SINB model geometrisi



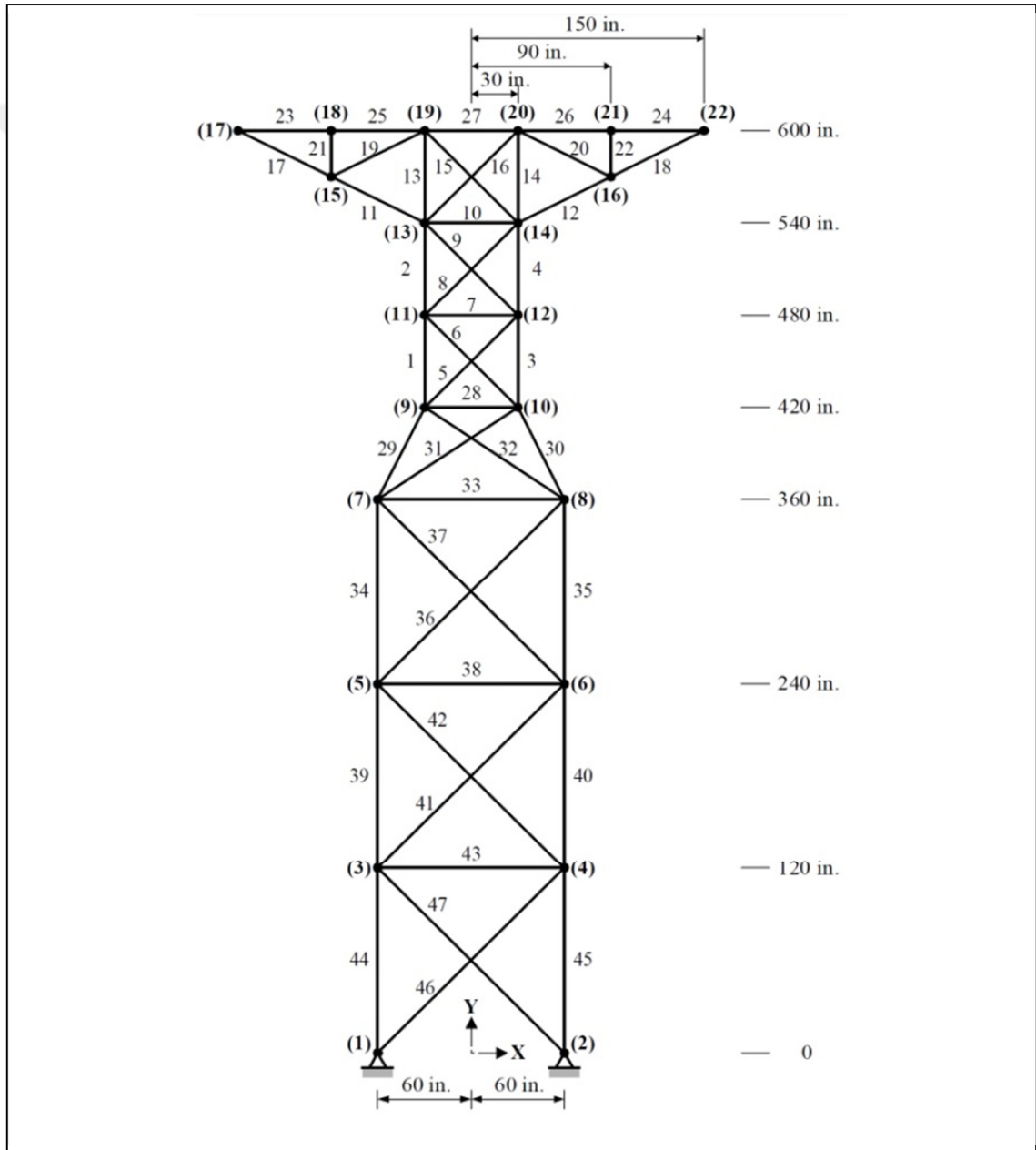
Şekil 3.36. 103FBNB ve 103SINB modellerinin kolon aplikasyonu

Çizelge 3.22. 103FBNB ve 103SINB modellerinin eleman grupları

Grup Elemanları	
1. Grup	1-4. kat köşe kolonları
2. Grup	5-8. kat köşe kolonları
3. Grup	9-10. kat köşe kolonları
4. Grup	1-4. kat x doğrultusu kenar kolonları
5. Grup	5-8. kat x doğrultusu kenar kolonları
6. Grup	9-10. kat x doğrultusu kenar kolonları
7. Grup	1-4. kat y doğrultusu kenar kolonları
8. Grup	5-8. kat y doğrultusu kenar kolonları
9. Grup	9-10. kat y doğrultusu kenar kolonları
10. Grup	1-4. iç kolonları
11. Grup	5-8. iç kolonları
12. Grup	9-10. iç kolonları
13. Grup	1-4. kat kenar kirişleri
14. Grup	5-8. kat kenar kirişleri
15. Grup	9-10. kat kenar kirişleri
16. Grup	1-4. kat iç kirişleri
17. Grup	5-8. kat iç kirişleri
18. Grup	9-10. kat iç kirişleri

3.4.3. Hassasiyet analizi için kullanılan çerçeve örneği

CSA ve AOA algoritmaları için yapılan hassasiyet analizinde kullanılan çelik çerçeve örneği Lee vd. (2011)'nin yapmış oldukları çalışmadan elde edilmiştir ve Şekil 3.37'de verilmiştir. Bu çelik çerçeve örneği toplam 47 elemana sahiptir ve bu elemanların gruplaması için 27 grup oluşturulmuştur. Hassasiyet analizi için, Çizelge 3.1'de verilen AOA parametreleri için 1280 ve CSA parametreleri için 270 analiz kombinasyonu oluşturulmuştur. Bu kombinasyonların analiz edilmesi neticesinde elde edilen minimum değerler, ortama değerler ve standart sapma değerleri EK-1'de verilmiştir.



Şekil 3.37. Hassasiyet analizi için kullanılan çelik çerçeve örneği (Lee vd. 2011)

3.5. Yükleme Detayları

Optimum ağırlık tasarımı için örneklere uygulanan yükler Çizelge 3.23’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.23. Örneklerin optimum tasarımı için uygulanan yükler

Yükleme türü	Birim yük miktarı
Ölü yük	2.88 kN/m ²
Hareketli yük	2.39 kN/m ²
Kar yükü	0.755 kN/m ²
Rüzgar yükü	TS 498’den hesaplanmıştır.
Deprem yükü	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nden hesaplanmıştır.

Deprem yükü ve rüzgar yükü için tüm hesaplama detayları alt bölümlerde verilmiştir.

3.5.1. Deprem yükü

Deprem yükü yapılara 3 şekilde tatbik edilebilir. Birincisi deprem ivme-zaman kaydına bağlı zaman tanım alanında hesap yöntemi, ikincisi mod birleştirme yöntemi (Spektral analiz) ve üçüncüsü eşdeğer deprem yükü yöntemidir. Bu çalışmada eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemleri kullanılmıştır. Eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemlerinde hesaplanacak deprem yükleri, yapının tatbik edildiği bölgenin ivme spektrumuna bağlı olarak elde edilmektedir.

3.5.1.1. Tasarım ivme spektrumu

Çalışmada kullanılan yapı örneklerinin tatbik edileceği yerleşimin, birinci derece bir deprem bölgesinde olması tercih edilmiş ve bu sayede Bingöl-Merkez seçilmiştir. Yerleşim koordinatları 38.885275° enlem ve 40.496578° boylamdır. Yerleşim için deprem yer hareketi düzeyi DD-1 yerel zemin sınıfı ZC’dir. Yerleşim koordinatlarına bağlı olarak AFAD veri tabanından alınan ivme spektrumu parametreleri Çizelge 3.24’de verilmiştir.

Çizelge 3.24. Seçilen tatbik yerleşimi için ivme spektrumu parametreleri

S _s	S ₁	PGA	PGV
2.864	0.801	1.133	76.389

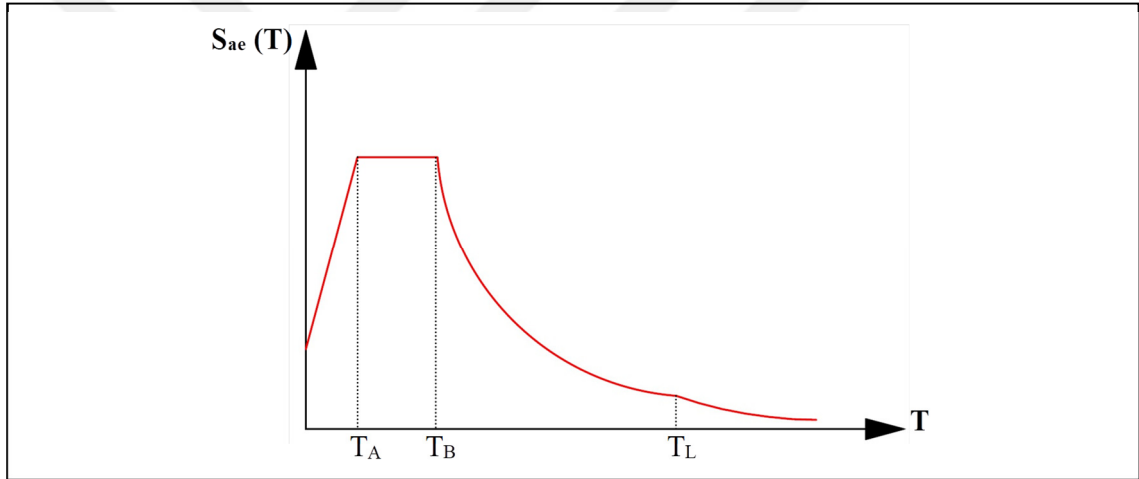
Çizelge 3.24 için, “S_s” kısa periyot harita spektral ivme katsayısı ve “S₁” 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısıdır ve her iki parametre de boyutsuzdur.

“PGA” en büyük yer ivmesidir ve yerçekimi ivmesi (g) cinsinden verilmiştir. “PGV” en büyük yer hızıdır ve birimi cm/sn’dir. “ S_S ” ve “ S_1 ” değerlerine ve zemin sınıfına göre kısa periyot bölgesi yerel zemin etki katsayısı (F_S) ve 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı (F_1) sırasıyla 1.2 ve 1.4 olarak belirlenmiştir (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018). Belirlenen bu parametrelere bağlı olarak tasarım spektral ivme katsayıları (S_{DS} ve S_{D1}) sırasıyla Bağntı (3.63) ve (3.64) ile hesaplanabilir.

$$S_{DS} = S_S \cdot F_S \quad (3.63)$$

$$S_{D1} = S_1 \cdot F_1 \quad (3.64)$$

Burada, “ S_{DS} ” kısa periyot tasarım ivme katsayısı ve “ S_{D1} ” 1.0 saniye periyot tasarım ivme katsayısıdır. Her iki katsayı da boyutsuzdur. Oluşturulmak istenen yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 3.38’de verilmiştir ve tasarım spektrumu fonksiyonu Bağntı (3.65)’de belirtilmiştir.



Şekil 3.38. Yatay elastik tasarım spektrumu

$$S_{ae}(T) = \begin{cases} S_{DS} \cdot \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) & ; 0 \leq T \leq T_A \\ S_{DS} & ; T_A \leq T \leq T_B \\ \frac{S_{D1}}{T} & ; T_B \leq T \leq T_L \\ \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} & ; T_L \leq T \end{cases} \quad (3.65)$$

Bağntı (3.65)’de, “ T ” yapının periyodu, “ $S_{ae}(T)$ ” periyodun bir fonksiyonu olarak spektral ivme, “ T_A ” ve “ T_B ” köşe periyotlar (Bağntı (3.66) ve (3.67)) ve “ T_L ” sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodudur ve 6 saniye olarak verilmiştir.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.66)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.67)$$

3.5.1.2. Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, dinamik deprem yüklerinin yapının hakim titreşim periyoduna bağlı olarak hesaplanan statik yükler şeklinde yapıya etki ettirilmesidir. Bir yapıya eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için, o yapının ilgili yönetmelikte belirlenen kriterlere uygun olması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan yönetmelik Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) (2018)'dir ve TBDY'ye göre bir yapıya eşdeğer deprem yükünün uygulanabilmesi için gerekli kriterler Çizelge 3.25'de ifade edilmiştir.

Çizelge 3.25. Eşdeğer deprem yönteminin uygulama kriterleri

Bina türü	Bina yükseklik sınıfı (BYS)	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2$ olduğu ve B2 düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS ≥ 4	BYS ≥ 5
Diğer tüm binalar	BYS ≥ 5	BYS ≥ 6
DTS: Deprem tasarım sınıfı		

Çizelge 3.25'de belirtilen “ η_{bi} ” yataydaki herhangi bir doğrultuda yapının herhangi bir katının i . noktasındaki görel kat ötelemesinin o katın aynı doğrultudaki ortalama görel kat ötelemesine oranıdır. “DTS” ve “BYS” sırasıyla Çizelge 3.26 ve 3.27'den elde edilir. B2 düzensizliği komşu katlar arası rijitlik düzensizliğidir ve iki komşu katın yataydaki herhangi bir doğrultudaki ortalama görel kat ötelemelerinin birbirine oranıyla tespit edilir (Bağıntı (3.68)).

$$\frac{\Delta_{i+1}^{ort}}{\Delta_i^{ort}} > 2 \quad \Rightarrow \quad \text{B2 düzensizliği var} \quad (3.68)$$

$$\frac{\Delta_{i+1}^{ort}}{\Delta_i^{ort}} \leq 2 \quad \Rightarrow \quad \text{B2 düzensizliği yok}$$

Çizelge 3.26. Deprem tasarım sınıfları

DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS})	Bina kullanım sınıfı (BKS)	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$SDS < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq SDS < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq SDS < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq SDS$	DTS = 1a	DTS = 1

Çizelge 3.27. Bina yükseklik sınıfları

BYS	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4,4a
1	$H_N > 70 \text{ m}$	$H_N > 91 \text{ m}$	$H_N > 105 \text{ m}$
2	$56 \text{ m} < H_N \leq 70 \text{ m}$	$70 \text{ m} < H_N \leq 91 \text{ m}$	$91 \text{ m} < H_N \leq 105 \text{ m}$
3	$42 \text{ m} < H_N \leq 56 \text{ m}$	$56 \text{ m} < H_N \leq 70 \text{ m}$	$56 \text{ m} < H_N \leq 91 \text{ m}$
4	$28 \text{ m} < H_N \leq 42 \text{ m}$	$42 \text{ m} < H_N \leq 56 \text{ m}$	
5	$17.5 \text{ m} < H_N \leq 28 \text{ m}$	$28 \text{ m} < H_N \leq 42 \text{ m}$	
6	$10.5 \text{ m} < H_N \leq 17.5 \text{ m}$	$17.5 \text{ m} < H_N \leq 28 \text{ m}$	
7	$7 \text{ m} < H_N \leq 10.5 \text{ m}$	$10.5 \text{ m} < H_N \leq 17.5 \text{ m}$	
8	$H_N \leq 7 \text{ m}$	$H_N \leq 10.5 \text{ m}$	
H_N : Bina yüksekliği			

Çizelge 3.26’da bulunan “BKS” değeri Türkiye Deprem Yönetmeliği (2018)’nin Çizelge 3.1’inden elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan yapı modellerinin bina türü endüstriyel yapılar olduğu düşünülmüş ve buna bağlı olarak 3 alınmıştır.

Eşdeğer deprem yükünün uygulanabilirliğinin teyit edilmesinden sonra, yapının tümüne etkiyen eşdeğer deprem yükü Bağntı (3.69) ile elde edilir.

$$V_{tE}^{(X,Y)} = m_t \cdot S_{aR} \left(T_P^{(X,Y)} \right) \geq 0.04 \cdot m_t \cdot I \cdot S_{DS} \cdot g \quad (3.69)$$

Bağntı (3.69) için, “ $V_{tE}^{(X,Y)}$,” X veya Y doğrultusu için hesaplanan taban kesme kuvveti, “ m_t ” bina toplam kütlesi, “ $T_P^{(X,Y)}$,” binanın X veya Y doğrultusu için hakim

doğal titreşim periyodu, “ $S_{aR}\left(T_P^{(X,Y)}\right)$ ” hakim titreşim periyoduna bağlı hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivmesi (Bağıntı (3.70)), “ I ” bina önem katsayısı ve “ g ” yerçekimi ivmesidir. Bina önem katsayısı yine Türkiye Deprem Yönetmeliği (2018)’nin Çizelge 3.1’inden elde edilir ve “BKS = 3” durumu için 1 olarak belirtilmiştir.

$$S_{aR}\left(T_P^{(X,Y)}\right) = \frac{S_{ae}\left(T_P^{(X,Y)}\right)}{R_a\left(T_P^{(X,Y)}\right)} \quad (3.70)$$

Bağıntı (3.70)’de, “ $R_a\left(T_P^{(X,Y)}\right)$ ” hâkim periyodun bir fonksiyonu olarak deprem yükü azaltma katsayısıdır ve Bağıntı (3.71) ile hesaplanır.

$$R_a\left(T_P^{(X,Y)}\right) = \begin{cases} \frac{R}{I} & \text{eğer } T_P^{(X,Y)} > T_B \\ D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T_P^{(X,Y)}}{T_B} & \text{eğer } T_P^{(X,Y)} \leq T_B \end{cases} \quad (3.71)$$

Burada, “ D ” ve “ R ” sırasıyla dayanım fazlalığı katsayısı ve taşıyıcı sistem davranış katsayısıdır ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)’indeki Çizelge 4.1’den elde edilebilirler (Bu çalışmadaki örnek modeller için $R = 8$ ve $D = 3$).

“ $V_{tE}^{(X,Y)}$ ” için bir başka Bağıntı ise her bir kata gelen eşdeğer deprem yüklerinin ($F_{iE}^{(X,Y)}$) ve son kata gelen ek eşdeğer deprem yükünün ($\Delta F_{NE}^{(X,Y)}$) toplamıdır (Bağıntı (3.72)).

$$V_{tE}^{(X,Y)} = \Delta F_{NE}^{(X,Y)} + \sum_{i=1}^N F_{iE}^{(X,Y)} \quad (3.72)$$

Bağıntı (3.72)’de, “ N ” binadaki kat sayısıdır. “ $\Delta F_{NE}^{(X,Y)}$ ” ve “ $F_{iE}^{(X,Y)}$ ” için hesaplama formülleri Bağıntı (3.73) ve (3.74)’te verilmiştir.

$$\Delta F_{NE}^{(X,Y)} = 0.0075 \cdot N \cdot V_{tE}^{(X,Y)} \quad (3.73)$$

$$F_{iE}^{(X,Y)} = \left(V_{tE}^{(X,Y)} - \Delta F_{NE}^{(X,Y)} \right) \frac{m_i \cdot H_i}{\sum_{j=1}^N m_j \cdot H_j} \quad (3.74)$$

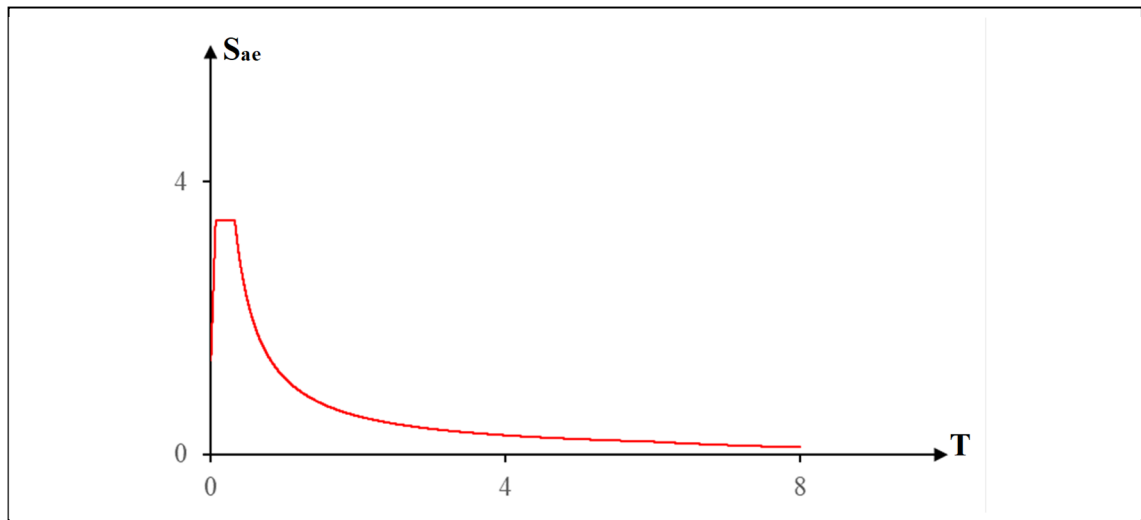
3.5.1.3. Mod birleştirme analiz yöntemi

Mod birleştirme analiz yöntemi, sadece yapının hakim periyot modu davranış büyüklüğünü değil yapının tüm modlardaki davranış büyüklüklerini göz önünde bulunduran ve bu büyüklükleri istatistiksel bir metotla birleştirerek yapıya gelen deprem yükünü hesaplayan bir yöntemdir. Diğer bir adı spektral analizdir. spektral analiz için, elde tasarım ivme spektrumuna bağlı azaltılmış tasarım ivme spektrumu oluşturulur. Azaltılmış tasarım ivme spektrumu Bağlantı (3.75) ile elde edilebilir.

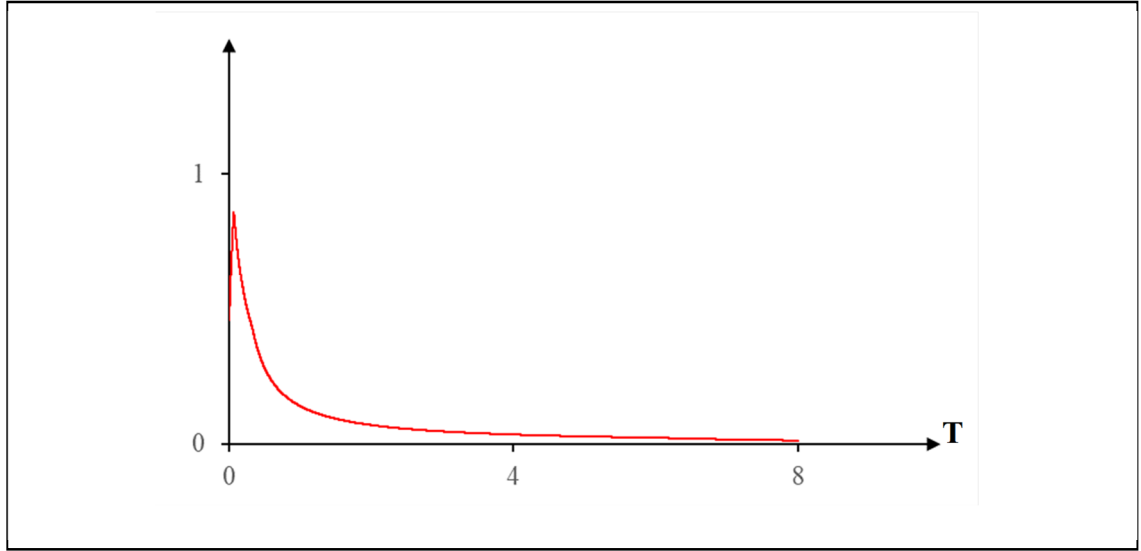
$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3.75a)$$

$$R_a(T) = \begin{cases} \frac{R}{I} & \text{eğer } T > T_B \\ D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} & \text{eğer } T \leq T_B \end{cases} \quad (3.75b)$$

Çalışmada verilen yerleşim için elde edilen tasarım ivme spektrumu ve buna bağlı azaltılmış tasarım ivme spektrumu Şekil (3.39) ve (3.40)'da verilmiştir.



Şekil 3.39. Tasarım ivme spektrumu



Şekil 3.40. Azaltılmış tasarım ivme spektrumu

3.5.2. Rüzgar yükü

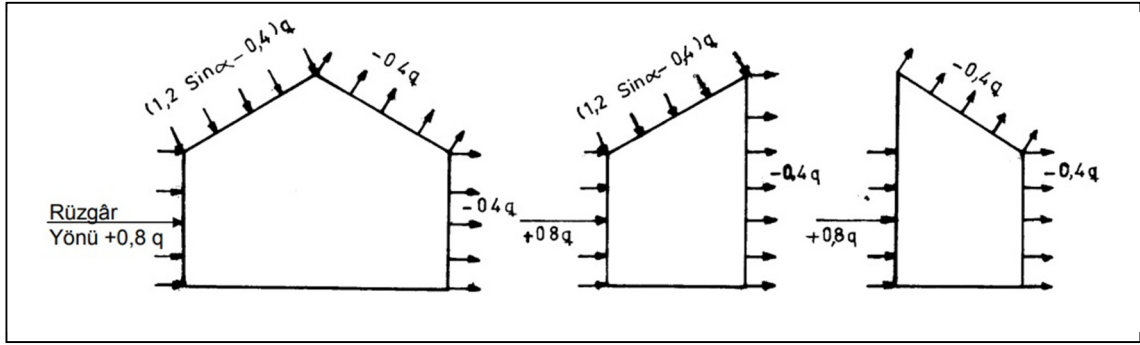
Rüzgar yükü yapı yüksekliğine bağlı olarak artan yanal bir kuvvettir. Rüzgar yükünün yapılardaki yanal ötelemelerde etkin olduğu bilinmektedir. Buna bağlı olarak, bu çalışmada kullanılan yapı örneklerinde rüzgar yükü de yük kombinasyonlarında hesaba katılmıştır. Rüzgar yükünün hesaplanmasında TS 498 şartnamesinden faydalanılmıştır. TS 498 şartnamesine göre, yapıya etkiyen rüzgar yükü formülü Bağlantı (3.76)’de verilmiştir.

$$W = C_f \cdot \sum_{i=1}^n q_i A_i \quad (3.76)$$

Bağlantı (3.76)’ya göre, “ C_f ” rüzgarın esiş yönünde rüzgar yükünün toplam dağılım katsayısı, “ q_i ” herhangi bir i bölgesi için rüzgar basıncı, “ A_i ” herhangi bir i bölgesi için o bölgenin alanı, “ n ” yapıda rüzgar yükünün hesaplandığı herhangi bir yüzey için o yüzeyi oluşturan bölgelerin sayısıdır.

3.5.2.1. Rüzgar yükü dağılım katsayısı (C_f)

Yapının türüne göre TS 498 şartnamesindeki Çizelge 6’dan elde edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan yapılar için bu katsayının 1.2 olduğu belirlenmiştir. Bu katsayının emme ve basınç yüzeyleri için dağılımında basınç katsayısı 0.8 ve emme katsayısı 0.4 olarak verilmiştir (Şekil 3.41).



Şekil 3.41. C_f katsayısının emme ve basınç dağılım katsayıları (TS 498)

3.5.2.2. Rüzgar basıncı (q)

Rüzgar basıncı rüzgar hızının karesiyle doğru orantılıdır (Bağıntı (3.77)). Rüzgar hızı yapının yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Çizelge 3.28 rüzgar hızı ve ona bağlı hesaplanan rüzgar basıncı değerlerini gösterir.

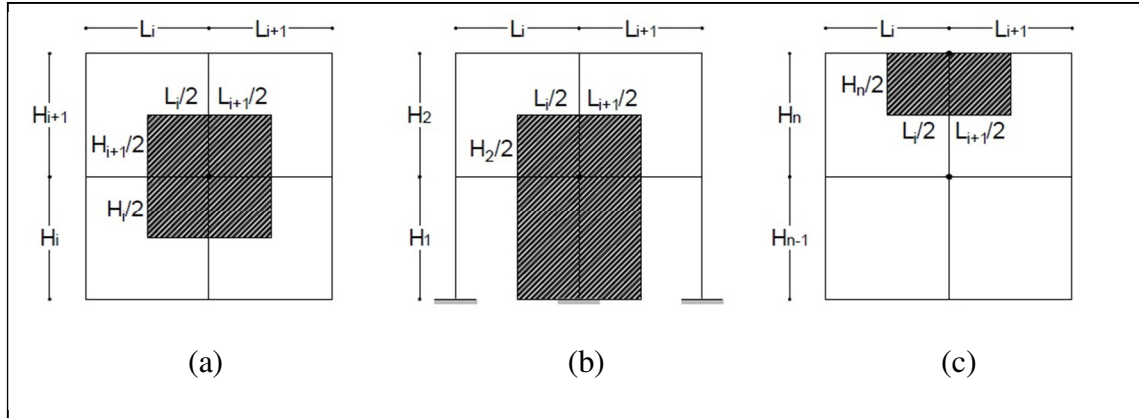
$$q = \frac{v^2}{1600} \quad (3.77)$$

Çizelge 3.28. Rüzgar hızı ve rüzgar basıncı değerleri

Yerden yükseklik (m)	Rüzgar hızı (v) (m/sn.)	Rüzgar basıncı (q) (kN/m ²)
0 – 8	28	0.5
9 – 20	36	0.8
21 – 100	42	1.1
> 100	46	1.3

3.5.2.3. Rüzgar yükü etki alanı (A)

Rüzgara dik bir yüzeye etkiyen rüzgar yükleri, yüzeydeki kolon etki alanlarına göre hesaplanır. Hesaplanan kuvvet art arda iki kat kolonunun birleşme noktasına etki ettirilir. Rüzgar yükü etki alanı ara katlarda farklı, birinci kat ve en son kat için farklı hesaplanır. Ara katlar için etki alanı, alt kat ve üst kat kolon birleşme noktasının sağındaki ve solundaki aks açıklıklarının yarısı ile alt ve üst kat yüksekliklerinin yarısı ile sınırlanan alandır (Şekil 3.42a). Birinci kat için, kat yükseklikleri birinci katın yüksekliğinin tamamı ve ikinci katın yarısı alınır (Şekil 3.42b). En üst kat için ise en üst kat yüksekliğinin yarısıdır (Şekil 3.42c).



Şekil 3.42. Rüzgar yükü etki alanları

3.5.3. Yük kombinasyonları

Çalışmada kullanılan yük kombinasyonları LRFD-AISC (2001) çelik şartnamesine göre belirlenmiştir. 2D örnekler için 5, 3D örnekler için 7 kombinasyon uygulanmıştır. Uygulanan yük kombinasyonları Çizelge 3.29’da verilmiştir.

Çizelge 3.29. Tasarım örneklerine uygulanan yük kombinasyonları

Kombinasyon No	2D örnekler	3D örnekler
1	1.4D	1.4D
2	1.2D + 1.6L + 0.5S	1.2D + 1.6L + 0.5S
3	1.2D + 0.5L + 1.6S	1.2D + 0.5L + 1.6S
4	1.2D + 0.5L + 0.2S + 1.0E _X	1.2D + 0.5L + 0.5S + 1.3W _X
5	1.2D + 0.5L + 0.2S + 1.0E _Y	1.2D + 0.5L + 0.5S + 1.3W _Y
6		1.2D + 0.5L + 0.2S + 1.0E _X
7		1.2D + 0.5L + 0.2S + 1.0E _Y

4. BULGULAR

Bu çalışmada materyal metot kısmında detayları verilen 2D tasarım örnekleri ABC ve 3D tasarım örnekleri ABC, AOA ve CSA optimizasyon algoritmaları kullanılarak ağırlık açısından optimize edilmiştir. Optimum çözümlerin elde edilmesinde yanal öteleme sınırları için hem kat ötelemelerinde hem de tepe noktası ötelemelerinde $Ratio=300$ olarak alınmıştır (LRFD-AISC (2001)). Ayrıca LRFD-AISC (2001)'den elde edilen W100X19.3'ten W1100X499'a kadar olan 274 adet çelik profilin kullanıldığı bir profil havuzu oluşturulmuştur. Optimum tasarım esnasında profil seçme işlemi için modellerin bir ön tasarımı yapılmış ve yapılan tasarımdan elde edilen uygun profillere bağlı olarak seçim havuzu daraltılmıştır. Çalışmada kullanılan tasarım örnekleri ve notasyonları tablo halinde Çizelge 4.1'de verilmiştir. Eşdeğer deprem yükünün uygulandığı tasarım problemlerinde, eşdeğer deprem yükü her bir iterasyonda elde edilen yapı ağırlığı ve periyoduna bağlı olarak güncellenerek tasarım yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Tasarım örnekleri ve notasyonları

Notasyonlar	Örnek notasyonlarına göre tasarım örnekleri
42FBNB	4 katlı 2D sabit tabanlı yalın model
42FBB	4 katlı 2D sabit tabanlı çaprazlarla güçlendirilmiş model
42FBB (Diyagonal)	4 katlı 2D sabit tabanlı diyagonal elemanlar kullanılarak güçlendirilmiş model
42SINB	4 katlı 2D izolasyon tabanlı yalın model
42SIB	4 katlı 2D izolasyon tabanlı güçlendirmelerle güçlendirilmiş model
42SIB (Diyagonal)	4 katlı 2D izolasyon tabanlı diyagonal elemanlar kullanılarak güçlendirilmiş model
82FBNB	8 katlı 2D sabit tabanlı yalın model
82FBB	8 katlı 2D sabit tabanlı güçlendirmelerle güçlendirilmiş model
82FBB (Diyagonal)	8 katlı 2D sabit tabanlı diyagonal elemanlar kullanılarak güçlendirilmiş model
82SINB	8 katlı 2D izolasyon tabanlı yalın model
82SIB	8 katlı 2D izolasyon tabanlı güçlendirmelerle güçlendirilmiş model
82SIB (Diyagonal)	8 katlı 2D izolasyon tabanlı diyagonal elemanlar kullanılarak güçlendirilmiş model
43FBNB	4 katlı 3D sabit tabanlı yalın model
43SINB	4 katlı 3D izolasyon tabanlı yalın model
63FBNB	6 katlı 3D sabit tabanlı yalın model
63SINB	6 katlı 3D izolasyon tabanlı yalın model
83FBNB	8 katlı 3D sabit tabanlı yalın model
83SINB	8 katlı 3D izolasyon tabanlı yalın model
103FBNB	10 katlı 3D sabit tabanlı yalın model
103SINB	10 katlı 3D izolasyon tabanlı yalın model

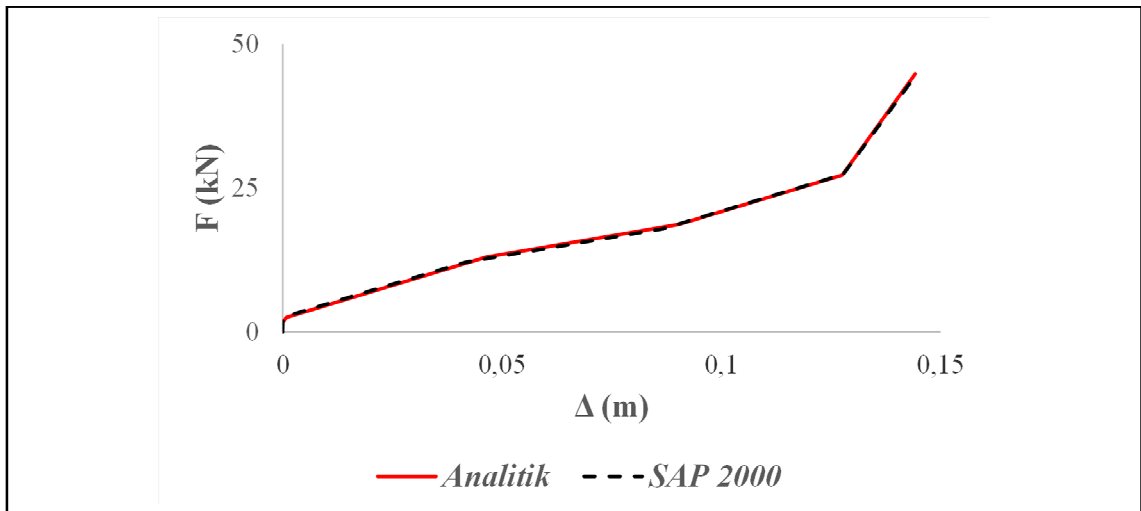
Tasarım örneklerinin analizleri sonucunda, her bir örneğin maksimum mukavemet oranı (PMM), ara katlar maksimum yanal öteleme oranı (Δ), en üst kat maksimum yanal öteleme oranı (Δ_{toplam}) ve en iyi ağırlık değeri (W_{best}) elde edilmiş ve yorumlanmıştır. Detaylar, her bir tasarım örneği için alt bölümlerde verilmiştir.

4.1. Üçlü Sarkaç İzolatör Mesnetlerin SAP 2000 Modellemelerinin Doğrulaması

Çalışmada optimum tasarımı yapılan izolatör tabanlı yapı örneklerinin doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için, SAP 2000 için modellenen izolatör mesnetlerin doğru davranışı sergilemesi gerekmektedir. Bu sebeple SAP 2000 modellemelerinin analitik denklemlerle doğrulanması gerekir. Bu bağlamda, literatürden elde edilen bir üçlü sarkaç izolatör mesnet örneği SAP 2000 programında modellenmiş ve sonuçları mesnetin analitik denklemleriyle doğrulanmıştır. Kullanılan mesnet örneğinin parametreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Yapılan doğrulama analiz sonuçları Şekil 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Doğrulama analizi için kullanılan üçlü sarkaç izolatör parametreleri (Fenz ve Constantinou 2008)

R₁	473 mm	d₁	64 mm
R₂	76 mm	d₂	19 mm
R₃	76 mm	d₃	19 mm
R₄	435 mm	d₄	64 mm
h₁	38 mm	μ₁	0.021
h₂	23 mm	μ₂	0.01
h₃	23 mm	μ₃	0.01
h₄	38 mm	μ₄	0.099



Şekil 4.1. Üçlü sarkaç izolatör mesnet örneğinin analitik ve SAP 2000 modellemeleri için F- Δ eğrileri

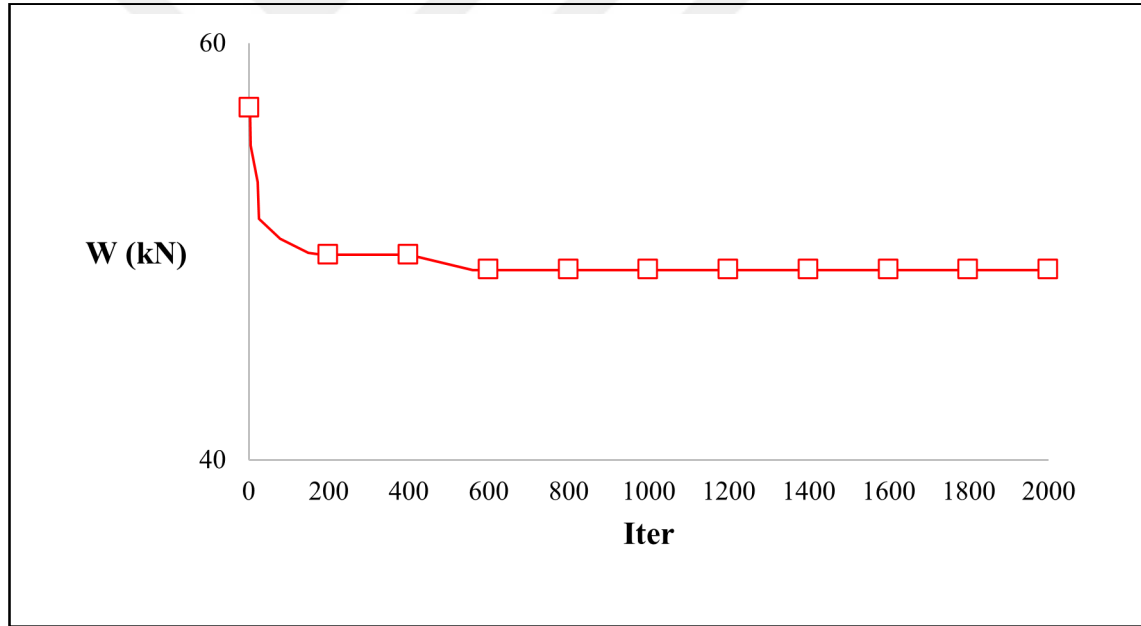
4.2. 2D Tasarım Örnekleri

4.2.1. 42FBNB kodlu tasarım örneği

42FBNB kodlu tasarım örneği ABC optimizasyon algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.2'de çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.4 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.3. 42FBNB optimum analiz sonuçları

PMM	% 45
Δ	% 96
Δ_{toplam}	% 73.25
W_{best}	49.14 kN



Şekil 4.2. 42FBNB tasarım örneği için Iter – W eğrisi

Çizelge 4.4. 42FBNB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

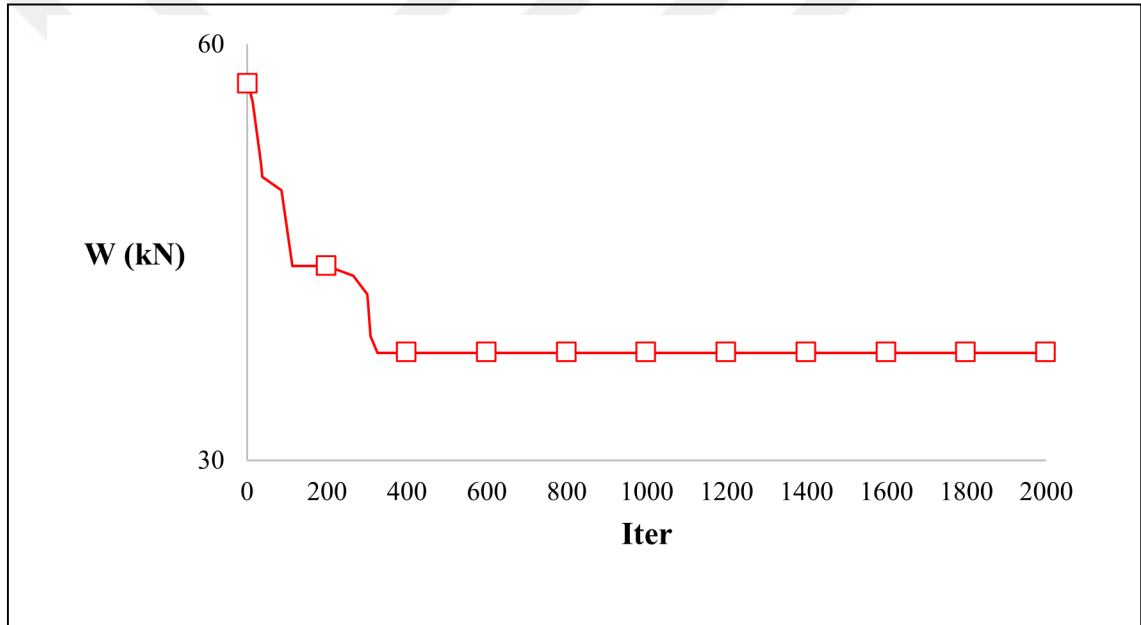
Grup numarası	Profil
1	W410X46.1
2	W410X46.1
3	W310X38.7

4.2.2. 42FBB kodlu tasarım örneği

42FBB kodlu tasarım örneği ABC optimizasyon algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.3'de çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.6 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.5. 42FBB optimum analiz sonuçları

PMM	% 95
Δ	% 36
Δ_{toplam}	% 29.5
W_{best}	37.76 kN



Şekil 4.3. 42FBB tasarım örneği için Iter – W eğrisi

Çizelge 4.6. 42FBB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

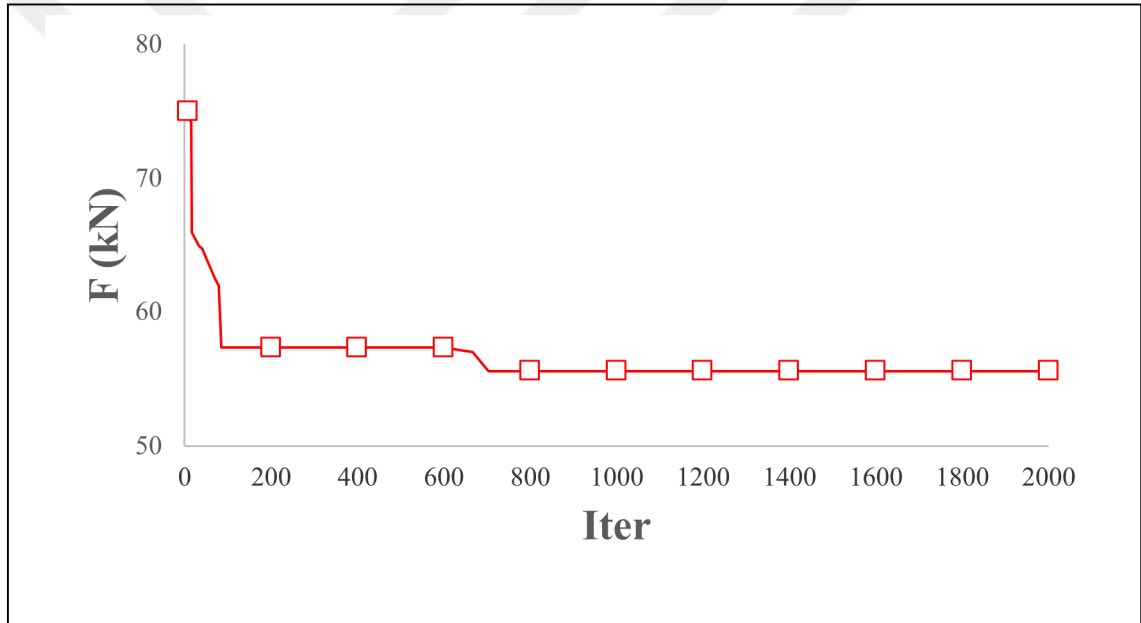
Grup numarası	Profil
1	W150X22.5
2	W200X31.3
3	W130X23.8
4	W200X19.3
5	W150X18
6	W150X13
7	W150X13

4.2.3. 42FBB (Diyagonal) kodlu tasarım örneği

42FBB kodlu tasarım örneği ABC optimizasyon algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.4’de çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.8 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.7. 42FBB (Diyagonal) optimum analiz sonuçları

PMM	% 95.1
Δ	% 17.74
Δ_{toplam}	% 17.75
W_{best}	55.59 kN



Şekil 4.4. 42FBB (Diyagonal) tasarım örneği için Iter – W eğrisi

Çizelge 4.8. 42FBB (Diyagonal) tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

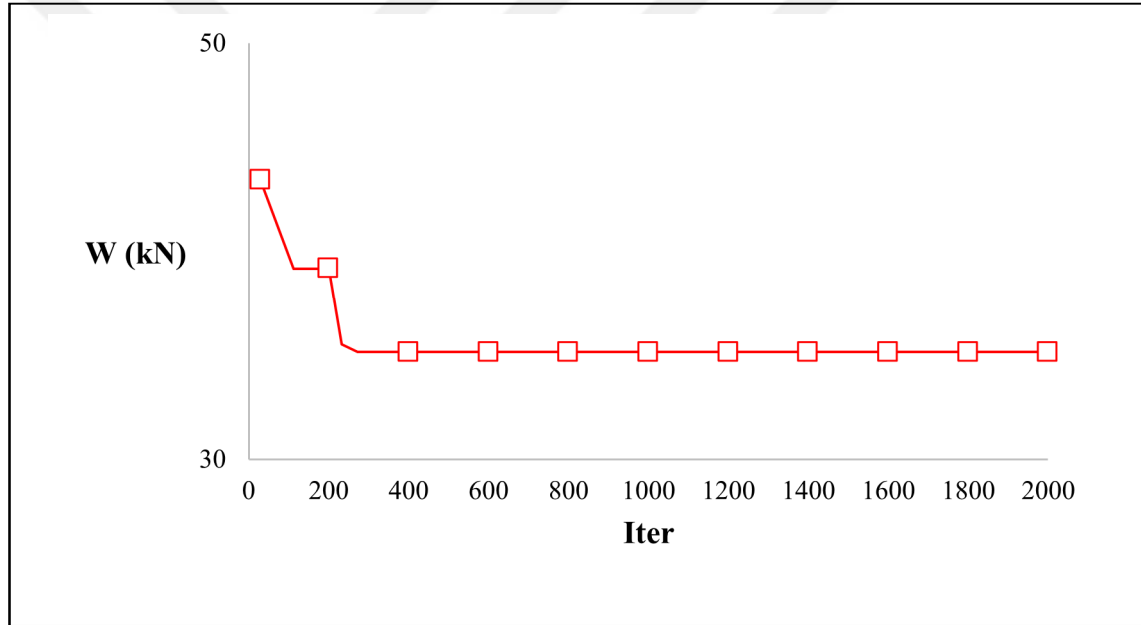
Grup numarası	Profil
1	1 W250X38.5
2	2 W130X28.1
3	3 W250X28.4
4	4 W150X29.8
5	5 W150X29.8
6	6 W200X52
7	7 W250X38.5

4.2.4. 42SINB kodlu tasarım örneği

42SINB kodlu tasarım örneği ABC optimizasyon algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9’da verilmiştir. Şekil 4.5’de çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.10 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.9. 42SINB optimum analiz sonuçları

PMM	% 94
Δ	% 96
Δ_{toplam}	% 72.25
W_{best}	35.16 kN



Şekil 4.5. 42SINB tasarım örneği için Iter – W eğrisi

Çizelge 4.10. 42SINB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

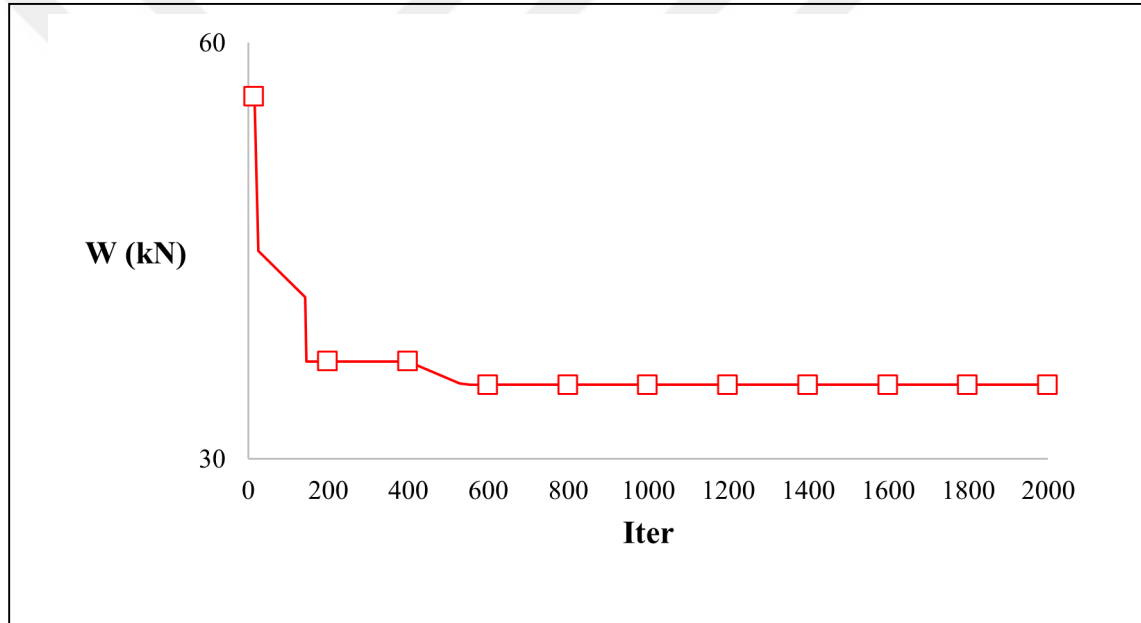
Grup numarası	Profil
1	W250X17.9
2	W310X32.7
3	W250X32.7

4.2.5. 42SIB kodlu tasarım örneği

42SIB kodlu tasarım örneği ABC optimizasyon algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.6’da çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.12 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.11. 42SIB optimum analiz sonuçları

PMM	% 95
Δ	% 36
Δ_{toplam}	% 29.5
W_{best}	35.32 kN



Şekil 4.6. 42SIB tasarım örneği için Iter – W eğrisi

Çizelge 4.12. 42SIB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

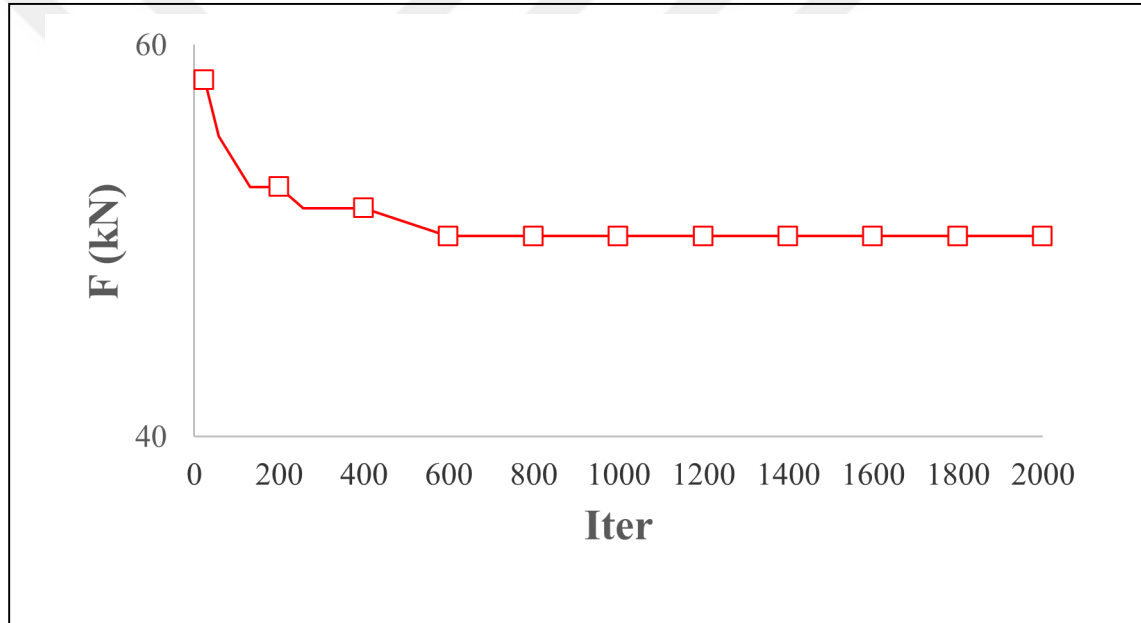
Grup numarası	Profil
1	W150X18
2	W200X26.6
3	W130X23.8
4	W100X19.3
5	W150X13
6	W200X15
7	W150X13.5

4.2.6. 42SIB (Diyagonal) kodlu tasarım örneği

42SIB kodlu tasarım örneği ABC optimizasyon algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.13’de verilmiştir. Şekil 4.7’de çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.14 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.13. 42SIB (Diyagonal) optimum analiz sonuçları

PMM	% 86.6
Δ	% 5.63
Δ_{toplam}	% 5
W_{best}	50.25 kN



Şekil 4.7. 42SIB (Diyagonal) tasarım örneği için Iter – W eğrisi

Çizelge 4.14. 42SIB (Diyagonal) tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

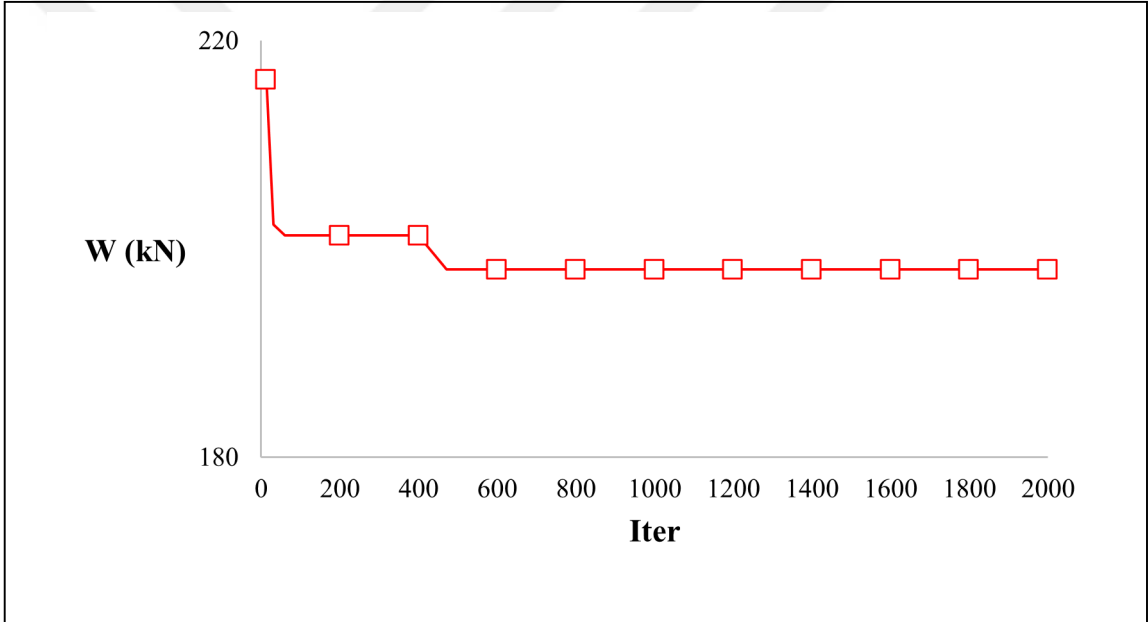
Grup numarası	Profil
1	1 W310X28.3
2	2 W250X25.3
3	3 W130X23.8
4	4 W200X35.9
5	5 W360X51
6	6 W200X35.9
7	7 W200X35.9

4.2.7. 82FBNB kodlu tasarım örneği

82FBNB kodlu tasarım örneği ABC optimizasyon algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.8'de çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.16 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.15. 82FBNB optimum analiz sonuçları

PMM	% 70
Δ	% 81
Δ_{toplam}	% 64.5
W_{best}	198.05 kN



Şekil 4.8. 82FBNB tasarım örneği için Iter – W eğrisi

Çizelge 4.16. 82FBNB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

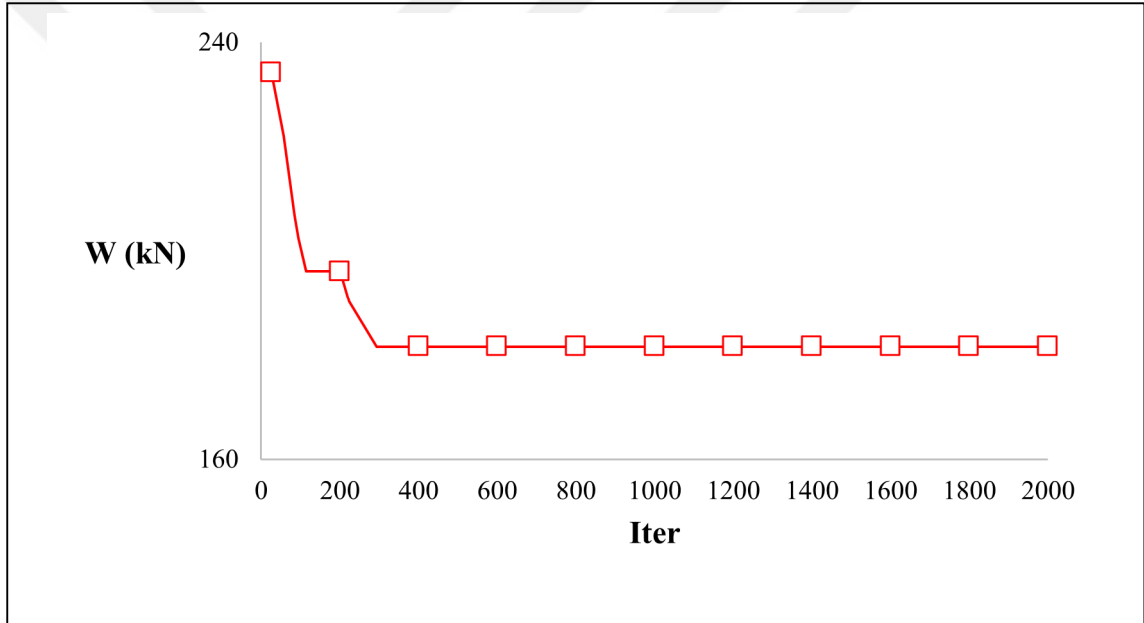
Grup numarası	Profil
1	W360X39
2	W360X39
3	W410X67
4	W410X53
5	W410X53
6	W360X51

4.2.8. 82FBB kodlu tasarım örneği

82FBB kodlu tasarım örneği ABC optimizasyon algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.17’de verilmiştir. Şekil 4.9’da çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.18 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.17. 82FBB optimum analiz sonuçları

PMM	% 93
Δ	% 74
Δ_{toplam}	% 53.6
W_{best}	181.68 kN



Şekil 4.9. 82FBB tasarım örneği için Iter – W eğrisi

Çizelge 4.18. 82FBB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

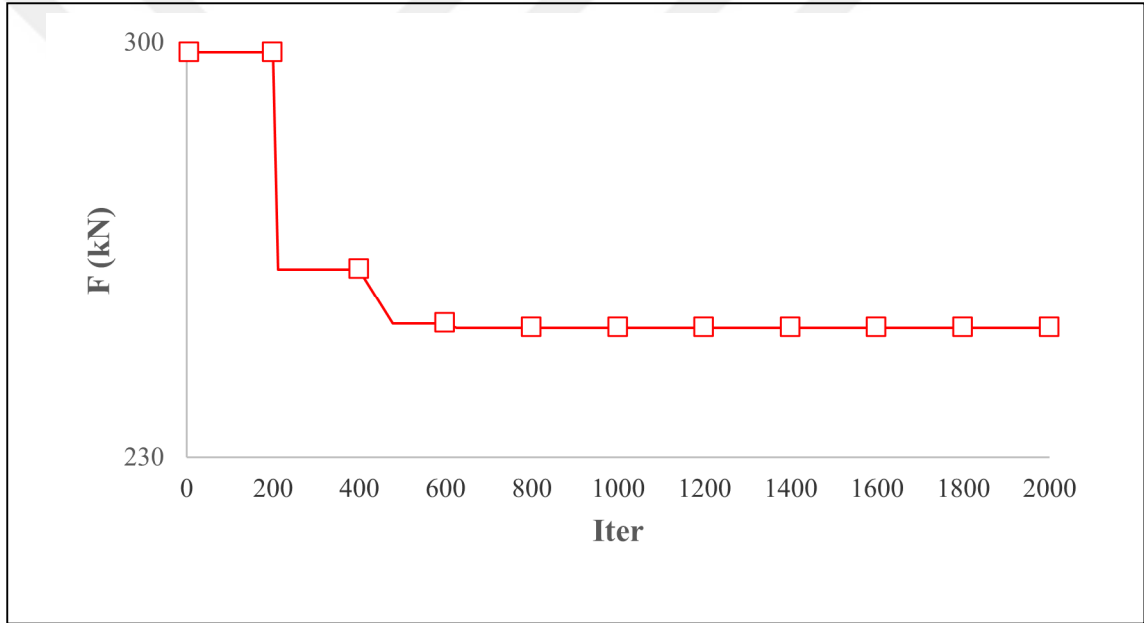
Grup numarası	Profil	Grup numarası	Profil
1	W200X26.6	8	W150X29.8
2	W200X22.5	9	W310X38.7
3	W460X74	10	W310X32.7
4	W360X39	11	W150X29.8
5	W150X22.5	12	W200X26.6
6	W200X26.6	13	W150X13
7	W250X32.7	14	W310X21

4.2.9. 82FBB (Diyagonal) kodlu tasarım örneği

82FBB (Diyagonal) kodlu tasarım örneği ABC optimizasyon algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.19’da verilmiştir. Şekil 4.10’da çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.20 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.19. 82FBB (Diyagonal) optimum analiz sonuçları

PMM	% 93
Δ	% 25.85
Δ_{toplam}	% 20.88
W_{best}	251.83 kN



Şekil 4.10. 82FBB (Diyagonal) tasarım örneği için Iter – W eğrisi

Çizelge 4.20. 82FBB (Diyagonal) tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

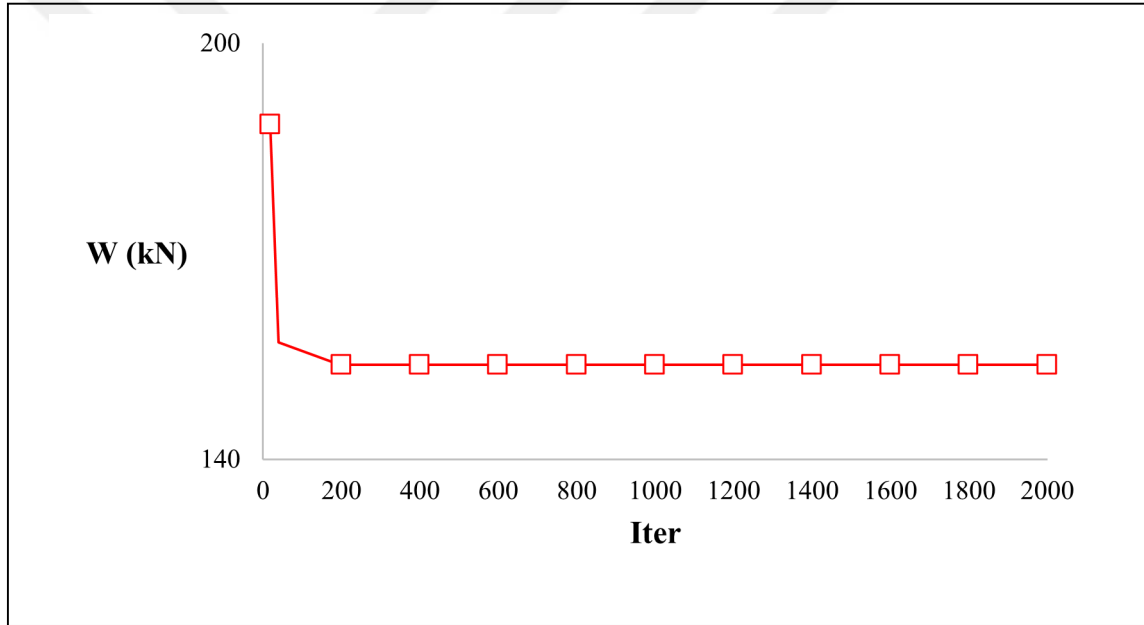
Grup numarası	Profil	Grup numarası	Profil
1	W200X46.1	8	W310X44.5
2	W150X22.5	9	W460X82
3	W310X52	10	W360X91
4	W310X32.7	11	W200X52
5	W310X28.3	12	W360X57.8
6	W250X28.4	13	W410X67
7	W200X52	14	W310X44.5

4.2.10. 82SINB kodlu tasarım örneği

82SINB kodlu tasarım örneği ABC optimizasyon algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.21’de verilmiştir. Şekil 4.11’de çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.22 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.21. 82SINB optimum analiz sonuçları

PMM	% 78
Δ	% 91
Δ_{toplam}	% 63.25
W_{best}	153.63 kN



Şekil 4.11. 82SINB tasarım örneği için Iter – W eğrisi

Çizelge 4.22. 82SINB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

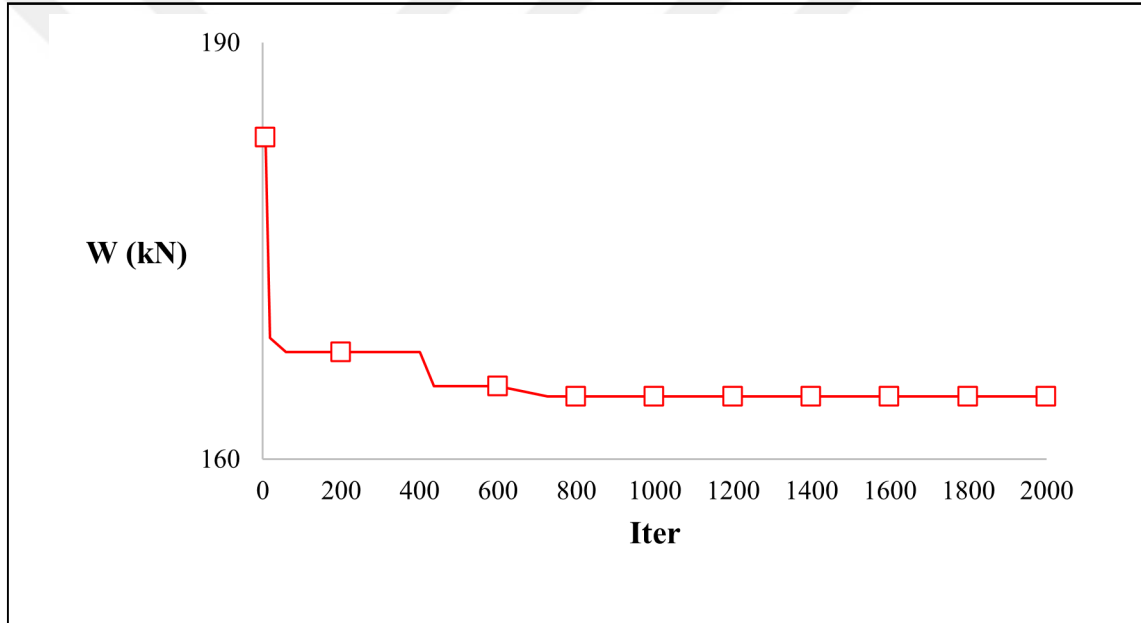
Grup numarası	Profil
1	W460X52
2	W250X28.4
3	W410X60
4	W310X32.7
5	W310X44.5
6	W250X32.7

4.2.11. 82SIB kodlu tasarım örneği

82SIB kodlu tasarım örneği ABC optimizasyon algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.23'te verilmiştir. Şekil 4.12'de çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.24 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.23. 82SIB optimum analiz sonuçları

PMM	% 96
Δ	% 48
Δ_{toplam}	% 39.13
W_{best}	164.51 kN



Şekil 4.12. 82SIB tasarım örneği için Iter – W eğrisi

Çizelge 4.24. 82SIB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

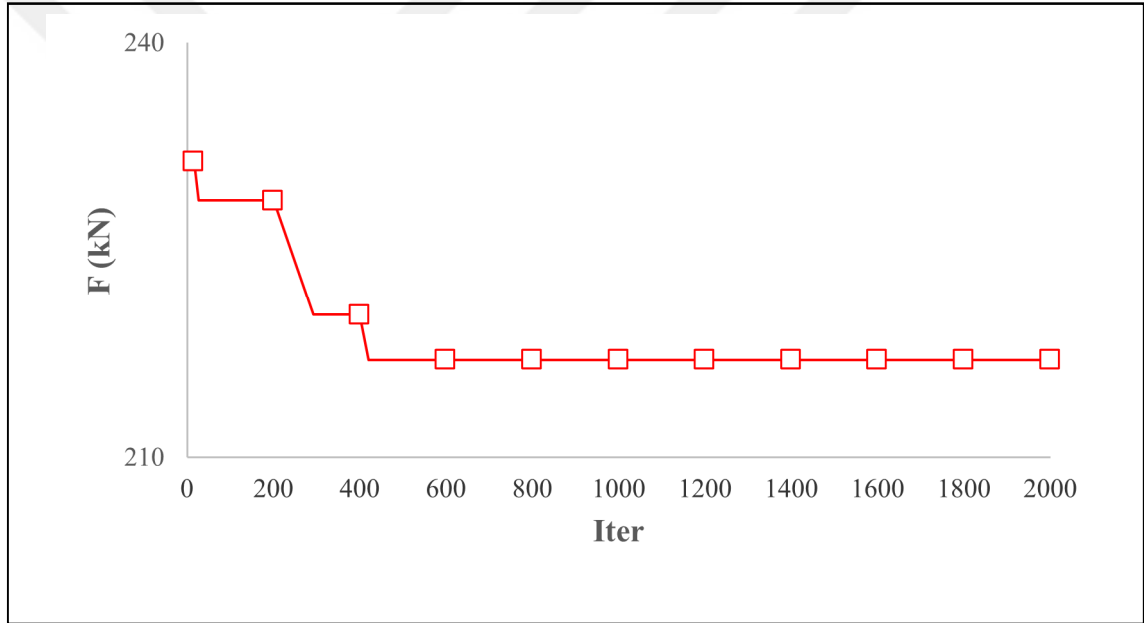
Grup numarası	Profil	Grup numarası	Profil
1	W360X39	8	W150X22.5
2	W150X24	9	W250X22.3
3	W360X51	10	W150X18
4	W150X37.1	11	W310X23.8
5	W130X23.8	12	W250X17.9
6	W200X31.3	13	W100X19.3
7	W310X23.8	14	W250X17.9

4.2.12. 82SIB (Diyagonal) kodlu tasarım örneği

82SIB kodlu tasarım örneği ABC optimizasyon algoritması kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.25'te verilmiştir. Şekil 4.13'te çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.26 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.25. 82SIB (Diyagonal) optimum analiz sonuçları

PMM	% 86.2
Δ	% 6.05
Δ_{toplam}	% 5.38
W_{best}	217.06 kN



Şekil 4.13. 82SIB (Diyagonal) tasarım örneği için Iter – W eğrisi

Çizelge 4.26. 82SIB (Diyagonal) tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

Grup numarası	Profil	Grup numarası	Profil
1	W360X39	8	W360X44
2	W250X32.7	9	W250X44.8
3	W200X59	10	W410X85
4	W150X22.5	11	W200X52
5	W130X23.8	12	W310X60
6	W200X26.6	13	W310X38.7
7	W150X22.5	14	W200X41.7

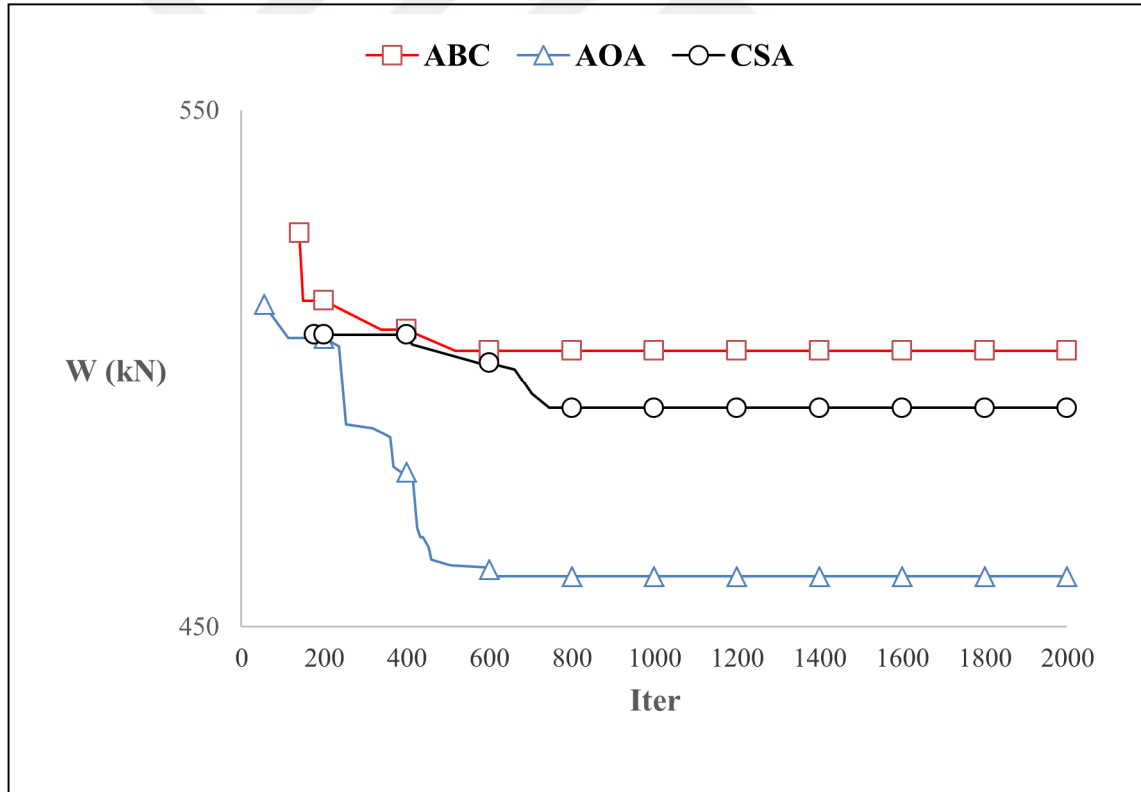
4.3. 3D Tasarım Örnekleri

4.3.1. 43FBNB kodlu tasarım örneği

43FBNB kodlu tasarım örneği ABC, AOA ve CSA optimizasyon algoritmaları kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.27’de verilmiştir. Elde edilen çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrileri Şekil 4.14’te gösterilmiştir. Çizelge 4.28 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.27. 43FBNB optimum analiz sonuçları

	ABC	AOA	CSA
PMM	% 38	% 68	% 78
Δ	% 97.5	% 98.3	% 95
Δ_{toplam}	% 77.6	% 88.4	% 78
W_{best}	503.58 kN	459.70 kN	492.35 kN



Şekil 4.14. 43FBNB tasarım örneği için Iter – W eğrileri

Çizelge 4.28. 43FBNB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

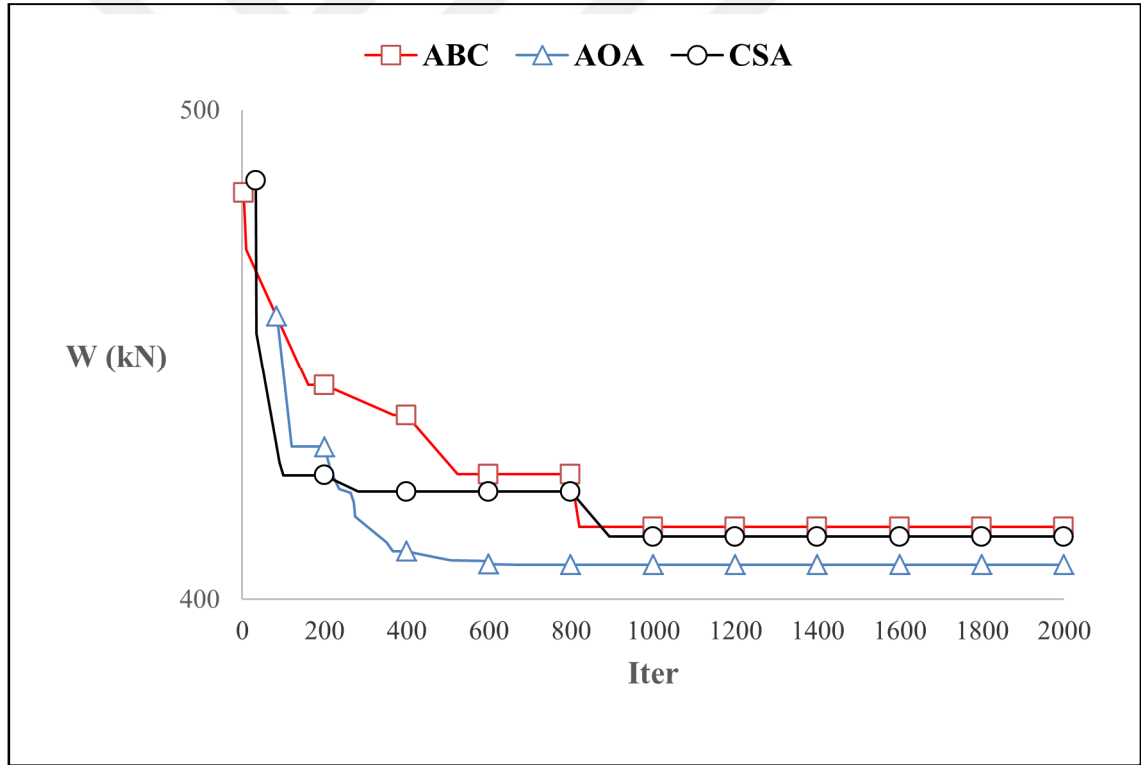
Grup numarası	Profil		
	ABC	AOA	CSA
1	W530X138	W310X60	W310X74
2	W610X140	W460X74	W360X122
3	W310X86	W460X113	W460X106
4	W460X113	W610X125	W530X123
5	W360X51	W360X51	W250X80
6	W610X113	W360X57.8	W410X100
7	W410X132	W610X125	W530X85
8	W610X155	W690X125	W610X92
9	W250X101	W610X101	W410X75
10	W410X149	W610X113	W530X109
11	W460X144	W610X125	W460X106
12	W610X153	W690X140	W610X113
13	W360X79	W310X86	W530X66
14	W530X182	W360X110	W840X176
15	W250X115	W410X114	W460X144
16	W530X150	W530X123	W760X147
17	W610X92	W360X64	W250X58
18	W610X125	W360X64	W410X100
19	W310X117	W610X140	W610X82
20	W690X170	W610X153	W610X140
21	W530X92	W310X86	W360X57.8
22	W530X101	W530X123	W760X196
23	W360X51	W410X114	W610X101
24	W460X82	W460X128	W690X125
25	W610X140	W460X82	W460X52
26	W690X152	W610X82	W460X68
27	W310X143	W460X113	W610X113
28	W310X143	W460X128	W610X125
29	W460X60	W460X68	W460X68
30	W460X52	W310X38.7	W460X52

4.3.2. 43SINB kodlu tasarım örneği

43SINB kodlu tasarım örneği ABC, AOA ve CSA optimizasyon algoritmaları kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.29’da verilmiştir. Elde edilen çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrileri Şekil 4.15’te gösterilmiştir. Çizelge 4.30 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.29. 43SINB optimum analiz sonuçları

	ABC	AOA	CSA
PMM	% 75	% 69	% 63
Δ	% 85	% 97.5	% 95.8
Δ_{toplam}	% 67.7	% 69	% 79
W_{best}	414.74 kN	407.04 kN	412.78 kN



Şekil 4.15. 43SINB tasarım örneği için Iter – W eğrileri

Çizelge 4.30. 43SINB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

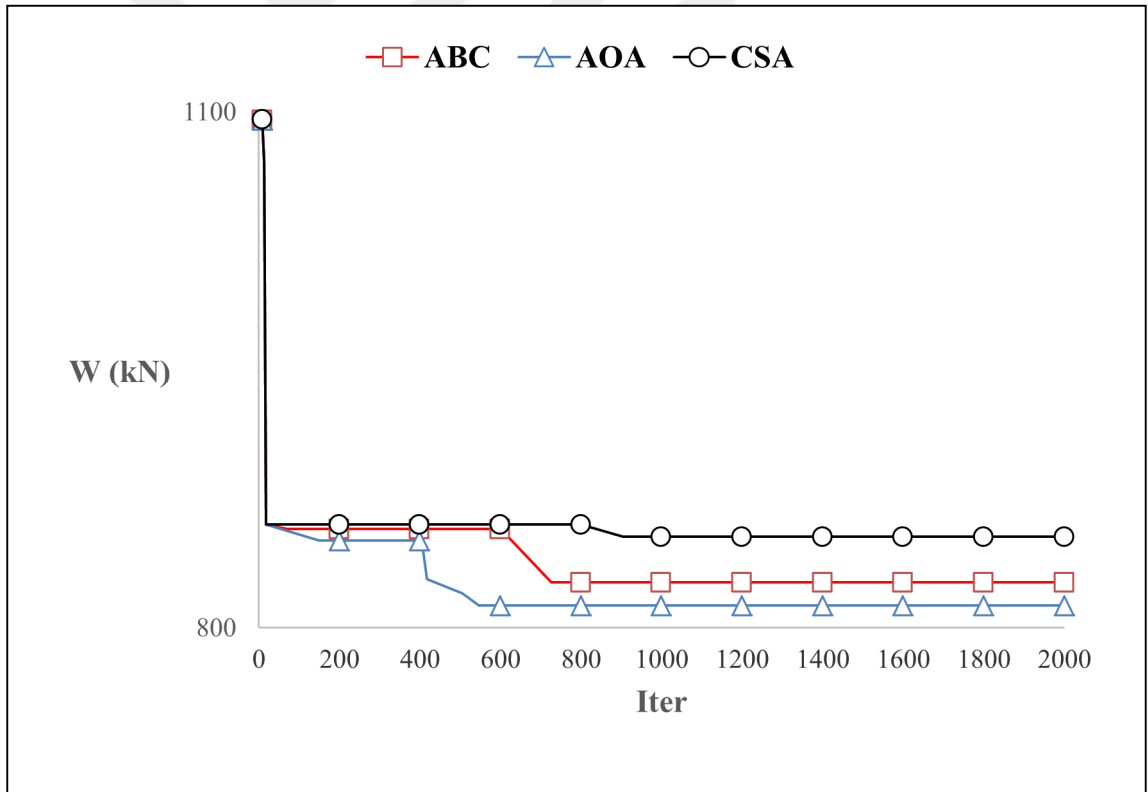
Grup numarası	Profil		
	ABC	AOA	CSA
1	W360X64	W460X128	W250X58
2	W530X66	W760X185	W610X92
3	W200X59	W310X107	W460X60
4	W200X100	W610X125	W530X123
5	W200X35.9	W200X86	W310X52
6	W530X101	W760X134	W460X113
7	W250X115	W410X75	W530X82
8	W530X150	W610X82	W530X109
9	W610X101	W410X53	W610X92
10	W690X152	W410X75	W760X185
11	W460X60	W410X53	W690X170
12	W610X82	W530X72	W840X176
13	W760X161	W310X143	W310X44.5
14	W840X193	W760X173	W360X91
15	W200X86	W310X52	W360X91
16	W200X86	W610X82	W530X101
17	W360X122	W310X107	W360X79
18	W690X125	W690X140	W530X150
19	W530X82	W360X64	W250X167
20	W530X150	W530X72	W840X176
21	W250X44.8	W760X161	W460X97
22	W610X174	W760X161	W460X128
23	W460X89	W460X74	W610X101
24	W610X92	W530X82	W840X193
25	W310X38.7	W250X101	W460X74
26	W530X138	W690X140	W840X226
27	W200X59	W310X79	W310X60
28	W410X60	W610X113	W530X66
29	W460X52	W360X44	W310X38.7
30	W250X38.5	W250X38.5	W250X38.5

4.3.3. 63FBNB kodlu tasarım örneği

63FBNB kodlu tasarım örneği ABC, AOA ve CSA optimizasyon algoritmaları kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.31’de verilmiştir. Elde edilen çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrileri Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Çizelge 4.32 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.31. 63FBNB optimum analiz sonuçları

	ABC	AOA	CSA
PMM	% 79	% 58	% 62
Δ	% 99	% 96	% 98
Δ_{toplam}	% 86.3	% 84.2	% 80.3
W_{best}	826.39 kN	812.93 kN	852.88 kN



Şekil 4.16. 63FBNB tasarım örneği için Iter – W eğrileri

Çizelge 4.32. 63FBNB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

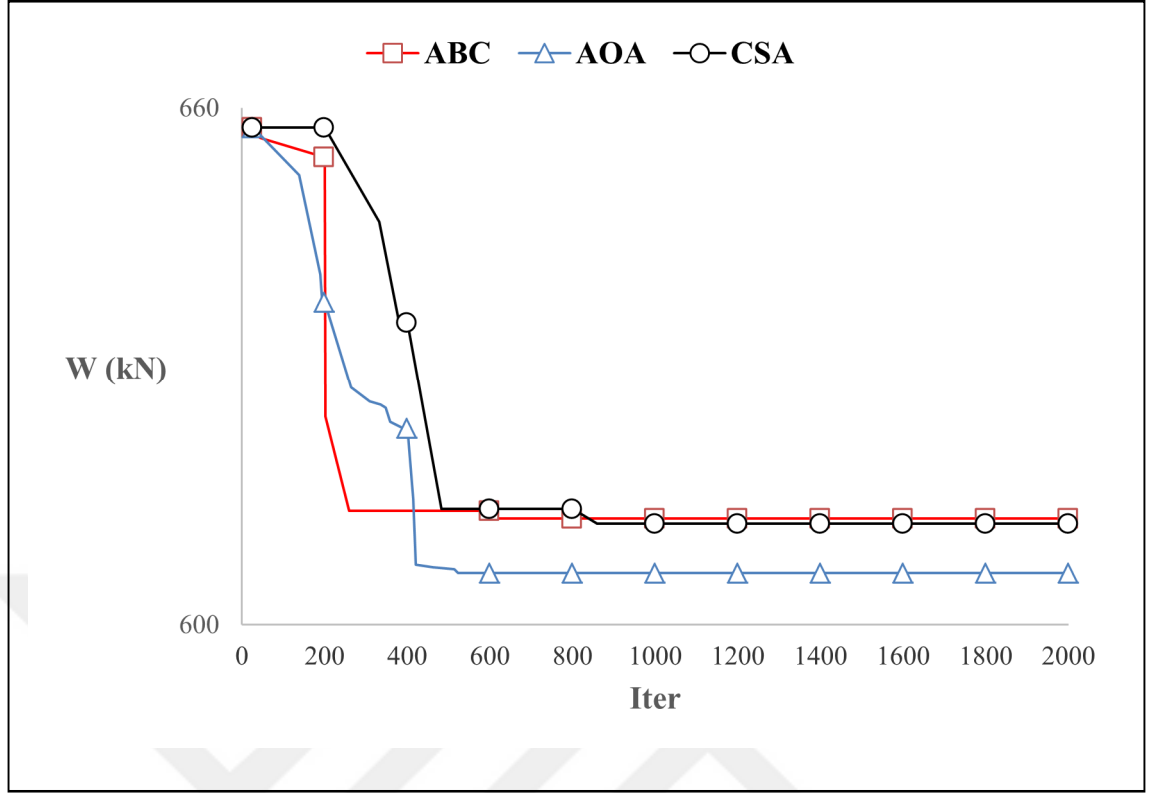
Grup numarası	Profil		
	ABC	AOA	CSA
1	W610X174	W460X113	W460X89
2	W610X155	W760X134	W760X134
3	W530X101	W460X97	W530X74
4	W530X82	W760X134	W760X147
5	W460X52	W460X60	W530X74
6	W610X82	W530X74	W530X74
7	W460X128	W410X67	W460X68
8	W410X53	W310X79	W310X79
9	W460X82	W360X64	W460X60
10	W410X67	W410X100	W250X101
11	W360X44	W360X44	W460X52
12	W360X44	W460X52	W460X60

4.3.4. 63SINB kodlu tasarım örneği

63SINB kodlu tasarım örneği ABC, AOA ve CSA optimizasyon algoritmaları kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.33'te verilmiştir. Elde edilen çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrileri Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Çizelge 4.34 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.33. 63SINB optimum analiz sonuçları

	ABC	AOA	CSA
PMM	% 88	% 90	% 65
Δ	% 98	% 99	% 98
Δ_{toplam}	% 84	% 86.5	% 65.7
W_{best}	612.32 kN	606 kN	611.73 kN



Şekil 4.17. 63SINB tasarım örneği için Iter – W eğrileri

Çizelge 4.34. 63SINB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

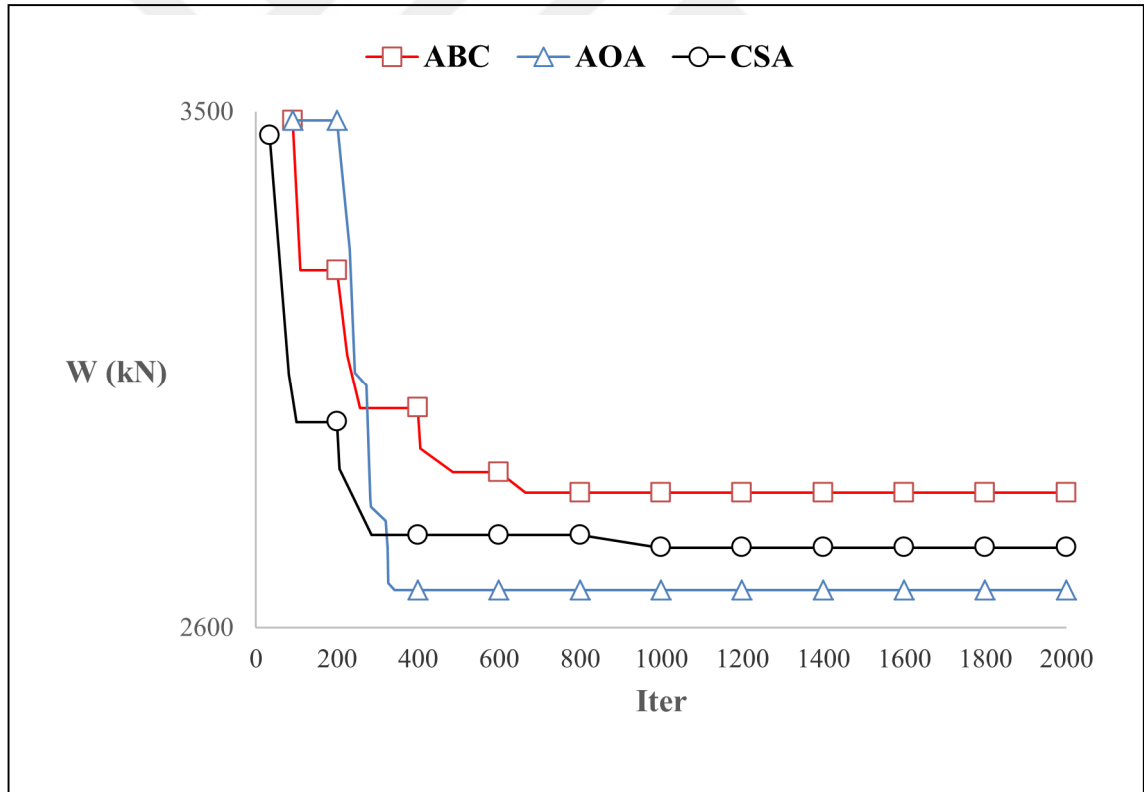
Grup numarası	Profil		
	ABC	AOA	CSA
1	W460X89	W460X52	W460X60
2	W610X92	W530X92	W530X82
3	W460X74	W250X73	W460X74
4	W610X82	W460X113	W310X129
5	W460X52	W250X32.7	W250X32.7
6	W410X53	W460X68	W530X66
7	W310X44.5	W410X46.1	W310X52
8	W410X67	W250X89	W530X72
9	W410X67	W250X73	W310X52
10	W530X66	W310X107	W310X117
11	W150X29.8	W200X26.6	W250X32.7
12	W250X38.5	W150X37.1	W250X38.5

4.2.5. 83FBNB kodlu tasarım örneği

83FBNB kodlu tasarım örneği ABC, AOA ve CSA optimizasyon algoritmaları kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.35'te verilmiştir. Elde edilen çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrileri Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Çizelge 4.36 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.35. 83FBNB optimum analiz sonuçları

	ABC	AOA	CSA
PMM	% 47	% 51	% 45
Δ	% 99	% 99	% 98
Δ_{toplam}	% 71.25	% 78.13	% 79
W_{best}	2835.74 kN	2665.35 kN	2740.19 kN



Şekil 4.18. 83FBNB tasarım örneği için Iter – W eğrileri

Çizelge 4.36. 83FBNB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

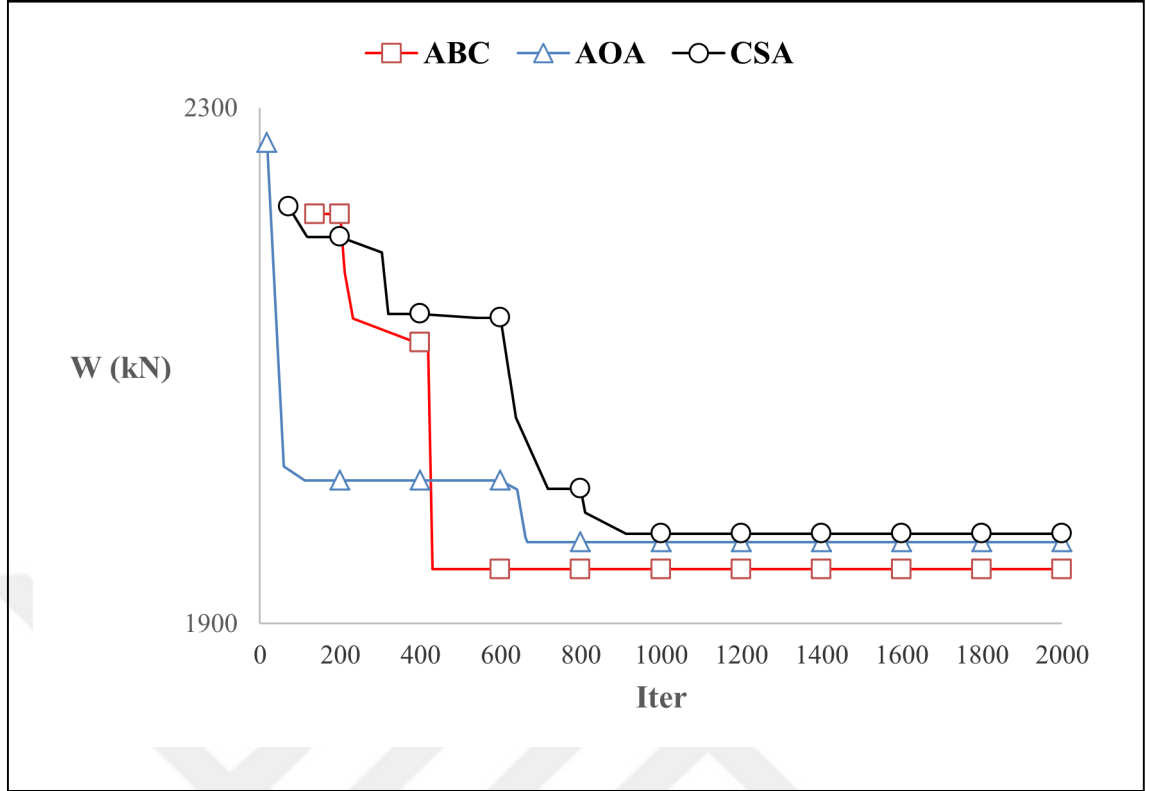
Grup numarası	Profil		
	ABC	AOA	CSA
1	W760X220	W840X176	W690X152
2	W1000X249	W690X125	W760X161
3	W840X193	W610X174	W840X210
4	W760X147	W690X140	W690X152
5	W610X155	W460X113	W530X138
6	W530X150	W530X150	W840X210
7	W410X53	W410X85	W530X72
8	W610X101	W610X82	W530X85
9	W310X52	W310X60	W360X57.8
10	W460X60	W530X74	W460X68

4.3.6. 83SINB kodlu tasarım örneği

83SINB kodlu tasarım örneği ABC, AOA ve CSA optimizasyon algoritmaları kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.37’de verilmiştir. Elde edilen çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrileri Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Çizelge 4.38 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.37. 83SINB optimum analiz sonuçları

	ABC	AOA	CSA
PMM	% 67	% 62	% 62
Δ	% 99	% 99	% 93
Δ_{toplam}	% 78.38	% 71	% 69.5
W_{best}	1942.12 kN	1963.14 kN	1969.64 kN



Şekil 4.19. 83SINB tasarım örneği için Iter – W eğrileri

Çizelge 4.38. 83SINB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

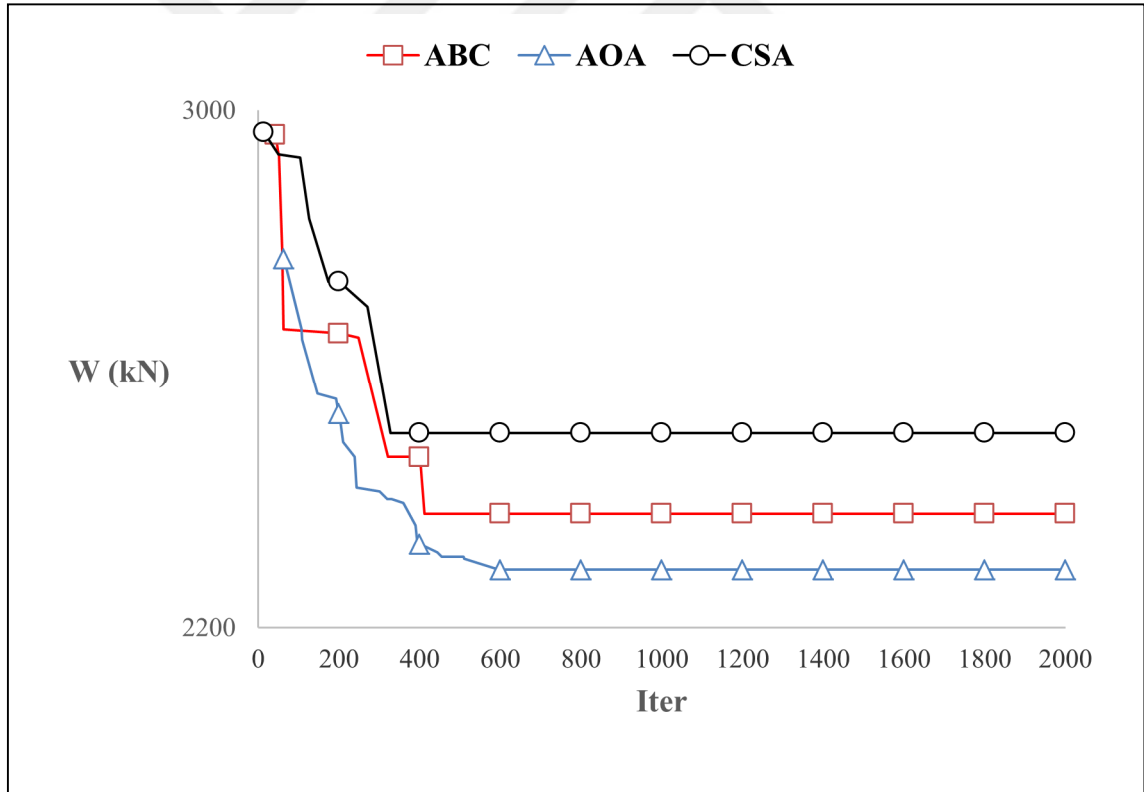
Grup numarası	Profil		
	ABC	AOA	CSA
1	W410X132	W460X97	W530X92
2	W610X101	W610X92	W690X140
3	W610X113	W760X161	W840X176
4	W410X100	W460X97	W310X86
5	W410X67	W530X85	W460X82
6	W610X92	W610X101	W690X140
7	W460X60	W410X53	W410X53
8	W460X68	W530X66	W460X52
9	W360X44	W460X52	W250X38.5
10	W460X52	W460X52	W460X60

4.3.7. 103FBNB kodlu tasarım örneği

103FBNB kodlu tasarım örneği ABC, AOA ve CSA optimizasyon algoritmaları kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.39’da verilmiştir. Elde edilen çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrileri Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Çizelge 4.40 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.39. 103FBNB optimum analiz sonuçları

	ABC	AOA	CSA
PMM	% 56	% 52	% 77
Δ	% 98	% 99	% 93
Δ_{toplam}	% 82.8	% 83.6	% 82
W_{best}	2376.17 kN	2289.42 kN	2501.16 kN



Şekil 4.20. 103FBNB tasarım örneği için Iter – W eğrileri

Çizelge 4.40. 103FBNB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

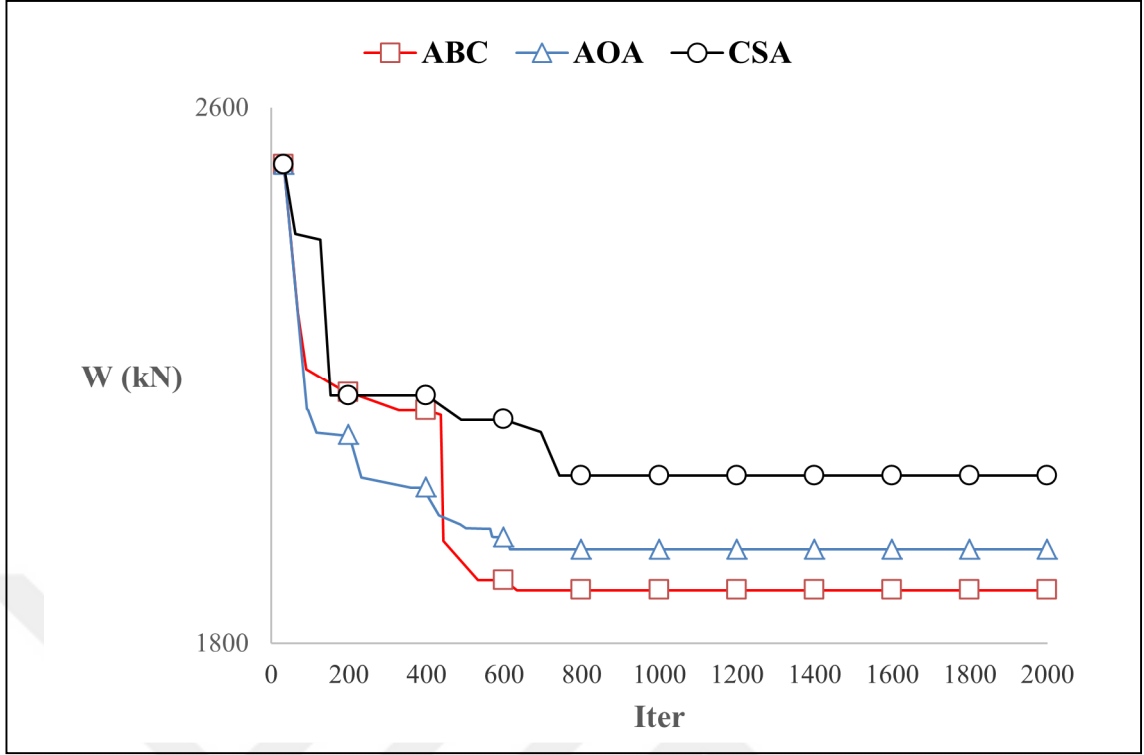
Grup numarası	Profil		
	ABC	AOA	CSA
1	W610X113	W250X67	W530X196
2	W530X66	W250X58	W360X134
3	W410X60	W200X52	W360X101
4	W760X173	W840X176	W840X251
5	W760X161	W840X176	W610X241
6	W200X59	W310X60	W310X117
7	W920X238	W690X170	W610X82
8	W460X106	W460X158	W610X82
9	W310X67	W360X64	W360X72
10	W1000X222	W610X195	W610X153
11	W920X201	W360X134	W530X123
12	W460X97	W360X134	W310X52
13	W410X67	W460X52	W610X82
14	W460X52	W360X57.8	W460X68
15	W360X44	W250X38.5	W250X49.1
16	W530X72	W530X74	W460X68
17	W460X60	W410X67	W460X60
18	W310X38.7	W310X38.7	W310X38.7

4.3.8. 103SINB kodlu tasarım örneği

103SINB kodlu tasarım örneği ABC, AOA ve CSA optimizasyon algoritmaları kullanılarak analiz edilmiş ve optimum çözümler elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.41’de verilmiştir. Elde edilen çözümlerin iterasyon (Iter) – ağırlık (W) eğrileri Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Çizelge 4.42 tasarım örneğinin optimum çözümünden her bir eleman grubu için elde edilen profillerin listesini sunmaktadır.

Çizelge 4.41. 103SINB optimum analiz sonuçları

	ABC	AOA	CSA
PMM	% 93	% 95	% 89
Δ	% 98	% 98	% 93
Δ_{toplam}	% 76.7	% 73.5	% 79.2
W_{best}	1879.34 kN	1940.23 kN	2050.34 kN



Şekil 4.21. 103SINB tasarım örneği için Iter – W eğrileri

Çizelge 4.42. 103SINB tasarım örneği için en iyi grup eleman profilleri

Grup numarası	Profil		
	ABC	AOA	CSA
1	W460X68	W410X60	W530X138
2	W460X68	W310X60	W460X89
3	W460X60	W310X60	W360X79
4	W610X92	W530X109	W610X155
5	W530X74	W530X82	W610X113
6	W360X72	W530X74	W530X92
7	W690X170	W530X123	W460X158
8	W360X122	W310X107	W310X158
9	W250X115	W310X74	W310X74
10	W920X201	W760X284	W690X152
11	W310X158	W610X82	W690X125
12	W250X73	W200X52	W460X68
13	W460X52	W460X52	W360X57.8
14	W250X32.7	W250X38.5	W250X38.5
15	W130X23.8	W200X26.6	W200X26.6
16	W460X52	W530X66	W460X68
17	W460X68	W530X66	W410X60
18	W250X32.7	W250X32.7	W150X37.1

4.4. Sabit Tabanlı Sistemlerle İzolasyon Tabanlı Sistemlerin Karşılaştırılması

Bölüm 4.3'te izolasyon tabanlı ve sabit tabanlı tüm sistemler için elde edilen optimum ağırlıklar çalışmanın bu bölümünde karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda izolasyon tabanlı sistemlerin sabit tabanlı sistemlere göre sağladığı ağırlık avantajı elde edilmiş ve Çizelge 4.43'te verilmiştir.

Çizelge 4.43. Sabit tabanlı ve izolasyon tabanlı sistemlerin optimum ağırlık karşılaştırmaları

	Optimum Ağırlık (kN)				Optimum Ağırlık (kN)			Avantaj (%)		
	ABC	AOA	CSA		ABC	AOA	CSA	ABC	AOA	CSA
42FBNB	49.14	-	-	42SINB	35.16	-	-	28.45	-	-
42FBB	37.76	-	-	42SIB	35.32	-	-	6.46	-	-
82FBNB	198.05	-	-	82SINB	153.63	-	-	22.43	-	-
82FBB	181.68	-	-	82SIB	164.51	-	-	9.45	-	-
43FBNB	503.58	459.7	492.35	43SINB	414.74	407.04	412.78	17.64	11.46	16.16
63FBNB	826.39	812.93	852.88	63SINB	612.32	606	611.73	25.90	25.45	28.27
83FBNB	2835.74	2665.35	2740.19	83SINB	1942.12	1963.14	1969.64	31.51	26.35	28.12
103FBNB	2376.17	2289.42	2501.16	103SINB	1879.34	1940.23	2050.34	20.91	15.25	18.02

4.5. İzolasyon Tabanlı Sistemlerin Maliyet Üzerine Bir Değerlendirmesi

Yapılan analizler neticesinde, sismik izolasyonun üst karkas yapı üzerinde ağırlık açısından bir avantaj yarattığı öngörülebilir. Fakat bu avantajın yanı sıra sismik izolasyonun yapının toplam maliyeti üzerinde de bir avantaj sağlayıp sağlamayacağı yaklaşık maliyet hesaplarıyla değerlendirilebilir. Bir çelik karkas yapıda birleşim elemanlarının ağırlığının karkas yapı ağırlığına oranının yaklaşık %10-50 arasında değiştiği belirtilmiş (Bouwen Met Staal 2000) ve bu oranın büyüklüğü birleşim elemanlarının karmaşıklık durumuna göre değişmektedir. Yapının karkas maliyetinin, yapının toplam maliyetine oranının 4–8 katlı yapılar için yaklaşık %40 ve 8 kat üstü yapılar için ise yaklaşık %45 olarak alınabileceği belirtilmiştir (insapedia 2018). Ayrıca sismik izolasyon maliyetinin de toplam yapı maliyetinin yaklaşık %10'u kadar olduğu yapılan bir takım çalışmalarda belirtilmiştir (Sayani and Ryan 2009; van de Lindt ve Jiang 2014). Anlatıla gelen bilgiler ışığında, toplam yapı maliyeti karkas yapı ağırlığının bir fonksiyonu olarak Bağntı 4.1'de belirtildiği gibi yazılabilir.

$$YM = \begin{cases} M \cdot W_{karkas} \cdot \left[(1 + (\%10 - 50)) \cdot \frac{1}{\%40 - 45} \right] \cdot \%110 & , \text{ IT için} \\ M \cdot W_{karkas} \cdot \left[(1 + (\%10 - 50)) \cdot \frac{1}{\%40 - 45} \right] & , \text{ ST için} \end{cases} \quad (4.1)$$

Bağntı (4.1)'de "YM" toplam yapı maliyetini, "M" karkas yapının birim ağırlık maliyetini, " W_{karkas} " karkas yapının ağırlığını, "IT" izolasyon tabanlı yapıyı ve "ST" sabit tabanlı yapıyı temsil eder. Bağntı (4.1)'de görüldüğü gibi, yaklaşık toplam

maliyet karkas yapı ağırlığı ile doğru orantılı olmakla birlikte sismik izolasyonun maliyet açısından avantaj sağlayabilme durumu karkas yapı ağırlıkları açısından değerlendirilebilir. Bu değerlendirmede, hangi çeşit birleşim elemanlarının kullanıldığı tam olarak bilinemeyeceğinden, hem sismik izolasyon tabanlı hem de sabit tabanlı yapıların farklı birleşim elemanı ağırlık yüzdeleri için bir hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplama için sabit tabanlı ve izolasyon tabanlı yapıların toplam maliyet bazlı ağırlıkları Bağntı (4.2) ve (4.3)'te verilmiştir.

$$YM_{ST} = (1+x) \cdot W_{opt}(ST) \cdot \frac{1}{\%40} \quad (4.2)$$

$$YM_{IT} = (1+y) \cdot W_{opt}(IT) \cdot \frac{1}{\%40} \cdot (1+\%10) \quad (4.3)$$

Burada, “YM_{ST}” ve “YM_{IT}” sırasıyla sabit tabanlı ve izolasyon tabanlı yapıların maliyet bazlı ağırlıklarıdır. Ayrıca “W_{opt(ST)}” ve “W_{opt(IT)}” sırasıyla sabit tabanlı ve izolasyon tabanlı yapıların optimum karkas ağırlıklarıdır. “x” sabit tabanlı yapıda kullanılan birleşim elemanları ağırlık yüzdesini ve “y” sabit tabanlı yapıda kullanılan birleşim elemanları ağırlık yüzdesini ifade etmektedir. “YM_{ST}” değerinin “YM_{IT}” değerine oranına göre sismik izolasyonun yapının toplam maliyeti açısından avantaj sağlayıp sağlamayacağı hakkında bir değerlendirme yapılabilir (Bağntı (4.4)).

$$\frac{YM_{ST}}{YM_{IT}} = \begin{cases} \frac{(1+x) \cdot W_{opt}(ST)}{(1+\lambda x) \cdot W_{opt}(IT) \cdot (1+\%10)} > 1 & \text{sismik izolasyon avantaj sağlar} \\ \frac{(1+x) \cdot W_{opt}(ST)}{(1+\lambda x) \cdot W_{opt}(IT) \cdot (1+\%10)} < 1 & \text{sismik izolasyon avantaj sağlamaz} \end{cases} \quad (4.4)$$

Burada $\lambda x = y$ olarak verilmiştir. Bağntı (4.4)'e bağlı olarak sismik izolasyonlu yapılarda, sabit tabanlı yapılarda kullanılan birleşim elemanlarının kaç katına kadar birleşim elemanları kullanılırsa maliyetin sabit kalacağı “λ” değeriyle ölçülebilir. Böylece maliyet bazlı ağırlıkların birbirlerine eşit olduğu durum göz önüne alınarak “λ” parametresinin sınır değerleri elde edilebilir (Bağntı (4.5)). Çizelge 4.44, 4.45, 4.46 ve 4.47 sırasıyla 2D, 3D-ABC, 3D-AOA 3D-CSA modelleri için değişken “x” değerlerine bağlı olarak maliyeti sabit tutabilecek “λ” ve “λx” sınır değerlerini göstermektedir.

$$\lambda_{sınır} = \frac{(1+x) \cdot W_{opt}(ST) - W_{opt}(IT) \cdot (1+\%10)}{x \cdot W_{opt}(IT) \cdot (1+\%10)} \quad (4.5)$$

Çizelge 4.44. 2D modeller için λ ve λx değerleri

	x (%)								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	λ								
4 Katlı 2D (Yalın)	3.98	3.07	2.62	2.35	2.17	2.04	1.95	1.87	1.81
4 Katlı 2D (Güçlendirmeli)	0.69	0.78	0.83	0.86	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92
8 Katlı 2D (Yalın)	2.89	2.32	2.03	1.86	1.75	1.66	1.60	1.55	1.52
8 Katlı 2D (Güçlendirmeli)	1.04	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01
	λx (%)								
	39.8	46.1	52.5	58.8	65.2	71.5	77.9	84.2	90.6
	6.9	11.8	16.6	21.5	26.3	31.2	36.1	40.9	45.8
	28.9	34.8	40.6	46.5	52.4	58.2	64.1	69.9	75.8
	10.4	15.5	20.5	25.5	30.5	35.5	40.6	45.6	50.6

Çizelge 4.45. 3D-ABC algoritmalı model için λ ve λx değerleri

	x (%)								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	λ								
4 Katlı 3D	2.14	1.80	1.62	1.52	1.45	1.40	1.36	1.33	1.31
6 Katlı 3D	3.50	2.74	2.36	2.13	1.98	1.88	1.79	1.73	1.68
8 Katlı 3D	4.60	3.51	2.96	2.64	2.42	2.26	2.15	2.05	1.98
10 Katlı 3D	2.64	2.15	1.90	1.75	1.65	1.58	1.52	1.48	1.45
	λx (%)								
	21.4	26.9	32.5	38.0	43.5	49.0	54.5	60.1	65.6
	35.0	41.1	47.2	53.4	59.5	65.6	71.8	77.9	84.0
	46.0	52.6	59.3	65.9	72.6	79.2	85.8	92.5	99.1
	26.4	32.2	37.9	43.7	49.4	55.2	60.9	66.7	72.4

Çizelge 4.46. 3D-AOA algoritmalı model için λ ve λx değerleri

	x (%)								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	λ								
	4 Katlı 3D	1.29	1.20	1.16	1.13	1.12	1.10	1.09	1.08
	6 Katlı 3D	3.41	2.68	2.32	2.10	1.95	1.85	1.77	1.66
8 Katlı 3D	3.58	2.80	2.41	2.17	2.02	1.90	1.82	1.75	1.70
10 Katlı 3D	1.80	1.56	1.44	1.36	1.32	1.28	1.25	1.23	1.22
λx (%)									
	12.9	18.1	23.2	28.3	33.5	38.6	43.7	48.9	54.0
	34.1	40.2	46.3	52.4	58.5	64.6	70.7	76.8	82.9
	35.8	41.9	48.1	54.3	60.5	66.6	72.8	79.0	85.1
	18.0	23.4	28.7	34.1	39.5	44.8	50.2	55.5	60.9

Çizelge 4.47. 3D-CSA algoritmalı model için λ ve λx değerleri

	x (%)								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	λ								
	4 Katlı 3D	1.93	1.65	1.51	1.42	1.37	1.33	1.30	1.27
	6 Katlı 3D	3.94	3.05	2.60	2.34	2.16	2.03	1.94	1.86
8 Katlı 3D	3.91	3.03	2.59	2.32	2.15	2.02	1.93	1.85	1.79
10 Katlı 3D	2.20	1.84	1.65	1.54	1.47	1.42	1.38	1.35	1.33
λx (%)									
	19.3	24.7	30.1	35.5	41.0	46.4	51.8	57.2	62.6
	39.4	45.8	52.1	58.4	64.8	71.1	77.4	83.8	90.1
	39.1	45.4	51.8	58.1	64.4	70.7	77.1	83.4	89.7
	22.0	27.5	33.1	38.6	44.2	49.7	55.3	60.8	66.3

Tablolara bakıldığında sadece 4 katlı 2D güçlendirmeli model için sabit tabanlı yapının birleşim elemanları ağırlık yüzdesinin %10 olduğu durumda izolatör tabanlı yapının birleşim elemanları yüzdesi minimum sınır değer olan %10'un altında çıkmıştır. Diğer tüm sonuçlarda ise sismik izolasyonlu model için kullanılabilir birleşim elemanları ağırlık yüzdeleri yüksek çıkmıştır. Sismik izolasyonlu modellerde bu değerlerin altında bir yüzdeyle uygulanacak birleşim elemanları için sismik izolasyonlu yapının bir maliyet avantajı sağlayacağı söylenebilir. Bu hesaplamalar yaklaşık maliyet değerlendirmesine göre yapıldığından sismik izolasyonun mutlak bir maliyet avantajına sahip olduğu ifade edilemez. Mutlak bir avantajdan bahsedebilmek için detaylı bir maliyet hesabının yapılması gerekmektedir.

5. TARTIŞMA

Bu bölümde bulgular kısmında analizi yapılan 8 tane 2D ve 8 tane 3D tasarım örneklerinin sonuçları detaylı şekilde yorumlanmıştır.

5.1. 2D Tasarım Örneklerinden Elde Edilen Bulgularının Tartışılması

2D tasarım örneklerinin ilki olan 42FBNB tasarım örneğinin sonuçlarına bakıldığında mukavemet yük/kapasite oranının sınır değerden uzak olduğu, katlar arası öteleme oranının sınır değere oldukça yakın olduğu görülmektedir. Böylece deplasman sınırlayıcısının bu örnekte daha hakim olduğu anlaşılmaktadır. Aynı örneğin arama geçmişi diyagramına bakıldığında yapay arı kolonisi algoritmasının performansının iyi seviyede olduğu ve iyi bir yakınsama oranına sahip olduğu görülmektedir.

2D bir diğer tasarım örneği olan 42FBB modelinin sonuçları incelendiğinde birinci örnekten farklı olarak mukavemet yük/kapasite oranının sınır değere oldukça yakın olduğu, buna karşılık katlar arası ve en üst kat öteleme oranlarının ise sınır değerden uzak olduğu görülmektedir. Bununla beraber en düşük ağırlık değerinin birinci örnekten daha düşük olduğu görülmektedir. Aynı örneğin arama geçmişi incelendiğinde 200. ve 300. iterasyonlar arasında az da olsa bir yakınsama problemi görüle de genel olarak algoritmanın iyi bir yakınsama oranına sahip olduğu görülmektedir.

2D tasarım örneklerinden 42SINB kodlu tasarım örneğinin bir başka deyişle birinci örneğin izolatörlü tasarım modelinin sonuçlarına baktığımızda hem mukavemet yük/kapasite hem de katlar arası öteleme değerlerinin sınır değerlere oldukça yakın olduğu, en üst kat ötelemesinin de sınır değere yakın olmasa da oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Böylece bu örnekte tüm sınırlayıcıların etkin olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte aynı örneğin arama geçmişi grafiğine bakıldığında iyi bir yakınsama oranına sahip olunduğu görülmektedir.

42SIB tasarım örneğine bir başka deyişle 42FBB tasarım örneğinin izolatörlü modeline bakıldığında, 42FBB örneğine benzer şekilde sadece mukavemet yük/kapasite oranının hakim olduğu diğer sınırlayıcıların optimizasyon işleminde çok hakim olmadığı görülmektedir. Örneğin arama geçmişi diyagramı incelendiğinde diyagramın iyi bir eğri yapısına sahip olsa da bulunan optimum çözüm sayısının az olmasından dolayı yöntemin yakınsama kısmında zorlandığı düşünülmektedir.

2D tasarım örneklerinden beşincisi olan 82FBNB kodlu model incelendiğinde katlar arası öteleme sınırlayıcısının en hakim sınırlayıcı olduğu görülmektedir. Ancak bu oran sınır değere çok yakın değildir. Bu nedenle optimizasyon algoritmasının sınırlara yakın bir çözüm üretmediği düşünülmektedir. Aynı örneğin arama geçmişi diyagramına bakıldığı zaman iyi bir yakınsama oranına sahip olduğu görülmektedir.

82FBB kodlu tasarım örneğinin sonuçlarına bakıldığı zaman mukavemet yük/kapasite sınırlayıcı oranının sınır değere oldukça yakın olduğu benzer şekilde katlar arası öteleme oranının da oldukça yüksek olduğu görülmektedir. En üst kat ötelemesi en düşük orana sahip olmasına karşın yük kapasite oranı %50'den yukarıdadır. Aynı

örneğin arama geçmişi diyagramına bakıldığı zaman iyi bir yakınsama oranına sahip olduğu görülmektedir.

Bir diğer 2D tasarım örneği olan 82SINB kodlu örneğin sonuçları incelendiği zaman katlar arası öteleme oranının sınır değere oldukça yakın sonuç ürettiği, diğer iki sınırlayıcı olan mukavemet yük/kapasite ve en üst kat ötelemesi sınırlayıcılarının da oldukça etkin olduğu görülmektedir.

2 boyutlu son tasarım örneği olan 82SIB örneğinin sonuçları incelendiği zaman mukavemet yük/kapasite sınırlayıcısının sınır değere oldukça yakın olduğu, diğer iki sınırlayıcı olan öteleme sınırlayıcısı ve katlar arası öteleme sınırlayıcı değerlerinin %50'nin altında olduğu görülmektedir. Arama geçmişi diyagramına bakıldığı zaman optimizasyon algoritmasının iyi bir yakınsama oranına sahip olduğu görülmektedir.

5.2. 3D Tasarım Örneklerinden Elde Edilen Bulguların Tartışılması

3 boyutlu tasarım örnekleri yapay arı kolonisi Arşimet optimizasyon algoritması ve Karga algoritması ile optimize edildiği için bu örneklerde sadece hangi sınırlayıcıların hakim olduğu değil aynı zamanda yöntemlerinin performanslarının da birbirleriyle karşılaştırılmaları yapılmıştır.

3D tasarım örneklerinden ilki olan 43FBNB tasarım örneği incelendiğinde Archimedes optimizasyon algoritması en iyi çözümü elde etmiştir. Bu çözümden elde edilen ağırlık karga arama algoritmasından elde edilenden yaklaşık olarak % 6.63, yapay arı kolonisi algoritmasından elde edilenden de yaklaşık olarak % 8.71 daha hafiftir. Elde edilen Optimum tasarımların kritik sınırlayıcı değerlerine bakıldığında katlar arası öteleme oranının en hakim sınırlayıcı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte en üst kat öteleme sınırlayıcısı sınır değere oldukça yakın bir sonuç elde etmiştir. Arşimet algoritması ve karga arama algoritmalarının mukavemet sınırlayıcı oranları % 60'ın üzerinde olmasına rağmen yapay arı kolonisi optimizasyonunun mukavemet sınırlayıcı oranı % 40'ın altında kalmıştır. Yöntemlerin arama geçmişleri diyagramlarına bakıldığında yapay arı kolonisi ve Karga arama algoritması başlangıç çözümlerini bulmada sıkıntı yaşamış ve iyi bir yakınsama elde edememiştir. Buna karşın Archimedes optimizasyon algoritmasının iyi bir yakınsama oranına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum Archimedes optimizasyon algoritmasının en iyi performansı göstermesine sebep olmuştur.

3D tasarım örneklerinden ikincisi olan 43SINB kodlu tasarım örneğinin sonuçları incelendiğinde birinci örneğe benzer şekilde Archimedes optimizasyon algoritması en düşük ağırlığa sahip tasarımı elde etmiştir. Karga arama algoritması ve yapay arı kolonisi optimizasyon algoritmaları daha yüksek ağırlıklı tasarımları elde etmelerine karşın yöntemler arasındaki maksimum fark % 2'nin altındadır. Yöntemlerindeki sınırlayıcılarının oranlarına bakıldığında tüm sınırlayıcıların yük/kapasite oranı değerleri % 60'ın üzerinde olduğu görülmektedir. İlk örnekte olduğu gibi ikinci örnekte de en hakim sınırlayıcının katlar arası öteleme sınırlayıcısı olduğu görülmektedir. Yöntemin arama geçmiş diyagramları incelendiğinde 3 yöntemin de ideale yakın bir yakınsama oranlarına sahip olduğu görülmüştür.

Bir diğer 3D tasarım örneği olan 63FBNB kodlu tasarım örneği sonuçlarına bakıldığında Archimedes optimizasyon algoritmasının en düşük ağırlıklı tasarımı elde ettiği görülmüştür. Yapay arı kolonisi optimizasyon algoritması en iyi ikinci tasarımı, karga arama algoritması ise en yüksek ağırlığa sahip tasarımı elde etmiştir. En kötü ve en iyi tasarım arasındaki yaklaşık olarak % 4.68 civarındadır. Örneğe ait sınırlayıcı oranlarına bakıldığı zaman ilk iki örneğe benzer şekilde katlar arası öteleme oranının hakim sınırlayıcı olduğu görülmektedir. Burada katlar arası öteleme oranları neredeyse % 100'e yaklaşmıştır. En üst kat ötelemesi sınırlayıcısı oranının da sınır değere oldukça yakın olduğu ve değer % 80'in üzerinde olduğu görülmüştür. Mukavemet yük/kapasite oranları en düşük sınırlayıcı oranları olmasına karşın en düşük olanın oranının % 50'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu örneğin arama geçmişi diyagramlarına bakıldığı zaman uygulanan 3 optimizasyon algoritmasının da iyi bir yakınsama oranına sahip olduğu görülmüştür.

63SINB kodlu tasarım örneğinin sonuçlarına bakıldığı zaman bütün optimizasyon sonuçlarının birbirine yakın olduğu en iyi çözüm bulan Archimedes optimizasyon algoritması ile en kötü sonucu bulan yapay arı kolonisi optimizasyonu arasındaki farkın % 1 civarında olduğu görülmüştür. Diğer örneklerde olduğu gibi bu örnekte de katlar arası öteleme sınırlayıcısının en hakim sınırlayıcı olduğu, diğer sınırlayıcılar olan en üst kat öteleme ve mukavemet sınırlayıcılarının da sınır değere oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Beşinci tasarım örneği olan 83FBNB kodlu tasarım örneğinin sonuçlarına bakıldığında Archimedes optimizasyon algoritmasının yine en iyi çözümü elde ettiği, yapay arı kolonisi optimizasyon algoritmasının ise en kötü çözümü elde ettiği ve bu iki sonuç arasındaki farkın yaklaşık % 15 olduğu görülmüştür. Diğer örneklerde olduğu gibi katlar arası öteleme oranının hakim sınırlayıcı olduğu, katlar arası öteleme oranlarının % 70'den fazla olduğu, mukavemet sınırlayıcı oranlarının ise %50 den düşük olduğu görülmektedir. Yöntemlerin arama geçmişlerine bakıldığı zaman yakınsama oranlarının diğer örneklerdekine göre biraz daha düşük olduğu düşünülmektedir.

Altıncı 3D tasarım örneği 83SINB incelendiğinde diğer örneklerden farklı olarak yapay arı kolonisi optimizasyon algoritmasının en iyi sonucu bulduğu görülmektedir. En ağır tasarımı karga arama algoritması elde ederken bu sonucun en iyi tasarım ağırlığından yaklaşık olarak % 2 daha fazla olduğu görülmektedir. Diğer örneklere benzer şekilde bu örnekte de en hakim sınırlayıcının katlar arası öteleme sınırlayıcısı olduğu, mukavemet yük/kapasite ve en üst kat öteleme sınırlayıcı oranlarının yüzde 60'dan daha fazla olduğu görülmektedir.

Yedinci 3D tasarım örneği olan 103FBNB kodlu tasarım örneği incelendiğinde Archimedes optimizasyon algoritmasının en düşük ağırlıklı çözümü elde ettiği yapay arı kolonisi optimizasyonu yönteminin ikinci en iyi çözümü elde ettiği görülmektedir. Yapay arı kolonisi optimizasyonu yöntemiyle Archimedes optimizasyon yönetimi arasındaki farkın ihmal edilebilir seviyede olduğu ve en yüksek ağırlıklı çözümü elde eden karga arama optimizasyon algoritması ile diğer iki çözüm arasında yaklaşık olarak % 10'luk bir fark olduğu görülmüştür.

İncelenen son örnek olan 103SINB kodlu tasarım rneği incelendiğinde yapay arı kolonisi optimizasyon yönteminin en iyi çözüm elde ettiği, Archimedes optimizasyon algoritmasının en iyi ikinci çözümü elde ettiği ve en kötü performansı gösteren karga arama algoritmasından gelen sonuçla en iyi sonuç arasındaki fark % 7 civarındadır. Yöntemlerin arama geçmişleri incelendiğinde yapay arı kolonisi hariç diğer iki optimizasyon yönteminin iyi bir yakınsama oranına sahip olduğu, yapay arı kolonisinin bu çözüm için iyi bir performans göstermediği görülmüştür.

Bulgular kısmında verilen sonuç değerlerine bağlı olarak, bu çalışmadan genel olarak yapılan çıkarımlar bir sonraki bölüm olan sonuçlar kısmında verilecektir.



6. SONUÇLAR

Tez çalışmasından elde edilen bulgular doğrultusunda bir takım çıkarımlar yapılmış ve bu çıkarımlar aşağıda madeler halinde verilmiştir:

- Sismik izolasyonun yapının optimum ağırlığına olan etkisi incelendiğinde, izolatör sisteminin sunduğu ağırlık avantajının değişiminde yapının kat sayısı, yapının düzenli geometriye sahip olup olmadığı ve yapıda güçlendirme güçlendirme olup olmadığı durumlarının önemli birer parametreler olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak tüm tasarım örnekleri göz önüne alındığında %6.46 ile %31.51 arasında izolatörlerin ağırlık avantajı sağladığı görülmektedir.
- 2 boyutlu tasarım örnekleri incelendiğinde güçlendirme güçlendirmeli modeller için yüksek katlı yapılarda sismik izolatörlerin daha fazla ağırlık avantajı sağladığı, buna karşın yalın modeller için düşük katlı yapılarda sismik izolatörlerin daha fazla ağırlık avantajı sağladığı görülmektedir.
- 2 boyutlu güçlendirmeli izolatörsüz yapı modellerinde mukavemet sınırlayıcılarının daha hakim oldukları, yalın ve izolatörsüz yapı modellerinde öteleme sınırlayıcılarının -özellikle katlar arası öteleme sınırlayıcısının- daha hakim sınırlayıcı olduğu görülmüştür.
- 2 boyutlu yalın ve izolatörlü yapı modellerinde tüm sınırlayıcıların limit değerlere yaklaştığı görülmüştür. Buna karşın 2 boyutlu güçlendirmeli ve izolatörlü yapı modellerinde ise güçlendirmeli izolatörsüz modellere benzer şekilde sadece mukavemet sınırlayıcılarının hakim olduğu görülmektedir.
- Yapay arı kolonisi optimizasyon yöntemi 2 boyutlu yapı sistemlerinin optimizasyon probleminde ideale yakın bir performans sergilemiştir. Aynı yöntemin arama geçmişine bakıldığında 42FBNB kodlu tasarım örneği dışında tüm örneklerde iyi bir yakınsama oranına sahip olduğu görülmektedir.
- Düzenli üç boyutlu yapı modelleri incelendiğinde kat yüksekliği arttıkça sismik izolasyonun üst yapıya sunduğu maliyet avantajının azaldığı, buna karşın düzensiz üç boyutlu yapı modellerinde ise kat yüksekliği arttıkça bu avantajın arttığı görülmektedir.
- Düzenli ve düzensiz yapılar karşılaştırıldığında düzensiz yapılarda sismik izolasyonun daha fazla ağırlık avantajı sunduğu söylenebilir.
- 3D tasarım modelleri için kullanılan metasezgisel optimizasyon yöntemlerinin performansları birbirleriyle karşılaştırıldığında 8 katlı ve 10 katlı sismik izolatörlü yapı modelleri dışında Archimedes optimizasyon algoritmasının en iyi optimum sonucu verdiği açıkça görülmektedir.

- 3D tasarım modelleri için kullanılan metasezgisel optimizasyon yöntemlerinin performansları birbirleriyle karşılaştırıldığında 8 katlı ve 10 katlı sismik izolatörlü yapı modelleri dışında Archimedes optimizasyon algoritmasının en iyi optimum sonucu verdiği, bahsedilen bu iki harici örnekte ise yapay arı kolonisi optimizasyonu algoritmasının en iyi tasarımı elde ettiği açıkça görülmektedir. Karga arama algoritması, diğer iki algoritmaya göre daha kötü performans sergilemiş gibi görünse de aralarındaki farkın çok olmadığı dolayısıyla bu yöntemin de iyi bir performans sergilediği düşünülmektedir. Ayrıca tüm 3D örneklerde kullanılan optimizasyon algoritmalarının iyi bir yakınsama oranına sahip olduğu görülmektedir.
- Üç boyutlu yapı modellerinin hepsinde katlar arası öteleme sınırlayıcıları en hakim sınırlayıcılardır ve en üst kat ötelemesi sınırlayıcıları da sınır değerlere yakın çıkmıştır. Bununla bu modellerin izolatörlü olanlarında mukavemet sınırlayıcılarının da sınır değere oldukça yakın olduğu görülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Ad Hoc Committee on Serviceability, Structural serviceability 1986. A critical appraisal and research needs. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 112(12): 2646–2664.
- Adami, C. 1998. An introduction to Artificial Life. Springer-Verlag/Telos, Berlin, Germany, 374 p.
- Ahadzadeh Kolour, A., Narges, M. C. B., and Chenaghlo, M. 2021. Multi-Objective Optimum Design of Nonlinear Viscous Dampers in Steel Structures Based on Life Cycle Cost. *Structures*, 34: 3776–3788.
- Akay, B., Karaboga, D. 2006. An artificial bee colony (ABC) algorithm for numeric function optimization, Proceedings of IEEE Swarm Intelligence Symposium, ss. 13-19, May 12–14, Indianapolis, Indiana, USA.
- Akbari, J. and Ayubirad, M. S. 2017. Seismic Optimum Design of Steel Structures Using Gradient-Based and Genetic Algorithm Methods. *International Journal of Civil Engineering*, 15 (2): 135–148.
- Anonymous 1: <https://insapedia.com/insaat-bina-imalat-yuzdeleri/> [Son erişim tarihi: 28.11.2021].
- Anonymous 2: Profile connections file online. <https://bouwenmetstaal.nl/themas/parametrisch-ntwerpen/smartconnection/cost-components> [Son erişim tarihi: 28.11.2021].
- Anonymous 3: Earthquake Protection Systems (EPS) online. http://www.earthquake-protection.com/single_pendulum_bearing.html [Son erişim tarihi: 14.11.2021].
- Anonymous 4: <http://www.arfen.com/Kopru-Genlesme-Profilleri-ve-Mesnetler-Dty.asp?LanguageID=2&cid=3&id=1524> [Son erişim tarihi: 10.11.2021].
- Anonymous 5: Pillar online. <https://www.taiwanpillar.com.tw/en/about12c4html?mode=3&id=14> [Son erişim tarihi: 10.11.2021].
- Askarzadeh, A. 2016. A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: Crow search algorithm. *Computers and Structures*, 69: 1 – 12.
- Aydin, E., Sonmez, M., and Karabork, T. 2015. Optimal Placement of Elastic Steel Diagonal Braces Using Artificial Bee Colony Algorithm. *Steel and Composite Structures*, 19 (2): 349–368.
- Aydogdu, I. and Saka, M. P. 2012. Ant Colony Optimization of Irregular Steel Frames Including Elemental Warping Effect. In *Advances in Engineering Software*, 44 (1): 150–169.

- Aydogdu, I. 2017. Cost Optimization of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls under Seismic Loading Using a Biogeography-Based Optimization Algorithm with Levy Flights. *Engineering Optimization*, 49 (3): 381–400.
- Aydogdu, I., Carbas, S., and Akin, A. 2017. Effect of Levy Flight on the Discrete Optimum Design of Steel Skeletal Structures Using Metaheuristics. *Steel and Composite Structures*, 24 (1): 93–112.
- Aydoğdu, İ., Akın, A., and Saka, M. P. 2012. Optimum Design of Steel Space Frames by Artificial Bee Colony Algorithm. 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, ss. 1-10, 17-19 Aralık, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Aydogdu, I., Akin, A., and Saka, M. P. 2016. Design Optimization of Real World Steel Space Frames Using Artificial Bee Colony Algorithm with Levy Flight Distribution. *Advances in Engineering Software*, 92: 1–14.
- Balling, R.J. 1991. Optimal Steel Frame Design by Simulated Annealing. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 117 (6) : 1780-1795.
- Barraza, M., Bojórquez, E., Fernández-González, E., and Reyes-Salazar, A. 2017. Multi-Objective Optimization of Structural Steel Buildings under Earthquake Loads Using NSGA-II and PSO. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21 (2): 488–500.
- Bellman, R. 1957. Dynamic Programming. Princeton University Press, New Jersey, USA, 363 p.
- Bonabeau, E., Dorigo, M., and Theraulaz, G. 1999. Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems. Oxford University Press, Oxford, U.K, 320 p.
- Carbas, S. 2015. Artificial Bee Colony Based Optimum Design Of Reticulated Domes To LRFD-AISC. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 2 (4): 68–74.
- Caroll, C.W. 1961. The created response surface technique for optimizing non-linear restrained systems. *Oper. Res.*, 9 (2): 169-184.
- Celik, İ., Yildiz, C., and Sekkeli, M. 2021. Implementation of Realistic Wind Farm Layout Optimization Using Artificial Bee Colony Algorithm. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1912216>.
- Celik, M., Fehim, F., and Karaboga, D. 2016. CoABCMiner: An Algorithm for Cooperative Rule Classification System Based on Artificial Bee Colony. *International Journal on Artificial Intelligence Tools.*, 25 (1): 1-50.
- Cheng, J., and Jin, H. 2017. Reliability-Based Optimization of Steel Truss Arch Bridges. *International Journal of Steel Structures*, 17 (4): 1415–1425.

- Cicconi, P., Germani, M., Bondi, S., Zuliani, A., and Cagnacci, E. 2016. A Design Methodology to Support the Optimization of Steel Structures. In *Procedia CIRP*, 50: 58–64.
- Constantinou, M.C. 2004. Friction Pendulum Double Concave Bearing. Technical Report, State University of New York, Buffalo, New York, USA.
- Constantinou, M.C., Kalpakidis, I., Filiatrault, A., Ecker Lay, R.A. 2010. LRFD-Based analysis and design procedures for bridge bearings and seismic isolators. Technical Report, USA.
- Dantzig, B.G. and Thapa M.N. 1997 . Linear programming 1: Introduction. Springer-Verlag, New York, USA, 473 p.
- Dasgupta, D. 1998. Artificial Immune Systems and Their Applications. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 306 p.
- De Castro, L. N., and Von Zuben, F. J. 2005. Recent Developments in Biologically Inspired Computing. Idea Group Publishing, Pennsylvania, USA, 439 p.
- Degertekin, S. O., Hayalioglu, M. S., and Ulker, M. 2007. Tabu search based optimum design of geometrically non-linear steel space frames. *Structural Engineering and Mechanics*, 27 (5): 575-588.
- Degertekin, S.O., Saka, M.P., and Hayalioglu, M.S. 2008. Optimal load and resistance factor design of geometrically nonlinear steel space frames via tabu search and genetic algorithm. *Engineering Structures*, 30 (1): 197-205.
- Değertekin, S.Ö., Hayalioglu, M.S., and Ülker, M. 2006. Geometrik Olarak Lineer Olmayan Uzay Çelik Çerçevelerin Tabu Arama Yöntemiyle Optimum Tasarımı. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (1): 107-118.
- Değertekin, S.Ö., Ülker, M., and Hayalioglu, M.S. 2006. Uzay Çelik Çerçevelerin Tabu Arama ve Genetik Algoritma Yöntemleriyle Optimum Tasarımı. *Teknik Dergi-TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, 17 (3): 3917-3934.
- Değertekin, S.Ö., Ülker, M., and Hayalioglu, M.S. 2007. Uzay Çelik Çerçevelerin Tabu Arama Yöntemiyle Optimum Tasarımı. XV. Ulusal Mekanik Kongresi, ss. 331-340, 3-7 Eylül, Isparta.
- Doğan, E., Hasaıcebi, O., and Saka, M. P. 2009. A Refinement Of Discrete Particle Swarm Optimization For Large-Scale Truss Structures. *Asian Journal Of Civil Engineering (Building And Housing)*, 10 (3): 321-334.
- Dorigo M., Caro G.D., and Gambardella L.M. 1999. An Algorithm for Discrete Optimization. *Artificial Life*, 5 (1): 137-172.

- Dorigo, M. 1992. Optimization, Learning and Natural Algorithms. (in Italian) Dipartimento di Elettronica e Informazione. Phd thesis, Politecnico di Milano, Italy, 242 p.
- Dorigo, M., Maniezzo V. and Colorni, A. 1991a. Distributed optimization by ant colonies. 1st European Conference on Artificial Life, ss. 134-142, December 11-13, Paris, France.
- Dorigo, M., Maniezzo V., and Colorni A. 1992. An investigation of some properties of an ant algorithm. Parallel Problem Solving from Nature Conf., ss. 509-520, September 28-30, Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Dorigo, M., Maniezzo V., and Colorni, A. 1991. Positive feedback as a search strategy. Tech. Rep. No: 91-016, Politecnico di Milano, Italy.
- Dorigo, M., Maniezzo V., and Colorni, A. 1996. The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, 26 (1): 29–41.
- Dreo, J., Petrowski, A., Siarry P., and Taillard, E. 2006. Meta-Heuristics for Hard Optimization. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, 372 p.
- Duffin, R.J., Peterson, E.L., and Zener, C. 1967. Geometric programming. Wiley, New York, 278 p.
- Ebenau, C., Rottschäfer J., and Thierauf, G. 2005. An Advanced Evolutionary Strategy with Adaptive Penalty Function for Mixed Discrete Structural Optimization. *Advances in Engineering Software*, 36: 29-38.
- Fatma A. Hashim, F. A., Hussain, K., Houssein , E. H., Mabrouk, M. S., Al-Atabany, W. 2021. Archimedes optimization algorithm: a new metaheuristic algorithm for solving optimization problems. *Applied Intelligence*, 51: 1531–1551.
- Fenz, D. M. And Constantinou , M. C. 2008. Modeling Triple Friction Pendulum Bearings for Response-History Analysis. *Earthquake Spectra*, 24 (2): 1011-1028.
- Fiacco, A.V., and McCormick, G.P. 1968. Non-Linear Programming: Sequential Uncon- strained Minimization Techniques. Wiley, New York, USA, 210 p.
- Flake, G.W. 2000. The Computational Beauty of Nature. MIT Press, Boston, USA, 520 p.
- Fourie, P., and Groenwold, A. 2002. The Particle swarm Optimization Algorithm in Size and Shape Optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 23 (4): 259-267.

- Geem, Z. W. 2009. Music-Inspired Harmony Search Algorithm; Theory and Applications. Studies in Computational Intelligence, Rockville, Maryland, USA, 210 p.
- Geem, Z.W., and Kim, J.H. 2001. A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search. *Simulation*, 76 (1): 60-68.
- Gholizadeh, S., and Baghchevan, A. 2017. Multi-Objective Seismic Design Optimization of Steel Frames by a Chaotic Meta-Heuristic Algorithm. *Engineering with Computers*, 33 (4): 1045–1060.
- Gholizadeh, S., Danesh, M., and Gheytratmand, C. 2020. A New Newton Metaheuristic Algorithm for Discrete Performance-Based Design Optimization of Steel Moment Frames, *Computers and Structures*, 234: 1-16.
- Glover, F. 1989. Tabu search-part I ORSA. *J Comput*, 1 (3): 190–206.
- Goldberg, D.E. 1989. Genetic Algorithm in Search Optimization and Machine Learning. Addison Wesley Publishing Co. Inc., Reading, MA, USA, 412 p.
- Hadidi, A., Azad, S. K., and Azad, S. K. 2010. Structural Optimization Using Artificial Bee Colony Algorithm. 2nd International Conference on Engineering Optimization, ss. 1-10, 6-9 Eylül, Lisbon.
- Haftka, R. T. and Grandhi, R. F. 1986. Structural shape optimization. *A survey Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 57 (1): 91-106.
- Hasaebi, O. and Erbatur, F. 2002. On Efficient Use of Simulated Annealing in Complex Structural Optimization Problems. *Acta Mechanica*, 157: 27-50.
- Hasaebi, O., and Erbatur, F. 2002. Layout Optimization of Trusses Using Simulated Annealing. *Advances in Engineering Software*, 33: 681-696.
- Hasaebi, O., arba, S., Doan, E., Erdal, F., and Saka, M.P. (2009). Performance Evaluation Of Metaheuristic Search Techniques In The Optimum Design Of Real Size Pin Jointed Structures. *Computers and Structures*, 87 (1): 284-302.
- Hassanien, A., Rizk-Allah, R. M., and Elhoseny, M. 2018. A Hybrid Crow Search Algorithm Based on Rough Searching Scheme for Solving Engineering Optimization Problems. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 0 (0): 1–25.
- Holland, J. H. 1975. Adaptation in natural and artificial systems. University of Michigan Press, Michigan, USA, 183 p.
- Hoseini, S. M., Parastesh, H., Hajirasouliha, I., and Ferdowsi, A. 2021. Structural Design Optimization of All-Steel Buckling-Restrained Braces Using Intelligent Optimizers. *International Journal of Steel Structures*, 21 (6): 2055-2070.

- Jahjouh, M. M., Arafa, M. H., and Alqedra, M. A. 2013. "Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm in the Design Optimization of RC Continuous Beams." *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 47 (6): 963–979.
- Javidi, A., Salajegheh, E., and Salajegheh, J. 2019. Enhanced Crow Search Algorithm for Optimum Design of Structures. *Applied Soft Computing Journal*, 77: 274–289.
- Javidi, A., Salajegheh, E., and Salajegheh, J. 2021. Optimization of Weight and Collapse Energy of Space Structures Using the Multi-Objective Modified Crow Search Algorithm. *Engineering with Computers*, <https://doi.org/10.1007/s00366-020-01276-5>.
- Karaboga, D. 2005. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical Report No: TR 06, Kayseri.
- Karaboga, D. and Basturk, B. 2008. On the Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm. *Applied Soft Computing Journal*, 8 (1): 687–697.
- Karaboga, D., Akay, B. 2011. A modified artificial bee colony (ABC) algorithm for constrained optimization problems. *Applied Soft Computing*, 11 (3): 3021–3031.
- Karaboga, D., Basturk, B. 2007. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *Journal of Global Optimization*, 39: 459–471.
- Karaboga, D., Basturk, B. 2007. Artificial bee colony (ABC) optimization algorithm for solving constrained optimization problems, *IFSA 2007: Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing*, 4529: 789–798.
- Karaboga, D., Gorkemli, B., Ozturk, C., and Karaboga, N. 2014. A Comprehensive Survey: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm and Applications. *Artificial Intelligence Review*, 42 (1): 21–57.
- Kaveh, A., Bakhshpoori, T., and Azimi, M. 2015. Seismic Optimal Design of 3D Steel Frames Using Cuckoo Search Algorithm. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 24 (3): 210–227.
- Kaveh, A., Hamedani, K. B., Hosseini, S. M., and Bakhshpoori, T. 2020. Optimal Design of Planar Steel Frame Structures Utilizing Meta-Heuristic Optimization Algorithms. *Structures*, 25 (December 2019): 335–346.
- Kaveh, A., Laknejadi, K., and Alinejad, B. 2012. Performance-Based Multi-Objective Optimization of Large Steel Structures. *Acta Mechanica*, 223 (2): 355–369.
- Ke, Y., Xie, J., and Pouramini, S. 2021. Utilization of an Improved Crow Search Algorithm to Solve Building Energy Optimization Problems: Cases of Australia. *Journal of Building Engineering* 38 (January): 1–13.

- Kennedy, J., Eberhart, R., and Shi, Y. 2001. *Swarm Intelligence*. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, USA, 512 p.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., and Vecchi, M. P. 1983. Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220 (4598): 671-680.
- Kochenberger, G. A., and Glover, F. 2003. *Handbook of Meta-Heuristics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 557 p.
- Krishna, V. 2009. *Structural Optimization Using Ansys Classic and Radial Basis Function Based Response Surface Models*. MSc Thesis, The University Of Texas At Arlington, Texas, 220 s.
- Kuhn, H.W. and Tucker, A.W. 1951. Nonlinear programming. *Proceedings of 2nd Berkeley Symposium*, ss. 481–492, Jun 28-30, University of California, Berkeley, California, USA.
- Latif, M. A. and Saka, M. P. 2019. Optimum Design of Tied-Arch Bridges under Code Requirements Using Enhanced Artificial Bee Colony Algorithm. *Advances in Engineering Software*, 135: 1-14.
- Lee K, Han S, Geem Z. 2011. Discrete size and discrete-continuous configuration optimization methods for truss structures using the harmony search method. *Int J Optim Civil Eng*, 1: 107–26.
- Lin, X., Chen, S., and Lin, W. 2021. Modified Crow Search Algorithm–Based Fuzzy Control of Adjacent Buildings Connected by Magnetorheological Dampers Considering Soil–Structure Interaction. *JVC/Journal of Vibration and Control*, 27 (1–2): 57–72.
- LRFD-AISC 2001. *Manual of steel construction*. In: *Load and Resistance Factor Design*, Third Edition, AISC, I&II.
- Matheck, C. 1998. *Design in Nature: Learning from Trees*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 276 p.
- May, S.A. and Balling, R.J. 1992. A Filtered Simulated Annealing for Discrete Optimization of 3D Steel Frameworks. *Structural Optimization*, 4: 142-148.
- Mitchell, M. 1998. *An Introduction to Genetic Algorithms*. The MIT Press, Boston, USA, 221 p.
- Mustafa, S. 2011. Artificial Bee Colony Algorithm for Optimization of Truss Structures. *Applied Soft Computing Journal*, 11 (2): 2406–2418.
- Nouri, F. and Ashtari, P. 2015. Weight and Topology Optimization of Outrigger-Braced Tall Steel Structures Subjected to the Wind Loading Using GA. *Wind and Structures: An International Journal*, 20 (4): 489–508.

- Ozturk, H. T., Durmus, A. Y., and Durmus, A.H. 2012. Optimum Design of a Reinforced Concrete Beam Using Artificial Bee Colony Algorithm. *Computers and Concrete*, 10 (3): 295–306.
- Paton, R. 1994. Computing with Biological Metaphors. Chapman & Hall, Michigan, USA, 446 p.
- Perez, R.E. and Behdinan, K. 2007. Particle Swarm Approach for Structural Design Optimization. *Computers and Structures*, 85 (19-20): 1579-1588.
- Prager, W. and Shield, R. T. 1967. A general Theory of Optimal Plastic Design. *J. Appl. Mech.*, 34: 184-186.
- Prendes-Gero, M. B., Bello-García, A., del Coz-Díaz, J. J., Suárez-Domínguez, F. J., and Nieto, P. J. G. 2018. Optimization of Steel Structures with One Genetic Algorithm According to Three International Building Codes. *Revista de La Construcción*, 17 (1): 47–59.
- Rechenberg, I. 1973. Evolutions strategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution. Frommann-Holzboog, Stuttgart, Germany, 170 p.
- Reeves, C.R. 1993. Modern Heuristic Techniques for Combinational Problems. Blackwell Scientific Publications, New York, USA, 315 p.
- Saka, M. P. and Aydogdu, I. 2021. Performance Evaluation of Artificial Bee Colony Algorithm and Its Variants in the Optimum Design of Steel Skeletal Structures. *Asian Journal of Civil Engineering*, 22 (1): 73–91.
- Saka, M. P., Carbas, S., Aydogdu, I., Akin, A., and Geem, Z. W. 2015. Comparative Study on Recent Metaheuristic Algorithms in Design Optimization of Cold-Formed Steel Structures. In *Computational Methods in Applied Sciences*, 38: 145–173.
- Saka, M. P., Carbas, S., Aydogdu, I., and Akin, A. 2016. Use of Swarm Intelligence in Structural Steel Design Optimization. *Modeling and Optimization in Science and Technologies*, 7: 43–73.
- Sarlis, A. A., Constantinou M. C., and Reinhorn, A. M. 2013. Shake Table Testing of Triple Friction Pendulum Isolators under Extreme Conditions. Technical Report MCEER No: 13-0011, USA.
- Sarma, K. C. and Adeli, H. 2000. Cost Optimization of Steel Structures. *Engineering Optimization*, 32 (6): 777–802.
- Sarma, K. C. and Adeli, H. 2002. Life-Cycle Cost Optimization of Steel Structures. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 55 (12): 1451–1462.

- Schwefel, H.P. 1981. Numerical Optimization of Computer Models. Wiley, New York, USA, 389 p.
- Sevim, Ö. and Sönmez, M. 2015. Optimum Design Of Space Steel Structures With Artificial Bee Colony Algorithm. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 2 (5): 31–34.
- Talatahari, S., Nouri, M., Tadbiri, F., Branch, S., and Azad, I. 2012. Optimization of Skeletal Structural Using Artificial Bee Colony Algorithm. *International Journal Of Optimization In Civil Engineering*, 2 (4): 557-571.
- Tapao, A. and Cheerarot, R. 2017. Optimal Parameters and Performance of Artificial Bee Colony Algorithm for Minimum Cost Design of Reinforced Concrete Frames. *Engineering Structures*, 151: 802–820.
- Topping, B.H.V., Khan, A.I., and Leite, J.P.B. 1993. Topological Design of Truss Structures Using Simulated Annealing. *Civil-Comp Press*, 8 (2-3): 301-314.
- Van Laarhoven, P.J.M., and Aarts, E.H.L. 1998. Simulated Annealing, Theory and Applications. Kluwer Academics Publishers, Boston, USA, 187 p.
- Wang, X., Zhang, Q., Qin, X., and Sun, Y. 2020. An Efficient Discrete Optimization Algorithm for Performance-Based Design Optimization of Steel Frames. *Advances in Structural Engineering*, 23 (3): 411–423.
- Wu, H., Wu, P., Xu, K., and Li, F. 2020. Finite Element Model Updating Using Crow Search Algorithm with Levy Flight. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 121 (13): 2916–2928.
- Xie, Y.M., and Steven G.P. 1997. Evolutionary Structural Optimization. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 199 p.
- Yıldırım, C., and Aydoğdu, İ. 2017. Artificial Bee Colony Algorithm for Thermohydraulic Optimization of Flat Plate Solar Air Heaters. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31 (7): 3593–3602.
- Zoutendijk, G. 1960. Methods of feasible direction methods. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 126 p.

8. EKLER**EK-1 AOA Algoritması Hassasiyet Analizi Sonuçları**

Minimum Değer	Ortalama Değer	Standart Sapma
4724.81	5280.27	295.3
4556.19	5190.75	249.95
4703.46	5168.87	233.17
4814.92	5112.84	183.19
4757.93	5031.06	157.65
3525.95	3848.28	234.65
3961.96	4294.91	160.43
3822.26	4269.98	190.9
4189.92	4606.8	168.3
4446.08	4759.92	140.99
2648.81	3007.16	149.41
2999.3	3214.01	132.93
3154.77	3341.1	120.34
3514.14	3687.83	71.81
3915.44	4134.56	123.49
2579.75	2793.08	143.5
3034.24	3195.36	106.61
3172.5	3370.61	97.84
3728.87	4047.74	140.26
4210.3	4709.7	191.58
4725.43	5440.02	342.67
4863.05	5213.24	191.43
4703.78	5260.96	221.59
4647.66	5076.52	184.47
4614.65	5001.18	165.12
3328.11	3951.03	305.92
3823.28	4177.63	167.28
3991.59	4295.83	166.03
4358.88	4555.14	107.38
4212.11	4753.14	182.12
2642.08	2934.34	174.25
3026.2	3250.76	144.15
3159.11	3352.08	116.71
3494.84	3713.91	115.24
4017.46	4146.6	65.93
2583.48	2824.55	147.13
3015.86	3183.82	85.86

EK-1'in devamı

2957.63	3352.14	151.79
3482.23	3990.38	175.49
4290.99	4620.49	190.41
4846.72	5518.86	328.55
4704.83	5153.66	242.73
4900.8	5229.51	181.85
4494.62	5153.03	208.77
4618.77	5012.91	199.67
3370.53	3916.84	260.81
3873.28	4254.74	175.8
3896.53	4294.77	165.85
4439.36	4614.01	101.54
4509.18	4800.81	126.44
2678.56	2999.99	175.89
2962.91	3278.7	211.11
3154.21	3320.11	97.92
3441.66	3663.33	121.36
3746.32	4136.92	126.22
2578.55	2772.74	122.74
2941.14	3173.56	116.63
3079.74	3346.09	124.46
3771.46	4044.99	135.41
4230.91	4648.62	202.82
4948	5398.72	262.39
4598.68	5171.87	245.37
4777.54	5244.27	183.12
4567.86	5102.7	187.22
4421.52	5008.95	186.46
3586.75	4005.77	237.76
3817.3	4240.56	194.15
3968.16	4336.49	194.46
4304.94	4597.4	138.69
4445.63	4757.19	121.56
2639.1	2947.94	197.51
2910.13	3209.25	135.5
3134.85	3323.96	103.97
3479.33	3699.59	114.15
3942.47	4149.91	113.83
2642.67	2799.45	116.58
2894.58	3163.84	119.61
3130.25	3328.24	91.34

EK-1'in devamı

3632.63	4057.4	138
4393.44	4689.34	152.04
4917.17	5399.57	333.33
4697.08	5277.36	225.85
4846.59	5227.82	201.99
4739.4	5126.91	185.63
4085.58	4961.41	227.26
3305.82	3898.75	266.17
3866.99	4222.2	230.25
4128.52	4389.83	180.49
4392.3	4616.83	134.06
4319.16	4724.32	145.83
2712.98	2977.64	169.27
3013.24	3214.48	122.7
3066.24	3334.44	143.56
3494.47	3687.56	106.73
3992.89	4138.29	80.15
2558.38	2794.81	159.47
2986.95	3199.78	108.95
3053.38	3347.86	121.56
3739.81	4030.29	159.3
4137.61	4635.33	217.95
4529.83	5393.04	340.22
4801.18	5203.31	223.04
4923.9	5219.92	157
4659.42	5074.75	200.89
4536.2	4987.59	231.07
3246.16	3929.41	267.58
3892.87	4292.72	268.68
3914.67	4350.73	175.58
4307.76	4599.47	135.88
4530.68	4791.62	123.65
2648.73	2932.63	180.9
3030.52	3246.04	138.93
3158.46	3322.78	125.77
3476.29	3660.89	89.69
4028.72	4147.8	69.56
2534.9	2784.05	136.81
2993.03	3179.18	111.85
3200.72	3382.14	115.15
3683.51	4047.41	151.62

EK-1'in devamı

4399.49	4651.27	169.54
4911.74	5429.21	347.59
4934.91	5250.01	196.9
4787.21	5167.52	196
4510.08	5132.76	205.08
4752.7	5074.91	150.06
3464.79	3901.37	250.84
3781.92	4260.4	229.1
3790.66	4331.06	197.67
4338.08	4619.99	150.27
4544.51	4796.08	104.3
2697.71	2979.9	158.18
2980.87	3230.23	139.03
3026.73	3332.39	156.14
3432.97	3699.38	108.93
3949.62	4153.85	93.67
2542.22	2805.54	149.36
2995.57	3165.56	80.07
3205.34	3365.2	87.43
3725.38	4032.24	116.66
4193.3	4608.16	182.47
4793.73	5445.39	304.86
4769.46	5226.62	217.49
4761.39	5222.42	226.89
4583.31	5095.6	210.56
4751.08	5042.19	153.65
3457.5	3932.24	259.26
3928.63	4247.2	194.89
4102.36	4377.86	191.5
4275.18	4612.53	144.02
4626.76	4824.26	110.68
2647.87	3000.46	203.05
2908.95	3211.53	144.24
3137.78	3360.33	139.53
3431.16	3684.85	123.23
3844.08	4139.95	139.23
2618.72	2793.33	113.87
2970.22	3218.58	128.11
3102.91	3310.55	104.64
3703.08	4029.99	170.95
4295.12	4655.32	162.63

EK-1'in devamı

4773.61	5439.69	244.1
4839.34	5254.38	220.79
4855.52	5217.32	141.53
4531.24	5078.03	221.21
4538.73	5019.1	171.51
3359.47	3836.61	222.08
3888.11	4267.7	190.38
3921.99	4343.22	193.94
4287.6	4620.48	117.68
4504.76	4784.13	121.05
2765.48	3006.54	170.81
3011.4	3263.12	170.49
3098.16	3360.5	133.85
3470.26	3690.79	101.79
3950.44	4144.03	68.72
2597	2774.91	114.61
3006.91	3186.04	92.93
3249.61	3386.8	80.55
3840.95	4062.28	152.23
4366.11	4687.55	180.73
4829.54	5356.86	307.78
4674.58	5197.57	210.04
4638.04	5143.4	201.72
4744.17	5112.16	178.24
4649.71	5023.99	159.5
3468.2	3896.34	264.05
3835.07	4287.07	178.56
3884.87	4312.25	205.6
4402.09	4628.16	109.69
4419.7	4805.81	121.86
2694.41	2994.12	229.37
2941.88	3224.83	125.86
3099.67	3351.37	124.54
3438.38	3685.81	120.85
3919.22	4169.68	107.97
2576.53	2770.06	106.29
2893.38	3165.33	120.39
3106.09	3333.41	118.05
3780.7	4061.73	123.23
4377.52	4665.87	181.2
4872.16	5352.14	275.21

EK-1'in devamı

4788.44	5206.79	199.34
4503.26	5229.1	246.66
4776.49	5128.95	154.56
4696.14	5117.89	173.79
3250.26	3979.43	246.74
3950.58	4233.61	146.11
3982.12	4297.46	190.42
4252.75	4572.62	125.65
4452.03	4741.55	123.48
2619.52	2941.15	171.76
3075.85	3246.96	123.04
3134.75	3359.54	109.58
3459.88	3670.72	126.96
3924.05	4130.73	99.4
2571.64	2796.04	158.42
2989.65	3160.99	96.58
3128.94	3349.13	116.16
3632.4	4017.9	165.07
4377.76	4641.96	155.24
4965.67	5425.02	222.35
4787.78	5290.42	202.03
4945.17	5232.27	220.85
4564.81	5019.95	197.65
4634.38	5073.16	145.71
3337.84	3903.49	344.61
3933.92	4295.1	185.79
3936.99	4331.21	168.77
4225.06	4605.6	113.91
4573.69	4764.8	108.5
2704.38	3013.56	180.75
3010.98	3255.06	139.27
3126.58	3359.11	101.51
3449.59	3702.63	112.83
3959.47	4120.45	81.74
2590.75	2802.62	141.26
2979.94	3170.22	103.14
3090.61	3338.52	108.83
3749.71	4024.42	157.59
4321.68	4705.16	181.08
5013.87	5472.57	295.4
4788.91	5267.28	212.32

EK-1'in devamı

4897.62	5245.54	178.67
4533.21	5091.09	188.84
4758.74	5050.05	162.43
3396.04	3998.45	350.76
3841.71	4273.32	235.11
3976.51	4327.36	166.19
4360.99	4643.25	143.99
4609.4	4808.96	117.27
2672.2	2952.82	155.14
2982.23	3225.08	144.04
3133.35	3322.25	101.87
3479.14	3678.06	86.93
3906.94	4114.55	127.85
2591.63	2820.59	114.07
2971.5	3180.54	96.32
3128.33	3365.79	118.9
3605.05	4038.84	158.24
4312.01	4699.79	215.75
4702.62	5391.72	273.53
4660.32	5164.34	187.66
5050.28	5305.43	149.45
4569.34	5087.48	193.25
4638.9	5034.35	126.71
3620.6	4014.41	290.13
3931.15	4349.69	218.16
3940.91	4375.45	205.77
4311.09	4593.32	136.32
4546.85	4753.08	115.78
2667.33	2947.55	210.68
2959.9	3237.78	122.35
3148.15	3385.76	128.47
3448.91	3645.21	121.73
3959.36	4131.49	83.65
2590.29	2790.78	125.75
2987.03	3144	97.37
3073.01	3376.66	115.68
3791.71	4057.59	133.87
4331.77	4675.95	171.55
4722.57	5407.13	305.7
4437.3	5258.77	252.21
4898.47	5227.34	187.31

EK-1'in devamı

4741.78	5107.77	192.52
4759.52	5033.21	134.07
3415.73	3918.29	248.98
3884.05	4261.33	222.11
4050.46	4365.64	196.73
4339.53	4648.16	148.66
4582.63	4802.85	115.41
2647.61	2997.02	206.15
3004.49	3277.63	122.78
3130.34	3350.51	159.4
3375.78	3674.55	121.51
3855.73	4132.83	117.74
2614.61	2810.26	126.74
2860.33	3175.51	125.53
3047.98	3339.44	155.45
3684.98	4060.05	154.89
4250.13	4666.6	186.84
4773.32	5382.97	340.31
4903.69	5296.62	199.19
4668.2	5123.5	181.87
4552.19	5152.77	204.14
4453.22	5019.77	221.71
3339.57	3868.97	228.3
3859.8	4244.18	188.69
3859.43	4308.89	163.02
4247.36	4544.72	139.03
4433.44	4748.86	136.59
2639.58	2974.01	215.03
3049.21	3239.07	122.85
3109.87	3305.93	113.28
3507.28	3703.33	101.53
3897.64	4124.97	97.34
2558.17	2770.57	125
3008.97	3171.85	106.97
3164.3	3365.62	123.16
3772.31	4075.85	127.51
4351.56	4654.95	126.72
5003.44	5429.3	250.79
4746.57	5274.03	233.17
4939.95	5258.15	153.26
4501.25	5067.9	196.91

EK-1'in devamı

4581.69	5052.77	179.71
3274.89	3890.07	281.81
3830.32	4271.38	167.95
4013.7	4362.21	189.7
4353.88	4592.04	150.79
4385.88	4753.76	129.17
2652.21	2998.02	171.3
2931.34	3284.63	151
3099.42	3300.29	108.4
3310.88	3649.48	120.28
3967.49	4131.24	73.13
2582.73	2790.43	121.28
2873.09	3161.48	105.19
3108.31	3349.77	122.13
3708.77	4047.88	139.84
4103.07	4621.96	142.6
4803.82	5349.4	291.35
4920.55	5271.79	183.11
4849	5132.72	197.86
4584.15	5055.57	183.84
4615.68	5017.49	162.12
3558.38	3869.85	224.32
3806.12	4254.67	191.77
3954.99	4389.16	199.42
4278	4629.88	129.54
4593.4	4786.13	97.26
2716.37	3025.9	201.43
3001.39	3269.92	155.83
3088.46	3330.4	140.81
3440.61	3653.56	115.72
3896.66	4116.69	79.5
2557.38	2803.28	173.03
2974.81	3170.44	101.36
3088.28	3345.7	128.47
3777.78	4053.17	144.14
4288.27	4682.61	152.3
4891.55	5418.85	296.84
4828.6	5258.53	217.23
4500.61	5178.5	235.04
4747.71	5071.19	187.27
4319.57	5028.38	212.92

EK-1'in devamı

3486.3	3912.33	209.91
3915.37	4262.46	169.97
4031.49	4336.26	125.17
4255.51	4611.88	150.93
4419.83	4792.03	135.71
2562.53	2938.32	188.98
3046.64	3302.68	122
3065.23	3369.32	126.92
3475.86	3716.34	102.45
3796.13	4136	114.07
2573.17	2765.84	107.37
2867.5	3171.42	123.01
3148	3336.3	109.2
3696.26	4058.18	171.12
4367.98	4703.34	128.16
4329.07	5476.1	403.38
4681.68	5243.23	224.35
4849.91	5240.91	164.39
4793.8	5101.77	162.05
4422.24	5027.7	173.1
3439.57	3883.62	243.05
3838.47	4219.52	180.85
3946.16	4333.21	184.08
4280.28	4606.05	123.09
4489.81	4821.57	112.87
2615.21	2996.07	191.01
2996.85	3267.16	182.9
3125	3329.43	119.32
3412.6	3677.58	112.89
3929.65	4135.53	103.34
2536.52	2761.99	119.31
2891.12	3161.29	100.5
3075.4	3339.8	101.77
3686.17	4049.5	168.4
4210.77	4644.33	208.97
4756.79	5374.49	258.02
4642.85	5235.28	206.02
4890.66	5229.08	189.77
4573.81	5033.32	173.3
4829.6	5088.41	131.86
3566.67	3877.68	232.64

EK-1'in devamı

3979.52	4243.48	182.77
4030.87	4320.23	171.34
4348	4603.2	103.54
4452.83	4759.86	120.88
2701.68	2977.83	189.3
3018.9	3257.34	153
3169.45	3367.41	104.32
3527.87	3709	111.49
3975	4150.24	123.58
2594.83	2785.08	101.82
2953.26	3194.48	101.3
3192.25	3350.47	104.89
3749.7	4020.16	146.06
4212.54	4627.25	233.4
4864.62	5429.99	271.94
4784.49	5274.83	229.48
4775.49	5192.42	190.17
4452.31	5109.01	217.64
4672.75	5060.72	127.16
3579.65	3851.83	229.66
3864.99	4250.62	226.78
3972.01	4347.58	227.77
4197.89	4574.19	136.12
4471.73	4782.31	124.71
2693.93	3004.64	221.71
3084.75	3265.63	136.97
3060.56	3333.09	141.8
3523.82	3692.58	113.64
3978.88	4169.46	98.67
2532.14	2787.85	129.42
3022.34	3209.83	115.14
3181.58	3343.89	101.74
3773.99	4051.61	136.22
4305.91	4672.32	186.59
4920.98	5486.86	341.02
4743.52	5229.46	197.41
4765.73	5193.54	191.81
4550.39	5110.18	230.32
4509.8	5019.01	157.53
3405.09	3929.9	301.2
3760.3	4243.58	230.88

EK-1'in devamı

4070.26	4354.52	189.78
4315.45	4598.53	156.1
4508.25	4798.43	120.31
2649.95	2953.15	165.05
2978.99	3196.65	144.33
3098.96	3380.91	190.75
3407.87	3682.99	126.13
3827	4149.98	125.33
2593.28	2770.01	95.24
2956.5	3153.91	99.24
3142.15	3400.48	138.47
3681.31	4010.5	177.67
4405.51	4647.71	140.25
4690.13	5395.2	263.66
4793.33	5289.06	234.85
4592.46	5239.96	218.63
4666.42	5086.88	191.6
4559.89	5071.59	202.41
3303.84	3870.11	282.78
3791.57	4229.24	230.21
3959.25	4328.18	183.26
4301.65	4609.35	129.35
4457.89	4767.02	130.97
2712.08	2966.94	183.63
3047.85	3229.99	148.93
3078.85	3335.71	128.91
3487.08	3680.13	101.35
3915	4140.72	118.17
2578.08	2840.49	172.02
2914.39	3144.18	93.23
3112.83	3352.5	112.04
3486.72	4024.47	175.75
4260.1	4673.22	156.5
4919.4	5445.71	259
4881.38	5263.35	241.66
4903.34	5239.04	217.01
4733.85	5111.11	178.45
4780.26	5087.97	157.95
3489.23	3940.66	264.13
3991.82	4330.4	228.37
3934.24	4412.8	181.39

EK-1'in devamı

4291.27	4584.75	154.92
4585.31	4790.29	116.19
2678.65	2945.05	145.83
3021	3260.2	136.25
3120.17	3324.71	107.96
3538.7	3675.4	98.7
3957.79	4135.46	79.12
2648.73	2827.76	161.87
3012.31	3167.9	97.2
3177.27	3384.84	102.36
3685.4	4099.93	138.77
4321.97	4645.51	180.04
4892.71	5273.86	274.76
4727.81	5262.71	212.51
4969.48	5266.32	159.09
4733.37	5126.46	170.05
4640.82	4997.66	150.66
3483.3	3926.5	257.15
3922.19	4290.61	187.33
4085.54	4357.41	181.42
4256.21	4590.96	160.82
4322.71	4783.66	146.63
2717.83	2951.01	158.73
2935.33	3249.06	144.28
4896.23	5281.45	207.53
4017.15	4361.04	201.18
3068.43	3328.72	132.26
3168.87	3348.9	111.16
4760.88	5256.86	213.09
3882	4325.32	198.48
3165.55	3321.93	121.07
3093.93	3327.71	113.11
4786.22	5225.36	165.48
4045	4310.54	153.31
3121.3	3340.55	120.98
3154.98	3381.89	116.63
4832.23	5205.55	156.13
3971.06	4370.71	194.44
3110.52	3322.42	121.51
3140.77	3342.4	112.47
4654.49	5169.89	205.31

EK-1'in devamı

4075.72	4325.98	159.19
2910.32	3304.51	175.24
3154.12	3358.44	108.32
4681.45	5182.37	214.88
3993.5	4362.36	185.78
3135.54	3296.86	97.24
3192.53	3325.48	92.21
4678.12	5193.91	195.49
4072.9	4337.11	182.89
3097.94	3332.85	126.72
3131.18	3318.19	108.68
4425.03	5169.68	237.15
4140.98	4364.39	122.65
3079.26	3354.03	153.5
3093.58	3335.61	102.56
4759.72	5247.27	186.35
4025.82	4366.84	189.56
3108.19	3346.7	111.19
3136.55	3395.68	104.37
4816.73	5229.65	222.66
4039.67	4345.64	193.47
3071.34	3343.96	139.84
3154.35	3386.5	104.96
4841.88	5202.93	208.85
4016.81	4356.11	150.67
3105.76	3330.26	139.23
3026.02	3340.82	126.87
4824.78	5226.81	164.83
3974.85	4330.19	197.56
3075.74	3344.49	131.68
3022.88	3285.49	115.74
4732.87	5209.4	178.91
4033.03	4348.07	182.18
3135.58	3340.59	139.7
3130.14	3355.92	118.46
4436.1	5207.31	284.38
4043.58	4318.18	174.6
3077.19	3296.49	123.17
3095.29	3334.47	127.11
4842.63	5239.04	199.74
3936.62	4314.32	165.48

EK-1'in devamı

3063.07	3352.23	128.96
3053.95	3346.85	118.62
4654.89	5166.37	199.13
4158.36	4363.44	142.73
3129.56	3351.52	153.51
3034.07	3311.66	98.73
4810.18	5240.02	176.8
4054	4383.27	205.72
3113.27	3367.22	141.74
3120.76	3342.7	116.5
4744.93	5180.11	206.08
4045.92	4351.62	140.06
3097.74	3327.28	152.91
3150.88	3340.3	102.08
4691.91	5233.4	279.42
4125.79	4386.55	168.92
3123.34	3334.48	146.33
3055.79	3316.3	107.54
4826.42	5271.98	185.87
4066.08	4324.89	147.09
3007.72	3345.52	150.63
3214.02	3354.34	81.12
4701.66	5197.3	185.91
4044.4	4371.12	163.15
3167.94	3357.41	131.82
3095.9	3356.62	106.75
4705.23	5237.67	199.27
4119.71	4351.22	196.4
3121.83	3363.9	152.52
3195.46	3362.05	108.79
4548.12	5202.55	219.52
4031.96	4408.52	281.28
3132.92	3356.13	133.44
3129.61	3339.25	123.27
4508.25	5184.74	202.11
4126.92	4392.63	173.35
3164.05	3328.73	113.85
3080.27	3326.89	120.62
4849	5149.03	176.22
3923.4	4292.04	179.99
3137.53	3370.85	150.86

EK-1'in devamı

3067.11	3316.18	107.5
4898.43	5257.36	196.96
3730.85	4286.67	204.59
3159.5	3352.29	132.03
3156.37	3354.18	109.39
4910.76	5213.46	209.56
4065.73	4377.27	221.36
3151.21	3326.23	100.56
3206.65	3364.16	101.57
4678.32	5181.89	231.36
4017.73	4302.26	156.17
3137.36	3366.48	127.67
3183.18	3342.17	97.08
4902.34	5226.45	168.59
3858.21	4315.07	166.5
3130.88	3342.21	115.07
3173.4	3366.28	111.62
4970.72	5248.61	150.96
3899.82	4257.87	191.63
3143.6	3331.93	126.09
3173.6	3332.68	85.89
4878.21	5239.93	197.78
3946.17	4366.01	204
3120.27	3341.05	119.9
3145.83	3319.56	92.72
4372.46	5190.5	273.8
4109.83	4374.2	179.73
3135.74	3330.43	141.53
3106.06	3328.52	95.97
4728.29	5208.08	204.91
3998.55	4362.32	218.81
3122.63	3312.01	110.61
3117.68	3319.73	107.46
4443.65	5143.51	234.16
4074.83	4332.98	142.06
3149.44	3337.89	138.06
3097.5	3373.61	118.87
4731.35	5229.35	189.97
4020.96	4292	153.49
3094.78	3320.02	131.49
3055.14	3337.37	154.71

EK-1'in devamı

4743.83	5186.28	218.39
4120.56	4375.96	145.15
3148.62	3376.07	123.96
3127.48	3339.34	124.32
4762.76	5211.98	223.88
4032.43	4347.18	175.34
2992.07	3267.3	126.92
3080.74	3342.54	137.05
4886.36	5256.39	198.8
3986.63	4293.14	195.78
3057.09	3340.48	149.73
3159.12	3360.03	130.74
4836.74	5230.5	191.75
4000.88	4360.92	206.24
3036.38	3282.13	103.03
3117.61	3343.53	126.32
4922.75	5223.33	184.59
3916.53	4310.4	181.86
3124.15	3343.34	143.51
3124.76	3372.29	91.58
4744	5194.49	194.06
3882.02	4369.68	196.54
3087.8	3316.3	131.52
3144.16	3390.16	107.66
4847.88	5194.26	201.4
3936.24	4321.98	180.27
3172.47	3382.09	121.69
3140.91	3346.39	90.73
4687.98	5248.8	219.72
4040.91	4393.11	159.35
2953.28	3271.45	131.88
3158.53	3370.53	126.33
4407.45	5198.46	251.05
4063.33	4359.05	183.78
3112.54	3315.46	120.29
3164.34	3404.11	132.15
4706.46	5179.62	207.55
4061.32	4309.92	139.89
3104.51	3352.66	153.99
3194.12	3350.67	82.05
4808.39	5211.77	206.43

EK-1'in devamı

3998.35	4362.45	166.53
3099.44	3321.37	140.16
3143.21	3346.7	112.47
4626.48	5177.49	201.81
3924.05	4343.59	200.2
3142.31	3308.3	106.19
3160.91	3335.39	110.98
4699.22	5217.61	247.04
3946.19	4330.92	172.65
3143.8	3344.79	133.67
3137.27	3360.27	142.13
4691.83	5180.32	217.41
3975.58	4357.62	210.92
3129.76	3338.38	118.85
3148.32	3373.87	126.72
4868.59	5173.97	193.03
3993.09	4318.94	185.78
3113.65	3332.8	120.87
3158.61	3332.36	109.63
4897.47	5192.4	199.28
3970.74	4327.43	185.66
3130.18	3333.2	133.55
3081.87	3363.85	127.88
4952.88	5297.16	188.97
3917.21	4391.69	156.84
3063.38	3305.56	117.53
3135.71	3389.62	121.01
4764.15	5189.15	193.8
4133.97	4348.24	114.87
3116.2	3353.11	133.56
3100.35	3379.16	98.81
4623.98	5179.65	236.1
4035.62	4338.86	172.48
3087.62	3322.34	139.52
3136.64	3355.64	116.36
4713.9	5252.5	210.15
4065.54	4354.58	173.11
3083.56	3339.46	147.98
3176.84	3378.79	102.94
4642.27	5257.75	239.07
3859.55	4326.68	234.14

EK-1'in devamı

3087.19	3318.31	136.62
3062.16	3343.94	115.7
4591.79	5135.9	195.93
3966.02	4307.31	190.96
3111.41	3390.7	154.95
3086.1	3339.97	110.47
4765.33	5129.86	197.77
3975.82	4337.48	174.83
3084.75	3312.97	120.3
3144.62	3352.34	104.74
4687.59	5164.21	215.43
3937.62	4335.03	186.69
3157.71	3353.17	104.83
3162.82	3357.83	93.1
4730.79	5164.72	225.32
3947.13	4361.36	220.16
3138.45	3308.15	116.29
3110.09	3352.76	116.76
4643.36	5229.08	223.29
4050.68	4350.71	150.78
3053.42	3328.4	139.5
3024.75	3356.67	120.7
4793.13	5215.73	224.97
3959.78	4321.54	177.78
3124.05	3308.61	98.11
3221.94	3374.12	92.88
4728.73	5199.91	189.01
4036.48	4360.31	165.85
3114.44	3354.88	132.77
3127.47	3335.23	113.25
4769.4	5277.69	185.48
4075.03	4352.61	190.54
3109.8	3333.5	137.6
3150.39	3358.28	105.08
4211.21	5037.73	238.33
4365.9	4585.26	116.1
3444.54	3674.23	104.44
3682.05	4016.86	150.37
4782.71	5123.3	143.78
4124.64	4608.44	138.68
3502.82	3675.28	98.07

EK-1'in devamı

3800.35	4077.35	149.34
4540.95	5118.05	180.77
4315.03	4601.13	155.41
3503.49	3690.93	98.93
3777.55	4031.34	120.97
4717.73	5128.95	156.53
4361.84	4633.58	127.43
3357.24	3679.43	113.52
3497.27	4017.23	181.67
4412.27	5072.11	245.39
4260.04	4617.68	145.95
3558.97	3701.93	98.14
3757.93	4097.87	172.84
4610.87	5156.28	232.68
4346.51	4566.79	134.13
3546.4	3697.81	98.26
3770.66	4042.84	142.79
4495.9	5120.2	221.65
4300.93	4641	131.02
3516.14	3682.17	99.41
3791.13	4063.8	104.06
4410.42	5070.96	215.48
4255.94	4572.64	158.59
3441.44	3709.71	103.21
3712.55	4040.83	122.97
4802.63	5088.41	154.32
4306.53	4591.05	127.45
3477.7	3680.05	89.11
3742.17	4051.51	163.79
4671.22	5091.44	158.13
4336.35	4621.7	152.21
3488	3657.05	88.12
3715.85	3988.61	146.42
4715.33	5130.6	178.96
4333.94	4625.84	122.53
3487.08	3736.76	109.31
3601.32	4076.8	183.08
4650.74	5151.53	181.77
4332.71	4580.15	128.49
3489.56	3692.21	126.73
3713.89	4065.66	125.38

EK-1'in devamı

4645.97	5136.05	239.99
4293.86	4603.19	150.91
3418.48	3671.46	103.57
3769.57	4106.51	172.18
4499.5	5100.44	181.32
4321.66	4572.44	131.91
3497	3717.75	98.82
3758.29	4074.73	158.2
4675.59	5163.19	184.68
4443.63	4614.94	120.21
3495.01	3708.83	100.81
3675.88	3994.73	130.22
4736.9	5144.51	163.67
4351.4	4623.39	151.25
3511.02	3692.68	97.5
3599.96	4031.98	153.87
4474.1	5132.23	206.66
4343.13	4641.94	154.44
3417.24	3685.67	123.63
3756.34	4029.49	164.24
4697.58	5118.29	231.25
4361.94	4650.02	137.65
3515.96	3698.63	110.14
3728.2	4040.79	172.28
4742	5118.64	170.51
4355.17	4623.08	133.99
3477.35	3690.72	124.79
3681.07	4015.41	152.12
4785.01	5138.42	191.66
4229.78	4612.58	123.07
3381.41	3695.17	129.18
3831.95	4064.13	130.49
4754.86	5142.86	142.61
4292.06	4580.97	135.52
3477.17	3687.02	87.44
3785.61	4058.19	142.94
4875.59	5120.02	142.4
4326.68	4573.45	114.36
3479.26	3702.43	113.26
3805.12	4030.08	114.79
4839.04	5152.6	152.7

EK-1'in devamı

4370.64	4583.91	127.97
3484.66	3635.38	80.01
3708.84	4055.36	152.93
4394.69	5067.27	206.73
4404.22	4625.28	123.44
3526.82	3689	112.12
3742.37	4019.1	153.5
4699.78	5071.58	200.02
4385.68	4639.24	136.5
3464.55	3680.46	118.06
3740.06	4064.91	162.66
4415.65	5071.61	223.62
4334.85	4605.76	119.74
3429.54	3672.34	108.41
3706.26	4011.82	136.21
4690.05	5061.31	169.81
4266.3	4567.28	119.95
3531.77	3692.34	102.72
3655.19	4045.96	154.84
4714.8	5147.85	199.73
4346.71	4630.92	147.81
3489.38	3660.74	73.58
3737.35	3963.11	127.08
4779.37	5158.71	180.53
4332.07	4618.26	139.77
3535.14	3652.32	64.66
3715.08	4049.02	127.98
4588.85	5155.03	215.65
4393.83	4601.85	114.2
3502.29	3670.54	73.22
3706.6	4023.05	156.15
4847.25	5127.17	169.38
4451.08	4601.6	110.13
3453.73	3662.45	111.49
3882.5	4066.36	125.27
4697.08	5136.8	213.42
4388.53	4631.87	132.06
3473.79	3692.58	115.3
3611.7	3992.34	181.87
4427.79	5111.1	230.73
4299.02	4622.46	118.92

EK-1'in devamı

3516.16	3712.15	110.06
3762.84	4002.1	115.99
4494.74	5050.22	207.31
4283.09	4567.3	134.8
3405.19	3656.34	86.46
3775.52	4069	143.15
4722.52	5119.96	195.22
4398.31	4630.62	102.95
3520.93	3692.85	93.53
3789.88	4037.65	135.72
4717.01	5174.14	205.9
4331.14	4642.51	138.98
3432.47	3696.31	131.48
3837.82	4068.71	111.77
4712.67	5157.06	188.56
4234.46	4594.88	157
3398.42	3687.29	102.28
3770.12	4051.04	160.48
4796.4	5107.94	152.57
4349.03	4615.14	141.01
3462.23	3697.79	125.24
3748.72	4045.55	156.26
4650.44	5174.54	203.95
4322.33	4584.91	115.89
3427.53	3653.18	106.92
3842.46	4054.13	122.14
4344.24	5091.14	222.83
4243.91	4619.89	151.99
3493.54	3671.13	107.98
3665.94	4046.02	163.56
4761.8	5084.56	154.92
4260.11	4568.9	140.33
3491.32	3674.91	106.01
3595.88	4043.28	169.3
4692.51	5128.04	187.79
4351.76	4615.75	137.35
3424.41	3670.28	100.41
3776.38	4041.17	122.38
4390.3	5077.63	237.79
4346.61	4598.04	120.73
3498.36	3694.48	108.6

EK-1'in devamı

3692.02	4029.01	143.19
4638.92	5083.41	198.94
4336.42	4582.21	118.45
3460.23	3694.17	126.9
3713.37	4022.06	138.58
4630.13	5136.05	206.36
4283.51	4590.33	130.73
3444.2	3653	112.43
3759.1	4061.87	135.53
4515.71	5072.04	186.54
4414.47	4628.8	125.53
3540.33	3699.82	101.07
3720.8	4049.21	136.57
4448.07	5104.23	227.35
4253.54	4568.12	120.77
3572.47	3680.38	74.04
3761.88	4002.19	140.9
4653.7	5119.61	174.72
4322.69	4562.82	136.69
3478.24	3697.81	119.44
3557.27	4038.28	167.43
4504.5	5074.03	243.88
4070.86	4564.22	149.96
3441.02	3674.06	104.97
3567.44	3997.77	152.31
4629.81	5120	207.2
4358.07	4591.45	136.52
3503.46	3692.43	104.82
3763.41	4024.79	129.11
4904.02	5150.47	147.9
4402.25	4629.38	141.04
3462.57	3707.24	106.47
3637.8	3998.71	119.38
4831.09	5135.31	155.21
4326.69	4579.34	130.73
3493.04	3700.94	113.76
3803.69	4050.44	159.94
4658.41	5109.11	180.69
4325.88	4618.7	130.91
3445.95	3704.33	99.41
3842.1	4045.92	127.41

EK-1'in devamı

4578.97	5141.93	179.76
4262.73	4573.69	174.83
3460.43	3678.27	108.27
3709.84	4027.88	151.96
4843.24	5147.05	173.88
4354.32	4619.95	126.75
3466.03	3689.19	96.94
3676.15	4038.32	192.41
4631.73	5084.87	212.41
4326.77	4625.17	136.44
3451.78	3681.95	128.29
3717.6	4027.02	159.13
4809.94	5158.88	185.9
4334.82	4610.7	135.41
3554.18	3690.49	84.96
3781.58	4046.71	160.36
4747.8	5072.54	149.18
4245.89	4567.59	146.13
3406.2	3660.24	106.9
3684.82	4073.66	175.67
4501.96	5123.59	207.54
4422.55	4589.47	131.77
3528.79	3704.04	96.33
3595.93	4055.47	167.23
4649.54	5131.16	179.96
4406.19	4627.47	129.41
3408.84	3673.28	127.63
3707.67	4047.63	120.02
4708.71	5173.38	181.43
4312.16	4582.42	139.31
3466.9	3668.36	118.41
3841.43	4062.36	156.3
4377.38	5131.15	229.96
4277.11	4574.08	139.98
3486.23	3687.63	104.6
3760.98	4050.55	163.63
4715.62	5097.44	163.26
4273.93	4600.4	132.92
3529.36	3724.49	111.34
3793.76	4058.99	145.62
4802.41	5121.66	166.98

EK-1'in devamı

4345.88	4585.53	135.74
3399.8	3691.89	144.94
3596.23	4019.96	169.09
4572.02	5045.33	172.66
4440.62	4763.98	135.92
3918.13	4144.28	108.24
4213.15	4594.53	173.83
4589.67	5010.03	189.08
4545.77	4803.81	121.72
3825.19	4111.57	123.9
4154.76	4642.33	214.75
4409.14	5052.34	218.15
4525.64	4765.17	118.19
3891.31	4103.63	94.44
4043.96	4651.27	192.93
4913.28	5103.02	129.88
4390.27	4767.31	134.08
3770.31	4112.57	109
4273.83	4718.02	182.42
4519.85	4980.28	168.84
4435.61	4781.56	115.93
3956.89	4147.77	99.93
4377.18	4683.69	166.57
4615.16	5040.18	185.06
4462.74	4753.68	119.09
3934.85	4114.62	109.42
4158.06	4666.3	172.92
4607.38	5047.72	184.22
4451.99	4765.66	147.62
3869.46	4162.29	102.99
4323.67	4655.23	179.74
4608.06	5068.57	184.13
4367.76	4781.74	166.78
3942.61	4127.93	99.99
4189.33	4603.63	198.98
4667.25	5000.95	145.25
4490.12	4765.83	140.6
3731.93	4099.01	117.24
4342.92	4690.78	156.41
4755.34	5113.73	173.17
4552.43	4800.35	120.28

EK-1'in devamı

3911.06	4123.87	115.75
4185.78	4670.3	171.15
4603.41	5044.64	163.29
4635.97	4791.63	84.23
3863.58	4111.32	94.42
4366.13	4612.6	157.31
4680.92	5045.09	187.13
4419.55	4767.05	120.53
3587.16	4099.81	131.88
4241.69	4652.43	214.26
4739.9	4991.23	118.3
4567.88	4787.75	110.91
3903.76	4128.92	99.01
4168.56	4655.01	180.77
4737.24	5080.61	147.07
4626.98	4775.92	92.25
3793.6	4142.96	115.71
4119.39	4620.6	213.97
4560.11	5041.22	187.71
4502.46	4777.23	118.89
3971.02	4142.75	86.28
4431.8	4705.42	150.57
4592.39	4986.3	163.46
4408.59	4766.29	135.3
3892.52	4111.78	128.72
4230.31	4647.18	177.84
4623.85	5018.63	204.81
4457.49	4775.52	114.82
3996.65	4150.7	80.46
4387.9	4694.98	161.11
4838.73	5073.06	115.53
4530.02	4790.13	106.61
3986.23	4150.75	105.96
4163.68	4680.08	182.51
4518.43	5029.82	172.15
4254.74	4764.05	167.85
3719.51	4136.06	120.11
4249.61	4598.76	195.74
4775.36	5038.16	138.88
4526.64	4813.23	106.27
3838.23	4148.11	88.09

EK-1'in devamı

4327.79	4650.9	160.87
4324.15	4974.58	226.39
4433.63	4767.68	126.02
4001.99	4165.55	96.18
4478.29	4709.25	140.9
4782.99	5021.4	127.19
4487.53	4733.59	116.99
3819.52	4103.7	92.82
4369.31	4658.74	134.37
4613.18	5005.81	178.79
4367.81	4776.96	135.2
3898.62	4126.37	114.46
4265.77	4610.39	135.53
4551.64	5016.57	220.52
4534.63	4798.63	126.63
3847.42	4097.12	110.92
4217.65	4648.33	207.59
4629.85	5038.22	153.57
4573.34	4805.9	110.99
3879.39	4093.89	92.11
4230.75	4653.78	226.19
4686.68	5057.92	171.5
4371.34	4739.92	128.17
3883.06	4138.16	122.76
4315.08	4668.27	205.16
4596.78	5019.61	190.93
4394.93	4787.43	137.09
3909.45	4139.28	92.75
4233.17	4678.52	206.51
4765.95	5022.86	162.1
4628.21	4804.55	98.71
3927.66	4138.51	133.4
4096.05	4579.54	202.89
4701.39	5036.77	141.39
4498.5	4765.76	120.47
3974.38	4144.58	87.62
4242.23	4637.66	172.53
4617.53	5003.05	174.83
4571.39	4774.41	113.44
3928.49	4130.81	111.81
4364.11	4677.58	190.1

EK-1'in devamı

4716.28	4988.65	133.22
4382.39	4776.13	144.29
3892.66	4125.32	105.1
4265.7	4662.64	217.57
4553.51	5048.58	152.41
4062.3	4773.11	197.41
3922.83	4142.73	100.78
4328.44	4619.32	150.07
4529.91	5040.75	192.63
4622.31	4784.27	93.75
3971.69	4143.12	86.54
4219.62	4665.99	184.2
4694.24	4999.98	138.16
4294.16	4739.89	175.73
3853.48	4137.21	114.9
4171.23	4640.35	193.1
4692.85	5031.4	164.19
4301.52	4767.53	130.76
3936.71	4092.61	97.66
3943.91	4658.52	208.11
4767.02	5064.8	181.98
4582.59	4774.59	87.96
3895.97	4154.97	134.03
4346.19	4703.29	182.76
4553.82	5012.8	191.14
4438.6	4797.19	144.45
3816.45	4125.14	125.54
4319.82	4660.4	173.4
4427.11	5016.88	220.12
4518	4781.55	132.31
3902.67	4124.23	103.77
4318.35	4662.73	186.11
4458.95	5040.61	190.7
4557.55	4814.88	112.41
3834.1	4132.15	116.68
3999.36	4569.64	215.91
4425.9	5038.38	193.05
4579.21	4772.75	86.38
3885.44	4128.93	110.98
4331.7	4717.71	165.51
4445.86	5036.8	177.77

EK-1'in devamı

4617.98	4777.69	99.38
3938.57	4130.74	94.32
4293.37	4674.68	204.77
4673.57	5089.11	169.75
4549.26	4785.19	120.64
3994.9	4157.25	89.46
4337.31	4678.77	169.89
4587.53	5026.36	171.64
4525.06	4806.69	138.96
3930.52	4137.9	111.57
4258.22	4643.48	184.7
4687.42	5016.69	163.17
4469.87	4769.96	121.49
3926.53	4147.76	93.62
4327.24	4655.53	147.1
4652.4	4994.76	181.57
4549.98	4792.1	94.1
3970.79	4172.51	104.6
4278.83	4644.13	190.16
4755.76	5092.91	152.34
4467.6	4798.62	104.9
4013.12	4171.09	75.55
4364.86	4670.92	171.06
4438.79	5067.71	190.06
4477.4	4755.36	109.79
3976.03	4120.27	72.37
4199.23	4695.09	208.64
4628.08	5024.73	174.17
4370.74	4796.89	152.2
4003.74	4143.55	77.12
4210.7	4618.01	187.55
4596.91	5032.85	152.61
4573.52	4778.87	117.61
3918.34	4126.54	89.98
4186.3	4610.98	230.63
4859.88	5046.64	132.83
4356.33	4802.98	138.16
3945.52	4157.9	95.38
4314.68	4671.85	143.44
4591.18	4958.83	149.35
4569.57	4784.27	112.54

EK-1'in devamı

3929.78	4153.21	102.74
4215.18	4669.2	221.1
4422.08	4975.84	238.08
4676.44	4836.06	105.72
3905.18	4119.69	112.75
4333.27	4668.85	148.33
4573.77	5016.24	195.73
4423.74	4757.09	124.49
3938.18	4148.35	82.58
4192.51	4723.13	191.48
4743.16	5035.55	151.23
4454.93	4806.07	127.51
3881.84	4135.73	97.08
4302.55	4676.94	184.75
4444.62	5008.64	187.5
4440.28	4751	111.97
3822.68	4112.65	135.2
4307.2	4635.65	153.86
4657.4	4995.19	155.39
4423.37	4822.07	126.31
3966.8	4174.02	96.04
4239.13	4655.61	150.49
4332.76	4635.69	174.29
4227.3	4655.99	194.46
4248.23	4682.75	183.75
4213.15	4594.53	173.83
4242.73	4660.4	171.98
4425.5	4646.85	112.39
4339.36	4673.12	161.17
4154.76	4642.33	214.75
4376.13	4708.9	130.97
4262.26	4686.69	174.28
4053.9	4619.18	188.84
4043.96	4651.27	192.93
4189.63	4668.41	184.02
4229.09	4632.33	205.34
4328.56	4629.29	164.13
4273.83	4718.02	182.42
4291.36	4681.9	181.93
4100.87	4653.58	197.71
4412.93	4669.09	171.32

EK-1'in devamı

4377.18	4683.69	166.57
4173.23	4634.76	181.9
4033.29	4619.64	208.89
4366.87	4680.86	180.99
4158.06	4666.3	172.92
4285.3	4667.78	166.66
4274.55	4648.36	172.43
4229.01	4614.05	167.24
4323.67	4655.23	179.74
4280.81	4652.48	168.22
4196.95	4634.16	182.59
4313.48	4648.01	157.3
4189.33	4603.63	198.98

EK-2 CSA Algoritması Hassasiyet Analizi Sonuçları

Minimum Değer	Ortalama Değer	Standart Sapma
5097.67	6170.02	529.48
4362.24	5836.53	528.51
4938.46	5998.71	500.69
4685.55	5816.22	512.68
4718.66	5634.82	379.85
3904.31	4725.8	317.58
4069.22	4752.25	267.09
4283.58	4737.78	227.52
4366.33	4779.72	293.39
4311.17	4859.03	306.38
4317.04	4595.83	194.52
3859.72	4621.12	301.72
4258.2	4794.94	228.83
4435.54	4825.72	238.3
4395.34	5068.52	305.63
4326.87	5104.27	302.67
4443.59	5255.98	408.06
4326.09	5280.67	363.8
4949.32	5447.77	397.15
5055.66	5802.88	426.83
4777.73	5623.19	453.27
4741.33	5859.61	417.37
4936.64	5894	441.76
4454.17	6059.08	561.76
5606.69	6453.58	438.3
5069.55	6754.3	800.71
5428.2	7023.76	678.73
5719.69	6930.94	845.74
5560.81	7058.96	709.56
5663.03	7138.77	777.66
5234.37	6310.74	620.48
5083.14	5854.97	433.82
4975.56	6094.91	594.46
4883.28	5884.43	557.15
4588.53	5859.04	553.72
4202.42	4834.16	310.83
4373.14	4878.63	292.94
4318.95	4850.04	281.88
4253.67	5016.23	298.06

EK-2'nin devamı

4450.52	5035.76	318.23
4158.55	4745.79	309.13
4325.49	4927.62	242.97
4225.88	5041.91	321.23
4270.87	4981.71	348.45
4279.07	5214.56	382.16
4265.43	5181.27	392.51
4768.65	5538.51	396.29
4615.17	5483.34	473.30
4170.64	5694.82	550.96
5340.04	5887.69	354.97
4992.79	5917.56	405.58
5293.84	6220.30	424.42
5086.14	6066.59	418.65
5346.12	6239.03	391.61
5504.40	6349.84	452.90
5266.69	6761.40	734.01
5269.59	6984.04	776.42
6364.96	7141.82	510.17
5039.07	7220.10	761.99
6133.29	7152.96	612.34
4783.83	6079.35	640.93
4248.05	5860.10	663.27
4950.64	6009.36	507.17
4776.30	5920.74	514.08
4461.38	6027.07	533.79
4365.50	5072.98	421.06
4475.22	5048.34	291.81
4293.98	5072.37	337.02
4079.36	5183.53	374.39
4523.04	5307.92	312.96
4576.54	5094.08	304.31
4435.16	5131.05	313.40
4632.64	5215.80	309.58
4745.67	5438.59	276.33
4793.69	5634.48	306.07
4641.48	5571.64	493.52
5216.04	5848.68	324.37
4977.60	5820.84	471.66
5024.43	6017.64	399.93
5361.41	6150.70	428.62

EK-2'nin devamı

4629.19	6050.13	692.88
4553.29	6369.25	606.32
5151.41	6481.36	684.49
5505.09	6538.43	556.01
5330.38	6751.49	754.74
5745.34	7231.50	644.98
6440.38	7243.62	582.75
5539.77	7061.88	868.70
5892.62	7099.65	629.50
5173.79	7322.43	825.91
5623.52	6367.44	494.14
4738.62	6358.12	556.70
4709.33	6210.80	537.85
4987.15	6162.45	512.35
5063.37	6252.85	542.62
4476.55	5340.87	395.85
4823.91	5432.03	301.01
4614.10	5361.85	324.55
4735.39	5498.01	309.82
4267.01	5490.02	442.52
4459.55	5432.51	395.55
3848.02	5534.63	498.42
4723.51	5590.65	410.11
4856.07	5779.24	413.65
5408.40	6060.25	436.51
5391.41	6191.73	439.40
4611.77	6011.71	594.37
5009.26	6170.57	480.57
5274.65	6258.77	441.88
4741.81	6425.19	619.49
5308.80	6470.70	441.72
5351.17	6565.52	503.68
5588.42	6626.38	444.68
5695.84	6718.82	573.56
5115.58	6601.42	671.71
5786.48	7182.18	749.45
5848.17	7147.03	643.03
5782.53	7300.88	833.64
5570.79	7111.37	780.06
5597.55	7412.77	595.36
5163.72	6568.72	643.28

EK-2'nin devamı

5337.90	6397.31	504.77
5613.52	6547.16	488.14
5211.69	6538.27	550.22
4849.50	6363.66	547.98
4754.28	5706.58	392.52
5059.08	5790.73	385.55
4781.28	5907.50	461.71
4946.95	6095.46	404.72
5329.30	6101.95	348.60
5140.60	5894.41	460.82
4408.25	5931.85	537.55
4868.44	6019.77	517.02
4813.68	6254.56	499.90
4901.94	6202.79	578.51
5170.35	6214.18	430.14
5445.56	6621.42	545.05
5668.97	6584.76	537.89
5618.98	6671.04	557.61
5742.08	6856.08	420.58
5400.69	6583.76	582.95
5312.34	6864.38	546.57
5334.43	6779.21	688.33
5499.20	7007.04	729.48
5878.50	7082.22	621.17
5592.48	7579.74	715.01
6242.43	7581.95	740.48
5978.37	7432.30	735.35
5403.81	7413.26	704.62
6119.42	7459.22	653.61
5454.90	6729.22	560.25
6006.75	6997.06	503.47
4950.50	6770.49	597.06
5707.48	6922.11	554.07
4727.04	6682.26	691.26
4413.93	6238.91	662.99
5274.53	6340.38	402.42
5291.73	6295.39	432.73
5163.85	6422.85	526.66
5803.54	6547.00	464.19
5464.15	6545.88	519.95
5539.83	6566.43	411.27

EK-2'nin devamı

5713.08	6685.48	599.55
5183.40	6711.17	479.36
5441.26	6988.00	592.35
5207.43	6803.73	697.36
4642.05	6932.81	694.52
4740.17	6713.08	743.65
5938.36	6924.42	578.97
5551.38	7058.26	692.96
5807.30	7152.50	700.07
6069.61	7187.86	646.57
5509.25	6924.83	601.77
5623.25	7280.80	787.85
5947.50	7320.12	626.39
5647.01	7446.99	1006.89
6168.07	7606.16	699.72
5781.55	7286.44	674.25
5191.96	7540.67	722.54
6318.41	7755.32	766.11
5543.99	7164.48	756.29
5503.11	7100.67	611.19
6101.31	7069.39	643.68
6137.09	7374.69	554.41
5555.22	7231.89	668.26
5623.69	6828.61	502.15
6056.11	6978.47	611.65
6058.52	7091.06	600.08
6244.37	7124.64	482.72
5882.60	7242.19	561.70
5504.11	6911.65	658.85
5632.44	7109.74	535.50
5406.94	7220.21	635.56
5893.09	7207.32	664.60
6162.69	7323.43	575.74
5646.96	7122.30	789.60
6027.29	7113.57	553.98
6282.39	7347.64	592.09
5783.28	7500.70	680.36
5849.62	7413.91	583.24
4998.43	7277.79	819.26
4901.66	7450.58	687.30
5867.30	7398.12	737.72

EK-2'nin devamı

5858.27	7543.56	647.26
6266.95	7659.45	675.63
5418.89	7632.60	866.19
6169.15	7586.25	733.36
5965.85	7747.81	808.22
6296.86	7585.13	576.01
6151.06	7790.47	760.77
5934.90	7526.57	718.09
5873.99	7519.94	696.23
6120.23	7523.82	644.27
6704.55	7657.31	609.11
5947.18	7561.06	772.95
5845.93	7291.03	656.91
6496.44	7558.49	613.02
6173.15	7542.09	657.27
6449.20	7421.75	659.14
5775.27	7135.00	648.90
6170.30	7581.20	660.35
5820.77	7406.53	752.08
5658.63	7379.53	765.78
5354.74	7317.59	706.00
5709.34	7287.23	788.13
6119.68	7751.76	753.70
5863.70	7667.67	702.51
6573.32	7756.11	653.24
5785.88	7542.45	836.12
5320.33	7549.80	843.77
6331.31	7603.42	748.23
6050.37	7379.23	750.39
6173.73	7602.17	711.11
5968.62	7467.76	674.00
5888.59	7874.51	782.11
5970.13	7842.43	945.40
6189.95	7878.90	816.46
6125.75	7865.12	786.45
6023.26	7913.44	1013.05
5857.02	7758.30	872.58
6849.92	8072.81	585.37
6103.87	8007.67	757.32
5469.60	7681.92	925.57
5461.00	7559.10	864.73

EK-2'nin devamı

6034.31	7500.94	766.19
6516.27	7783.16	626.05
5885.26	7828.81	779.37
6852.58	8043.91	610.27
6167.29	7661.69	859.86
6361.95	7992.56	723.25
5420.42	7672.17	903.94
5944.35	7979.48	687.59
5873.43	7770.08	854.67
6577.05	7914.91	760.52
6745.94	8068.29	695.25
6811.53	8097.14	642.05
6090.52	7890.54	795.92
6105.67	7908.08	681.29
6263.24	7713.99	720.79
6197.94	7890.51	762.33
5992.89	8039.98	856.31
6233.89	7905.74	728.04
5650.56	7873.59	802.49
6244.62	7819.83	793.34
5597.67	7717.50	978.79
6646.40	8093.88	626.48
6744.29	8363.10	803.26
6461.84	7905.58	770.98
5359.59	7918.80	984.58
6655.52	8192.24	874.70

ÖZGEÇMİŞ

REFİK BURAK TAYMUŞ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2015-2021	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2006-2008	Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Bilimleri Ana Bilim dalı, Ankara
Lisans 1998-2002	Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi 2015-Devam Ediyor	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van
Araştırma Görevlisi 2006-2015	Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Ankara