



**FARKLI GEOMETRİK ŞEKİLLİ PETEK  
KOLONLARIN OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Elif Gökçe SAVAŞ**  
**161115107**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği**  
**Programı: Mekanik**  
**Danışman Prof. Dr. Mehmet ÜLKER**

**HAZİRAN-2018**

T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI GEOMETRİK ŞEKİLLİ PETEK KOLONLARIN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif Gökçe SAVAŞ

161115107

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4 Haziran 2018  
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Haziran 2018

Tez Danışman: Prof. Dr. Mehmet ÜLKER (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Ragıp İNCE (F.Ü)

Dr. Öğr.Üyesi Mehmet Emin ÖNCÜ (Dicle Ü.)

HAZİRAN-2018

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana yardımcı olan, değerli bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan Prof. Dr. Mehmet ÜLKER'e teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda değerli bilgileriyle bana yol gösteren Dr. Öğr. Üyesi Sedat Savaş'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bana destek olan, çalışmalarım esnasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen biricik babam Prof. Dr. Vedat SAVAŞ'a, anneme ve kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET .....	IV
SUMMARY .....	V
KISALTMALAR .....	VI
SEMBOLLER .....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IX
TABLolar LİSTESİ .....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....	8
3. KOLONLARDA BURKULMA.....	10
3.1. Eksenel Basınçla Yüklü Elastik Prizmatik Çubuklarda Burkulma Uzunluğu ve Kritik Yük.....	13
3.2 Basınç Çubukları.....	14
3.2.1 Burkulma Yüğü .....	14
3.2.2 Burkulma Boyu Katsayısı .....	17
3.3. Block Lanczos Metodu .....	20
4. OPTİMİZASYON .....	21
4.1. Evrimsel Topolojik Optimizasyon.....	22
5.PETEK KOLON HESABI .....	24
5.1 Petek Kolon İçin Statik Hesaplama .....	26
6. PETEK KOLON OPTİMİZASYONU .....	28
6.1 Profilin Modellemesi .....	28
6.2. Petek Kolon Evrimsel Topolojik Algoritma Oluşturulması ve Uygulanması .....	30

6.3 Optimal Gz Boşluğunun Boyutlandırılması .....	57
6.4 Elde Edilen Optimum Geometrik Boşluk İle Uygulamada Kullanılan Farklı Geometrik Boşluk Şekillerinin Kıyaslanması.....	60
6.4.1 Dairesel geometrik boşluklu IPB-120 Profili.....	60
6.4.2 Karesel Geometrik Boşluklu IPB-120 Profili .....	63
6.4.3 Altıgen Geometrik Boşluklu IPB-120 Profili .....	65
6.4.4 Optimal Geometriye Sahip IPB-120 Profili .....	68
7.SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR.....	72
EKLER .....	73
EK A : Tez alışması için yazılan program.....	73

## ÖZET

Çelik yapılar bina, stadyum, fabrika gibi birçok alanda yaygın kullanıma sahiptir. Bu yapıların tasarımında hem ekonomik hem de güvenli olarak tasarlanmaları çok önemli parametrelerdir. Yapının kullanım amacına göre en ekonomik şekil de tasarım, tasarımcı tarafından hedeflenmektedir. Ekonomik tasarım için, petek kolonlar çelik yapılarda kullanılmaktadır. Ayrıca yapıların ekonomik tasarımı için optimizasyon teknikleri mevcuttur. Bu çalışmanın amacı, evrimsel topoloji optimizasyon tekniği kullanarak, burkulma etkisi dikkate alınarak, petek kolonun yük taşıma kapasitesini artıracak ve malzeme miktarını azaltacak optimum göz boşluğu şeklini belirlemektir. Analizler sonlu elemanlar metodu kullanılarak ANSYS programı ile yapılmıştır. Farklı mod durumları ve farklı iterasyonlar için analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarında çıkan optimal göz boşluklu kolon ile malzemedan tasarruf sağlandığı gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Petek Kolon, Burkulma, Evrimsel Topolojik Optimizasyon,

## SUMMARY

### **Optimization Of Different Geometric Shaped Castellated Column**

Steel constructions have wide using in many areas such as buildings, stadiums and factory. The aim of design in these constructions, both safe and economical design are very important parameters. According to aim of using of constructions, the most economical design is aimed by designers. For economical design, castellated columns are used in steel constructions. Also, optimizations technics are present to economical design of constructions. The aim of this study is to determine the optimal shape of web opening to increase load carrying capacity of castellated column and to decrease weight of castellated column considering bulking effect with evolutionary topological optimization technique. Finite element method is employed for analysis with using ANSYS program. The analysis are made for different modes and different iterations. According to analysis results, it is show that obtained optimal castellated column provides material saving.

**Keywords:** Castellated Column, Bulking, Evolutionary Topological Optimization

## KISALTMALAR

**TS 648** : Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları





## SEMBOLLER

**P** : Dikmeye etkiyen kuvvet

**P<sub>k</sub>** : Kritik yük (burkulma yükü)

**M** : Moment

**V** : Kesme kuvveti

**S<sub>c</sub>** : Göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kolonların boyu

**S<sub>g</sub>** : Göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kirişlerin boyu

**C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>** : İntegrasyon sabitleri

**l<sub>k</sub>** : Burkulma boyu

**G** : Burkulma boyu hesabında kullanılan katsayı

**F** : Çubuk enkesit alanı

**i** : atalet yarıçapı

**I** : Atalet momenti

**I<sub>c</sub>** : Burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kolonların atalet momenti

**I<sub>g</sub>** : Burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kirişlerin atalet momenti

**I<sub>min</sub>** : Minimum atalet momenti

**λ** : Narinlik

**σ<sub>ki</sub>** : Kritik burkulma gerilmesi

**σ<sub>a</sub>** : Akma gerilmesi

**σ<sub>p</sub>** : Orantılı sınır gerilmesi

**ω** : Çubuğun narinliği ile bağlantılı burkulma katsayısı

**σ<sub>cem</sub>** : Yükleme ve malzemeye göre çekme emniyet gerilmesi

**S** : En büyük basınç kuvveti

**k'** : Nümerik çarpan katsayısı

**k** : Burkulma katsayısı  
 **$\sigma_{dem}$**  : Burkulma emniyet gerilmesi  
**a** : Başlıkların ağırlık merkezi arasındaki mesafe  
 **$H_1; H_2, H2$**  : Petek kiriş yüksekliği  
**v** : Başlığa paralel kesişin üst başlığının dış kenarına mesafesi  
**z** : Ara parçası yüksekliği  
**h** : Kesimden önceki kiriş yüksekliği  
**e** : Tekrarlanan kesiş yolu birimi  
**G** : Birim ağırlığı  
**P** : Dikmeye etkiyen kuvvet  
**Q** : Yayılı yük  
 **$Q_m$**  : M. dikme kesitindeki kiriş kesme kuvvetinin değeri  
 **$N_{g,m}$**  : M. gözde başlık normal kuvveti  
 **$h_s$**  : Kirişin iki başlığı arasındaki gövde yüksekliği  
**N** : Dikme normal kuvveti  
**M** : Dikmeye etkiyen moment  
**L** : Kirişin hesap açıklığı  
**E** : Elastisite modülü  
**dx** : İntegral sabiti  
**J** : Atalet momenti  
**h** : Yapma kiriş hesap yüksekliği  
**I** : Kiriş açıklığı  
**Jg** : Gövde atalet momenti  
**Jb** : Başlık atalet momenti  
**P** : Tekil yük

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Ara levhasız(altıgen) petek kiriş [1].....	2
Şekil 1.2. Ara levhalı(sekizgen) petek kiriş [1].....	2
Şekil 1.3. Petek kolon ve kiriş örneği [2].....	3
Şekil 1.4. Petek kolon örneği [2].....	3
Şekil 1.5. Bir eğrisel petek kiriş uygulaması, winchester [3].....	4
Şekil 1.6. Blockpoo otoparkı, cork [3].....	4
Şekil 1.7. Bir stadyumda petek kirişlerin konsol dizaynı, Dumferline [3].....	5
Şekil 1.8. Stamford bridge stadyumu, Londra [3].....	5
Şekil 1.9. Gül restoran, Erzincan.....	6
Şekil 1.10. Petek kolon ve kiriş örneği [4].....	6
Şekil 1.11. Petek kolon örneği [5].....	7
Şekil 2.1. Kompozit kolon örneği[9].....	9
Şekil 3.1. Burkulma [12].....	10
Şekil 3.2. İki ucu mafsallı prizmatik çubuk [12].....	11
Şekil 3.3. Bir ucu ankastre diğer ucu serbest prizmatik çubuk [12].....	11
Şekil 3.4. Bir Ucu Ankastre Diğer Ucu Mafsallı Çubuk [12].....	12
Şekil 3.5. İki ucu ankastre prizmatik çubuk [12].....	12
Şekil 3.6. Burkulma boyları [12].....	13
Şekil 3.7. Basınç çubuklarında burkulma boyları [12].....	16
Şekil 3.8. Yanal ötelenmesi önlenmiş (çaprazlı) çerçeveler [12].....	18
Şekil 3.9. Yanal ötelenmesi önlenmemiş (rijit) çerçeveler [12].....	19
Şekil 4.1. Topolojik optimizasyon [17].....	21
Şekil 4.2. Şekil optimizasyonu [17].	21
Şekil 4.3. Boyut optimizasyonu [17].	21
Şekil 4.4. Evrim topolojisi akış şeması [18].....	23

Şekil 5.1. Altıgen ve sekizgen petek kolon [1].....	24
Şekil 5.2. Petek kolon imalinde ölçülendirme [3] .....	24
Şekil 5.3. Örnek petek giriş göz boşluk mesafeleri [3] .....	25
Şekil 5.4. Örnek petek giriş göz boşluk mesafeleri [3] .....	25
Şekil 6.1. Geniş başlıklı IPB profili [ 19 ].....	28
Şekil 6.2. Manuel olarak modellenen geniş başlıklı IPB 120 profili.....	29
Şekil 6.3. Örnek yapısal optimizasyon şeması .....	30
Şekil 6.4. IPB 120 I profiline kısıt değerlerin uygulanması .....	31
Şekil 6.5. IPB 120 I profilinde manuel açılan göz boşlukları.....	32
Şekil 6.6. Evrimsel topoloji optimizasyonu döngü şeması.....	33
Şekil 6.7. 4.mod'da elde edilen optimal şekil .....	34
Şekil 6.8. Optimal şekil kesiti.....	34
Şekil 6.9. IPB 120 profillinden çıkarılacak optimal şekil.....	34
Şekil 6.10. Optimal Şekil boyutları .....	35
Şekil 6.11. Mod 1 için 10,11 ve 20. Adımlar da ki görünüşler(a-b-c) .....	36
Şekil 6.12. 10 iterasyonda gerilme-şekil değiştirme.....	37
Şekil 6.13. 11 iterasyonda gerilme-şekil değiştirme.....	37
Şekil 6.14. 20 iterasyonda gerilme-şekil değiştirme.....	38
Şekil 6.15. Mod 2 için 10,11 ve 20. adımlar da ki görünüşler(a-b-c) .....	39
Şekil 6.16 10 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	40
Şekil 6.17 10 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	40
Şekil 6.18 11 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	41
Şekil 6.19. 11 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	41
Şekil 6.20. 20 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	42
Şekil 6.21. 20 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	42
Şekil 6.22. Mod 3 için 10,11 ve 20. Adımlar da ki görünüşler(a-b-c) .....	43
Şekil 6.23. 10 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	44
Şekil 6.24. 10 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	45
Şekil 6.25. 10 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	45
Şekil 6.26. 11 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	46
Şekil 6.27. 11 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	46
Şekil 6.28. 11 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	47

Şekil 6.29. 20 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	47
Şekil 6.30. 20 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	48
Şekil 6.31. 20 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	48
Şekil 6.32. Mod 4 için 10,11 ve 20. Adımlar da ki görünüşler(a-b-c) .....	49
Şekil 6.33. 10 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	50
Şekil 6.34. 10 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	51
Şekil 6.35. 10 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	51
Şekil 6.36. 10 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	52
Şekil 6.37. 11 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	52
Şekil 6.38. 11 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	53
Şekil 6.39. 11 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	53
Şekil 6.40. 11 iterasyonda 4.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	54
Şekil 6.41. 20 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	54
Şekil 6.42. 20 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	55
Şekil 6.43. 20 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	55
Şekil 6.44. 20 iterasyonda 4.Mod gerilme-şekil değiştirmesi .....	56
Şekil 6.45. Optimum tasarlanmış petek kolon.....	57
Şekil 6.46. Optimal göz boşluğu profil ölçüleri .....	58
Şekil 6.47 Optimal göz boşluğu ölçüleri .....	58
Şekil 6.48. Dairesel geometrik boşluklu geniş başlıklı profil mesh'lemesi .....	60
Şekil 6.49. dairese boşluklu geometriye sahip kolonun gerilme şekil değiştirmesi.....	61
Şekil 6.50. Gerilme şekil değiştirme hali (a)-(b) ve max-min gerilmeler (c).....	61
Şekil 6.51. dairese boşluk geometrisine sahip kolonun deformasyon şekli .....	62
Şekil 6.52. IPB-120 Profilin deformasyon şekli (a)-(b) ve max-min deformasyonlar (c). .	62
Şekil 6.53. Kare geometrik boşluklu geniş başlıklı profil mesh'lemesi.....	63
Şekil 6.54. kare boşluklu geometriye sahip kolonun gerilme şekil değiştirmesi .....	63
Şekil 6.55. Gerilme şekil değiştirme hali (a)-(b) ve max-min gerilmeler (c).....	64
Şekil 6.56. kare boşluklu geometriye sahip kolonun deformasyon şekli .....	64
Şekil 6.57. IPB-120 Profilin deformasyon şekli (a)-(b) ve max-min deformasyonlar (c). .	65
Şekil 6.58. Altıgen geometrik boşluklu geniş başlıklı profil mesh'lemesi.....	65
Şekil 6.59. Altıgen boşluklu geometriye sahip kolonun gerilme şekil değiştirmesi. ....	66
Şekil 6.60. Gerilme şekil değiştirme hali (a)-(b) ve max-min gerilmeler (c).....	66

Şekil 6.61. Altıgen boşluklu geometriye sahip kolonun deformasyon şekli .....	67
Şekil 6.62. IPB-120 Profilin deformasyon şekli (a)-(b) ve max-min deformasyonlar (c) . .	67
Şekil 6.63. Optimal geometrik boşluklu geniş başlıklı profil mesh'lemesi .....	68
Şekil 6.64. Optimal boşluk geometrisine sahip kolonun gerilme şekil değişikliği.....	68
Şekil 6.65. Gerilme şekil değiştirme hali (a)-(b) ve max-min gerilmeler (c).....	69
Şekil 6.66. Optimal boşluklu geometriye sahip kolonun deformasyon şekli .....	69
Şekil 6.67. IPB-120 Profilin deformasyon şekli (a)-(b) ve max-min deformasyonlar (c) . .	70



## TABLÖLAR LİSTESİ

<b>Tablo 6.1.</b> MOD 1 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki frekanslar .....	36
<b>Tablo 6.2.</b> MOD 1 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki deplasman ve gerilmeler .....	38
<b>Tablo 6.3.</b> MOD 2 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki frekanslar .....	39
<b>Tablo 6.4.</b> MOD 2 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki deplasman ve gerilmeler .....	43
<b>Tablo 6.5.</b> MOD 3 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki frekanslar .....	44
<b>Tablo 6.6.</b> MOD 3 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki deplasman ve gerilmeler.....	49
<b>Tablo 6.7.</b> MOD 4 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki frekanslar .....	50
<b>Tablo 6.8.</b> MOD 4 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki deplasman ve gerilmeler .....	56
<b>Tablo 6.9.</b> Boşluksuz kolon ve petek kolon ağırlıkları .....	57
<b>Tablo 6.10.</b> Geniş başlıklı profiller için örnek seçim tablosu .....	59
<b>Tablo 6.11.</b> Ekonomiklik karşılaştırma tablosu .....	70





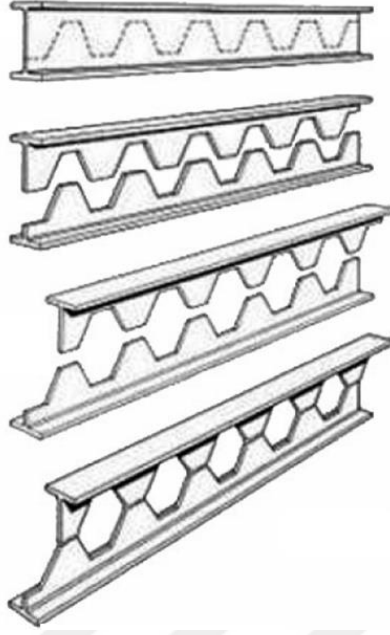
## 1. GİRİŞ

Çelik yapılar bina, stadyum, fabrika gibi büyük açıklıkların geçilmesi dahil birçok alanda yaygın kullanıma sahiptir. Bu yapıların tasarımında hem ekonomik hem de güvenli olarak tasarlanmaları ön plana çıkmaktadır. Yapının kullanım amacına göre en ekonomik şekilde boyutlandırma burada önem kazanmaktadır. Tasarım yapılırken, optimum kesitin seçilmesinde petek kiriş veya petek kolon kullanılması da bir alternatiftir. Petek elemanlarda, kullanılacak olan taşıyıcı sistem elemanında, etki eden kuvvetlerin taşınmasında en az katkısı olan bölgelerin çıkarılması ile malzemeden tasarruf edilmektedir. Farklı geometride göz açıklığına sahip petek kolonlar yapıya etki eden daha az ağırlıklarıyla yaygın olarak yapılarda kullanılmaktadır.

Çelik yapılarda petek kirişlere ilaveten, petek kolonlarda kullanılmaktadır. Petek kirişlerde eğilme momenti etkisi göz önüne alınarak tasarım yapılırken, petek kolon elemanlarda aksenal kuvvet ve burkulma önemli bir parametre olmaktadır. Kolon yüksekliğinin arttırılması durumunda burkulmanın etkisi artmakta ve kesitin taşıma gücünü daha fazla sınırlamaktadır. Burkulmaya karşı kesit boyutları büyük seçilmekte ve bazen ekonomik olmayan değerlere ulaşmaktadır. Bu tür durumlarda petek kolon kullanılması uygun bir çözüm sunabilmektedir[6].

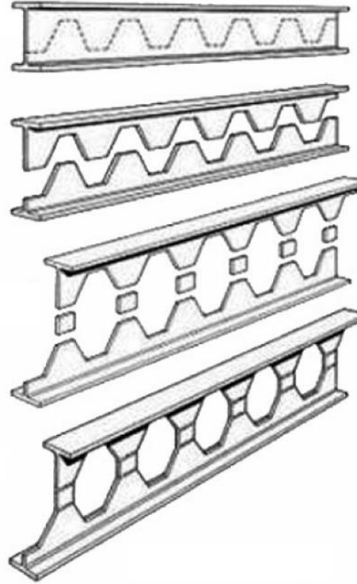
I tipi çelik profiller, petek kolon tasarımında tercih edilmektedir. I kesitli çelik profilin zikzaklar halinde kesilerek birbirlerine göre tekrar kaydırılıp kaynak yapılması şeklinde imal edilir. Bu işlem sonunda toplam profil yüksekliği artmış olacak ve dolayısıyla orijinal kolona göre mukavemeti daha yüksek olan bir kolon elde edilecektir (Şekil 1.1).

Bu tez çalışmasında geniş başlıklı IPB-120 profilinin burkulma etkisi altında evrimsel topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda elde edilen göz boşluğu piyasada mevcut olan; daire, kare, altıgen gibi göz boşluğuna sahip olan kolon elemanlar ile aynı şartlar altında ekonomiklik kıyaslaması yapılmıştır.



Şekil 1.1. Ara levhasız(altıgen) petek kiriş [1]

Bazı durumlarda petek kirişin yüksekliğini arttırmak için şekil de görüldüğü gibi kesilen kiriş çiftlerinin arasına ek levha da konabilir (Şekil 1.2)



Şekil 1.2. Ara levhalı(sekizgen) petek kiriş [1]

Petek kolon veya kiriş profillerinde, kesit içerisinden çıkarılan boşluk dairesel, altıgen vb. şekillerde olabilir. Yapıya uygun olarak, en fazla taşıma gücü sağlayacak, ekonomik tasarım ile birlikte imalat sırasında uygulanabilir olan özelliklerde boşluklar açılır.



Şekil 1.3. Petek kolon ve kiriş örneği [2]



Şekil 1.4. Petek kolon örneği [2]



Şekil 1.5. Bir eğrisel petek giriş uygulaması, winchester [3]



Şekil 1.6. Blockpoo otoparkı, cork [3]





Şekil 1.7. Bir stadyumda petek kirişlerin konsol dizaynı, Dumferline [3]



Şekil 1.8. Stamford bridge stadyumu, Londra [3]





Şekil 1.9. Gül restoran, Erzincan



Şekil 1.10. Petek kolon ve kiriş örneği [4]

Şekillerde görüldüğü üzere havaalanı, stadyum, otopark, fabrika ve hatta büyük açıklığa sahip restoranlar gibi birçok kullanım alanına sahip olan yapıların tasarımında petek kolon ve kirişlerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 1.11. Petek kolon örneği [5]

Şekil 1.3'den Şekil 1.11'e kadar petek eleman örnekleri görülmektedir.

Düşük bir maliyete sahip Petek kolonlar ve kirişler daha hafif ve mukavemetli olmalarının yanı sıra geniş açıklıkların geçildiği yapılarda petek boşlukları sayesinde iç hava sirkülasyonunun oluşmasını da sağlar.

Petek kolon ve kirişlerin avantajlarını özetleyecek olursak;

- Petek boşlukları sebebiyle boya yüzeyinin azalması
- Geniş açıklıkları rahatlıkla geçebilmelerinin yanı sıra daha az ağırlıkları ile fazla yükü taşıyabilecek dayanımda olmaları,
- Tasarlanan yapının ihtiyaç duyulan bütün tesisatlarının peteklerin içinden geçirilerek faydalı kat yüksekliğinin arttırılmasını sağlayabilmeleri,
- Diğer çelik yapı elemanlarına göre hafif olmaları sebebiyle çelik malzeme maliyetinin düşük olması,
- Daha estetik durmaları olarak sıralanabilir[3].

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Petek elemanlar üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların daha çok petek kirişler üzerine yoğunlaştığı görülmüştür. Petek kolonlar üzerine yapılan çalışmaların kısıtlı olması, bu tez çalışmasında petek kolonların incelenmesinde etkili olmuştur. Tez çalışmasının bu bölümünde, petek kiriş ve kolon elemanlar hakkında literatür özeti sunulacaktır.

Petek kirişler üzerine yapılan bir çalışmada, ansys analiz programı kullanılarak, evrimsel topolojik optimizasyon algoritması sonlu elemanlar yöntemi ile analizler yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada optimum bir boşluğa sahip petek kiriş tasarlanmıştır. Bu kiriş, normal I profili, dairesel boşluklu I profili ve altıgen boşluklu I profili ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak geliştirilen optimum boşluklu kesitin daha fazla yük taşıdığı görülmüştür [3].

Sweedan tarafından yapılan çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak petek elemanlarının kritik elastik burkulma yükleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çeşitli yükleme durumları ve geometrik şekillerin petek elemanlar üzerine etkisi incelenmiştir. Elastik burkulma yükünün en büyük değerine  $s/hw$ (boşluk aralığı/ eleman kalınlığı) =1.5 olması durumunda ulaşılmıştır ve bu oran dairesel boşluklu petek elemanlar için pratik uygulamalar için önerilmiştir. Ayrıca dairesel boşluklu petek elemanlar için  $s/d$  (boşluk aralığı/ boşluk çapı) oranının 3.5 değerini aşması durumunda burkulma yükünün, boşluksuz profilinkine çok yaklaştığı görülmektedir [6]

Petek kolonlar üzerine yapılan çalışmalarda, kesme deformasyonlarının petek kolonun burkulma direncini önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür [7, 8]

Aşağıda kompozit kolonlar için kısa bir literatür özeti verilmiştir;

Karimi vd. tarafından yapılan çalışmada çelik, beton ve lif ile güçlendirilmiş polimerden oluşan kompozit kolonların deneysel ve nümerik analizleri yapılmıştır. Bu kolonların aksenal basınç yüklemesi altında test edilmiştir. Bu yeni sistem mevcut yapıların güçlendirme çalışmalarında aksenal rijitliğin ve yük taşıma kapasitesinin artırılmasında ve enerji sönümlenme kapasitesinin artırılmasında kullanılabileceği belirtilmektedir [9].

Zhou vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, kompozit kolonların deneysel ve nümerik analizleri yapılmıştır. Kompozit kolon, çelik tüp içerisi beton ile doldurularak elde



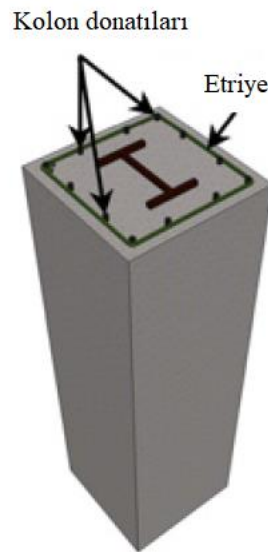
edilmiştir. Çalışma neticesinde, aksenal kuvvetin doğrudan tüpe etki etmemesinden dolayı çelik tüplerde ki yerel burkulmaların geciktiği görülmüştür [10].

Lacki vd. tarafından yapılan çalışmada tek aksenli eğilme ve aksenal kuvvete maruz kalan 3.6m yüksekliğine sahip kompozit kolonun nümerik analizleri yapılmıştır. Analizleri yapılan kompozit kolonun kesiti, ortasında I profil bulunan ve etrafı betonarme ile çevrenmiş şekildedir. Analizler neticesinde kompozit kolonların, çelik profilden daha rijit olduğu görülmüştür. [11]

Yapılarda çelik kolonların veya çelik petek kolonların kullanımına ek bir seçenek olarak kompozit kolonların kullanımı da tercih edilebilir (Şekil 2.1). Kompozit kolonlar, yüksek yük taşıma kapasitesine ve büyük enerji sönümlenme kapasitelerine sahip kolonlardır. Kompozit kolonların sağladığı bu gibi avantajlarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadırlar [9].

Çelik kolonun betonarme ile çevrenmesi, kolonun stabilitesi için ciddi bir tehdit olan yangına karşı direnç sağlamaktadır ve çelik kolonun burkulma direncini arttırmaktadır [9]. Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi beton ile kaplanan çelik çubuk yangın etkilerine karşı bir koruyucuya sahiptir.

Kompozit kolonlarda çelik kolon ile beton arasındaki aderans, kolonun dayanımını etkilemektedir [10]. Bu kolonlarda petek eleman kullanılması, petek elemanın boşlukları sayesinde aderansı önemli ölçüde arttıracaktır.



Şekil 2.1. Kompozit kolon örneği[9].

### 3. KOLONLARDA BURKULMA

Çekmeye çalışan profillerde, kesitin yük taşıma kapasitesini malzeme dayanımı ve kesit alanı belirlemektedir. Fakat aksenal basınç kuvvetine maruz elemanlarda kesitin narinliğinden dolayı meydana gelen burkulma da etkili bir parametre olmaktadır.

Kolonlarda aksenal yük değerinin, kritik yüke ulaşmasıyla, kolonun ilk durumundaki denge durumu bozulmakta ve doğrusal halinden ayrılmaya eğilmektedir ve buna burkulma (flambaj) adı verilir. Kritik yük etkisinde burkulanan kolonlarda, kolonda oluşan gerilmeler tehlike sınırına ulaşmasa bile kolon da önemli şekil değişimleri olur. Bu durumda homojen ve izotrop malzemeden meydana gelen elastik kolon istenilen şekil de görevini yerine getiremez. Bu sebeple aksenal basınç yükü altındaki kolonların burkulmadan işlevlerini sürdürebilecek şekilde tasarlanmaları gerekir[12].



Şekil 3.1. Burkulma [12]

Burkulma yalnız prizmatik çubuklarda değil, denge durumu kararsız hale gelebilen bütün sistemler ve yapı elemanları için meydana gelebilecek bir durumdur. Elastik kolonların nümerik olarak ilk defa analizi EULER tarafından yapılmıştır[20]. Euler, problemi statik (denge) yöntemiyle çözmüştür. Euler'e göre çubuğa etki eden aksenal basınç yüküyle, kritik yük dediğimiz burkulma yükünün ( $P_k$ ) hangi koşullarda eşit olacağını belirlemesine dayanır ve buna da farksız denge konumu denir. Çubuğun doğru formunun aşağıdaki durumlar gibi olacağı anlaşılabilir çözümü yapılmıştır.

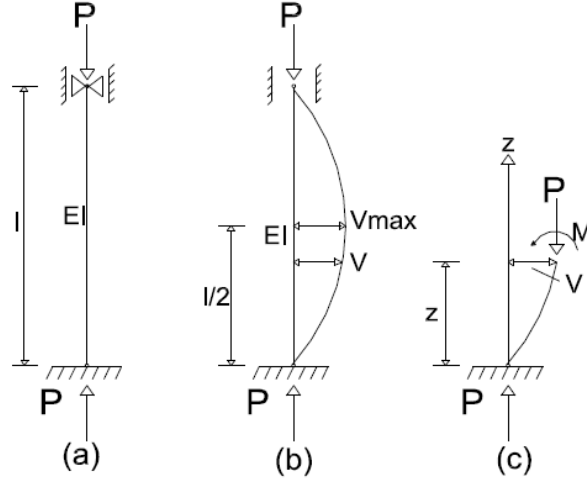
a-)  $P < P_k \rightarrow$  kararlı

b-)  $P = P_k \rightarrow$  farksız

c-)  $P > P_k \rightarrow$  kararsız

Euler yaklaşımı için kolonların farklı mesnet durumları;

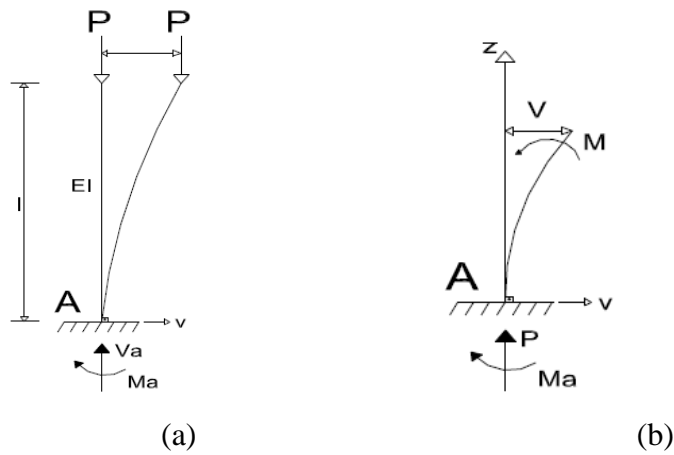
a) İki ucu mafsallı prizmatik çubuk: Şekil 3.2’de görüldüğü gibi iki ucu mafsallı kolonun burkulma boyu gerçek boyu ile eşit alınır (Denklem 3.1)



Şekil 3.2. İki ucu mafsallı prizmatik çubuk [12].

$$P_k = \pi^2 EI / (l^2) \quad (3.1)$$

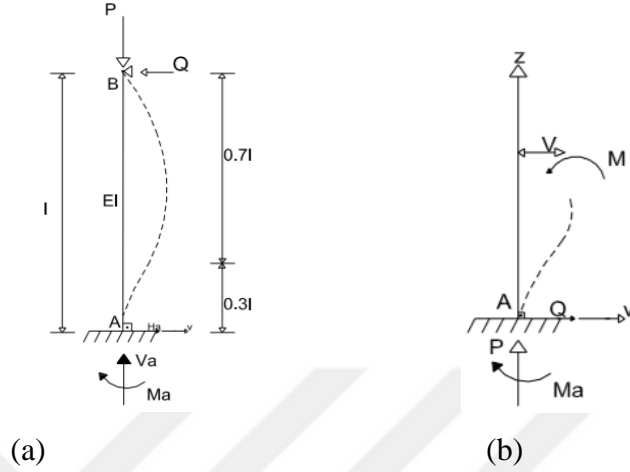
b) Bir ucu ankastre diğer ucu serbest prizmatik çubuk: Şekil 3.5’de görüldüğü gibi bir ucu ankastre diğer ucu serbest elemanlarda burkulma boyu, çubuğun gerçek boyunun iki katı alınır (Denklem 3.2).



Şekil 3.3. Bir ucu ankastre diğer ucu serbest prizmatik çubuk [12].

$$P_k = \pi^2 EI / (2l^2) \quad (3.2)$$

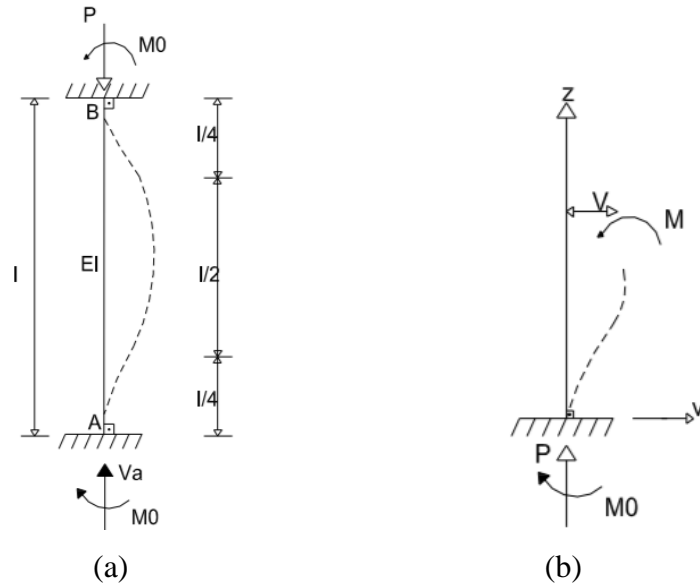
c) Bir ucu ankastre diğ er ucu mafsallı prizmatik çubuk: Şekil 3.6'da görüldüğü gibi bir ucu ankastre diğ er ucu mafsallı prizmatik çubuklarda burkulma boyu çubuk boyunun 0.7 katı olarak alınır (Denklem 3.3).



Şekil 3.4. Bir Ucu Ankastre Diğ er Ucu Mafsallı Çubuk [12]

$$P_k = \pi^2 EI / (0.7l)^2 \quad (3.3)$$

d) İki ucu ankastre prizmatik çubuk: Şekil 3.7'de görüldüğü gibi iki ucu ankastre prizmatik çubuklarda burkulma boyu çubuk boyunun yarısı alınır



Şekil 3.5. İki ucu ankastre prizmatik çubuk [12]

$$P_k = \pi^2 EI / (0.5l)^2 \quad (3.4)$$

### 3.1. Eksenel Basınçla Yüklü Elastik Prizmatik Çubuklarda Burkulma Uzunluğu ve Kritik Yük

Eksenel basınçla yüklü prizmatik çubuklarda çeşitli mesnet şartları için bulunan kritik yük(burkulma yükü) formüllerinin hepsini, EULER formülü denilen tek bir formül altında toplamak mümkündür [3].

$$P_k = \pi^2 EI / l_k^2 \quad (3.5)$$

$P_k$ : Kritik burkulma yükü

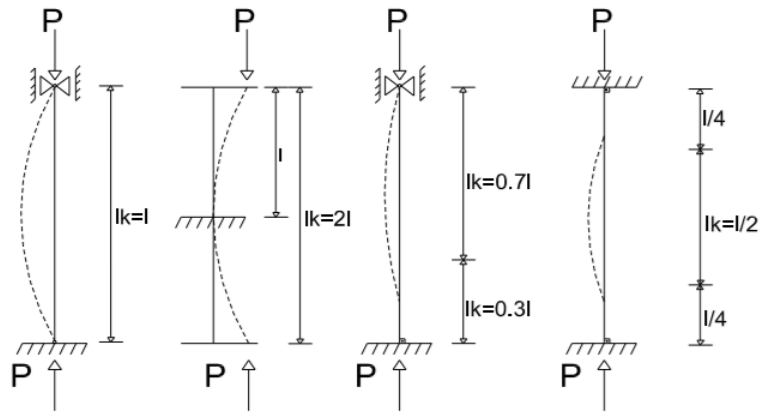
$l_k$ : Burkulma uzunluğu (kritik uzunluk)

$I$ : Atalet momenti ( kesitin en küçük atalet momenti  $I_{min}$ )

Denklem 3.5’de yer alan  $l_k$  uzunluğu çubuğun mesnetlenme koşullarına göre kolonun gerçek boyunun bir oranı olarak alınır.

Denklem 3.5 incelendiğinde burkulma yükünün mesafenin karesiyle ters orantılı olduğu dolayısıyla, uzun ve narin basınç çubuklarında burkulmanın daha etkili olduğu görülmektedir. Denklem 3.5’de kullanılan atalet momenti ( $I$ ) çubuğun zayıf eksenine ait  $I_{min}$  olarak alınır ve çubukta bu eksenle burkulma oluşur.

Yukarıda belirtilen kritik burkulma yükü formülleri, denklem 3.5 formülü ile karşılaştırılırsa, her mesnetlenme durumu için burkulma boyu Şekil 3.6.’de gösterildiği gibi bulunur.



Şekil 3.6. Burkulma boyları [12]

Prizmatik çubuklarda uç koşulları Şekil 3.6.’de gösterilen ve basit Euler halleri adı verilen dört basit halin dışında da olabilir.

## 3.2 Basınç Çubukları

### 3.2.1 Burkulma Yüğü

Eksenel basınç kuvveti taşıyan çubuklara, genellikle yapı kolonu veya kafes kiriş elemanı olarak rastlanmaktadır. Bu çubuklarda, etkiyen basıncın kritik değeri aşmasıyla, çubuk eksenini doğrusallığını kaybederek eğilmeye başlar yani basınç çubuğunda burkulma meydana gelir.

Malzemesi Hook Kanunu' na uyan, iki ucu mafsallı prizmatik bir çubuk için ideal eğilme burkulması yükünü ilk kez 1757 yılında matematikçi Leonhard EULER hesaplayarak aşağıdaki formülü elde etmiştir. Bir çubukta burkulmayı başlatan kritik burkulma yükü,

“ Euler Burkulma Yüğü “ olup,

$$P_{ki} = P_E = \pi^2 EI / (l_k)^2 \quad (3.2.1)$$

dir. Bu yük altında çubuktaki burkulma gerilmesi,

$$\sigma_{ki} = P_{ki} / F = \pi^2 \cdot E \cdot I / F \cdot l^2 \quad (3.2.2)$$

olur. Burada kullanılan ifadelerin anlamları ise:

E : Elastisite Modülü

F : Çubuk en kesit alanı

I : Çubuğun atalet momenti

$l_k$  : Çubuk burkulma boyu

i atalet yarıçapı ve  $\lambda$  narinlik olmak üzere;

$I/F = i^2$ , çubuk en kesitinin atalet yarıçapının karesi olduğuna ve  $\lambda = l_k / i$  basınç çubuğunun narinliği şeklinde tanımlandığına göre, kritik burkulma gerilmesi,

$$\sigma_{ki} = \pi^2 E / \lambda^2 \quad (3.2.3)$$

denklem 3.2.3'de ki gibi yazılabilir. Çelik malzeme,  $\sigma \leq \sigma_p$  ( orantılı sınır gerilmesi ) olduğu zaman Hooke Kanunu'na uymaktadır. Bu durumda, yukarıda verilen ( $\sigma_{ki}$ ) değerinin geçerliliği ancak,  $\sigma_{ki} \leq \sigma_p$  durumu içindir.  $\sigma_p = 0.8 \sigma_a$  ( akma sınırı ) varsayımı gözönünde tutulursa,

$\sigma_{ki} = \sigma_p$  durumunda narinlik değeri;

$$\sigma_{ki} = \sigma_p = \pi^2 \cdot E / \lambda_p^2 \rightarrow \lambda_p = \pi \cdot ( E / \sigma_p )^{1/2} \approx 100 \quad (3.2.4)$$

olur.  $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg / cm}^2$ ,  $\sigma_p = 0,8 \cdot 2400 = 1920 \text{ kg / cm}^2$  (St37) değerleri yerine konursa

(  $\lambda_p \approx 100$  ) çıkar.

Buna göre, herhangi bir basınç çubuğunda (  $\lambda > \lambda_p = 100$  ) olması durumunda (  $\sigma_{ki}$  ) Euler Formülünü geçerli olduğu görülmektedir.

İki ucu mafsallı bir basınç çubuğu göz önünde tutulmuş ve bu çubuktaki (  $\sigma_{kr}$  ) kritik burkulma gerilmesi hesaplanmıştır. Böylece, herhangi bir basınç çubuğundaki  $\sigma = P / F$  ortalama gerilme, bu (  $\sigma_{ki}$  ve  $\sigma_{kr}$  ) gerilmelerinden belli bir emniyet kadar küçük kalmalıdır.  $\sigma_{kr}$  değerleri saptanırken yakın kabuller yapılmış olmasına rağmen  $\sigma_{ki}$  değerleri için ideal kabuller göz önünde tutulmuştur.  $\sigma_{kr}$  ve  $\sigma_{ki}$  ki gerilmelerine göre farklı emniyet katsayılarının alınması doğru olur.

DIN 4114 şartnamesinde;

$$v_{kr} \text{ (taşıma yükü emniyet sayısı) } = 1,5$$

$$v_{ki} \text{ (taşıma yükü emniyet sayısı) } = 2,5$$

değerleri kabul edilmiştir. (  $\sigma_{dem}$  ) burkulma emniyet gerilmesi,  $\sigma_{kr} / v_{kr}$  ve  $\sigma_{ki} / v_{ki}$  değerlerinin küçüğü olarak ifade edilir.

$\sigma_{dem} = \min( \sigma_{kr} / 2,5 , \sigma_{ki} / 1,5 )$  şeklinde tanımlanırsa, basınç çubuklarında,

$$\sigma = P / F \leq \sigma_{dem} \quad (3.2.5)$$

gerilme irdelemesi ortaya çıkar. Burada (  $\lambda$  ) nın değerlerine göre değişken (  $\sigma_{dem}$  ) değerleriyle çalışılmak istenmiyorsa, değişken olmayan bir (  $\sigma_{em}$  ) göz önünde tutularak, “ $\omega$  burkulma sayıları “ tanımı yapılır ve

$\omega = \sigma_{em} / \sigma_{dem}$  olarak ifade edilir.

$$\omega = \sigma_{em} / \sigma_{dem} \rightarrow \sigma_{dem} = \sigma_{em} / \omega \rightarrow \sigma = P / F \leq \sigma_{dem} = \sigma_{em} / \omega \quad (3.2.6)$$

elde edilir. Böylece,

$$\sigma = P.\omega / F \leq \sigma_{em} \quad (3.2.7)$$

olarak, aksenal basınç kuvvetine maruz çubuklardaki gerilme kontrolünün genel uygulama şekli ortaya çıkar. (  $\omega$  ), burkulma katsayısı olup (  $\lambda$  ) narinliğine göre değer almaktadır. Yuvarlak borudan çubuklar hariç, bütün enkesit şekilleri için aynı  $\omega$  tabloları kullanılır. (  $\sigma_{em}$  ) değeri de (  $\sigma_{çem}$  ) e eşittir. [14]

$$\sigma = P.\omega / F \leq \sigma_{çem} \quad (3.2.8)$$

Burada,

P = Çubukta meydana gelebilen en büyük basınç kuvvetini (kgf),

F = Çubuğun en kesit alanını (cm<sup>2</sup>),

$\sigma_{çem}$  = İncelenen yükleme ve malzemeye göre çekme emniyet gerilmesini, (kgf/cm<sup>2</sup>),

$\omega$  = Çubuğun narinliği (  $\lambda$  ) ile bağlantılı ve Fe 37 ile Fe 52 çelikleri için alınacak burkulma katsayısını ifade etmektedir.

Basınca çalışan çubukların farklı mesnet şartlarındaki burkulma boyları, altı durum için Çizelge 3.7.' de verilmiştir. Bu çizelgede verilen mesnetlerde istenilen durumu tam olarak gerçekleştiremeyeceğinden, tavsiye edilen değerler eşdeğer teorik değerden daha fazla olarak tutulmuştur [14].

Çubuğun Konumu ( Kesikli çizgiler burkulma şeklini gösteriyor.)						
"K" Katsayısı	0,8	1,0	0,7	1,0	2,0	2,0
Uç bağlantı şekillerinin ayrıntıları		Dönme ve öteleme önlenmiş				
		Dönme serbest, öteleme önlenmiş				
		Dönme önlenmiş, öteleme serbest				
		Dönme ve öteleme serbest				

Şekil 3.7. Basınç çubuklarında burkulma boyları [12].



### 3.2.2 Burkulma Boyu Katsayısı

Çubuk elemanlardaki burkulma boyları yukarıda belirtilmektedir. Fakat çerçeveler içerisinde bulunan kolonlarda, basınç çubuklarının burkulma boyu katsayısı çerçevenin yanal hareketinin önlenip önlenmemesine göre farklılık göstermektedir ve Çizelge 3.2.2 veya Çizelge 3.2.3.' den elde edilir. Çerçeve basınç çubuğunun A ve B uçlarında Çizelge 3.2.2 veya Çizelge 3.2.3 ' de kullanılan G katsayısı;

$$\frac{\sum I_c/l_c}{\sum I_g/l_g} \quad (3.2.9)$$

formülüyle elde edilir. [14]

Burada;

G = Burkulma boyu hesabında kullanılan katsayı

$I_c$  = Göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış ve burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kolonların atalet momenti ( $cm^4$ )

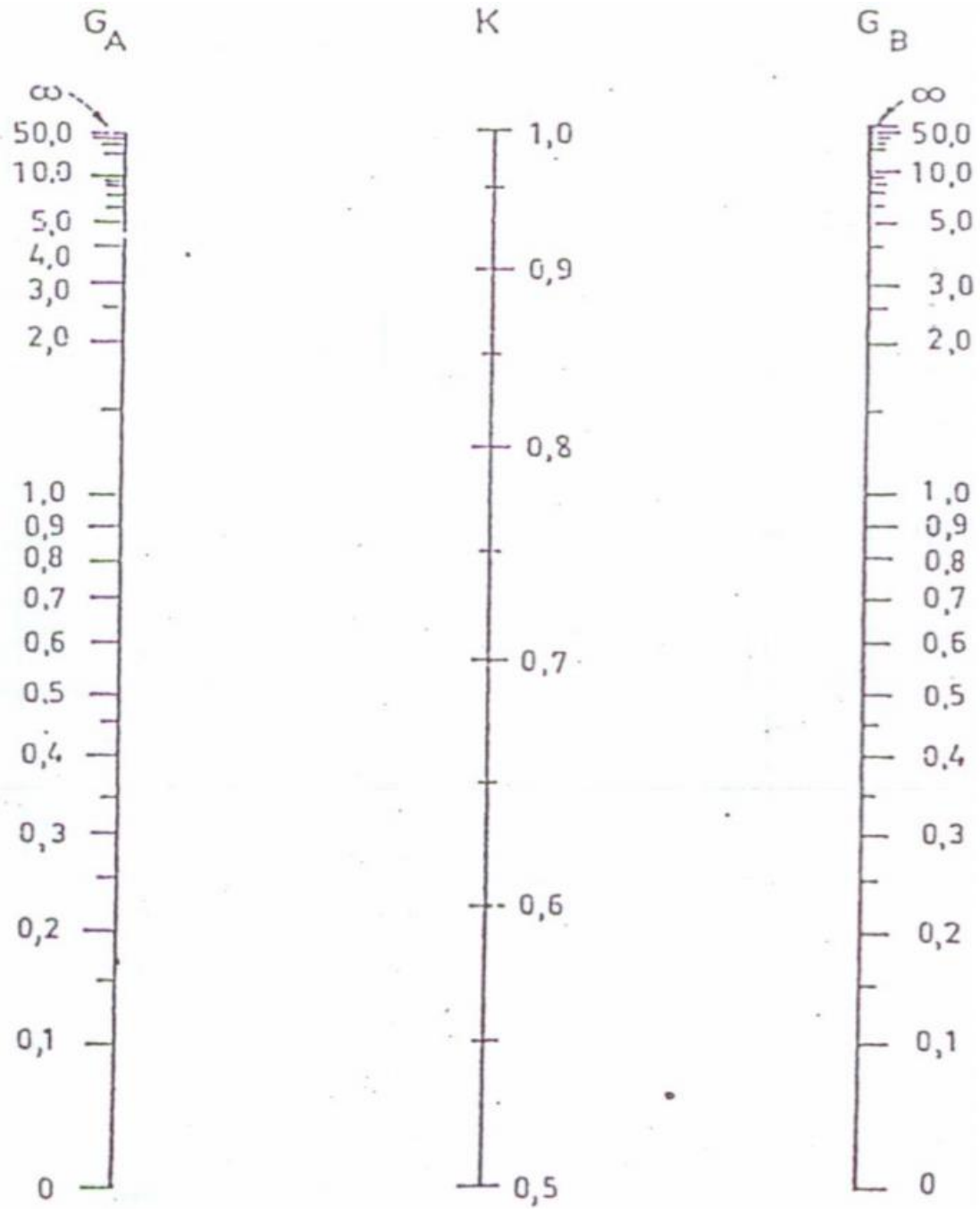
$I_g$  = Göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış ve burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kirişlerin atalet momenti ( $cm^4$ )

$l_c$  = Göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kolonların boyu (cm)

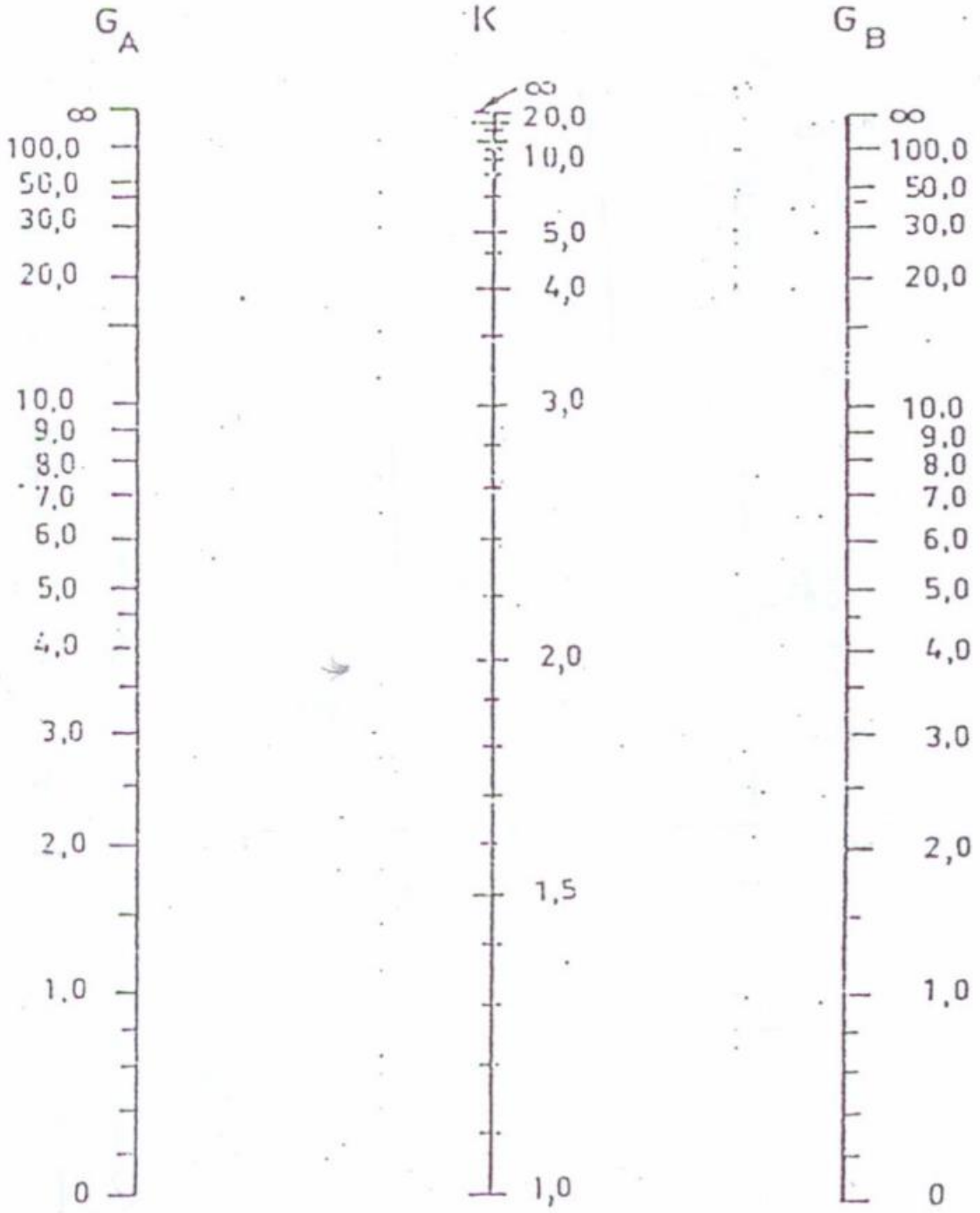
$l_g$  = Göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kirişlerin boyu (cm)

Kolon ucu bir temel bağlantısı olması durumunda, bağlantı rijit (ankastre) ise  $G = 1.00$  alınmalıdır. Kolon temele sürtünmesiz tamamen dönebilir bir mafsallık ile bağlı ise  $G = 10.00$  alınmalıdır.

Kolonun iki ucundaki GA ve GB değerleri elde edildikten sonra Çizelge 3.8 veya Şekil 3.9' den (k) değeri elde edilir ve sonuç olarak burkulma boyu  $s_k = k.s$  olarak bulunur. Çok katlı Çerçevelerde Basınç Çubuklarında Efektif Uzunluk Katsayısı Nomogramları;



Şekil 3.8. Yanal ötelenmesi önlenmiş (çaprazlı) çerçeveler [12].



Şekil 3.9. Yanal ötelenmesi önlenmemiş (rijit) çerçeveler [12].

### 3.3. Block Lanczos Metodu

Lanczos metodu karmaşık bilgisayar matrislerinin çözümü için tasarlanmış bir metottur ve ilk bulunduğu dönemde yaygın bir ilgi görmüştür. Genel olarak bakıldığında İteratif yaklaşımlar, genel matrislerde özdeğer problemlerin çözümü için daha uyumlu olan, direk metotların gölgesinde kalmıştır. Lanczos metodu aşırı özdeğer ve vektörlerin belirlenmesi için kısmen uyumlu bir metottur. Güçlü bilgisayarların gelişmesi ile, lanczos algoritması genel metotlardan daha üstün olmuştur. Bilgisayarlar için algoritmanın hızlı çözüm yapması büyük öneme sahiptir ve bu yöntem ile zamandan ve bilgisayar gücünden tasarruf sağlanır. İteratif yöntemlerin bir avantajı da istenilen sonuca adım adım gitmesi ve yeterli hassasiyet sağlandığında durulmasıdır. Fakat bunun aksine direk metotlarda tam sonuç elde edilene kadar bir aşama yoktur.

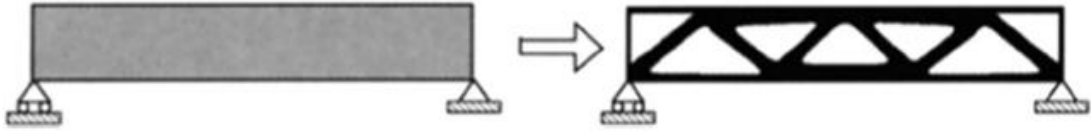
Ansys programı da bu karmaşık ve çözümü uzun süren matrislerin çözümü için bu metodu kullanır. Bu tezde ansys programıyla ile çözülen burkulma probleminde ansys kendisi çözüm metodu olarak Block Lanczos'u seçmiştir [15].

#### 4. OPTİMİZASYON

Yapıların tasarımı yapılırken, güvenli bir şekilde tasarımın en az maliyetle yapılması hedeflenir. Kesitin yük taşıması için yeterli olacak boyutların gerekenden büyük seçilmesi, yapının güvenli olmasını sağlar fakat yapı ekonomik olmaktan uzaklaşır. Yapının hem güvenli olarak tasarlanması hem de ekonomik açıdan uygun olması gerekmektedir. Bu durumda en uygun çözümün bulunması gerekir ve buna optimizasyon denir. Tasarlanacak yapıya göre, en uygun optimizasyon yöntemi belirlenip çözüm yapılır.

Herhangi bir tahmine dayanmayan deterministik, ve daha çok ihtimallere dayanan probabilistik optimizasyon olmak üzere genel olarak 2 çeşit optimizasyon yöntemi vardır [16]. Bu çalışmada optimizasyon probleminin çözümünde kullanılan evrimsel tabanlı topoloji optimizasyonu, daha çok olasılıklara dayanan probabilistik optimizasyon yöntemlerinin içinde yer almaktadır. Bunun yanı sıra topolojik, şekil ve boyut olmak üzere 3 farklı optimizasyon bulunmaktadır.

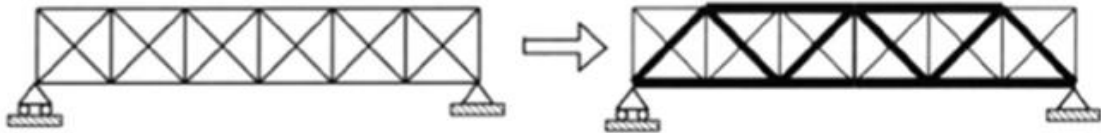
Yapısal optimizasyon şekilleri aşağıdaki şekillerde verildiği gibidir;



Şekil 4.1. Topolojik optimizasyon [17].



Şekil 4.2. Şekil optimizasyonu [17].



Şekil 4.3. Boyut optimizasyonu [17].

Bu tez çalışmasında optimizasyon tekniği olarak evrimsel topolojik optimizasyon kullanılmıştır. Topoloji optimizasyonu yöntemleri genel anlamda aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- a) Genetik algoritmalar yöntemi
- b) Homojenleştirme yöntemi
- c) Optimallik kriteri yöntemi
- d) Evrimsel optimizasyon yöntemi

#### **4.1. Evrimsel Topolojik Optimizasyon**

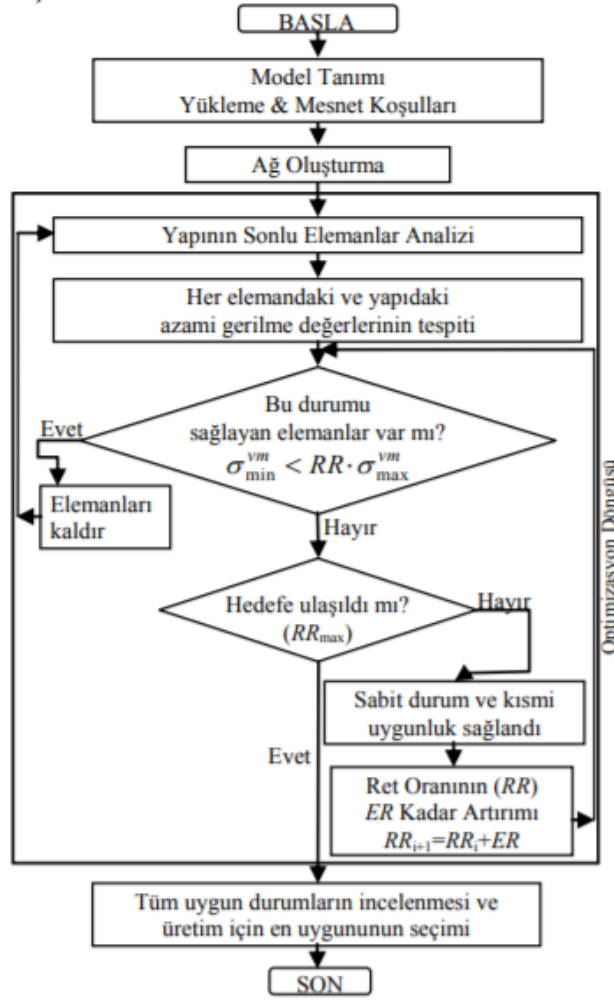
Bu tez çalışmasında optimizasyon yöntemi olarak evrimsel topolojik optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin analizleri için sonlu elemanlar metodu kullanılır. Bu yöntemde yapının optimize edilmesinde belirli bir yükleme ve sınırlar altında tekrarlanan eleman çıkarma esasına dayanır. Yapı içerisinde yükleme altında en az zorlanan kesitlerin çıkarılması ile yani verimi düşük bölgelerin çıkarılması ile yapıda optimum bir boyut oluşması hedeflenmektedir [3]

Bu optimizasyon yönteminde, kesit içerisinde çıkarılacak elemanlar bir anda değil adım adım çıkarılmaktadır. Tekrarlanan analizler altında, başlangıçta tanımlanan yapıdan malzeme çıkarılarak optimum kesit elde edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca bu optimizasyon yönteminde malzeme eklenmesi de mümkündür [3]

Evrimsel topolojik optimizasyon yöntemi, diğer optimizasyon yöntemlerine göre uygulaması daha az karmaşık ve uygulaması kolaydır. Bu analiz yönteminde hedef tanımlanan sınırlayıcı şartları sağlayıp, var olan malzeme ile en fazla rijitliğin sağlanmasıdır.

Bu tez çalışmasında tam dolu I profil kolon elemanının optimizasyonunu yapılacaktır. Eksenel kuvvete maruz kalan kolon elemanında, burkulma yükü kolonun yük taşıma kapasitesinin sınırlayan bir parametredir. I profilinin gövde bölgesinden çıkarılacak olan boşluklar sonucunda kolonun daha az malzemeye, üzerine etki eden burkulma kuvvetine diren göstermesi hedeflenmektedir. Bu nedenle evrimsel topolojik optimizasyonun bu tez çalışması kapsamında seçilmesi uygun görülmüştür. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılacak analizlerde, kolon gövdesinden verimi en az olan kesitler çıkartılarak kolon gövdesinde boşluklar açılarak, optimum boşluklu petek kolon tasarımı hedeflenmektedir.

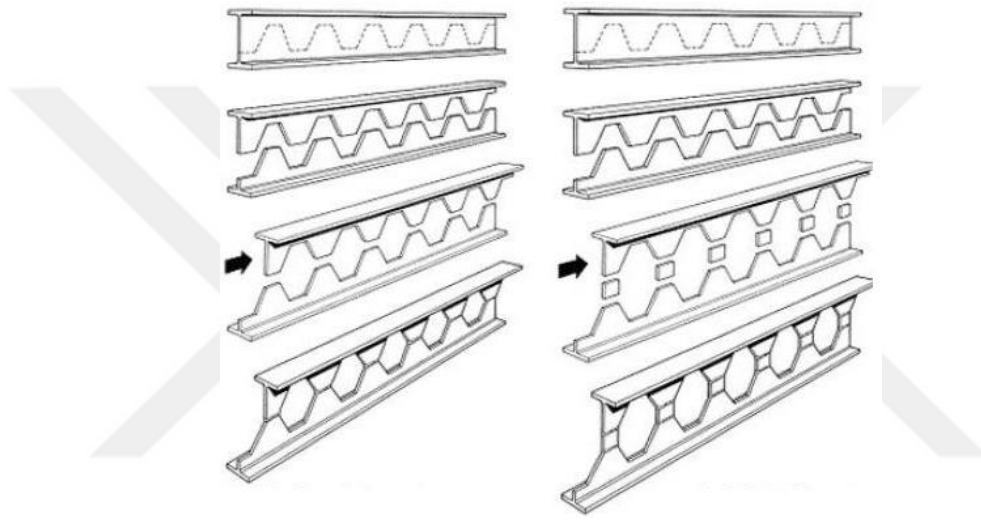
Şekil 4.4’de örnek bir evrim topolojisi algoritmasının örneği görülmektedir [18].



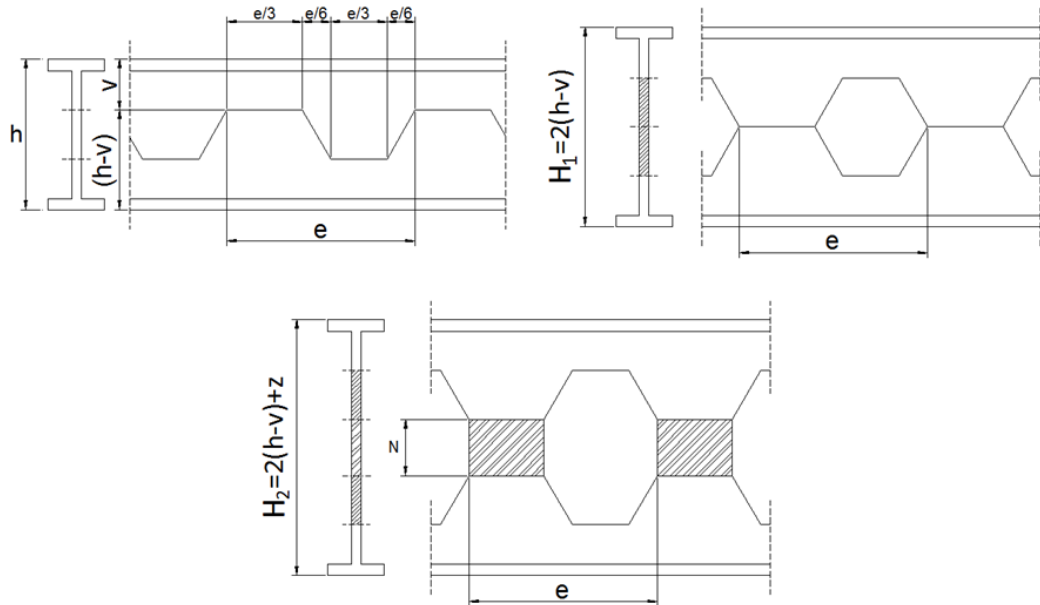
Şekil 4.4. Evrim topolojisi akış şeması [18]

## 5.PETEK KOLON HESABI

I tipi çelik profiller, petek kolon tasarımında tercih edilmektedir. I kesitli çelik profilin zikzaklar halinde kesilerek birbirlerine göre tekrar kaydırılıp kaynak yapılması şeklinde imal edilir. Bu işlem sonunda toplam profil yüksekliği artmış olacak ve dolayısıyla orijinal kolona göre mukavemeti daha yüksek olan bir kolon elde edilecektir



Şekil 5.1. Altıgen ve sekizgen petek kolon [1]



Şekil 5.2. Petek kolon imalinde ölçülendirme [3]





- Dar başlıklı I profilleri, DIN1025 yaprak I
- Orta genişlikte IPE profilleri, DIN 1025 yaprak 5
- Geniş başlıklı IBP profilleri, DIN 1025 yaprak 2
- Geniş IHE profilleri, Euronorm 53-62
- Geniş başlıklı, hafif IPBI profilleri, DIN 1025 yaprak 3

## 5.1 Petek Kolon İçin Statik Hesaplama

Petek kirişlerde eğilme momenti etkisi göz önüne alınarak tasarım yapılırken, petek kolon elemanlarda aksel kuvvet ve burkulma da önemli bir parametre olmaktadır. Kolon yüksekliğinin artırılması durumunda burkulmanın etkisi artmakta ve kesitin taşıma gücünü sınırlamaktadır. Burkulma yükü etkisine karşı kesit boyutları büyük seçilmekte ve bazen ekonomik olmayan değerlere ulaşmaktadır. Bu tür durumlarda petek kolon kullanılması uygun bir çözüm sunabilmektedir.

Petek kolon statik hesap adımlarını maddeler halinde sıralayacak olursak;

a) Petek kolonlarda statik hesap yapılırken ilk olarak I profil seçimi yapılır. Profil seçimi kolona gelecek aksel yüke göre 'Euler burkulma yükü' yaklaşımı uygulanarak kontroller yapılır ve  $P_{kr}$  (kritik yük) aşılmadan uygun profil tablolardan seçilir.

b) Petek kolon hesabında bir diğer adım ise petek göz boşlukları ve açıklıklarının belirlenmesidir. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 göz önüne alınarak petek kolon göz adedi;

$$n = \frac{l-2h}{e} = \frac{l-2h}{1,5h} \quad (5.1)$$

Denklemlerle elde edilir.

Bu hesaplama sonucunda göz boşluğu sayısı tek sayı olarak bulunursa simetri ekseni tam ortadaki göz boşluğundan geçer. Tam aksine çift sayı çıkar ise bu durumda simetri ekseni tam ortadaki dikmeden geçer. Kullanılan kirişin ucundan  $m$ 'inci başlık veya gözün mesnete mesafesi ise 5.2 denklemi ile bulunur

$$x_m = (e_k - e'_k) + (1,5m + 0,25)h \quad (5.2)$$

Son olarak ise gerilme kontrolleri yapılır.

Petek kolon da statik hesaplama yaparken; kolonun yatay ve düşey eksenine göre simetri olması, kolon başlıklarının simetrik olması ve aynı zamanda petek göz boşluklarının arasındaki dikmelerinin tam ortadan simetrik bir şekilde geçmesi göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

Bu tez çalışmasında kolonun z ekseninde uygulanan burkulma yükünün yayılı ve sadece düğüm noktalarına tesir ettiği kabul edilecektir.



## 6. PETEK KOLON OPTİMİZASYONU

Optimizasyon yöntemi olarak; evrim topolojisi optimizasyonunu uygulayacağımız petek kolonun üretileceği esas profil olarak bu tez çalışması boyunca kullanılacak olan profil ST-37 çelik alaşımından üretilmiş geniş başlıklı IPB 120 I profilidir. Bu profilin boyutları 120mm x 120mm x 2500mm ( YükseklikxGenişlikxDerinlik) değerlerine sahiptir.



Şekil 6.1. Geniş başlıklı IPB profili [ 19 ]

### 6.1 Profilin Modellemesi

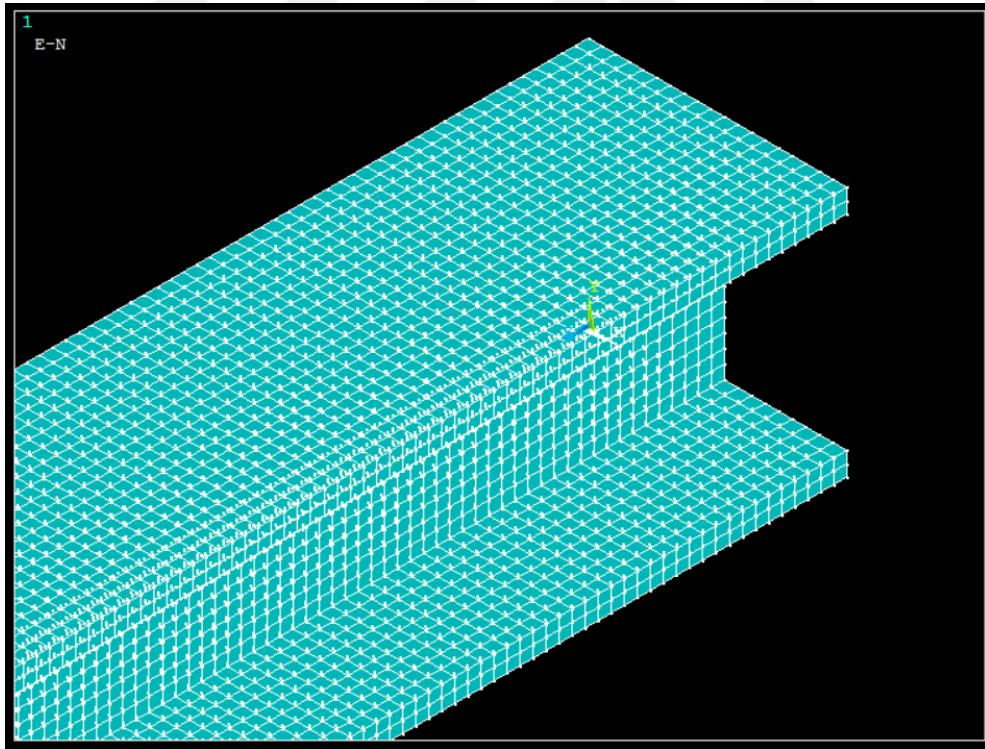
Yapılan tez çalışmasında da çelik profil üç boyutlu katı cisim (3D-SOLID) olarak modellenmiştir. Bunun nedeni iki boyutlu olarak modellenen parçaların bilgisayar üzerinde yapılan analizlerinde gerçekteki deney sonuçlarından farklı kalabilmesidir.

Optimizasyon yöntemi olarak evrim topolojisi uygulanacak IPB 120 profilinin modellenmesinde ANSYS mechanical APDL bilgisayar programı kullanılmıştır. ANSYS mechanical programı sonlu elemanlar metodu tabanlıdır. Sonlu elemanlar analizi program içinde kullanılan bir hesap yöntemidir. Bu yöntem ile modellenmek istenilen sistem dörtgen veya üçgen gibi geometrilere sahip elemanlara bölünür. Böylece yapılacak analiz

daha da hassaslaştırılmış olur. Tez çalışmasında her bir sonlu elaman analizinin sonunda program bu sonuçları tayin eder ve sistemdeki sınırlandırılmış değerlere uymayan malzemeyi çıkarır. Bu çıkarımı yaparken de evrim topolojisi optimizasyonunu oluşturan algoritmayı esas alır.

Bu tez çalışmasında profilin modellesi ansys'in bünyesindeki komutlar kullanılmadan meshleme adımındaki node'lar ve elemanlar manuel oluşturulmuştur. Bunun sebebi ise evrim topolojisi optimizasyonunda her bir oluşturulan mesh elemanının adreslerini bilmeleri zorunluluğundan kaynaklanmamaktadır. IPB 120 profilinin başlıklarının mesh ölçüleri 6,5mm x 5,5mm x 6,25mm dir. Profilin gövdesinde ise 6,5mm x 6,53mm x 6,25mm ölçülerinde meshleme yapılmıştır.

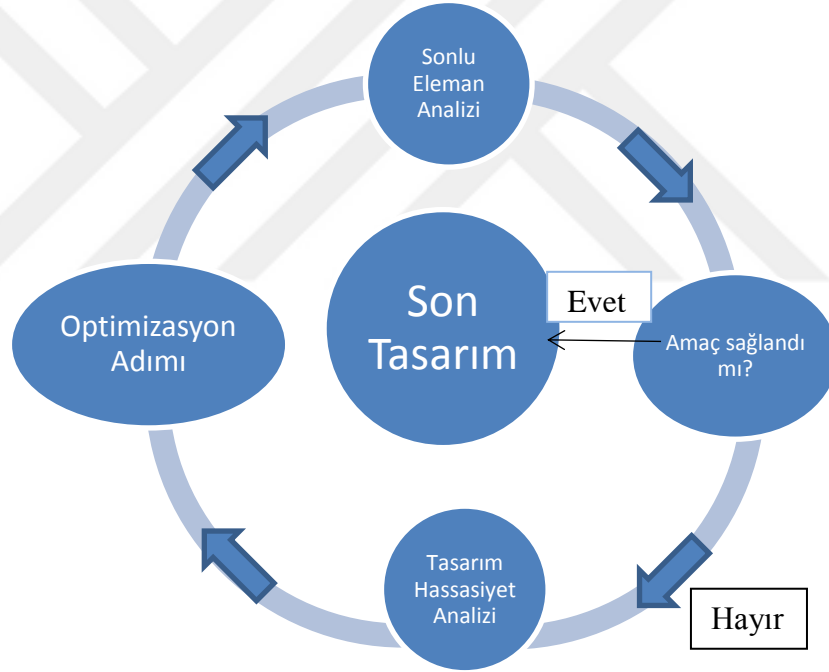
Tez çalışmasında uygulanacak optimizasyon için modellenen IPB 120 kolonu evrimsel olarak optimal göz boşluk ve şekilleri için bir sınır değer oluşturabilmesi adına 18 adet 16,5mm x 18,75mm boyutunda boşluk açılmıştır. Modellenen profil de 59412 node ve 31000 eleman kullanılmıştır.



Şekil 6.2. Manuel olarak modellenen geniş başlıklı IPB 120 profili

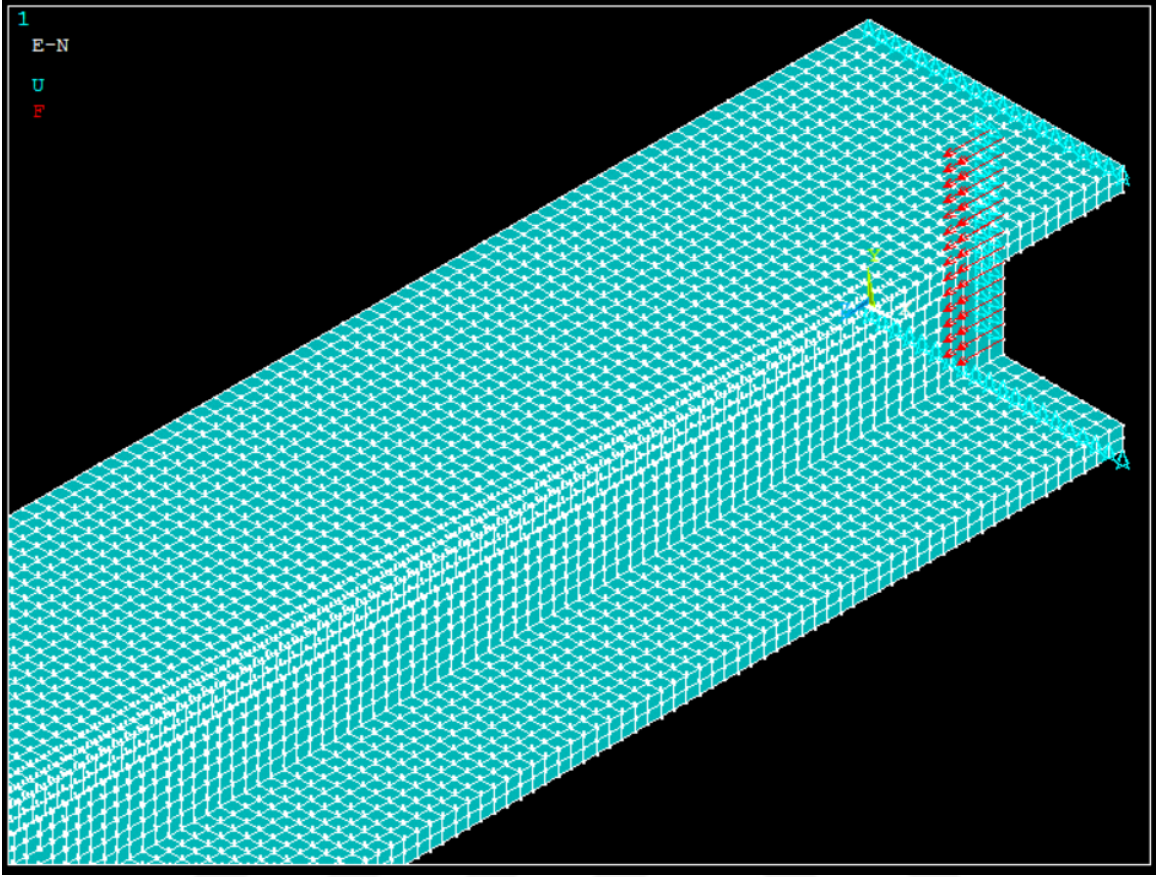
## 6.2. Petek Kolon Evrimsel Topolojik Algoritma Oluşturulması ve Uygulanması

Optimizasyonun amacı mühendislik uygulamalarında hacim veya en az ağırlığa göre tasarımı gerçekleştirmektir. Yapılan tasarımın sınırları ise ekonomiklik, çevre şartları, sistemin türü ve yapısına göre frekans, gerilme, kalınlık ve rijitlik olarak tanımlanabilir. Bunların yanında sistemi oluşturan elemanların sayısı, kalınlığı ve hacmi gibi değişkenlerde kullanılabilir. Yapısal bir optimizasyon algoritmasını şekildeki gibi bir döngü oluşturarak çözdürülebilir. Döngünün ilk adımındaki sistemin analizi sonlu elemanlar ile frekans, gerilme, deplasman gibi fonksiyonların hesaplanması içindir. Oluşturulan algoritma istenen sınırları sağlayacak ve sistemden beklenen ihtiyaçları karşılayacak şekilde tekrar tekrar çalışır.



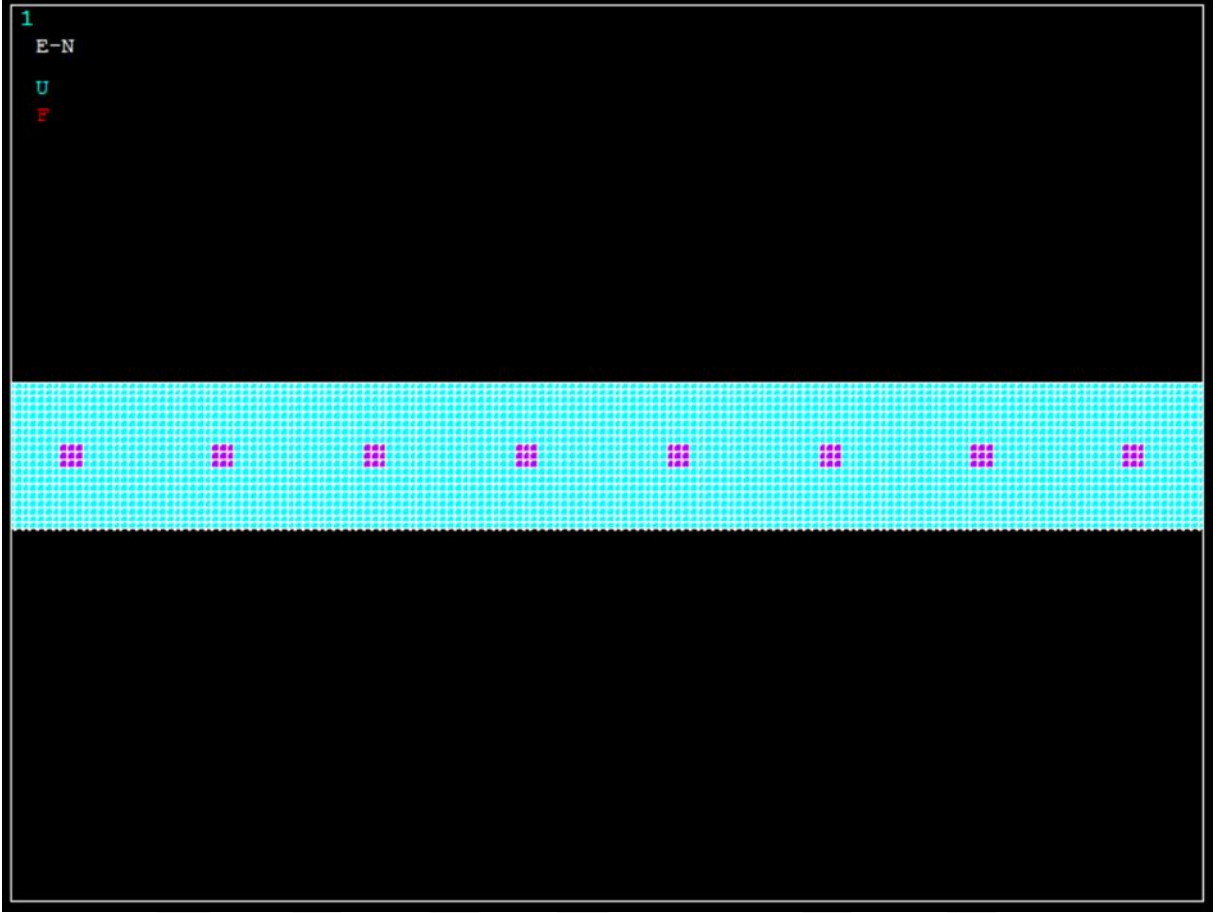
Şekil 6.3. Örnek yapısal optimizasyon şeması

Petek kolon için yaptığımız bu tez çalışmasında topolojik optimizasyonun amacı yapı elemanının hafifletilmesi ve aynı zamanda rijitliğin artırılmasıdır. Nihayetinde başta oluşturduğumuz IPB 120 profilinden ne kadar çok eleman çıkartılırsa yapı elemanının ağırlığı düşmüş olacaktır.



Şekil 6.4. IPB 120 I profiline kısıt değerlerin uygulanması

Bu tez çalışmasında profilin tasarım kısıtları olarak; kolonun yük uyguladığımız z yönü yüzeyindeki profil başlıkları tüm node lardan y yönünde sabit mesnetli, gövdesi x yönünde sabit mesnetli ve kolonun en altındaki gövde yüzeyi tüm yönlerde sabit mesnetli olarak tasarlanmıştır. Ayrıca kolon üzerine daha önce belirttiğimiz gibi manuel olarak 18 adet 16,5 x 18,75 boyutlarında göz boşluğu oluşturulmuştur. Bu boşluğun vermemizin sebebi evrimsel topolojik optimizasyon algoritmasının eleman çıkarmayı sağlayabilmesi adına bir yön vermektir.



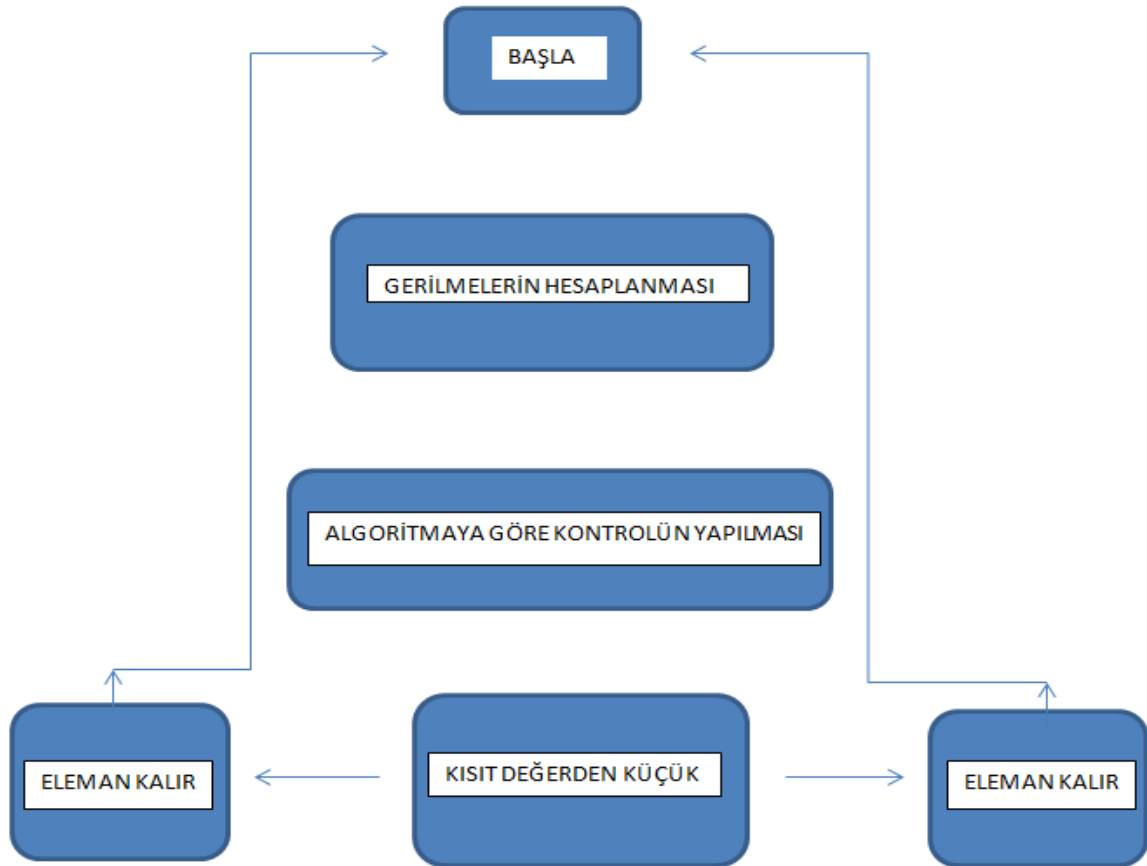
Şekil 6.5. IPB 120 I profilinde manuel açılan göz boşlukları

Bu tez çalışmasında evrimsel topolojik optimizasyon algoritmasını oluşturmak için FORTRAN programlama dili kullanılmıştır. Kullanılan evrimsel topoloji optimizasyon algoritması gerilme değeri bazlı bir algoritma olarak tasarlanmıştır. Bu tez çalışmasında yazılan program Ek-1'de gösterilmektedir. Profil üzerinde profili boyutlandırarak kritik yükleme durumundaki yükler tanımlanmıştır. Algoritmanın uygulanacağı 2,5 metrelik kolonumuzun 150 ton yük altındaki davranışını belirleyeceğimiz geniş başlıklı profil seçimi için denklem 6.1'den yararlanılmıştır.

$$P_k = \pi^2 EI / L^2 \quad (6.1)$$

Bu eşitlik ile yapılan işlemler sonucu IPB 120 profili seçilmiştir. Oluşturulan evrimsel topolojisi algoritması ile sitemdeki her bir node a gelen gerilme değerleri ansys mechanical APDL programı yardımıyla bulunmuş olup nodal analiz sonucunda mod 1 , 2, 3, 4 için belirlenen iterasyon adımları ile burkulma yük faktörün sınır değerleri içinde kaldığı yani burkulmanın gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Oluşturulan evrim topolojisi algoritmasının belirlenen yük altındaki gerilme sınır değerine akış şeması aşağıdaki gibidir.

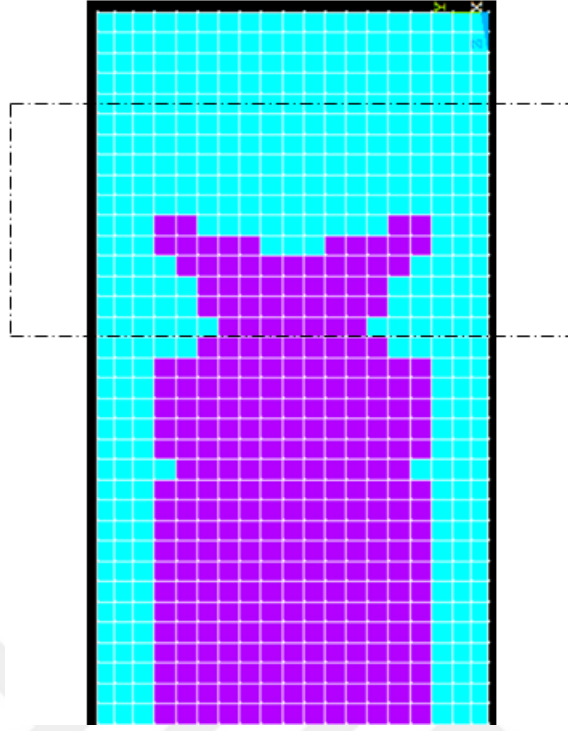




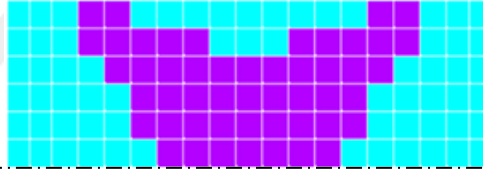
Şekil 6.6. Evrimsel topoloji optimizasyonu döngü şeması

Mühendislik problemlerinde bir cismin farklı noktalarındaki gerilme bileşenlerini, asal gerilmelerini elde etmek için ölçüm yapmak mümkün değildir. Bu sebeple birim uzamalar laboratuvar ortamında deneysel olarak ölçülerek gerilme analizi yapılır. Bu tez çalışmasında ise daha önceden de belirttiğimiz gibi sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS mechanical APDL yardımı ile yapılmış olup burkulma analizi sonucunda oluşan her bir mod değeri için oluşan farklı gerilme halleri şekillerde gösterilmiştir.

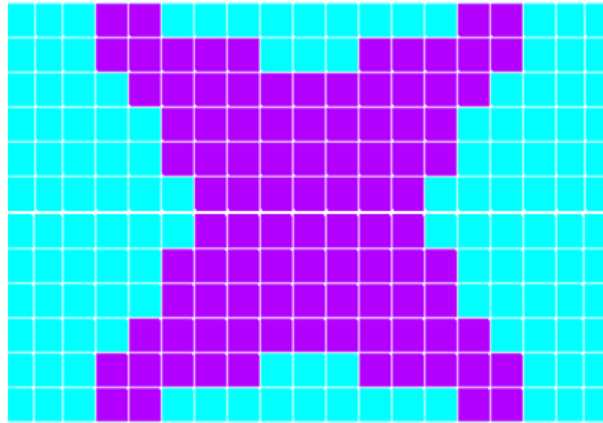
Başlangıçta seçtiğimiz st-37 IPB 120 I profilimizin optimizasyonu için tasarım değişkeni ve sınır kısıtlamaları sonucunda oluşturulan evrimsel topoloji optimizasyonu algoritmasından elde ettiğimiz optimal göz boşluğu geometrisinin karşıdan görünüşün bir kesiti şekil6.7 de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. 4.mod'da elde edilen optimal şekil

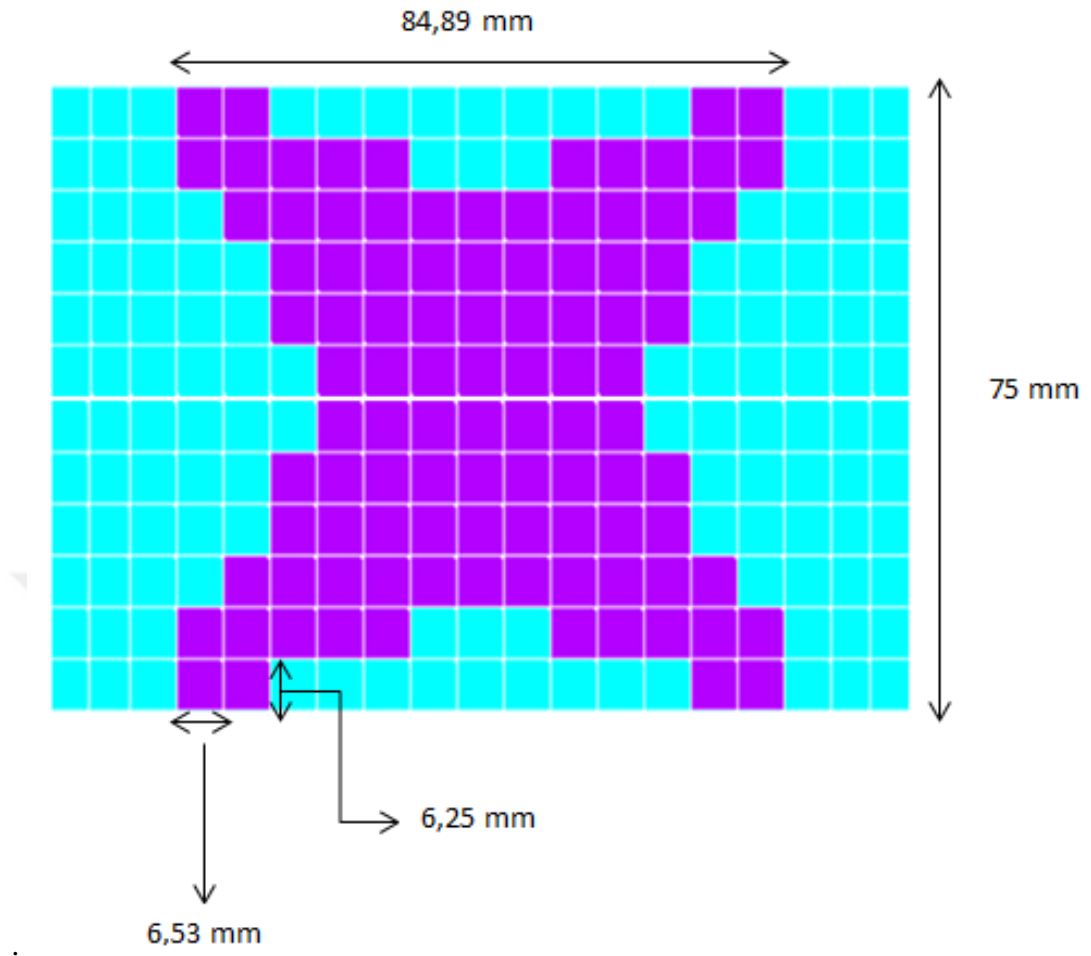


Şekil 6.8. Optimal şekil kesiti



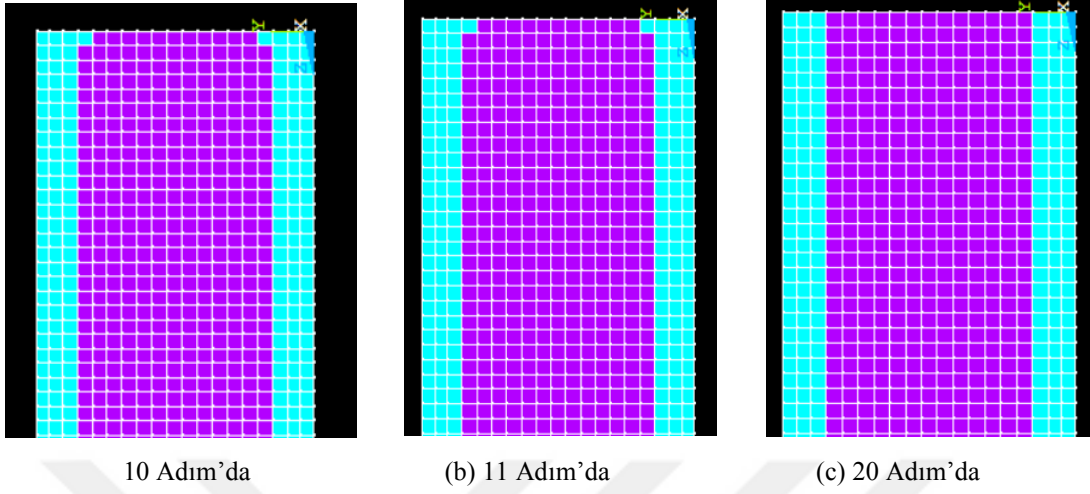
Şekil 6.9. IPB 120 profillinden çıkarılacak optimal şekil

Her bir mesh elemanın yatay ve düşeydeki boyutları aynı olup aşağıda şekil 6.10. üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Optimal Şekil boyutları

## Mod 1 için Evrim Topolojisi Optimizasyonu Sonuçları;



Şekil 6.11. Mod 1 için 10,11 ve 20. Adımlar da ki görünüşler(a-b-c)

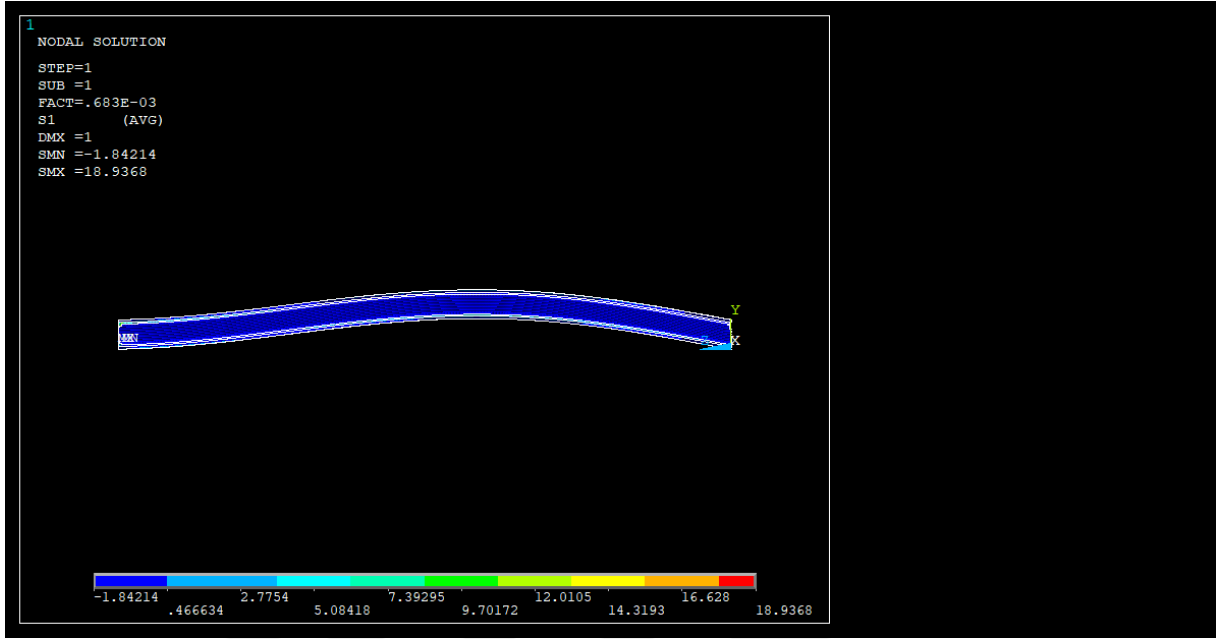
Ansys ile yapılan statik analiz sonucunda; 10,11 ve 20.adıma kadar yapılan iterasyonlar da profilin dolu halinin yukarıdaki şekiller deki gibi gövdesinin giderek boşaldığı görülmüştür. 1. Mod değeri için istenilen burkulma gerçekleştirilmiştir fakat 1. Mod değerinde profilin gövdesinin neredeyse tamamın da boşalma olduğu görüldüğünden statik analiz için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Analiz sonucunda 1.Mod için ortaya çıkan frekanslar tablo 6.1 de gösterilmiştir

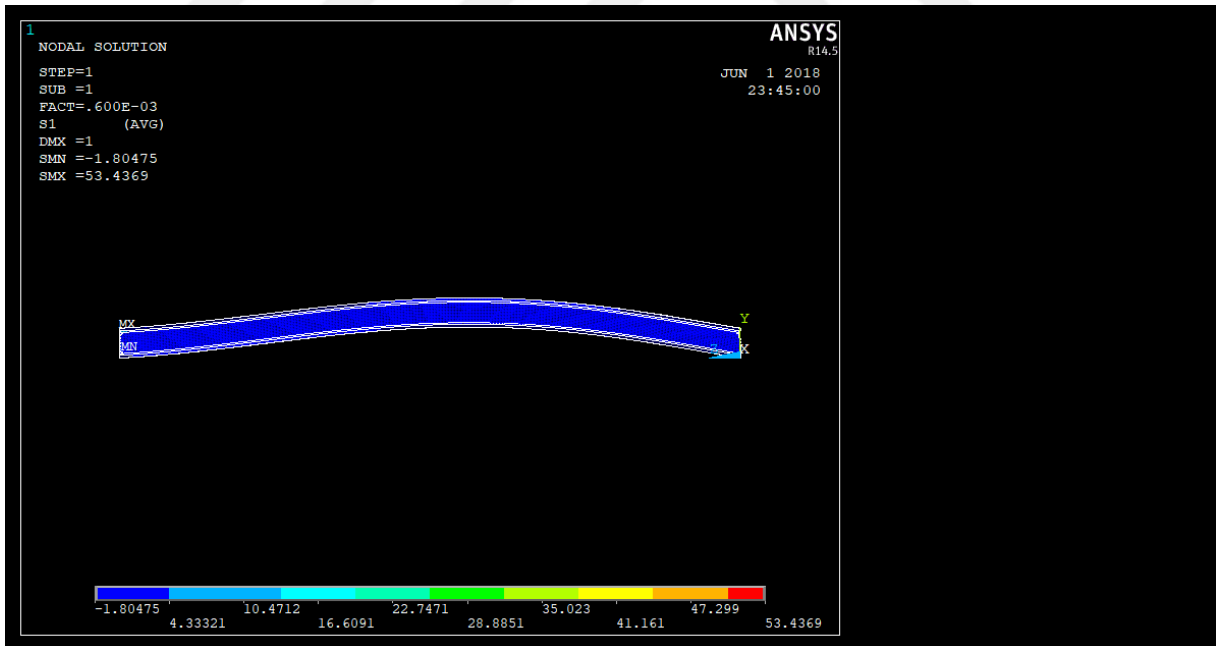
**Tablo 6.1.** MOD 1 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki frekanslar

İTERASYON	SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
10	1	0.68255E-03	1	1	1
11	1	0.60017E-03	1	1	1
20	1	0.59908E-03	1	1	1

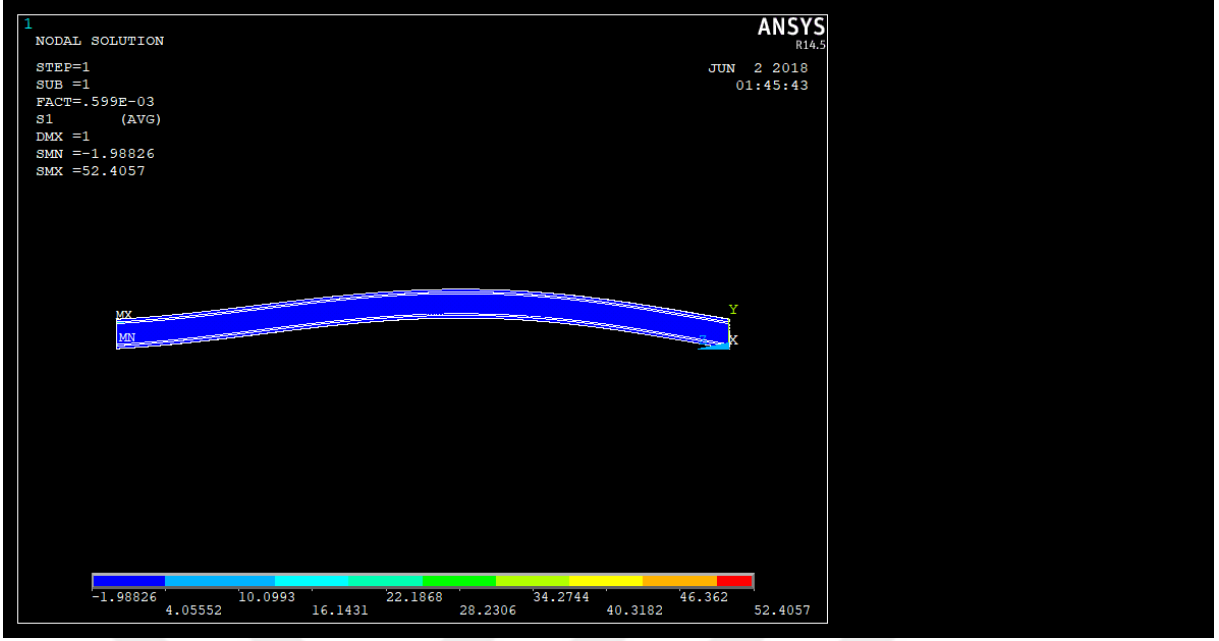
## Mod 1 İçin Gerilme Analizi Sonuçları;



Şekil 6.12. 10 iterasyonda gerilme-şekil değiştirme



Şekil 6.13. 11 iterasyonda gerilme-şekil değiştirme



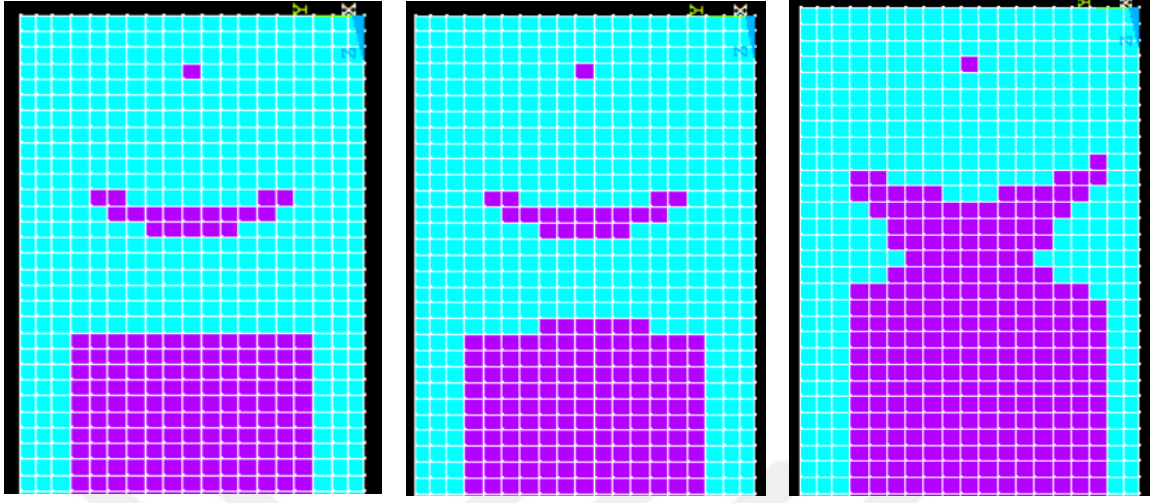
Şekil 6.14. 20 iterasyonda gerilme-şekil değiştirme

**Tablo 6.2.** MOD 1 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki deplasman ve gerilmeler

İTERASYON	SET	DMX (mm)	SMN (N/mm <sup>2</sup> )	SMX (N/mm <sup>2</sup> )
10	1	1	-1,84214	18,9368
11	1	1	-1,80475	53,4369
20	1	1	-1,98826	52,4057

Uygulanan yük altında farklı mod ve iterasyon adımları sonucunda gerime şekil değiştirme durumları şekil6.12-14 de gösterildiği gibidir. Sistemin içinde boşalmalar meydana geldiği halde elastik sınırlar içinde kaldığı görülmektedir.

## Mod 2 için Evrim Topolojisi Optimizasyonu Sonuçları



(a) 10 Adım'da

(b) 11 Adım'da

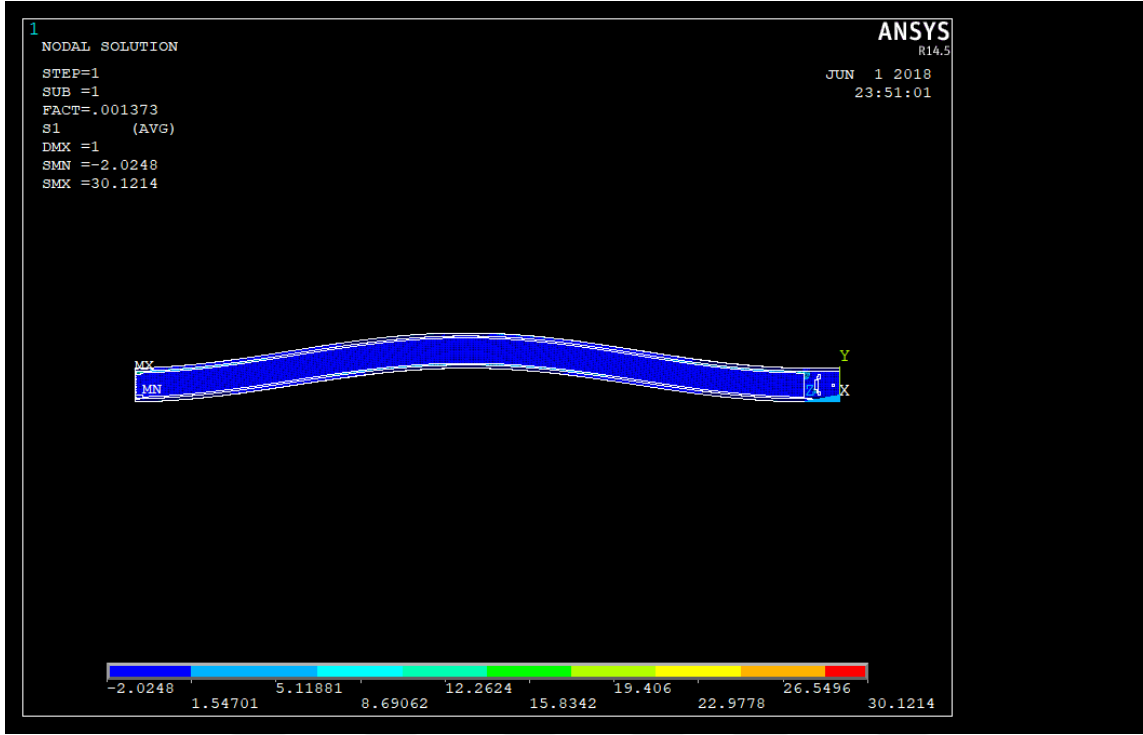
(c) 20 Adım'da

Şekil 6.15. Mod 2 için 10,11 ve 20. adımlar da ki görüntüleri(a-b-c)

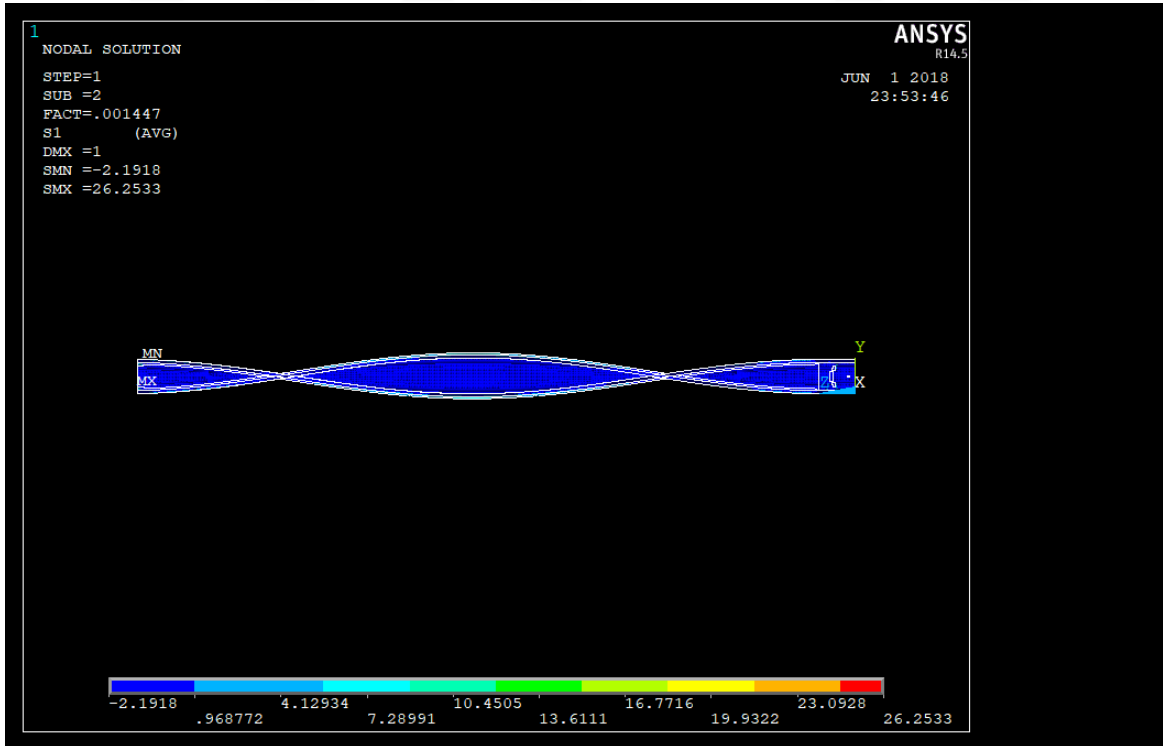
**Tablo 6.3.** MOD 2 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki frekanslar

İTERASYON	SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
10	1	0.13731E-02	1	1	1
	2	0.14472E-02	1	2	2
11	1	0.13691E-02	1	1	1
	2	0.14430E-02	1	2	2
20	1	0.10777E-02	1	1	1
	2	0.13002E-02	1	2	2

## Mod 2 İçin Gerilme Analizi Sonuçları;

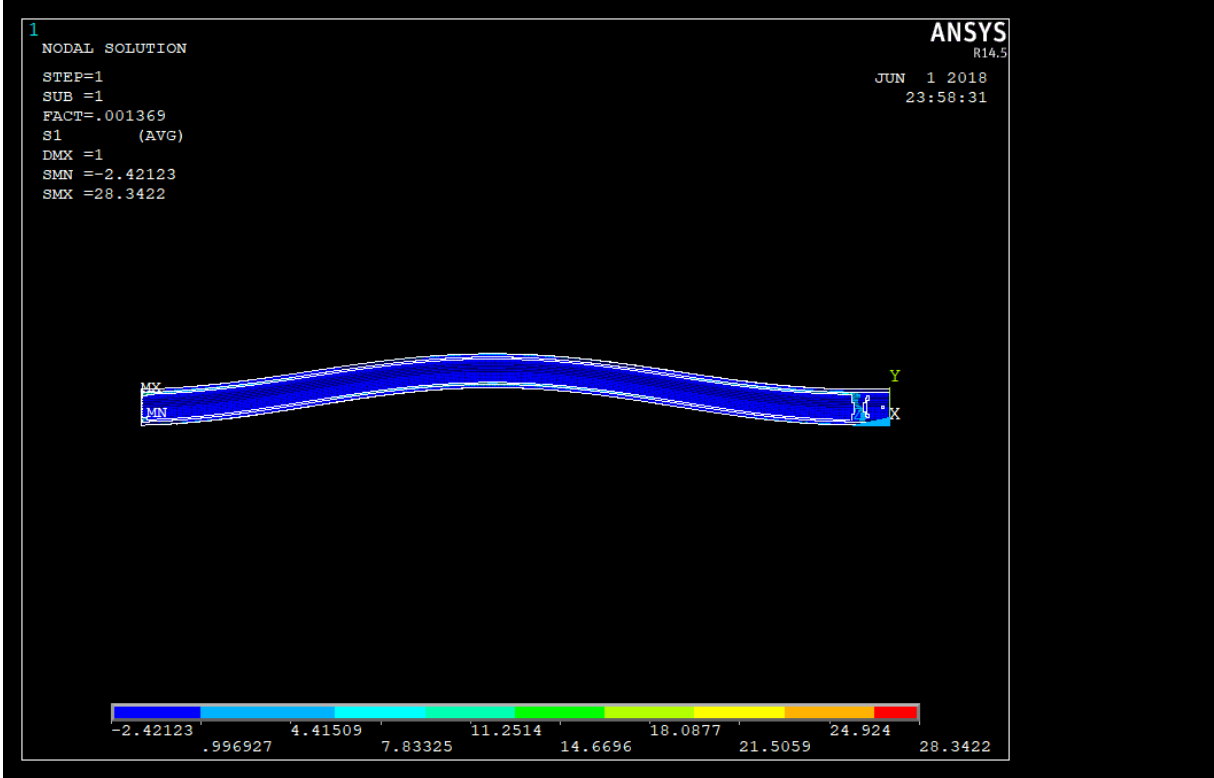


Şekil 6.16 10 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi

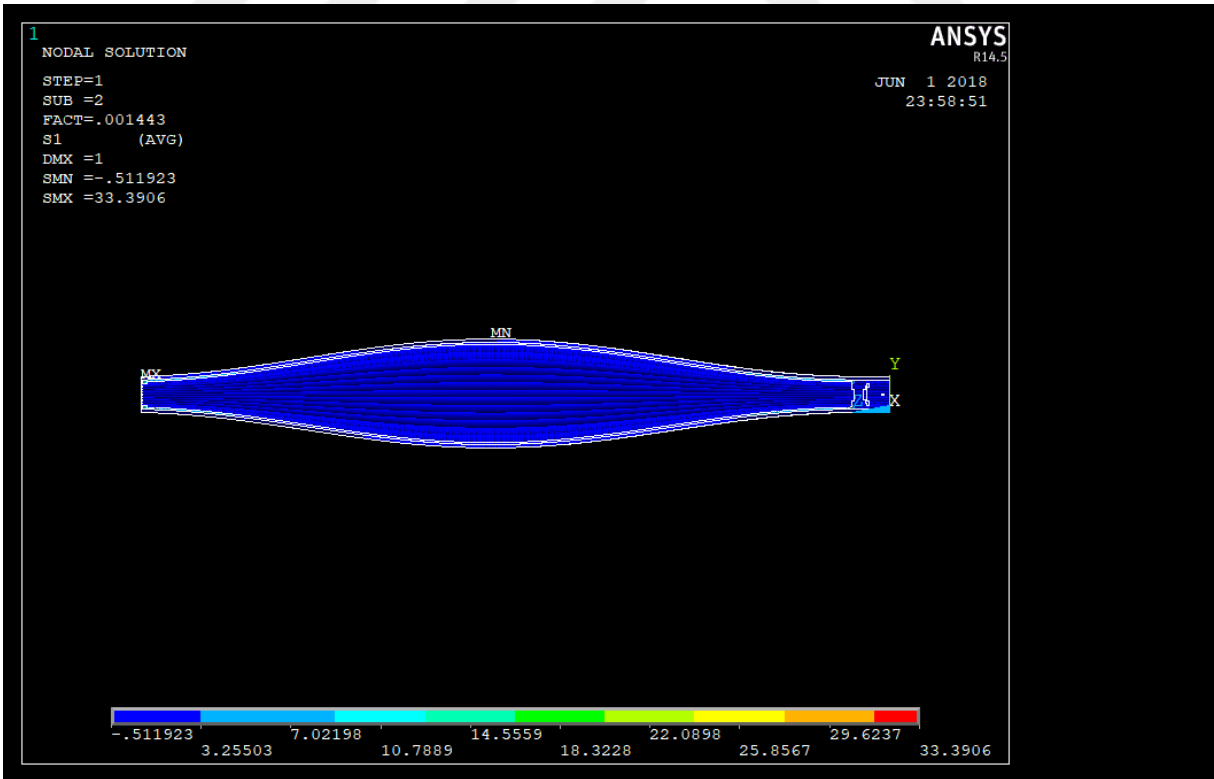


Şekil 6.17 10 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi

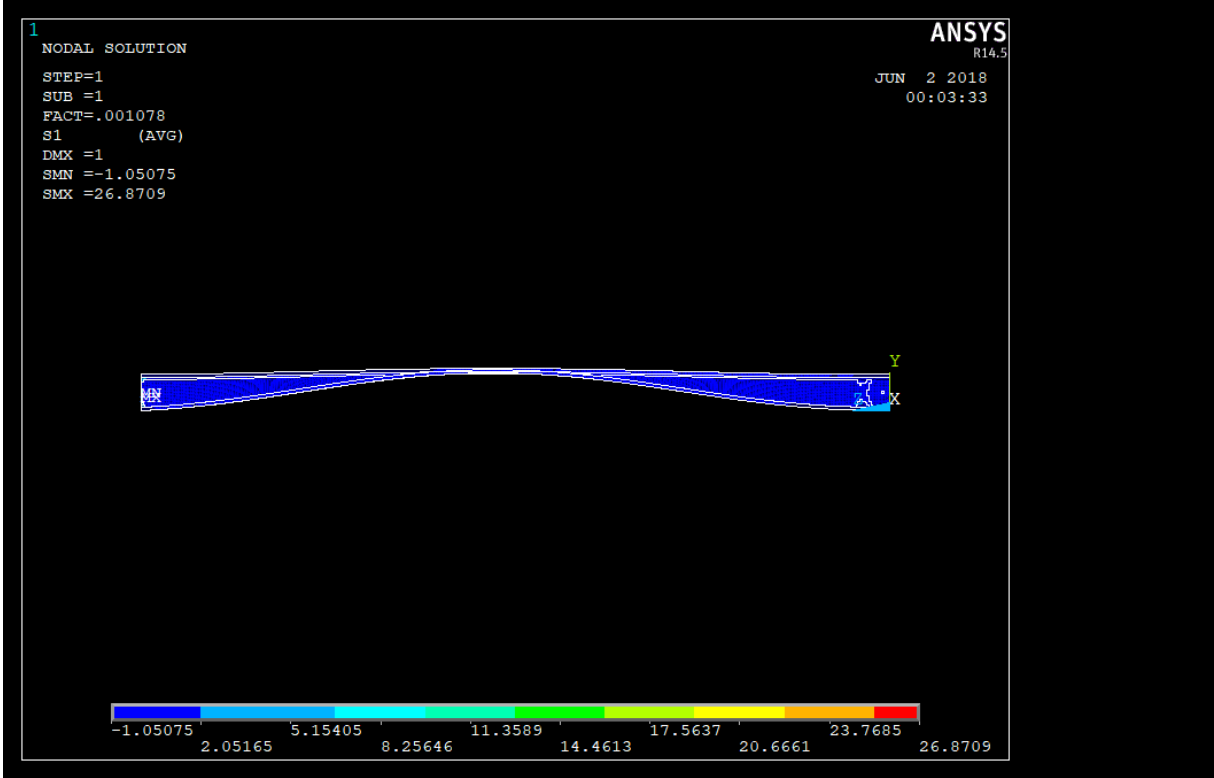




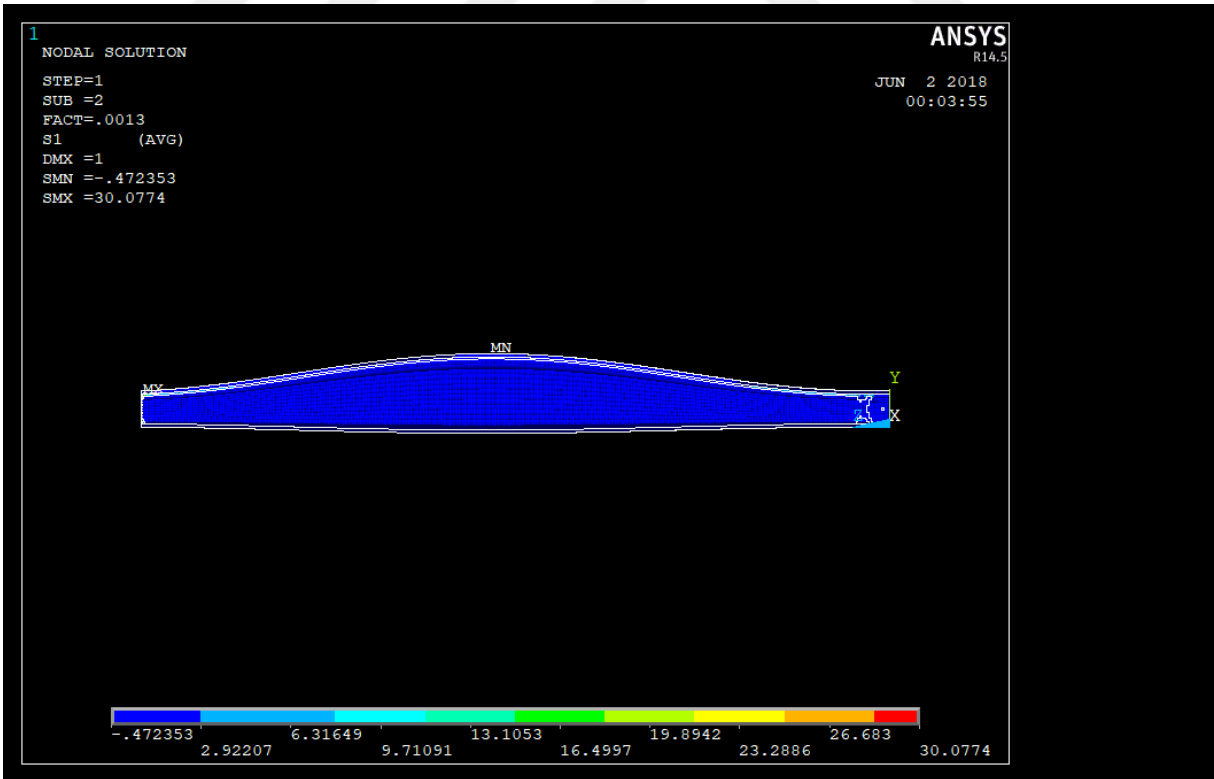
Şekil 6.18 11 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi



Şekil 6.19. 11 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi



Şekil 6.20. 20 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değıştirmesi



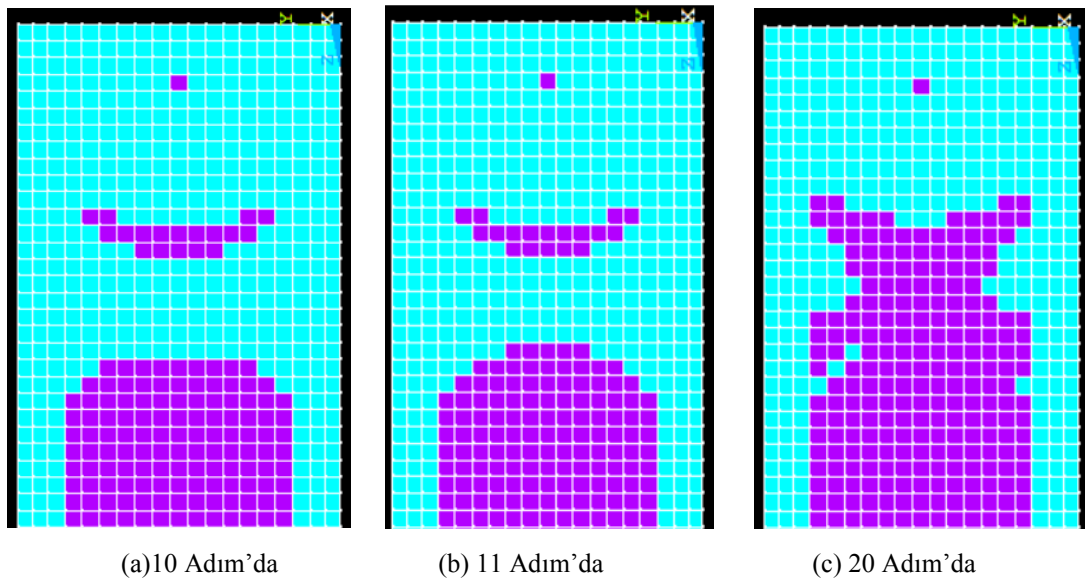
Şekil 6.21. 20 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değıştirmesi

**Tablo 6.4.** MOD 2 için 10,11 ve 20. İterasyonlardaki deplasman ve gerilmeler

İTERASYON	SET	DMX (mm)	SMN (N/mm <sup>2</sup> )	SMX (N/mm <sup>2</sup> )
10	1	1	-2,0248	30,1214
	2	1	-2,1918	26,2533
11	1	1	-2,42123	28,3422
	2	1	-0,511923	33,3906
20	1	1	-1,05075	26,8709
	2	1	-0,472353	30,0774

Mod 2 durumunda uygulanan yük altındaki profil gövdesinde ki boşlukların mod 1 durumuna kıyasla daha optimal bir hale dönüştüğü şekil 6.15. de görüldüğü gibidir. Şekil 6.16-21 de farklı iterasyon adımlarında gerilme ve şekil değiştirmeler sonucunda profilin gövdesinde boşalmalar meydana gelmesine rağmen sistemin elastik sınırlar içinde kaldığı görülmektedir.

#### Mod 3 için Evrim Topolojisi Optimizasyonu Sonuçları

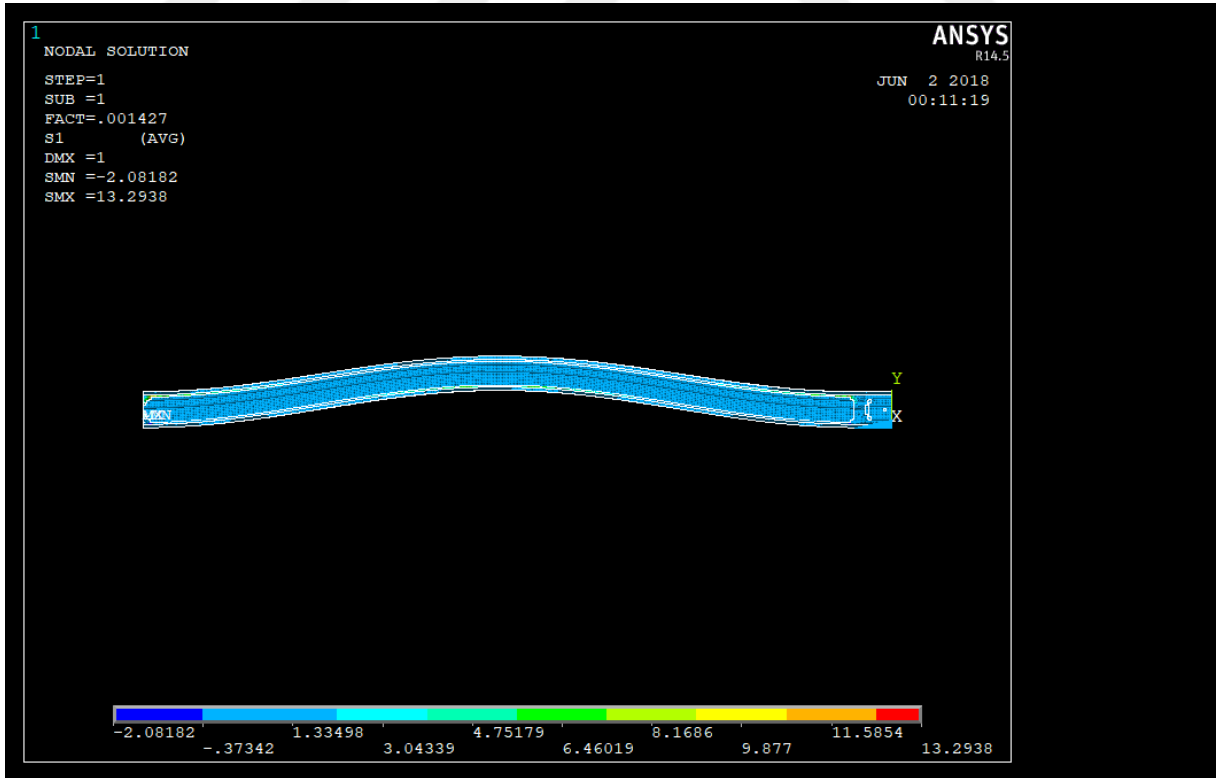


Şekil 6.22. Mod 3 için 10,11 ve 20. Adımlar da ki görüntüşler(a-b-c)

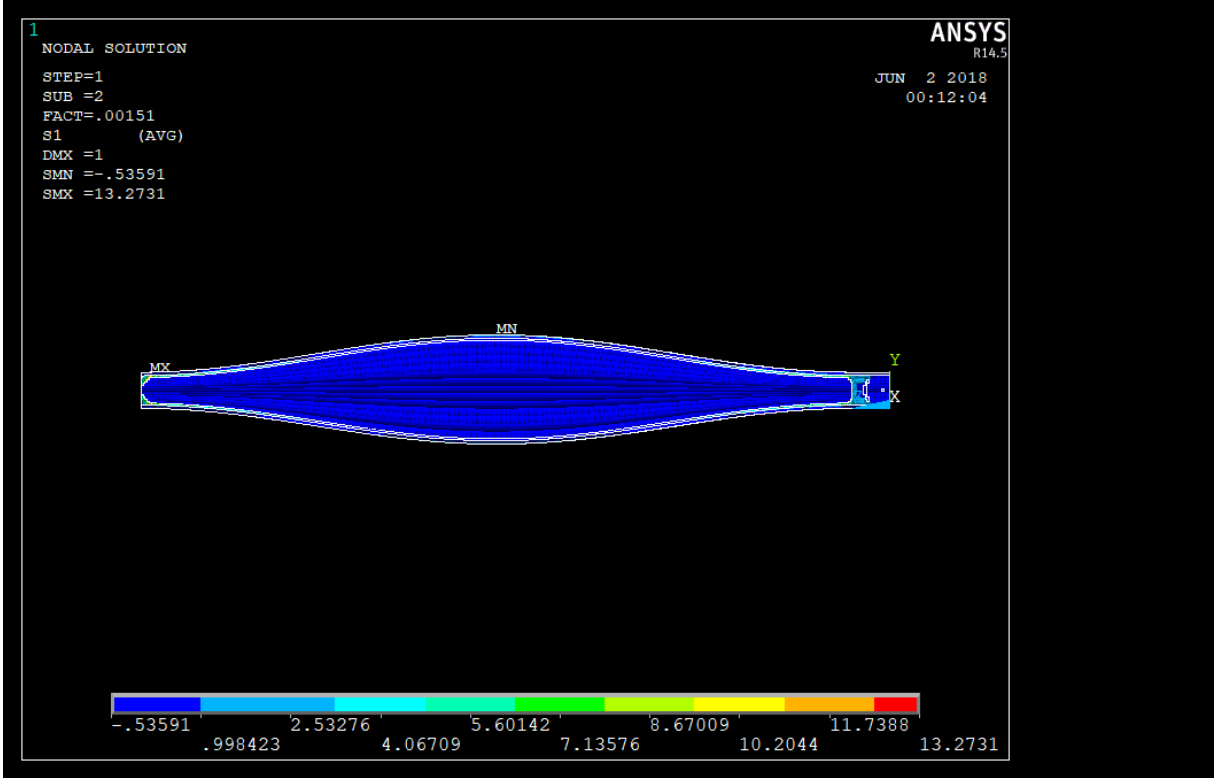
**Tablo 6.5.** MOD 3 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki frekanslar

İTERASYON	SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
10	1	0.14275E-02	1	1	1
	2	0.15097E-02	1	2	2
	3	0.28685E-02	1	3	3
11	1	0.14271E-02	1	1	1
	2	0.15087E-02	1	2	2
	3	0.28677E-02	1	3	3
20	1	0.34180E-05	1	1	1
	2	0.10351E-04	1	2	2
	3	0.12049E-02	1	3	3

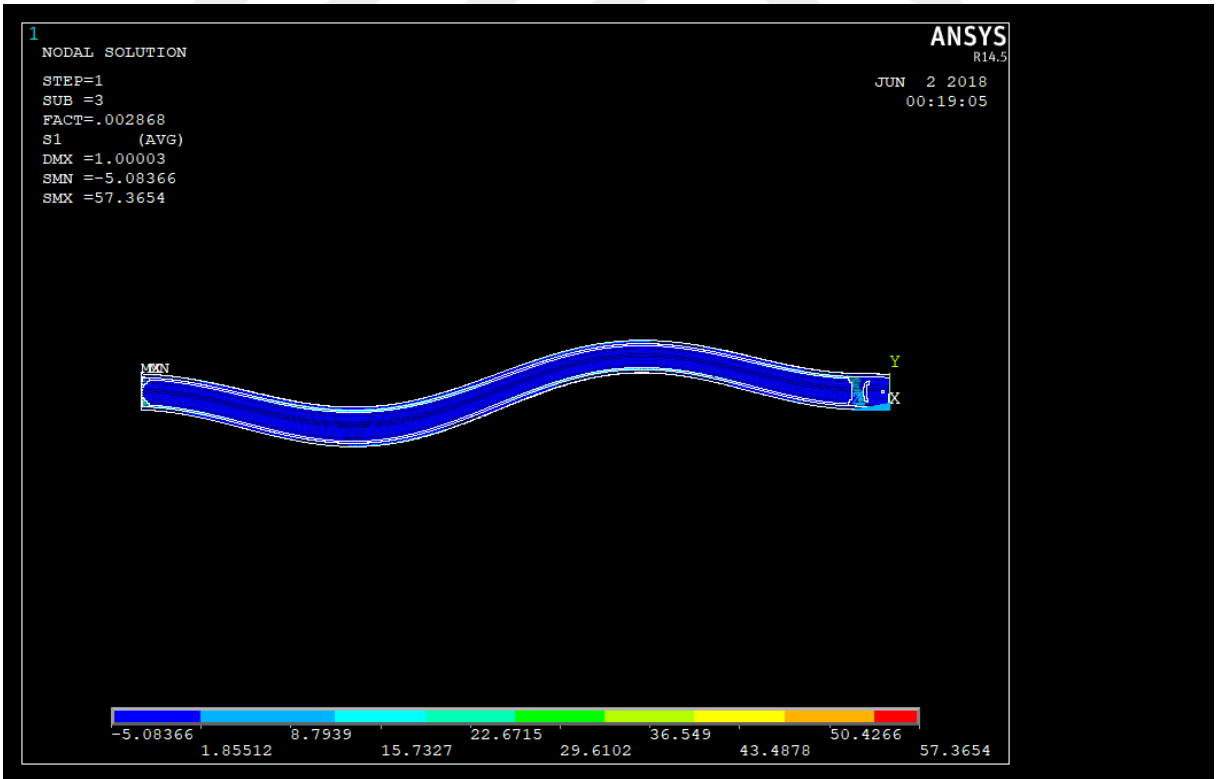
### Mod 3 İçin Gerilme Analizi Sonuçları



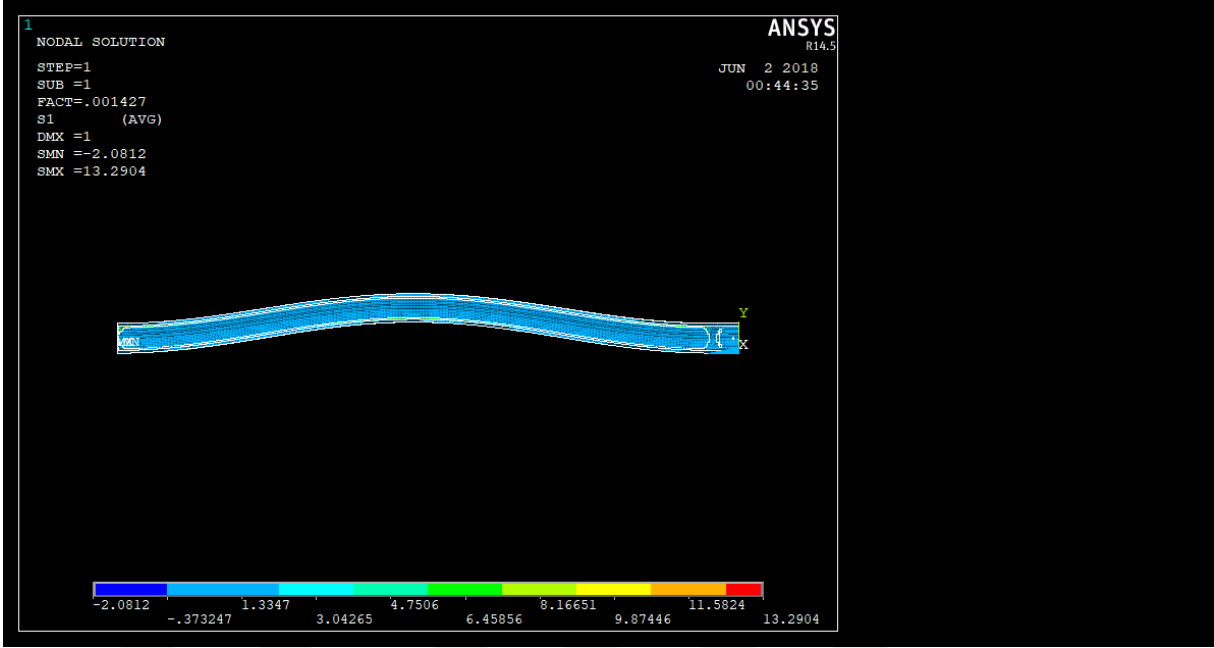
Şekil 6.23. 10 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değıştirmesi



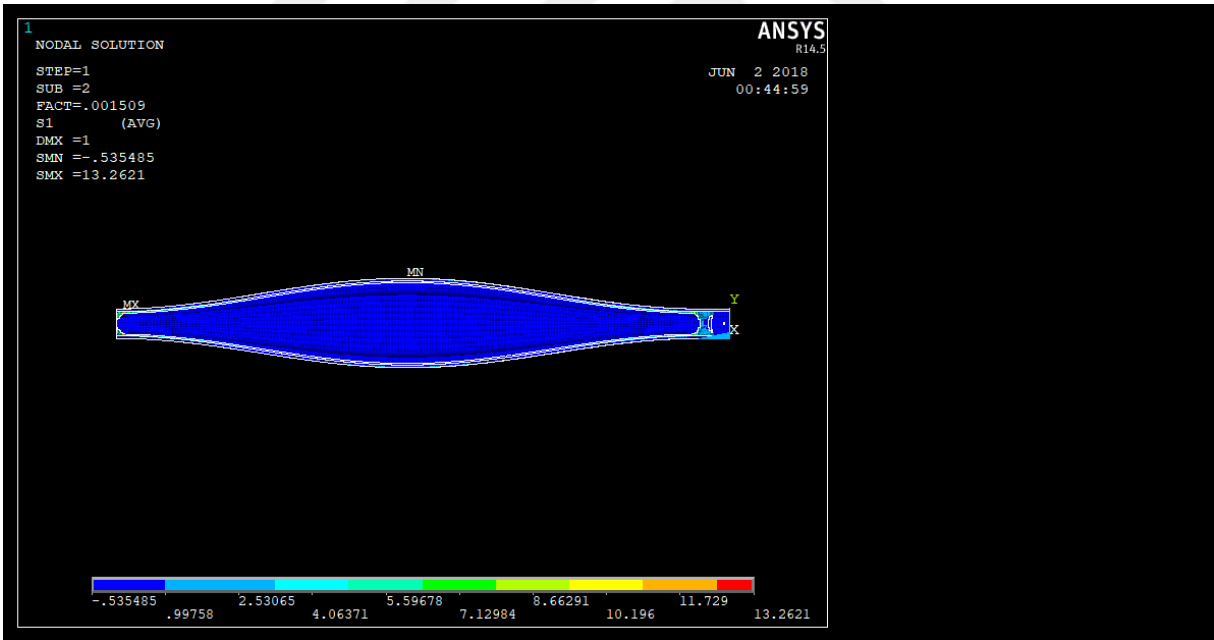
Şekil 6.24. 10 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değıştirmesi



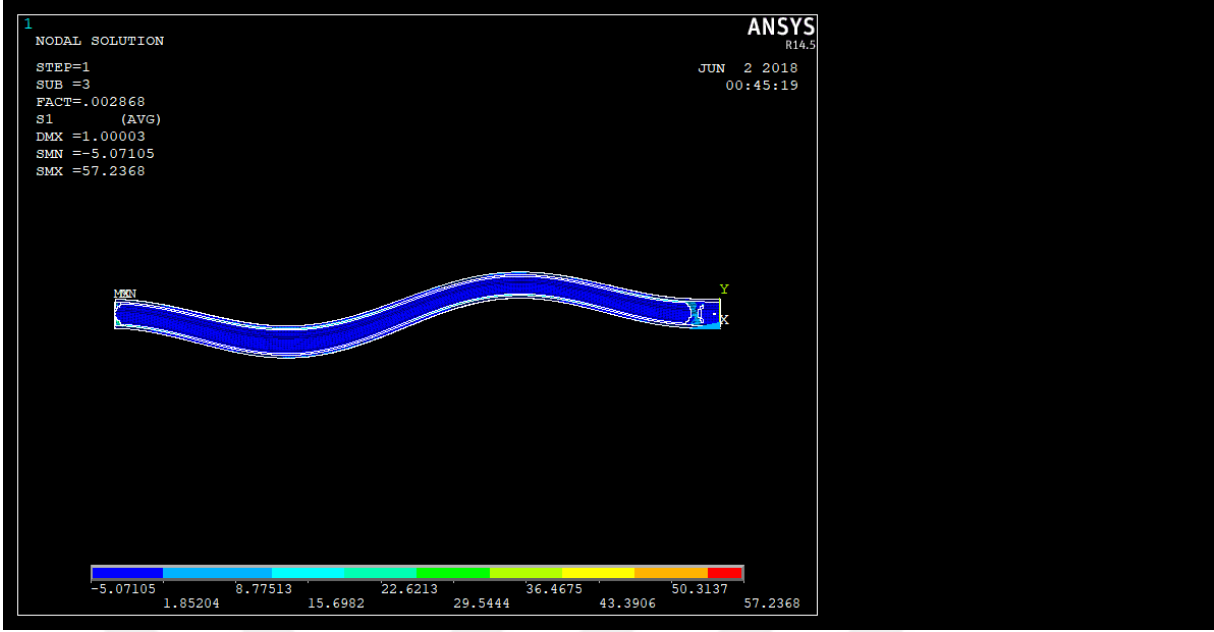
Şekil 6.25. 10 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değıştirmesi



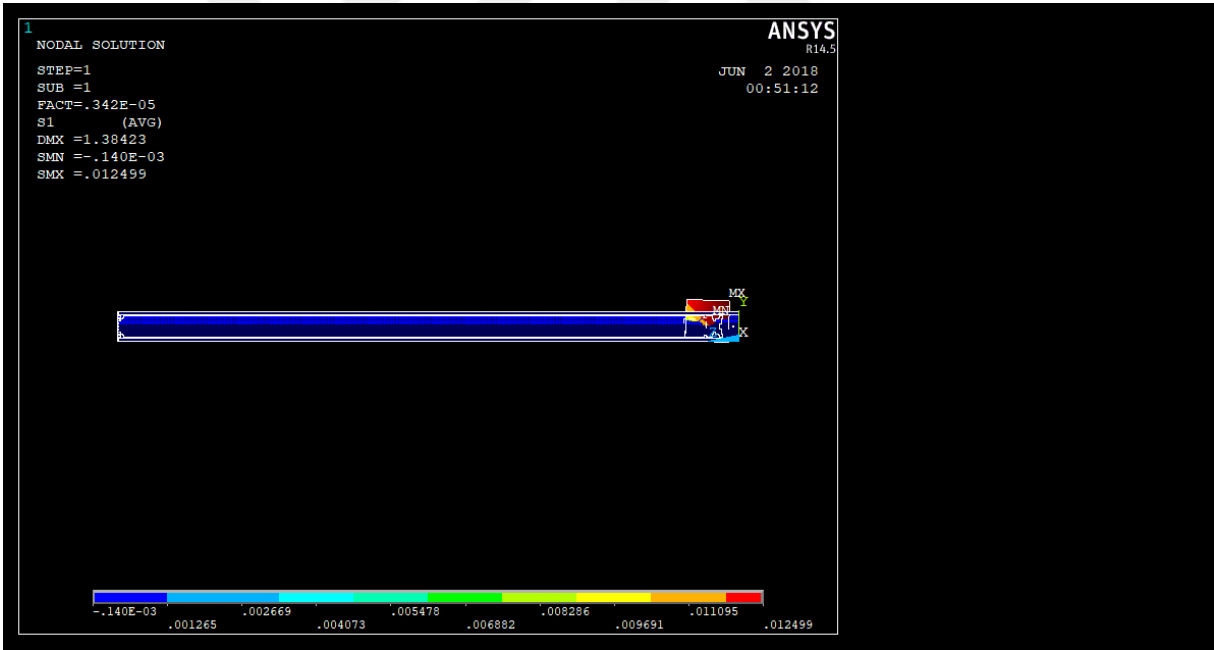
Şekil 6.26. 11 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değıştirmesi



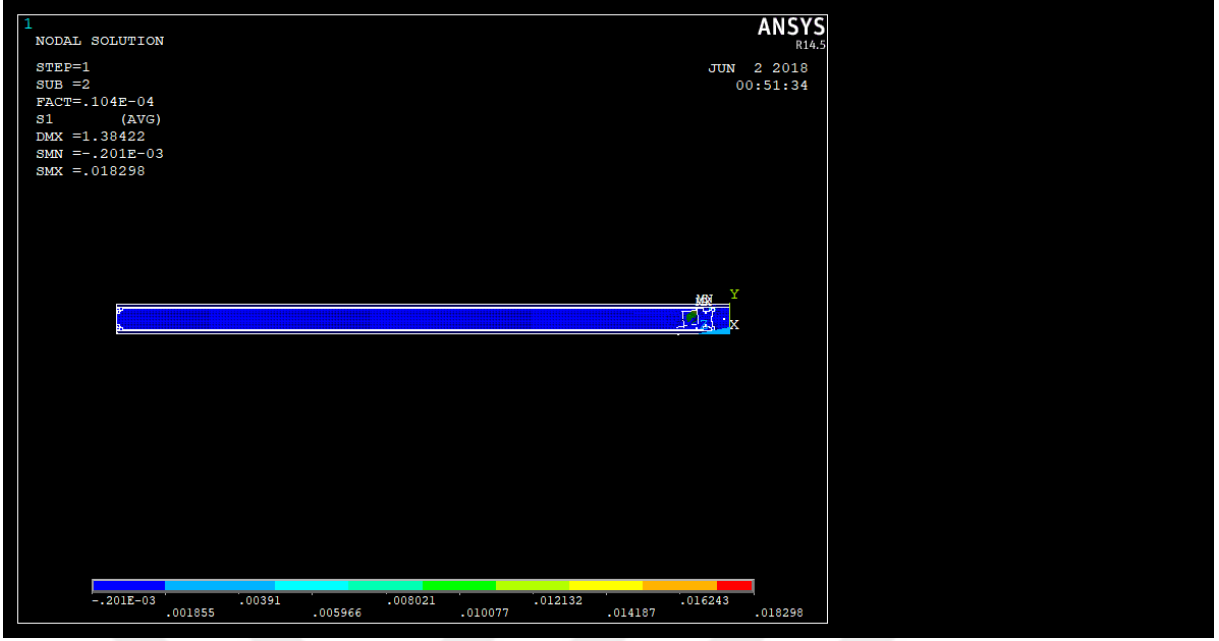
Şekil 6.27. 11 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değıştirmesi



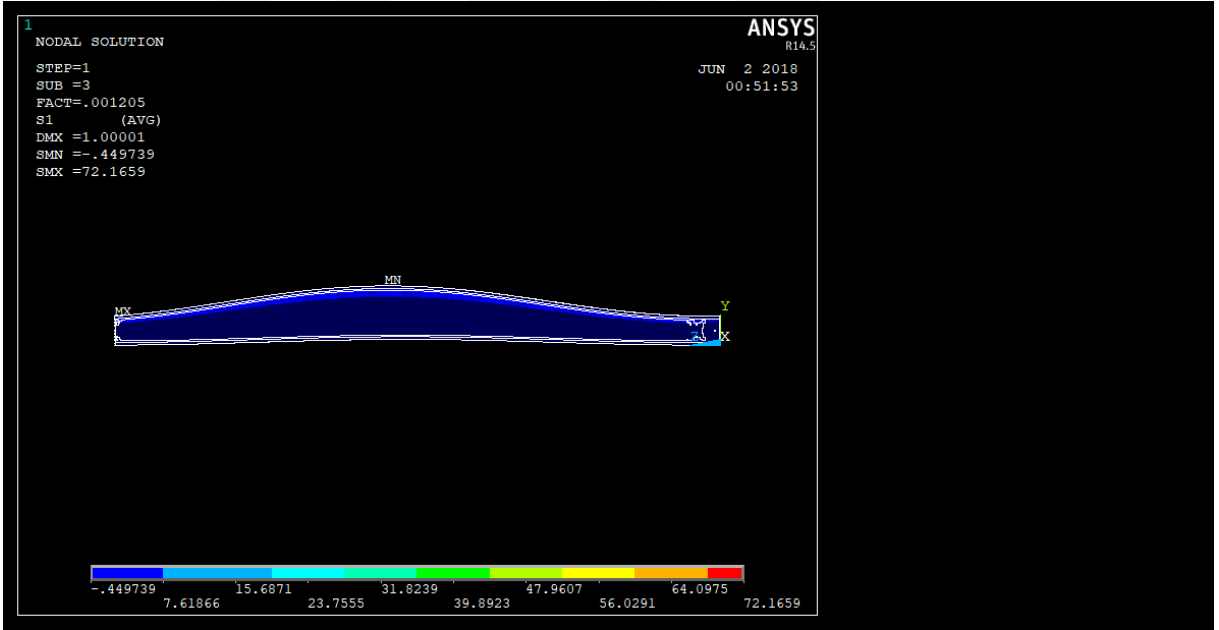
Şekil 6.28. 11 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değıştirmesi



Şekil 6.29. 20 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değıştirmesi



Şekil 6.30. 20 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi



Şekil 6.31. 20 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değiştirmesi

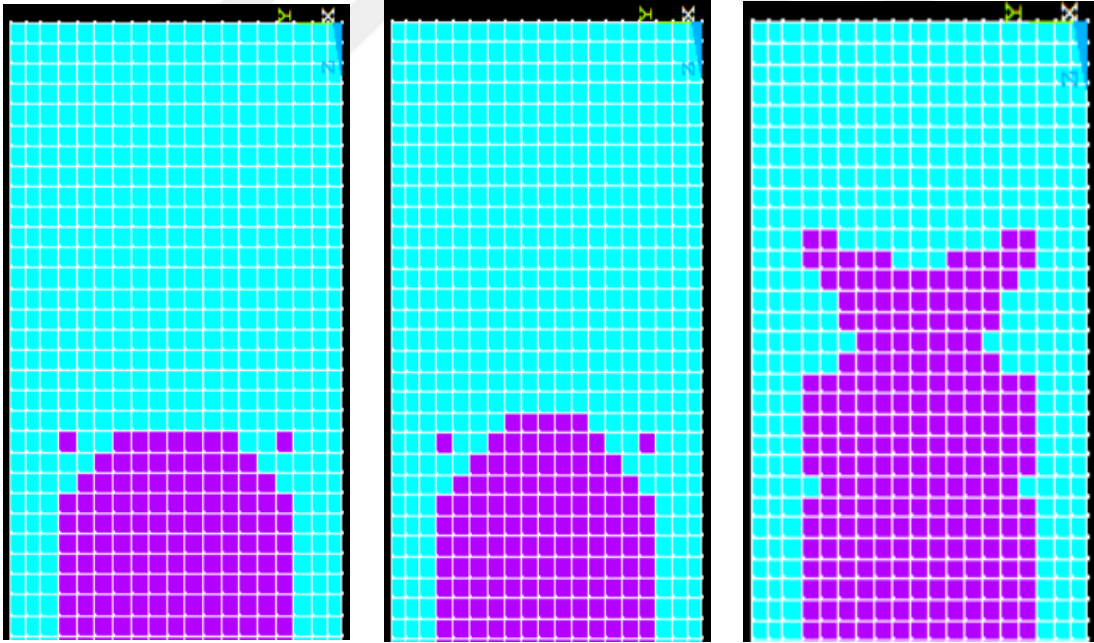
Mod 3 durumunda uygulanan yük altındaki profil gövdesinde ki boşlukların mod 2 durumuna kıyasla daha optimal bir hale dönüştüğü (şekil 6.22.) ayrıca profilin gövdesinde boşalmalar meydana gelmesine rağmen sistemin elastik sınırlar içinde kalmaya devam ettiği şekil 6.23-31. de görölmektedir



**Tablo 6.6.** MOD 3 için 10,11 ve 20. iterasyonlardaki deplasman ve gerilmeler

İTERASYON	SET	DMX (mm)	SMN (N/mm <sup>2</sup> )	SMX (N/mm <sup>2</sup> )
10	1	1	-2,08182	13,2938
	2	1	-0,53591	13,2731
	3	1,00003	-5,08366	57,3654
11	1	1	-2,0812	13,2904
	2	1	-0,535485	13,2621
	3	1,00003	-5,07105	57,2368
20	1	1,38423	-0,140E-03	0,012499
	2	1,38422	-0,201E-03	0,018298
	3	1,00001	-0,449739	72,1659

Mod 4 için Evrim Topolojisi Optimizasyonu Sonuçları;



(a)10 Adım'da

(b) 11 Adım'da

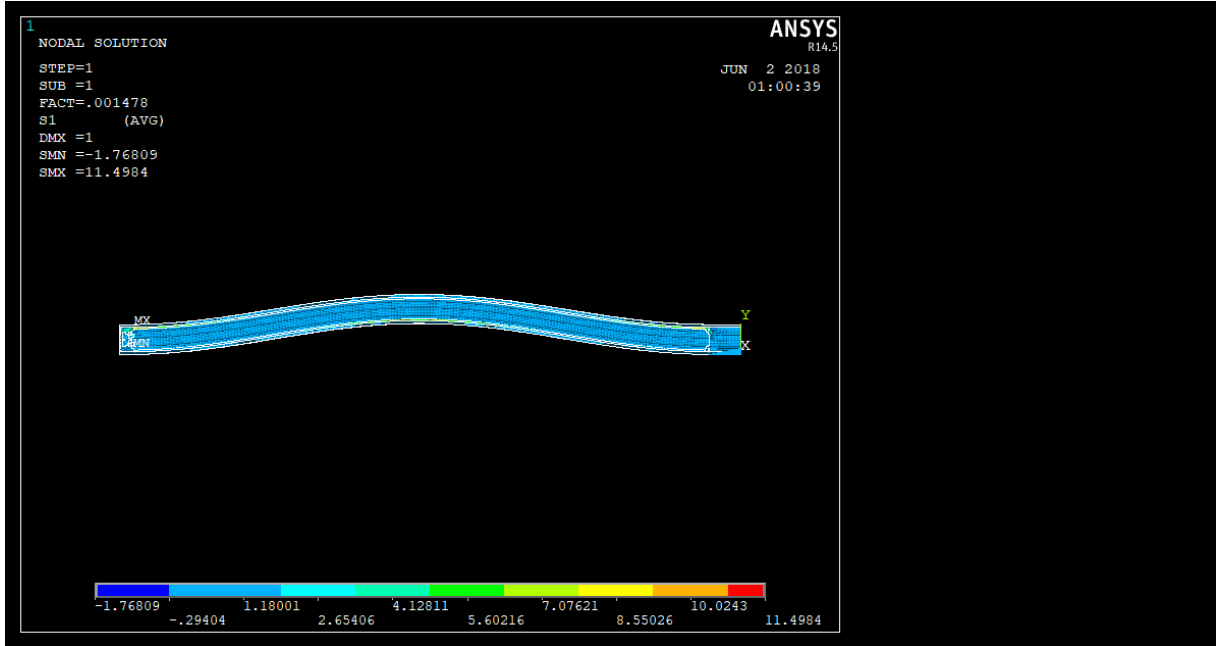
(c) 20 Adım'da

Şekil 6.32. Mod 4 için 10,11 ve 20. Adımlar da ki görüşler(a-b-c)

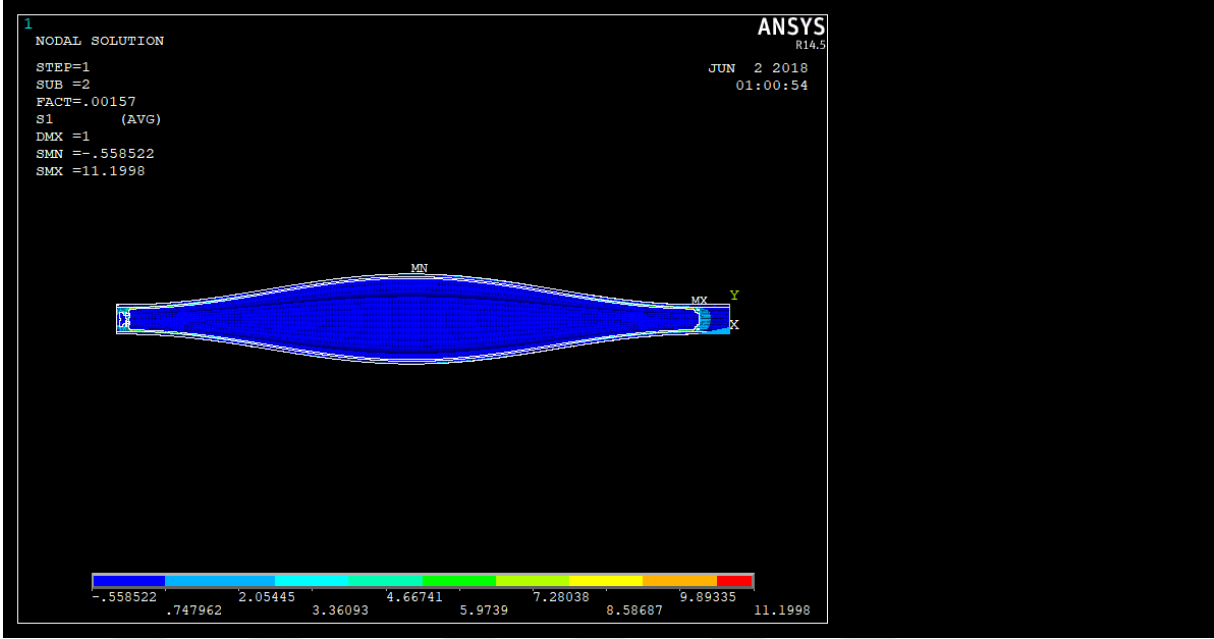
**Tablo 6.7.** MOD 4 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki frekanslar

İTERASYON	SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
10	1	0.14776E-02	1	1	1
	2	0.15700E-02	1	2	2
	3	0.29738E-02	1	3	3
	4	0.30696E-02	1	4	4
11	1	0.36034E-05	1	1	1
	2	0.14707E-02	1	2	2
	3	0.15596E-02	1	3	3
	4	0.29494E-02	1	4	4
20	1	0.12826E-02	1	1	1
	2	0.13611E-02	1	2	2
	3	0.25485E-02	1	3	3
	4	0.26453E-02	1	4	4

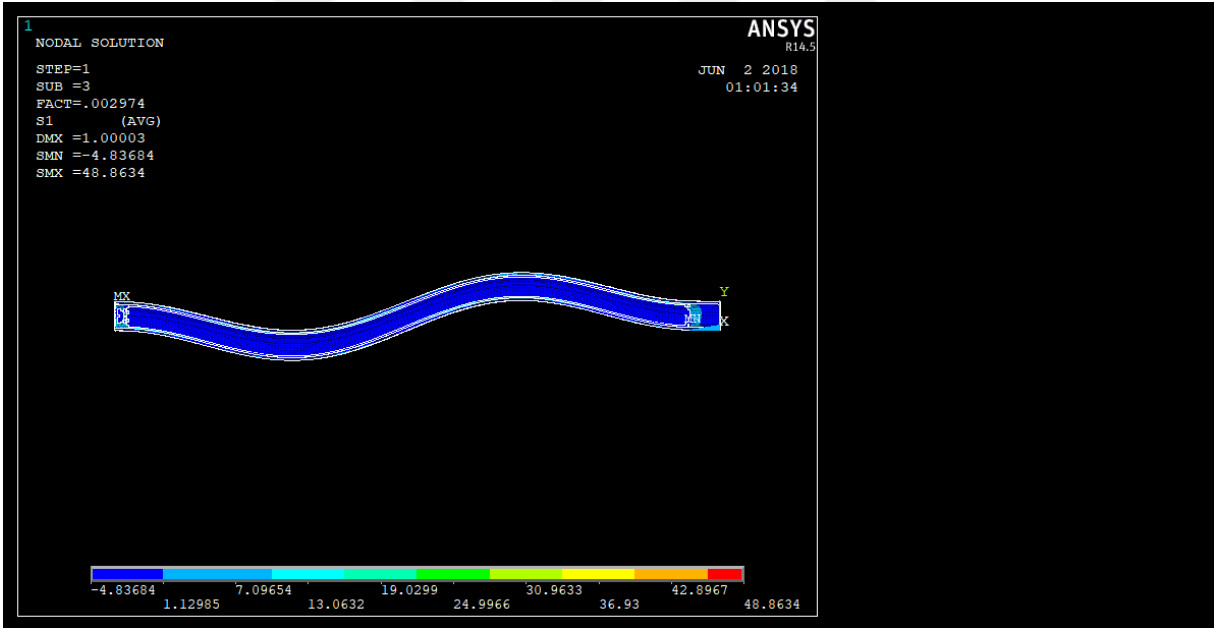
Mod 4 İçin Gerilme Analizi Sonuçları;



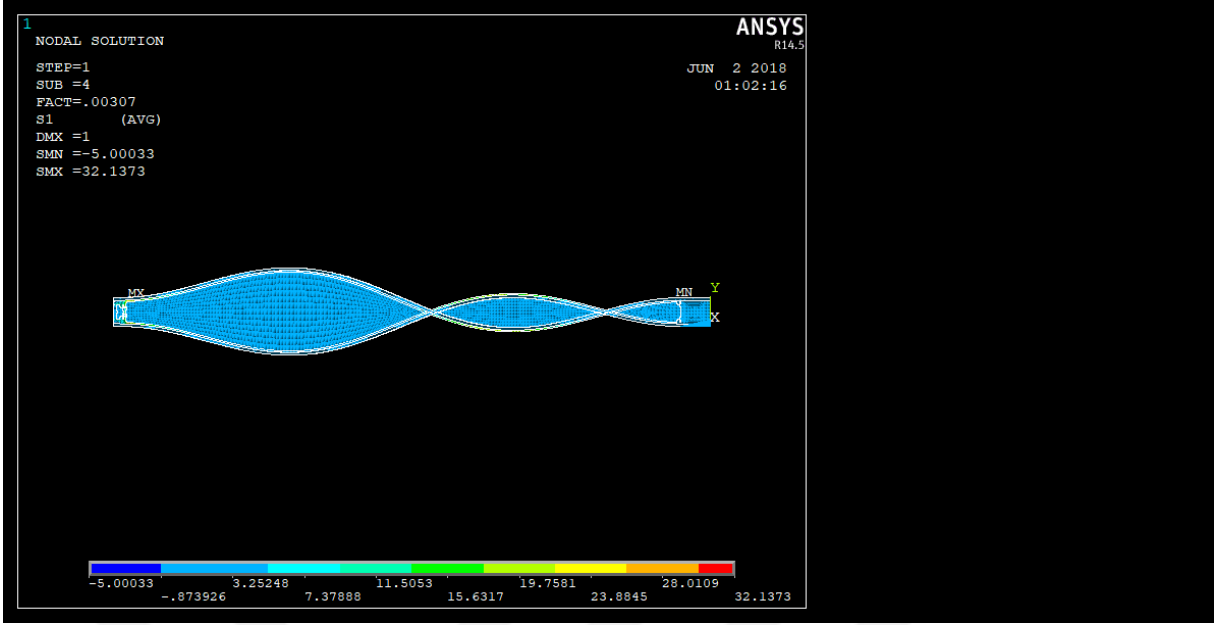
Şekil 6.33. 10 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi



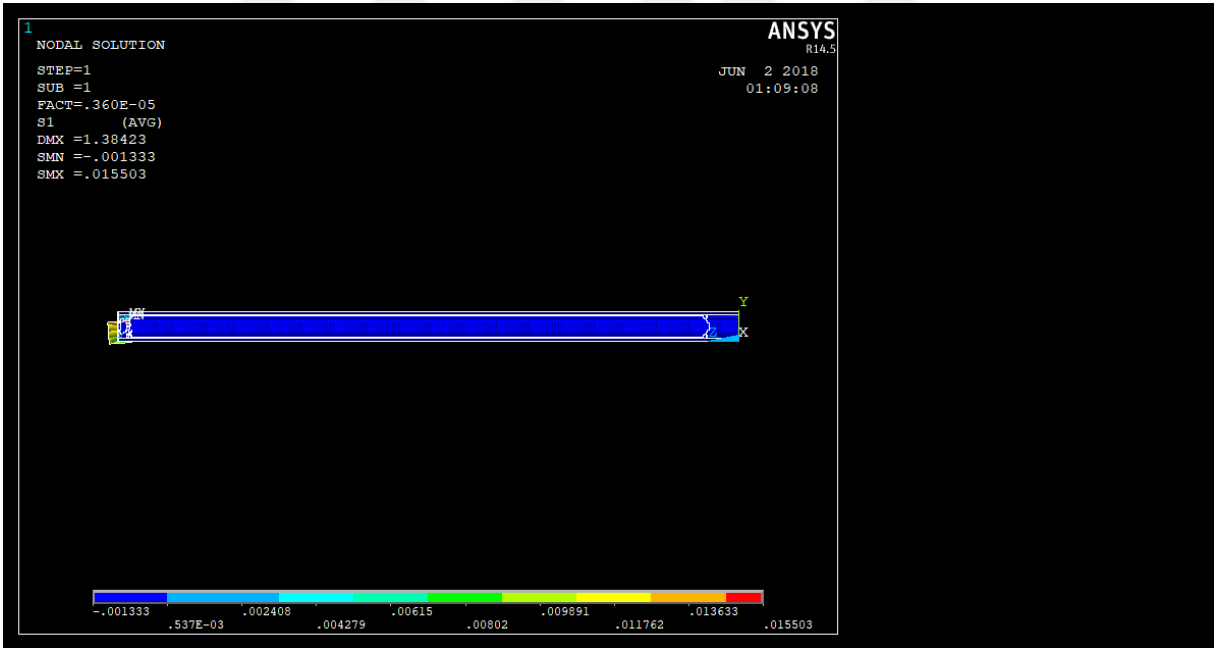
Şekil 6.34. 10 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi



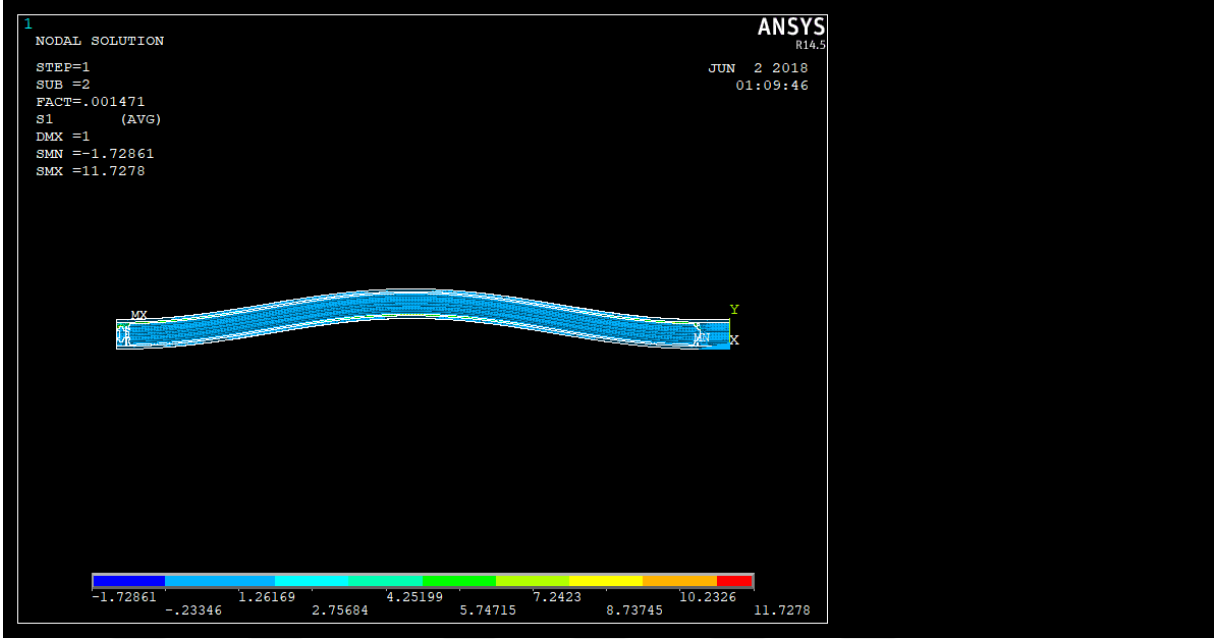
Şekil 6.35. 10 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değiştirmesi



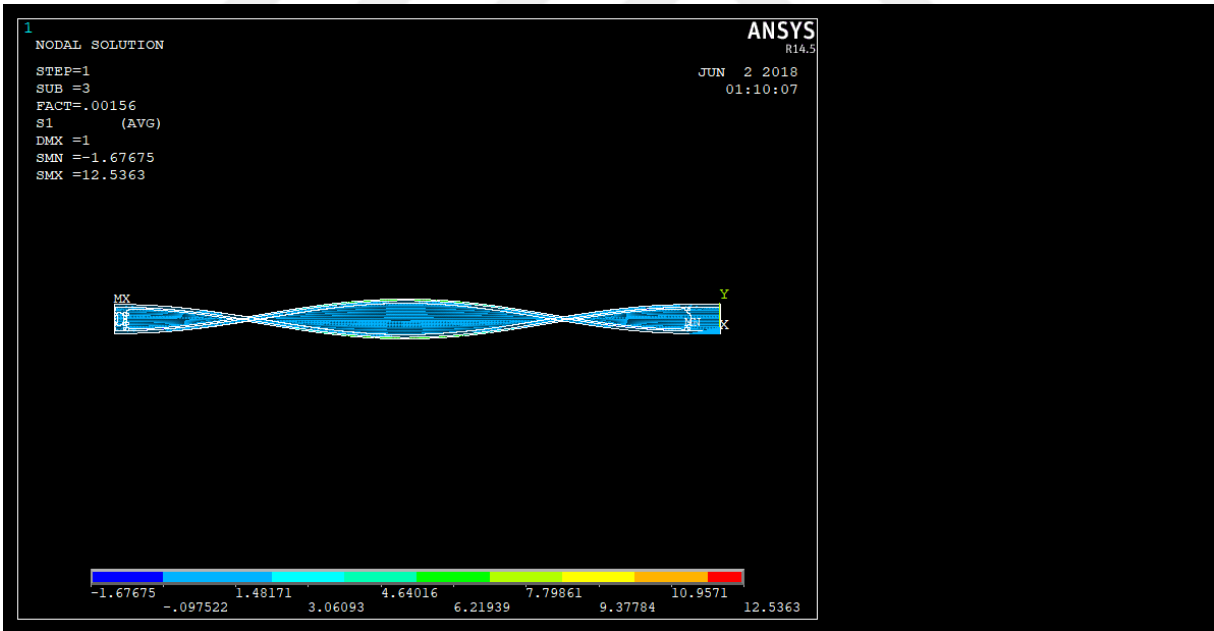
Şekil 6.36. 10 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değiştirmesi



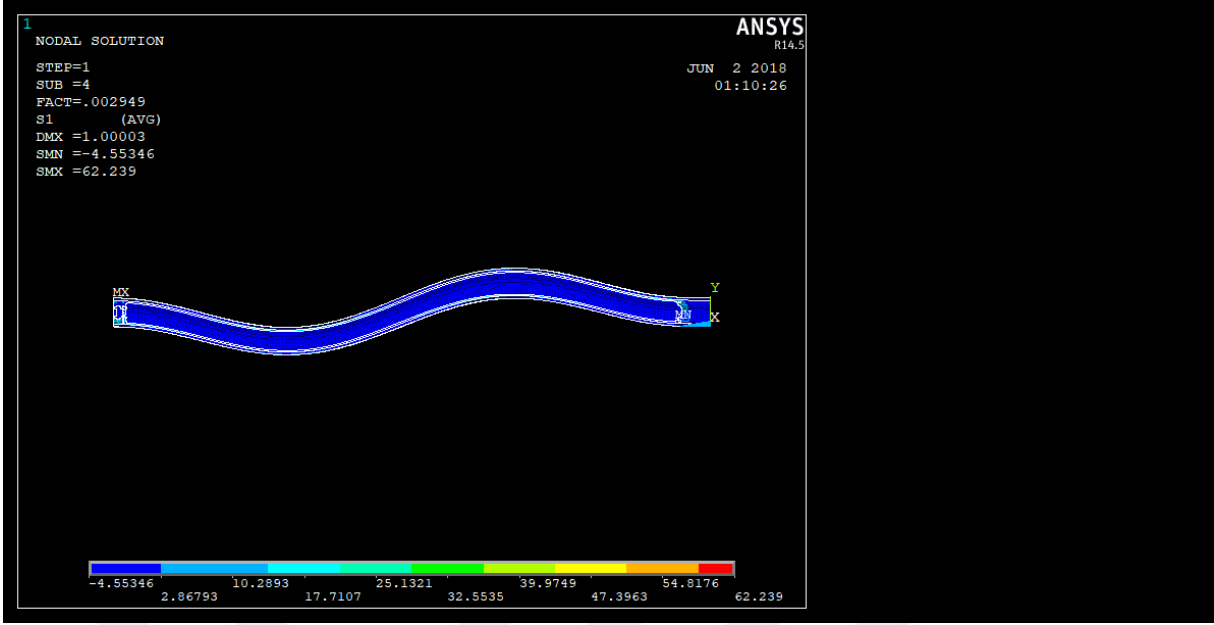
Şekil 6.37. 11 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değiştirmesi



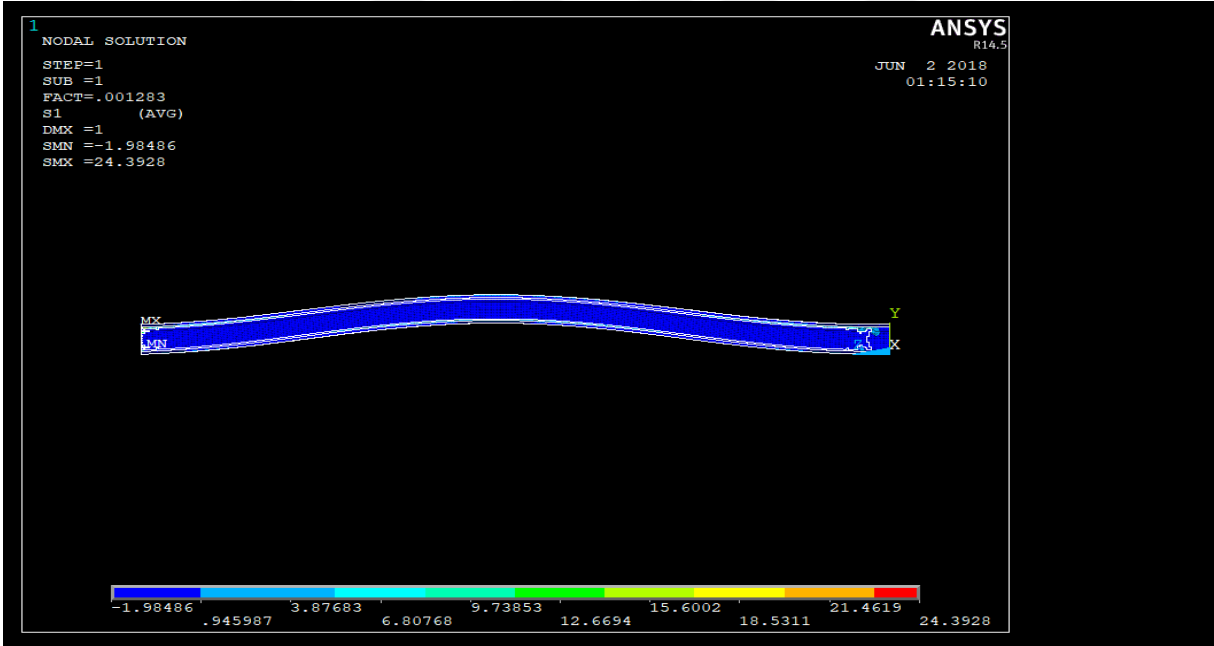
Şekil 6.38. 11 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi



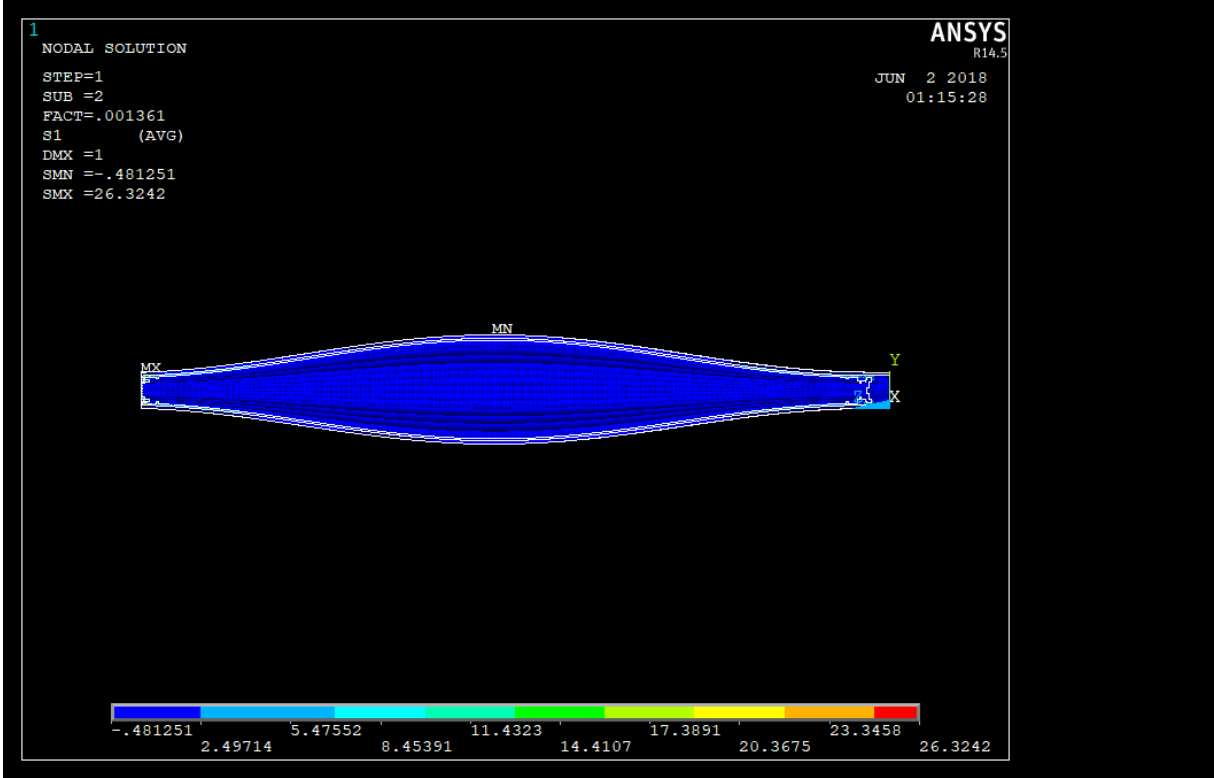
Şekil 6.39. 11 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değiştirmesi



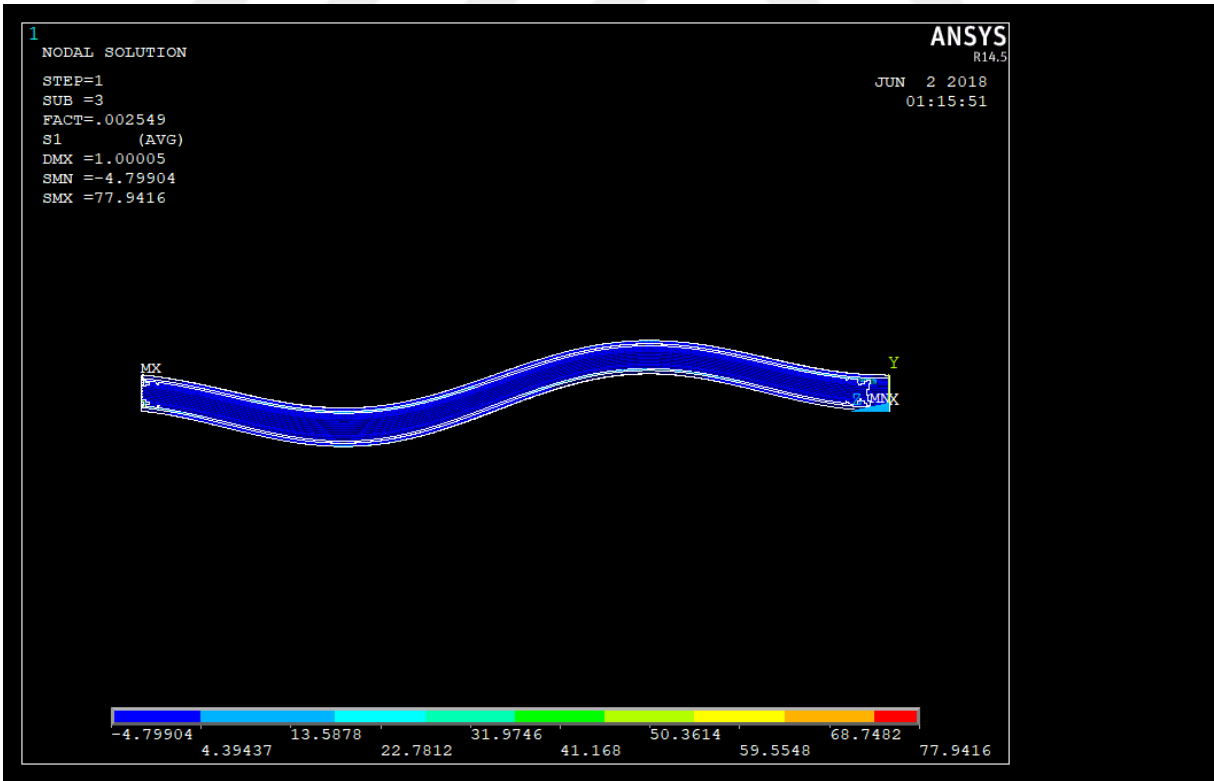
Şekil 6.40. 11 iterasyonda 4.Mod gerilme-şekil değıştirmesi



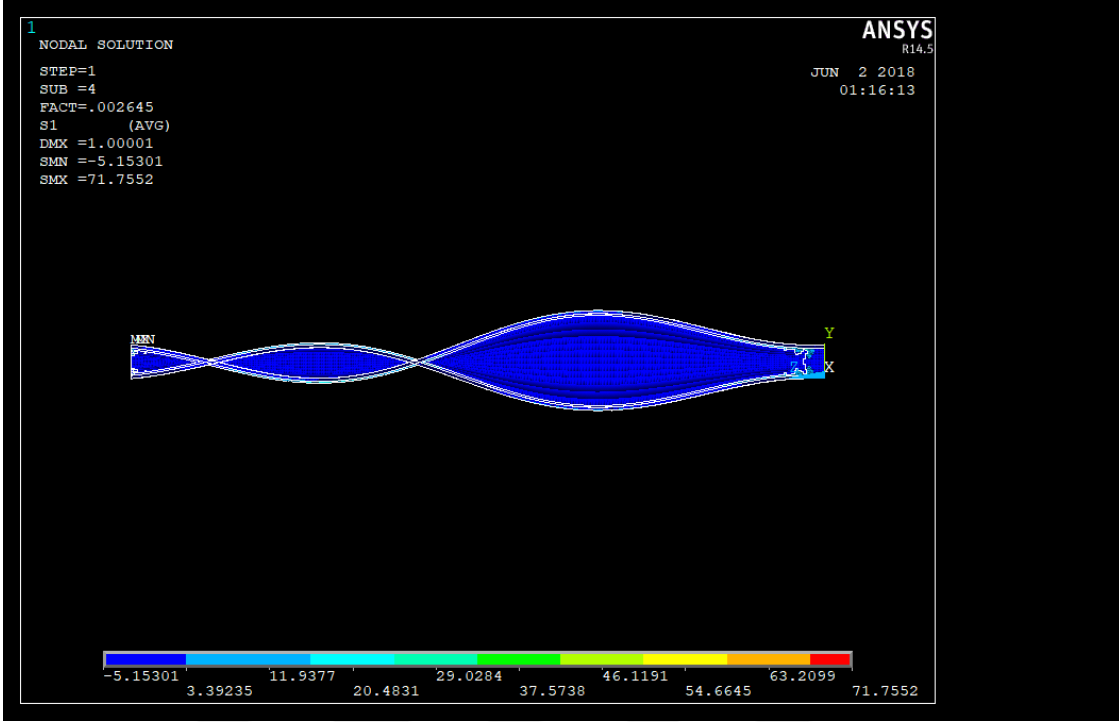
Şekil 6.41. 20 iterasyonda 1.Mod gerilme-şekil değıştirmesi



Şekil 6.42. 20 iterasyonda 2.Mod gerilme-şekil değiştirmesi



Şekil 6.43. 20 iterasyonda 3.Mod gerilme-şekil değiştirmesi



Şekil 6.44. 20 iterasyonda 4.Mod gerilme-şekil değıştirmesi

**Tablo 6.8.** MOD 4 İçin 10,11 ve 20. İterasyonlardaki deplasman ve gerilmeler

İTERASYON	SET	DMX (mm)	SMN (N/mm <sup>2</sup> )	SMX (N/mm <sup>2</sup> )
10	1	1	-1,76809	11,4984
	2	1	-0,558522	11,1998
	3	1,00003	-4,83684	48,8634
	4	1	-5,00033	32,1373
11	1	1,38423	-0,001333	0,15503
	2	1	-1,72861	11,7278
	3	1	-1,67675	12,5363
	4	1,00003	-4,55346	62,239
20	1	1	-1,98486	24,3928
	2	1	-0,481251	26,3242
	3	1,00005	-4,79904	77,9416
	4	1,00001	-5,15301	71,7552



### 6.3 Optimal Göz Boşluğunun Boyutlandırılması

Şekil 6.45’de optimizasyonu yapılmış kolon görülmektedir. Tablo 6.9.’da boşluksuz kolon ve petek kolon ağırlığı görülmektedir.



Şekil 6.45. Optimum tasarlanmış petek kolon

**Tablo 6.9.** Boşluksuz kolon ve petek kolon ağırlıkları

PETEK KOLON ÇEŞİDİ	GÖRÜNÜŞ	AĞIRLIK (kg)	KOLON BOYU ( mm)
GENİŞ BAŞLIKLİ I PROFİL		66.75	2500
OPTİMAL KOLON		63.00	2500

Tablo 6.9’da görüldüğü gibi petek kolon ağırlığı, boşluksuz I kolonun ağırlığından yaklaşık .%5.62 daha azdır. Tüm yapı bazında bakıldığında malzemedan kazanılan bu kazanç yapıların daha ekonomik tasarlanmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda yapının daha hafif olmasını da sağlamaktadır.



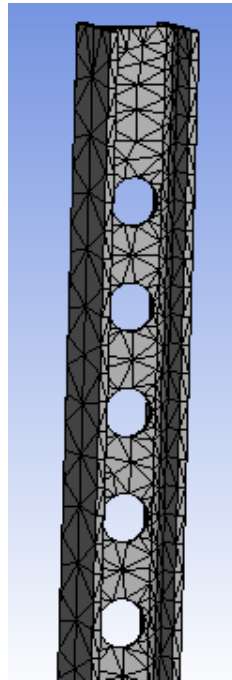


Bu tez çalışmasında  $e/h$  yani boşluk aralığı/ profil yüksekliği yaklaşık olarak 1.042 gibi bir değer bulunup optimalliğin sağlandığı gösterilmiştir. Ayrıca  $e/h_s$  yani boşluk aralığı/boşluk çapı oranının 3.5’u geçmediği görülmüştür. Dolayısıyla bu sonuçlar literatürü[6] doğrulamıştır.

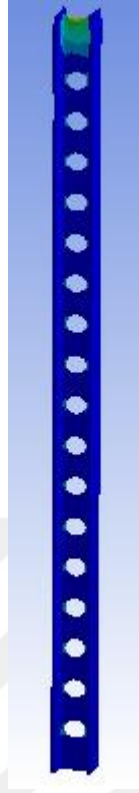
#### **6.4 Elde Edilen Optimum Geometrik Boşluk İle Uygulamada Kullanılan Farklı Geometrik Boşluk Şekillerinin Kıyaslanması**

Elde edilen optimum geometrik şekil SOLIDWORKS katı model oluşturma programıyla yeniden tasarlandı. Uygulamada kullanılan daire, kare ve altıgen profillerde geniş başlıklı I profilin gövdesinden aynı şekilde çıkartıldı. Bu dört farklı geometriye sahip çelik profillerin gerilme ve deformasyonlarını belirlenmesi ve aynı zamanda optimizasyon ile elde ettiğimiz şekil ile kıyaslanması için tekrar ANSYS WORKBENCH programında aynı sınır değer kısıtlamaları altında belirlenen max yük altında analize tabi tutulmuştur. Her bir farklı geometriye sahip geniş başlıklı IPB-120 profili için sırasıyla mesh’leme, mesnetleme ve belirlenen yük altındaki davranışları sonucunda ortaya çıkan gerilme(Pa) ve deformasyonlar(m) aşağıdaki şekillerde görülmektedir.

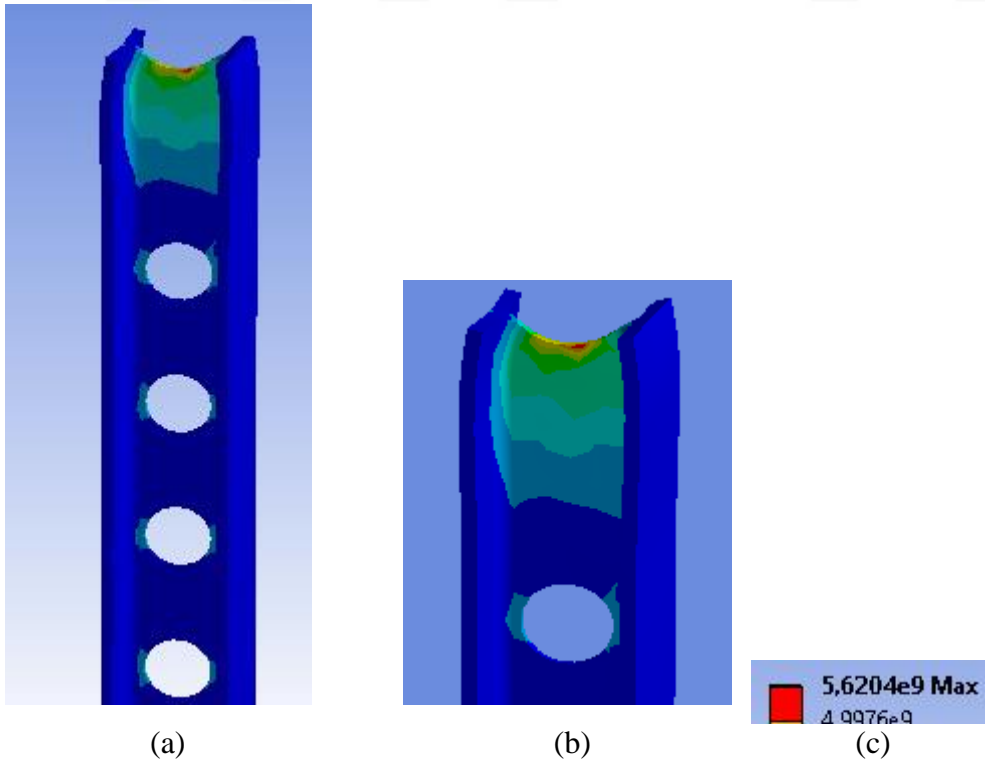
##### **6.4.1 Dairesel geometrik boşluklu IPB-120 Profili**



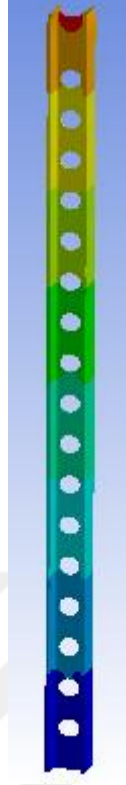
Şekil 6.48. Dairesel geometrik boşluklu geniş başlıklı profil mesh’lemesi



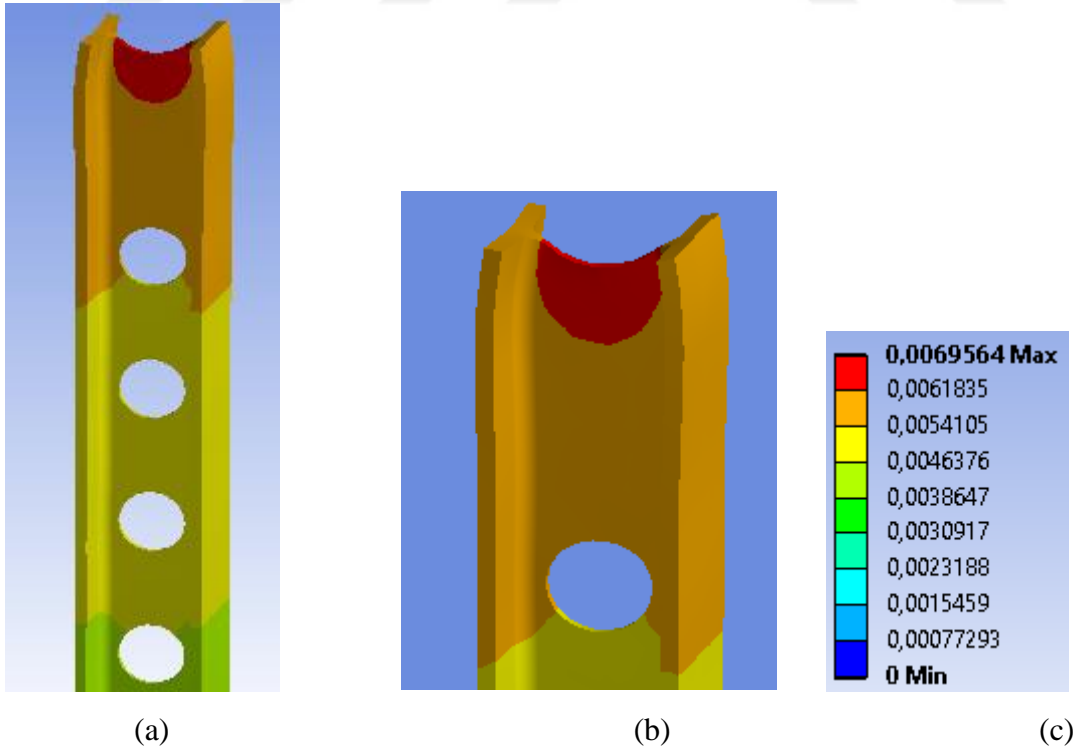
Şekil 6.49. dairesel boşluklu geometriye sahip kolonun gerilme şekil değişimi



Şekil 6.50. Gerilme şekil değişimi (a)-(b) ve max-min gerilmeler (c).

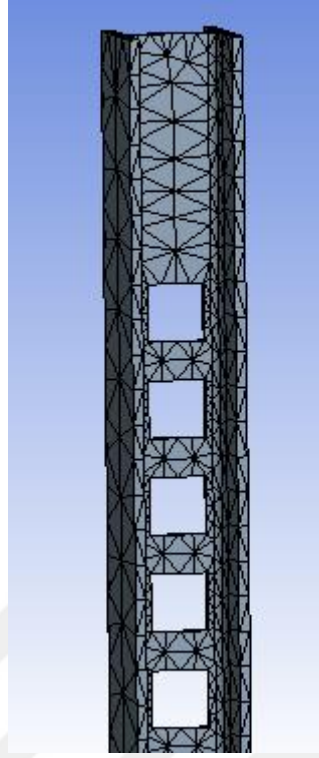


Şekil 6.51. dairesel boşluk geometrisine sahip kolonun deformasyon şekli

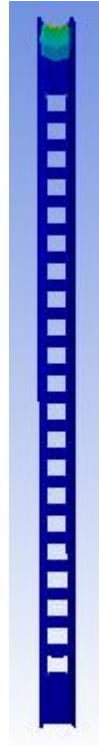


Şekil 6.52. IPB-120 Profilin deformasyon şekli (a)-(b) ve max-min deformasyonlar (c).

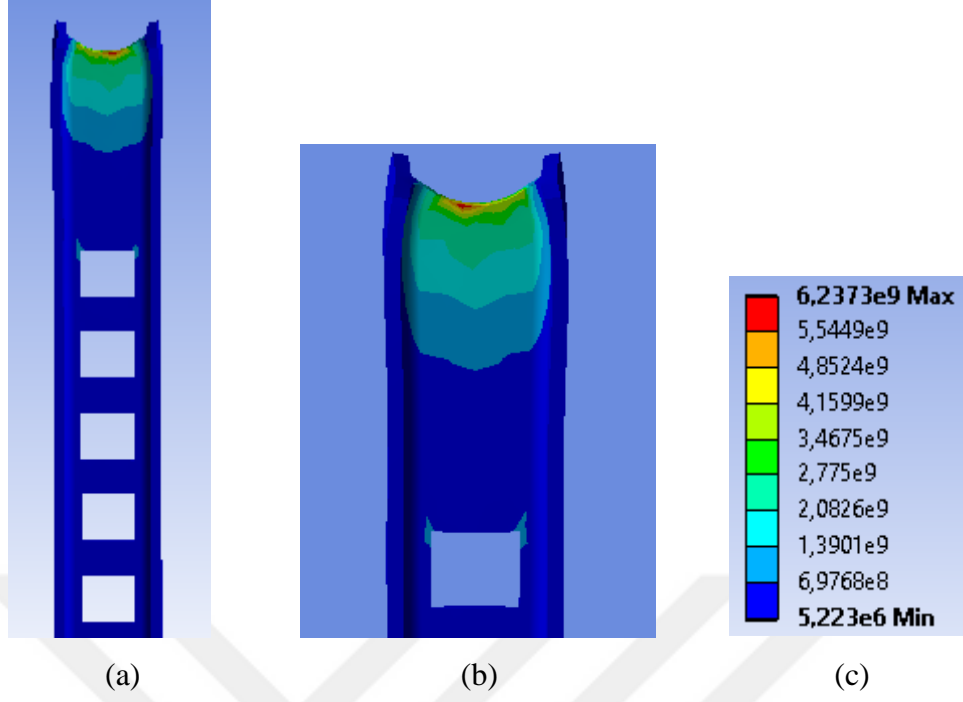
#### 6.4.2 Karesel Geometrik Boşluklu IPB-120 Profili



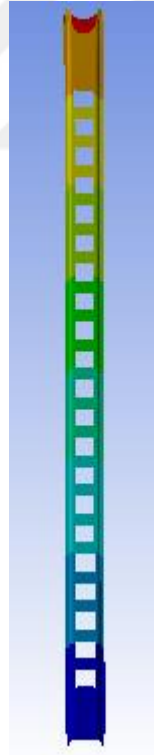
Şekil 6.53. Kare geometrik boşluklu geniş başlıklı profil mesh'lemesi



Şekil 6.54. kare boşluklu geometriye sahip kolonun gerilme şekil değiştirmesi

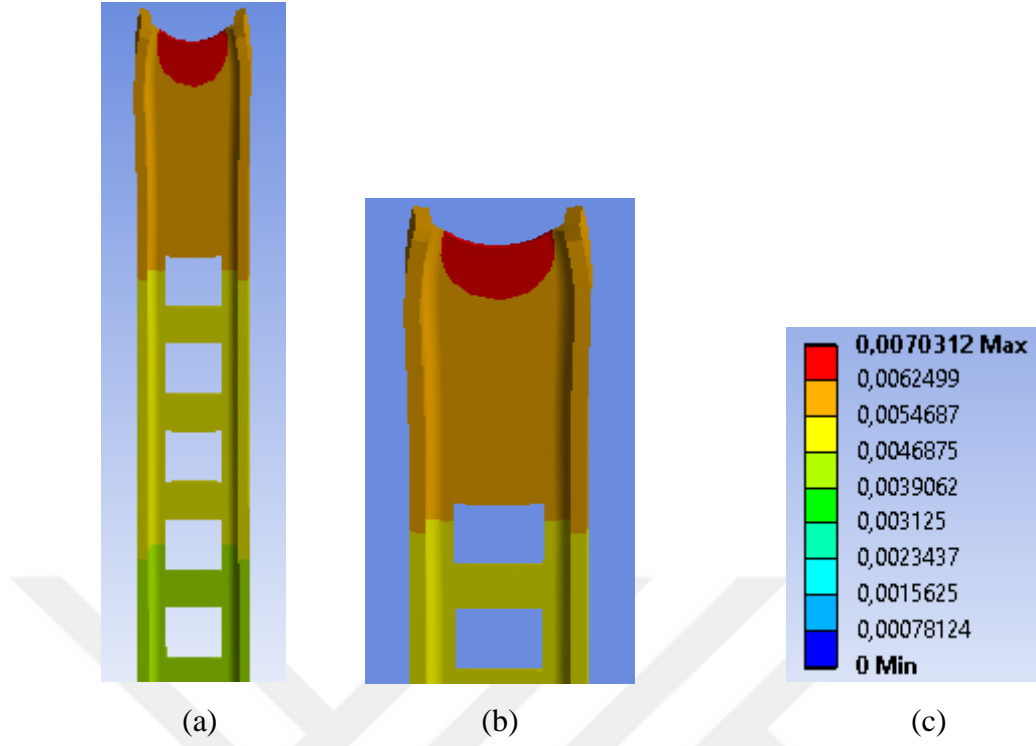


Şekil 6.55. Gerilme şekil değiştirme halı (a)-(b) ve max-min gerilmeler (c).



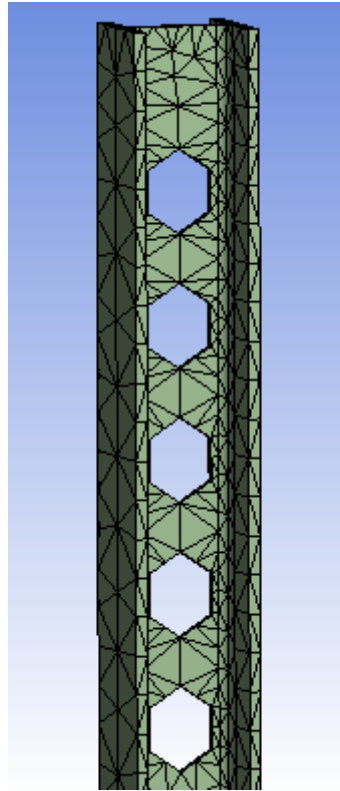
Şekil 6.56. kare boşluklu geometriye sahip kolonun değimasyon şekli



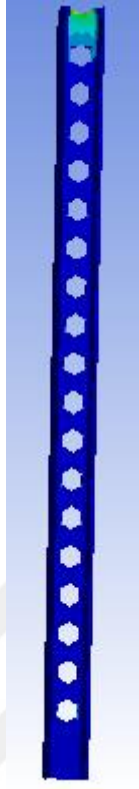


Şekil 6.57. IPB-120 Profilin deformasyon şekli (a)-(b) ve max-min deformasyonlar (c).

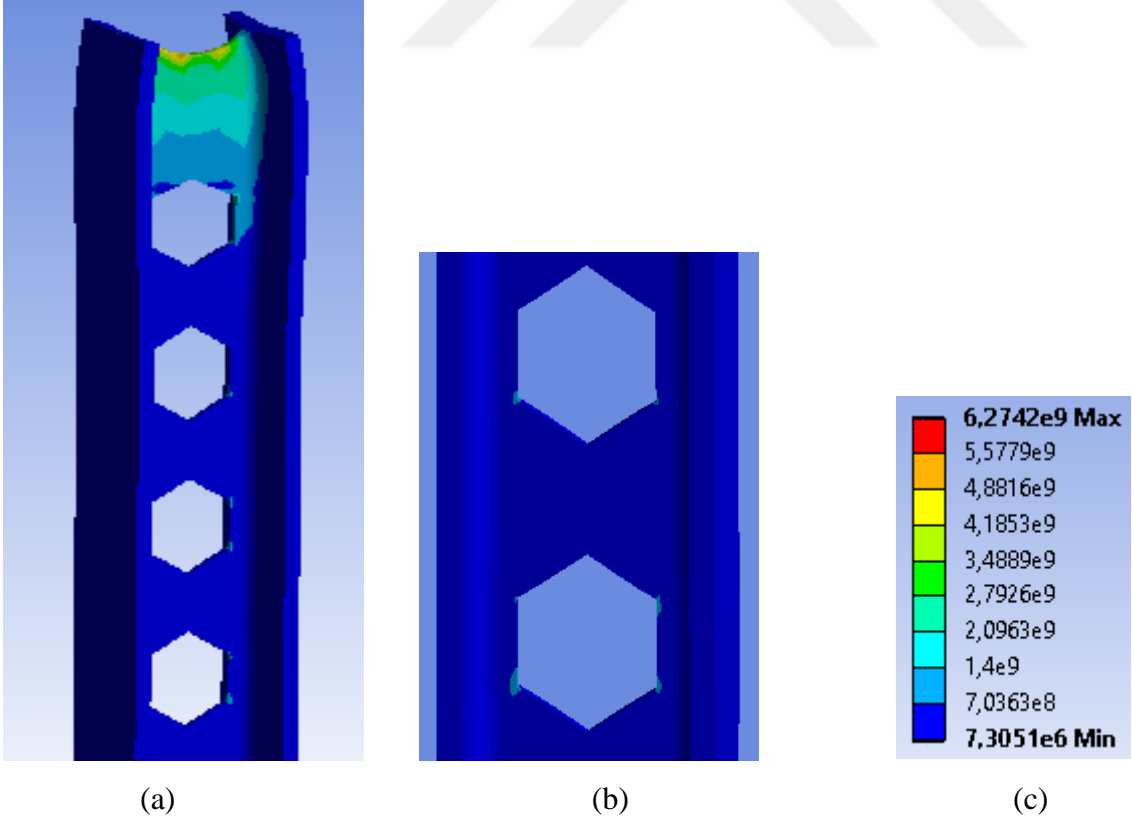
#### 6.4.3 Altıgen Geometrik Boşluklu IPB-120 Profili



Şekil 6.58. Altıgen geometrik boşluklu geniş başlıklı profil mesh'lemesi



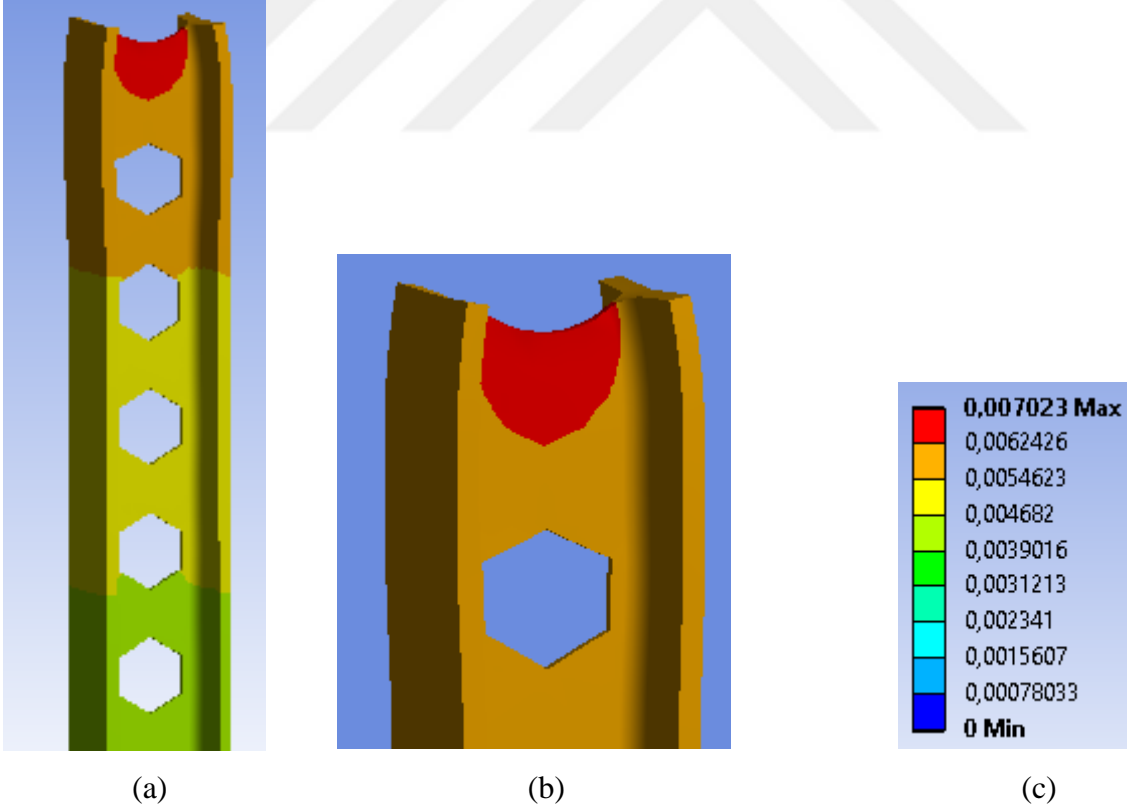
Şekil 6.59. Altıgen boşluklu geometriye sahip kolonun gerilme şekil değiştirmesi.



Şekil 6.60. Gerilme şekil değiştirme hali (a)-(b) ve max-min gerilmeler (c).

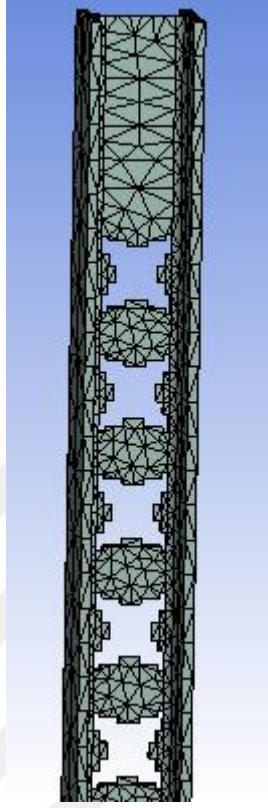


Şekil 6.61. Altıgen boşluklu geometriye sahip kolonun deformasyon şekli



Şekil 6.62. IPB-120 Profilin deformasyon şekli (a)-(b) ve max-min deformasyonlar (c).

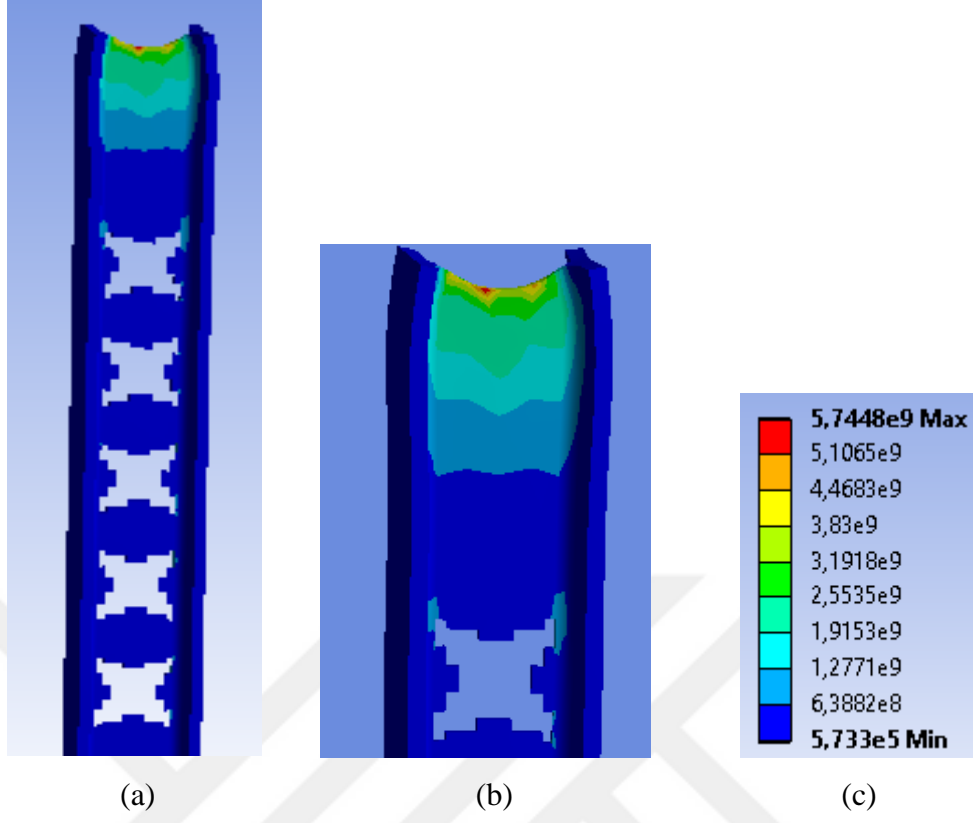
#### 6.4.4 Optimal Geometriye Sahip IPB-120 Profili



Şekil 6.63. Optimal geometrik boşluklu geniş başlıklı profil mesh'lemesi



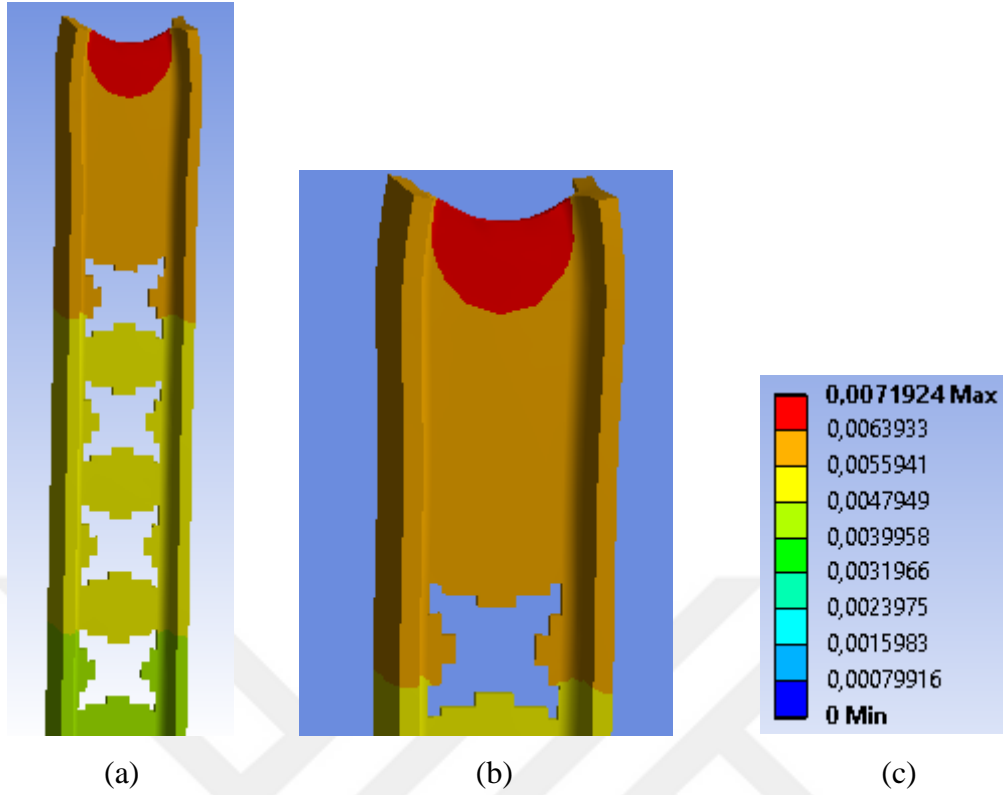
Şekil 6.64. Optimal boşluk geometrisine sahip kolonun gerilme şekil değiştirmesi



Şekil 6.65. Gerilme şekil değiştirme hali (a)-(b) ve max-min gerilmeler (c).



Şekil 6.66. Optimal boşluklu geometriye sahip kolonun deformasyon şekli



Şekil 6.67. IPB-120 Profilin deformasyon şekli (a)-(b) ve max-min deformasyonlar (c).

Bu şekillerden de görülebileceği gibi optimizasyon ile elde ettiğimiz şekil; uygulamada rastgele uygulanan geometrik şekillerden daha az gerilme ve şekil değiştirmeye maruz kalmıştır. Bu sonuçtan yola çıkarak elde edilen optimum göz şeklinin diğer geometrik boşluklara göre kolonlarda kullanılmasının daha avantajlı olacağı görülmektedir (tablo 6.11).

**Tablo 6.11.** Ekonomiklik karşılaştırma tablosu

BOŞLUK GEOMETRİSİ	AĞIRLIK (kg)	YAKLAŞIK YÜZDE KAR
DOLU	66.75	
DAİRE	64.15	%3.89
KARE	63.44	%4.95
ALTİGEN	63.44	%4.95
OPTİMAL	63.00	%5.62

## 7.SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında geliştirilen evrimsel topolojik optimizasyon algoritması sonlu elemanlar yöntemiyle Ansys mechanical APDL bilgisayar programıyla uygulanmış ve optimal diyebileceğimiz göz boşlukları oluşmuştur. Kolonun, kendi ağırlığı başına taşıyabildiği yük kapasitesinin de arttığı dolayısıyla farklı amaçlar için kullanılacak yapılarda da ekonomiklik faktörünü önemli derecede etkilediği görülmüştür.

Ayrıca farklı mod durumları ve farklı iterasyon adımlarında yapılan analiz sonuçlarında; Artan mod sayısı ile sistemin içinde gerilmelerin çok küçük olduğu kısıt değerlerle sınırlandırılmış olarak kurulan evrim topolojisi optimizasyon algoritmasıyla sistem şeklinin giderek daha optimal boşaltmalar meydana getirdiği görülmüştür. Profil gövdesinde büyük boşaltmalar meydana gelmesine rağmen sistemin elastik sınırlar içinde kalmaya devam ederek burkulduğu sonucuna varılmıştır.

Her mod durumunda uygulanan yük altında gerilme ve şekil değiştirme hallerinin birbirinden farklı olması oluşabilecek her durumu göstermiş olup, sistemin için de büyük boşaltmalar meydana gelmesi sebebiyle de şekil değiştirmelerin farklı mod durumlarında ki halleri gösterilmiştir.

Yapılan analiz sonuçları ve elde edilen boşluk geometrisin kolonlarda kullanılması ile;

- 1- Kolon ağırlıklarının azaltılabileceği, dolayısıyla tasarlanan konstrüksiyonlarda hafiflik ve seri üretimde daha ucuz maliyet elde edileceği,
- 2- Betonarme kolonlarda uygun olmayan ancak bu şekildeki boşluklara sahip kolonların boşluklu olan kısımlarından tesisat, ısıtma, havalandırma ve soğutma gibi kanalların geçirilmesine imkân sağlayacağı,
- 3- Son zamanlarda çelik konstrüksiyonlu binalarda yangın esnasında meydana gelen çelik ergimesinin önüne geçmek için kullanılan beton-çelik kompozit kolonlar sıklıkla uygulanma başlamıştır. Bu uygulamada ortaya çıkan en büyük problemlerden biri, titreşim ve kuvvet etkisi altında beton içinden çelik putrellerin sıyrılmasıdır. Bu çalışmada tasarlanan boşluklu NPI (I Şeklinde sıcak olarak haddelenmiş profil) profiller kullanılması ile bu tür problemler ortadan kaldıracağı,
- 4- Bu boşluklara sahip kolonların boşlukları arasından kiriş olarak geçirilebilecek profillerin tasarlanması ile konstrüksiyonların montajında kolaylık sağlanabileceği aynı zamanda bağlantıdaki civata ve perçin maliyetleri azaltacağı sonuçlarına varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] [www.izmircelikproje.com](http://www.izmircelikproje.com), Petek Kiriş Eleman. 02.05.2018.
- [2] Tsavdaridis, K. D., & D'Mello, C. (2012). Optimisation of novel elliptically-based web opening shapes of perforated steel beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 76, 39-53.
- [3] Çelik, E., 2017. Evrimsel ve Topoloji Optimizasyon Yöntemi ile Eğilmeye Çalışan Boşluklu Kirişlerin Boyut Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Türkiye.
- [4] <http://kareamakina.net/celik-konstruksiyon/>, Petek Kolon ve Kiriş Örneği. 05.05.2018.
- [5] Sweedan, A. M., El-Sawy, K. M., & Martini, M. I. (2009). Identification of the buckling capacity of axially loaded cellular columns. *Thin-Walled Structures*, 47(4), 442-454.
- [6] Sweedan, A. M., & El-Sawy, K. M., 2011. Elastic local buckling of perforated webs of steel cellular beam-column elements. *Journal of Constructional Steel Research*, 67(7), 1115-1127.
- [7] Yuan, W. B., Kim, B., & Li, L. Y. 2014. Buckling of axially loaded castellated steel columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 92, 40-45.
- [8] CHENG, Shanshan, et al, 2016. Shear effect on buckling of cellular columns subjected to axially compressed load. *Thin-Walled Structures*, 98: 416-420.
- [9] Karimi, K., Tait, M. J., & El-Dakhakhni, W. W. 2011. Testing and modeling of a novel FRP-encased steel-concrete composite column. *Composite Structures*, 93(5), 1463-1473.
- [10] Zhou, X., Yan, B., & Liu, J. 2015. Behavior of square tubed steel reinforced-concrete (SRC) columns under eccentric compression. *Thin-Walled Structures*, 91, 129-138.
- [11] Lacki, P., Derlatka, A., & Kasza, P. 2017. Comparison of steel-concrete composite column and steel column. *Composite Structures*.
- [12] Göçmen, R., 2005. Çelik Basınç Elemanlarında Burkulma Boyları ve Bunu Etkileyen Faktörler, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Turkey.
- [13] Kaltakçı, M.Y., 1999, Çözümlü örneklerle mukavemet, Konya, 406 s.
- [14] TS648, 1980, Çelik Yapım ve Tasarım Kuralları
- [15] Golub, G. H., & Underwood, R. (1977). The block Lanczos method for computing eigenvalues. In *Mathematical software*(pp. 361-377).
- [16] Optimum design of steel structures with web openings. Lagaros ND, Psarras LD, Papadrakakis M, Panagiotou G. 2008, Eng Struct, Cilt 30, s. 2528-37.,
- [17] <http://volkan.com.tr/volmagazine/topoloji-optimizasyonu/>, Optimizasyon Yöntemleri, 03.05.2018.
- [18] Özkal, F. M., & Uysal, H. (2010). Üç boyutlu konsol kirişlerde topoloji optimizasyonu uygulamaları. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 2(1), 54-57.
- [19] <http://www.eagdemir.com/avrupa-kesit-genis-baslikli-i-ve-u-profiller-urunu-29>, Geniş Başlıklı IPB Profili. 02.05.2018.
- [20] Brush, D. O., & Almroth, B. O. 1975. Buckling of bars, plates, and shells Vol. 6, No. 6, New York: McGraw-Hill.



## EKLER

### EK A : Tez çalışması için yazılan program

```
/CLEAR
```

```
F1=1
```

```
/PREP7
```

```
*DIM,KT,,600000
```

```
*DIM,SSS,,60000
```

```
*DO,N,1,60000,1
```

```
KT(N)=100000
```

```
SSS(N)=1
```

```
*ENDDO
```

```
FINISH
```

```
/PREP7
```

```
ANTYPE,STATIC
```

```
ET,1,SOLID185
```

```
EX,1,2.1E5 !N/mm2
```

```
NUXY,1,0.3
```

```
ET,2,SOLID185
```

```
EX,2,2E-2
```

```
!BU,BÖLÜM,KOLONUN,ALT,BAŞLIĞIDIR
```

```
N,1,0,0,0
```

```
NGEN,20,1,1,20,1,6.5
```

```
NGEN,3,20,1,20,1,0,5.5
```

```
NGEN,401,60,1,60,1,0,0,6.25
```

```
EN,1,1,2,22,21,61,62,82,81
```

```
ENGEN,1,19,1,1,10,1
```

```
ENGEN,19,2,20,1,100,1
```

ENGEN,38,400,60,1,100,1

!BU,BÖLÜM,KOLONUN,ÜST,BAŞLIĞIDIR

N,25000,0,109,0

NGEN,20,1,25000,25019,1,6.5

NGEN,3,20,25000,25019,1,0,5.5

NGEN,401,60,25000,25059,1,0,0,6.25

EN,25000,25000,25001,25021,25020,25060,25061,25081,25080

ENGEN,1,19,1,25000,25019,1

ENGEN,19,2,20,25000,25039,1

ENGEN,38,400,60,25000,40200,1

!BU,BÖLÜM,KOLONUN,ORTA,BAŞLIĞIDIR

N,50000,58.5,17.53,0

NGEN,2,1,50000,50001,1,6.5

NGEN,14,2,50000,50001,1,0,6.53

NGEN,401,28,50000,60027,1,0,0,6.25

A1=50

A2=50001

\*DO,I,50000,50399

EN,I,A1,A1+1,A2,A2-1,A1+60,A1+61,A2+28,A2+27

A1=A1+60

A2=A2+28

\*ENDDO

EN,50400,50000,50001,50003,50002,50028,50029,50031,50030

ENGEN,1,400,28,50400,50800,1

ENGEN,400,13,2,50400,55599,1

A1=50026  
A2=25010  
\*DO,I,55600,55999  
EN,I,A1,A1+1,A2,A2-1,A1+28,A1+29,A2+60,A2+59  
A1=A1+28  
A2=A2+60  
\*ENDDO

NSEL,S,NODE,,61200,61227,1  
D,ALL,ALL  
NSEL,ALL,ALL  
D,24050,ALL  
D,24051,ALL  
D,49009,ALL  
D,49010,ALL

NSEL,S,NODE,,50000,50027,1  
F,ALL,FZ,1500000  
NSEL,ALL,ALL  
NSEL,S,NODE,,50000,50027,1  
D,ALL,UX  
NSEL,ALL,ALL

NSEL,S,NODE,,1,20,1  
D,ALL,UY  
NSEL,ALL,ALL

NSEL,S,NODE,,25040,25059,1  
D,ALL,UY  
NSEL,ALL,ALL

A1=52830  
A2=A1+1

A3=A1-1

A4=A1+400

A5=A1-400

A6=A4+1

A7=A5+1

A8=A4-1

A9=A5-1

MPCHG,2,A1

MPCHG,2,A2

MPCHG,2,A3

MPCHG,2,A4

MPCHG,2,A5

MPCHG,2,A6

MPCHG,2,A7

MPCHG,2,A8

MPCHG,2,A9

\*DO,E0,1,17

A1=A1+20

A2=A2+20

A3=A3+20

A4=A4+20

A5=A5+20

A6=A6+20

A7=A7+20

A8=A8+20

A9=A9+20

MPCHG,2,A1

MPCHG,2,A2

MPCHG,2,A3

MPCHG,2,A4  
MPCHG,2,A5  
MPCHG,2,A6  
MPCHG,2,A7  
MPCHG,2,A8  
MPCHG,2,A9

\*ENDDO

FINISH

\*CREATE,MAC1  
E0=1  
/SOLU  
\*DO,E0,50400,55599  
\*IF,KT(E0),EQ,E0,THEN  
MPCHG,2,E0  
\*ENDIF  
\*ENDDO

/SOLU  
PSTRES,ON  
EQLV,JCG !PCG YERINE JCG  
SOLVE  
FINISH

/SOLU  
ANTYPE,BUCKLE  
OUTRES,ALL,ALL  
BUCOPT,LANB,4,  
SOLVE  
FINISH

```
/SOLU  
EXPASS,ON  
MXPAND,4,,,YES  
OUTRES,ALL,ALL  
SOLVE  
FINISH  
*END
```

```
*CREATE,MAC2  
/POST1  
NSEL,ALL,ALL  
ESEL,ALL,ALL  
*DO,IT,1,4,1  
SET,LIST,99999  
SET,,,,,IT  
ETABLE,STORE1,S,EQV  
*DO,E0,50400,55599,1  
KT(E0)=0  
*GET,ASNR1,ELEM,E0,ETAB,STORE1  
*IF,ASNR1,GT,SSS(E0),THEN  
SSS(E0)=ASNR1  
*ENDIF  
*ENDDO  
*ENDDO  
*DO,I,50400,55599,1  
*IF,SSS(I),LT,F1,THEN  
KT(I)=I  
*ENDIF  
*ENDDO  
  
*END
```

```
/PREP7
```

```
*DO,I,1,20
*USE,MAC1
*USE,MAC2
F1=F1+1
ESEL,S,MAT,,1
EPLT
ESEL,ALL,ALL
*ENDDO
FINISH
```



## ÖZGEÇMİŞ

1994 yılında Elazığ'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve liseyi Elazığ'da tamamladı. 2016 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2016 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. 2018 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamış olup halen çalışmaya devam etmektedir.

E-mail : [elif.savas@erzincan.edu.tr](mailto:elif.savas@erzincan.edu.tr)

