

BİR UÇAĞIN BASINÇ DUVARININ YAPISAL OPTİMİZASYONU

Emre YABAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2012
ANKARA**

Emre YABAN tarafından hazırlanan “BİR UÇAĞIN BASINÇ DUVARININ YAPISAL OPTİMİZASYONU” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bedri TUÇ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Can ÇOĞUN
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, O.D.T.Ü.

Tarih: 07/02/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Emre YABAN

BİR UÇAĞIN BASINÇ DUVARININ YAPISAL OPTİMİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Emre YABAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2012

ÖZET

Bu çalışmada, elastik katı bir uçak parçasının topolojik optimizasyonu ve boyutlandırma analizi yapılmıştır. Topoloji optimizasyonu önceden belirlenen sınır şartları ve yükler altında belirli bir alanda kısıtları sağlarken bir hedefi maksimumuna yada minimumuna getirerek optimum kütle dağılımının bulunması için kullanılmıştır. Topoloji optimizasyonu için bir evrimsel optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma sonrasında, Visual Basic dilinde bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu program MSC.PATRAN ve MSC.NASTRAN programları ile eşzamanlı çalışacak şekilde oluşturulmuştur. Bu program uçak parçalarından basınç duvarı için çalıştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Diğer yandan aynı uçak parçası için boyutlandırma analizi iki boyutlu elemanlardan oluşan bir sonlu elemanlar modeli ile yapılmıştır. Bu sebeple bu çalışmada mühendisliğin iki önemli konusu olan sonlu elemanlar yöntemi ve yapısal topoloji optimizasyonu ele alınmıştır. Bir uçak parçasının kavramsal tasarımında EYO metodunun kullanılabilirliği denenmiştir. Yapının optimizasyonu sonucunda elde edilen model ile boyutlandırma analizi sonucu elde edilen yapı karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, tanımlı yük ve sınır şartları altında, topoloji optimizasyonu yapılmış basınç duvarı modelinin boyutsal analizi yapılan modele göre daha homojen bir yük dağılımına sahip olduğu ve ağırlığında %25 seviyelerine varan bir hafifleme olduğu görülmüştür.

Sonuçların incelenmesi ile Evrimsel algoritma ile bir uçak parçasının topolojik optimizasyonunun mümkün olduğu fakat bazı iyileştirici değişikliklerin yapılmasının uygun olacağı görülmüştür.

Bilim Kodu : 914.1.055
Anahtar Kelimeler : Topoloji optimizasyonu, yapısal optimizasyon
Sayfa Adedi : 74
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ

STRUCTURAL OPTIMIZATION OF AN AIRCRAFT PRESSURE**BULKHEAD****(M. Sc. Thesis)****Emre YABAN****GAZİ UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****February 2012****ABSTRACT**

In this study, topological optimization and sizing analysis of an elastic solid aircraft component are performed. Topological optimization maintains optimum mass distribution, targeting design variable maximum or minimum while satisfying constraints on a design domain under predefined boundary conditions and loads. An evolutionary algorithm is developed for topological optimization. After development of algorithm, a program is coded using Visual Basic language. The program is designed to process simultaneously with MSC.PATRAN and MSC.NASTRAN. Developed program is run for an aircraft part, pressure bulkhead, and results are obtained. Besides sizing analysis is performed by using 2D FEM elements for same structural aircraft part. Therefore the two major content of engineering, FEM analysis and structural optimization with evolutionary algorithms are discussed on this study. The ESO method availability is to be utilized in a conceptual design of an aircraft component. The model obtained with structural optimization is to be compared with the existing design constructed by size analysis.

According to outcome, for defined boundary conditions and constraints, the topological optimized pressure bulkhead model reveal more homogenized load distribution and weight reduction up to 25% compared with sizing optimized model.

Evaluation of results reveals that topological optimization of an aircraft part by using evolutionary algorithm is applicable but some improvement actions can be done for future studies.

Science Code : 914.1.055
Key Words : Topological optimization, structural optimization
Page Number : 74
Adviser : Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam ve yüksek lisans öğrenimim boyunca yol gösteren ve tecrübeleriyle beni yönlendiren hocam Sayın Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamın her evresinde yardımlarını sakınmayan değerli çalışma arkadaşlarım Sayın Murat GÜNEL'e ve Sayın Barış GİDER'e teşekkür ediyorum.

TAI'de Hürkuş projesi kapsamında beraber çalışma fırsatı bulduğum değerli çalışma arkadaşım Sayın Serkan DEHNELİLER'e manevi desteklerinden dolayı teşekkür ediyorum.

Tüm hayatımda olduğu gibi bu tezin her aşamasında varlığını hissettiren, verdikleri destek ile yollarımı aydınlatan sevgili aileme ve çok değerli eşim Sayın Ceren YABAN'a ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. OPTİMİZASYON	6
2.1. Giriş.....	6
2.1.1. Topoloji optimizasyonu	8
2.1.2. Şekil optimizasyonu	10
2.1.3. Boyut optimizasyonu	11
2.2. Optimizasyon Problemi.....	11
2.2.1. Amaç fonksiyonu	12
2.2.2. Tasarım değişkenleri	12
2.2.3. Tasarım kısıtları	12
3. TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU	13
3.1. Evrimsel Algoritmalar Kullanılarak Topoloji Optimizasyonu	13
3.2. Sonlu Elemanlar Analiz Modeli.....	15
3.3. Geliştirilen Evrimsel Optimizasyon Programı	16
3.3.1. Algoritma akış şeması	22

Sayfa

3.3.2. Program durdurma kriteri.....	23
3.4. Program Doğrulama	23
4. OPTİMİZASYONU YAPILACAK UÇAK PARÇASININ TANIMI	26
4.1. Basınç Duvarının Yapısı ve Uçak Yapısı İçerisindeki Görevi.....	26
4.2. Amaç Fonksiyonu	30
4.3. Tasarım Kısıtları.....	31
4.4. Tasarım Değişkenleri	33
4.5. Analiz Modeli.....	33
4.5.1. Malzeme özellikleri.....	36
4.5.2. Yükler ve sınır koşulları.....	36
4.6. Basınç Duvarında Yapısal Optimizasyon Uygulaması.....	40
4.7. Boyutsal Optimizasyon Analizi	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
EKLER.....	68
EK-1. Algoritma döngü ağacı	69
EK-2. Döngülerdeki elemanların gerilmesi ve çıkarma oranı	70
EK-3. Örnek Algoritma çıktısı.....	72
ÖZGEÇMİŞ	74

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İlk döngüdeki elemanların gerilmesi ve çıkarma oranı tablosu.....	70
Çizelge 2.2. İkinci aşama detaylandırılmış analiz modelindeki elemanların gerilme ve algoritma çıkarma oranı tablosu.....	71
Çizelge 2.3. Üçüncü aşama detaylandırılmış analiz modelindeki elemanlardaki gerilme ve algoritma çıkarma oranı tablosu	71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yapısal optimizasyon örneği	7
Şekil 2.2. Yapısal optimizasyonu çeşitleri	7
Şekil 3.1. Ağaçların yerçekimine (a) ve karşılaştıkları engellere karşı gösterdikleri (b) gelişim süreci [50].....	16
Şekil 3.2. Ağaçların maruz kaldıkları rüzgar kuvvetine göre halkalarındaki değişimleri [50].....	17
Şekil 3.3. Kullanıcı girdi formu	20
Şekil 3.4. Algoritma akış şeması.....	22
Şekil 3.5. İki bar çerçevesi için tasarım alanı.....	24
Şekil 3.6. Örnek iki-bar çerçeve EYO topolojileri [20] ile oluşturulan programın sonuçlarının karşılaştırılması	24
Şekil 3.7. Örnek iki-bar çerçeve (a) [20] ile oluşturulan programın sonucunun karşılaştırılması (b)	25
Şekil 4.1. Konik uçak duvarı yapısı örneği	27
Şekil 4.2. Çift kişilik tandem oturumlu bir uçağın basınç duvarı ve basınçlı alanının bir görünüşü.....	28
Şekil 4.3. Kabin basıncının uçak yüksekliği ile değişimi	29
Şekil 4.4. Deniz seviyesinden yükseklik ile mutlak basınç değişim grafiği	30
Şekil 4.5. Basınç duvarı flanş kabuk bağlantısı gereksinimi	32
Şekil 4.6. Basınç duvarı üzerinde tasarım kısıtlarına göre elemanların görünümü ...	32
Şekil 4.7. Sonlu elemanlar analizi modelinde basınç duvarı yüzeyi.....	34
Şekil 4.8. Basınç duvarı yüzeyi üzerinde oluşturulan elemanların görünüşü	35
Şekil 4.9. Kalınlık boyunca uzatılan elemanlar	35
Şekil 4.10. Sonlu elemanlar modeli üzerindeki yüklemeler	36
Şekil 4.11. Sınır koşullarının basınç duvarı modelinde gösterimi	37

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. Sınır koşullarının sonlu elemanlar modelinde gösterimi	37
Şekil 4.13. Sınır koşullarının sonlu elemanlar modelinde gösterimi	38
Şekil 4.14. Basınç duvarı üzerinde yükleme koşulunun görüntüsü	39
Şekil 4.15. İlk aşamadaki elemanların boyutları.....	40
Şekil 4.16. İlk aşama döngülerdeki eleman çıkarma işlemindeki ilerleme.....	41
Şekil 4.17. Çıkarma oranı ile elemanlardaki maksimum von Mises gerilmesi değişimi	42
Şekil 4.18. Çıkan eleman sayısının iterasyon sayısına göre değişimi.....	43
Şekil 4.19. Sıkılaştırılmış eleman döngüsündeki elemanların boyutları.....	43
Şekil 4.20. İkinci aşama döngülerdeki eleman çıkarma işlemindeki ilerleme.....	44
Şekil 4.21. İkinci aşama detaylandırılmış analiz modelinde çıkarma oranı ile elemanlardaki maksimum von Mises gerilmesi değişimi	45
Şekil 4.22. İkinci aşama detaylandırılmış analiz modelinde çıkan eleman sayısının iterasyon sayısına göre değişimi	46
Şekil 4.23. İkinci aşama 18. döngü sonundaki gerilme dağılımı	47
Şekil 4.24. Üçüncü aşama döngülerdeki elemanların boyutları.....	47
Şekil 4.25. Üçüncü aşama döngülerdeki eleman çıkarma işlemindeki ilerleme.....	48
Şekil 4.26. Optimizasyon sonucu elde edilen kalınlık dağılımı.....	48
Şekil 4.27. Üçüncü aşama döngülerdeki elemanların merkezindeki yük dağılımı	49
Şekil 4.28. İkinci aşama %10 çıkarma oranı sonucu elde edilen analiz modeli	51
Şekil 4.29. Atalet artırıcı takviye elemanları eklenmiş model görüntüsü.....	51
Şekil 4.30. Optimizasyon sonucu kalınlık haritası.....	52
Şekil 4.31. Optimizasyon sonucu gerilme dağılımı	53
Şekil 4.32. Optimizasyon sonucu elde edilen yapının 3 boyutlu modeli.....	54
Şekil 4.33. Basınç duvarının iki boyutlu elemanlar kullanılarak yapılan sonlu elemanlar modeli.....	55

Şekil	Sayfa
Şekil 4.34. 2 mm kalınlıktaki elemanlarda oluşan gerilme dağılımı.....	56
Şekil 4.35. 1,6mm kalınlıktaki elemanlarda oluşan gerilme dağılımı.....	57
Şekil 4.36. 1,6mm kalınlıktaki flanşlar ve 1.4mm kalınlıktaki taban duvarındaki elemanlarda oluşan gerilme dağılımı	58
Şekil 4.37. 1,4mm kalınlıktaki elemanlarda oluşan gerilme dağılımı.....	59
Şekil 4.38. Boyutlandırma analizi sonucu elde edilen modeli ve ağırlığı.....	60

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Basınç duvarı uçak üzerinde montajı örneği.....	27

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
D	Bağlayıcı çapı
g	Yerçekimi ivmesi
GK	Güvenlik katsayısı
L	Düşme oranı
M	Kuru havanın mol ağırlığı
P	Deniz seviyesi atmosfer basıncı
R	Evrensel gaz sabiti
RR_i	Çıkarma oranı
T₀	Deniz seviyesi sıcaklık
ΔP	Basınç farkı
σ_e^{vm}	Elemanın von Mises gerilmesi
σ_{max}^{vm}	Maksimum von Mises gerilmesi
Kısaltmalar	Açıklama
CS	Sertifikasyon Şartnamesi
EA	Evrimsel Algoritma
EASA	Avrupa Sivil Havacılık Örgütü
EO	Evrimsel Oran
EYO	Evrimsel Yapısal Optimizasyon
FAA	Amerika Havacılık Kurulu
MMPDS	Metalik Malzeme Özellikleri Geliştirme ve Standartlaştırma
SEA	Sonlu Elemanlar Analizi

1. GİRİŞ

Bilgisayar teknolojisindeki gelişme mühendislere yapıları daha detaylı analiz etme imkânı sağlamıştır. SEA yapıyı çok küçük elemanlara bölerek analiz etmeye ve mekanik denklemlerle tüm bu küçük elemanları ayrı ayrı çözmeye yarayan bir metottur. Bu yöntem ile yapının analizini el ile yapmak neredeyse imkânsızdır. Bu sebeple bu yöntem bilgisayarların geliştirilmesini beklemek zorunda kalmıştır. SEA havacılık ve otomotiv endüstrilerinde karmaşık yapıların analizinin yapılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

SEA metodunun kullanılması ile özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe rekabetin artması ve daha düşük maliyetle ürün elde etme çabası ile optimizasyon metotları geliştirilmeye başlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda birçok algoritma ve yöntem ortaya çıkmıştır. Bunlardan biri olan Evrimsel optimizasyon algoritması son yirmi yıldır başarı ile uygulanmaktadır. Evrimsel algoritmalar ile yapının topolojik optimizasyonu ülkemizde henüz yaygın olarak kullanılmamıştır. Bu algorithmada verilen yük altında yapının içinde verimsiz ya da düşük verimli olarak bulunan elemanların yapıdan çıkarılması yöntemi kullanılmaktadır.

Bu çalışma öncesinde ve süresince optimizasyon konseptleri ve kullanılan tanımlar detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Yapısal optimizasyonun majör karakteristikleri tanımlanmıştır. Çok sayıda yayın okunmuş ve yapısal optimizasyon için temel oluşturacak bilgiler elde edilmiştir.

Verilen bir cismin belirlenen yük ve kısıtların etkisi altında, performansını istenen bir seviyeye ya da daha ileriye götürme çalışmasına yapısal optimizasyon denilir. Bu gelişme yapı ile ilgili olan yapının bütünlüğünü bozmadan ağırlığını azaltma ihtiyacı [1], üretim maliyetini azaltma ihtiyacı veya beklenen ömrü artırma gibi bir yelpazede her hangi bir şey olabilir [2, 3].

Son yüzyılda mühendislik, matematik, bilim ve teknoloji daha hızlı bir şekilde ilerlemiş, yapısal optimizasyonun uygulamaları daha derinleşmiştir. Bu periyodun başında bir çok yapısal optimizasyon çalışmaları istemeden yapılan deneyler ve

denemeler sonucu ortaya çıkmıştır. Bunlara Leonardo da Vinci, Galileo ve Euler'in çalışmaları dahildir [4]. 19. yüzyılın sonunda ve 20. yüzyılın başında, mühendisler optimizasyon prensipleri ile analitik cesaretlerini bir araya getirebilmişlerdir. Maxwell'in kanıtlanmış teoremi Michell'e yol göstererek bir iskeletin minimum ağırlıkla şeklinin hesaplanması teorisini yani bilinen adıyla Optimal Düzen Teorisini bulmasına yardımcı olmuştur. Bundan sonraki 60 yıl boyunca yapısal optimizasyon özellikle kiriş yapı alanında durmadan büyümüştür. Buda optimizasyonu üç ana dala ayırmıştır: kirişin ağırlığının azaltılması, verilen bir malzeme hacminin gerinim enerjisinin azaltılması, statik olarak belirsiz yapının optimizasyonudur. Bu fikre önemli katkıda bulunanlar Rabinovich (1933), Wasiutynski (1939) ve Prager (1956)'dir [5, 6, 7]. Bu tekniğin bir çoğu hesaba dayalı optimizasyon gibi klasik optimizasyona dayanmaktadır [8]. Bu çalışma birinci derece diferansiyel hesapların klasik tekniği kullanılarak optimize edilmiş basit ayrık yada sürekli yapılar ile ilgilenmiştir. Son 50 yılda ise optimizasyon bu ilk metottan değişime uğramıştır. Bu değişimde matematiksel programlama önemli rol oynamıştır [8]. Kısıtlanmış yada kısıtlanmamış teknikler matematiksel programlama ile birlikte kullanılmıştır. Matematiksel programlama birçok teknik ile yapılabilmektedir. Bunlardan bazıları Lineer, lineer olmayan programlama ve dinamik programlamadır [9]. Bu gibi teknikler Lagrange çarpanı metodu ve cezalandırma fonksiyonu metodu şeklinde gösterilmektedir [8,10, 3].

Son 20 yılda ise bilgisayar teknolojinin gelişimi ile bir çok yapısal optimizasyon metodu ortaya çıkmıştır. Bu metotların mühendislikteki uygulamaları ile örneklerin bulunduğu birçok kitap ve makale yayınlanmıştır [11,12]. Bu metotların büyük kısmı ayrık sonlu elemanları kullanır. Optimizasyon alanları üç ana alan altında toplanmıştır. Bunlar: topoloji optimizasyonu, şekil optimizasyonu ve boyut optimizasyonudur. Topoloji optimizasyonu ile yapısal parçaların incelenmesi de yaklaşık 20 yıllık bir tarihe dayanmaktadır. Topoloji optimizasyonunda homojenleştirme metodu birçok çalışmada kullanılmıştır [13].

Optimizasyon sürecini hızlandırmak için kullanılan her birinin kendi avantajlı ve dezavantajlı yönlerinin olduğu algoritmalar bulunmaktadır. Bu algoritmaların

birbirlerine göre güçlü yönleri ve zayıf yönleri bazı çalışmalarda incelenmiştir [14]. Biyolojik uygulamalardan esinlenilerek bir canlının mutasyona uğraması ilkesinin kullanıldığı genetik algoritma bu algoritmalarından birisidir [15]. Genetik algoritmaya benzer şekilde biyolojik gelişmelerden esinlenen bir diğer algoritma ise evrimsel algoritmalarıdır. Tarihte yaşamış ve yaşıyan birçok canlının çevre koşullarına ve yaşam ortamlarına göre kullanılan duyularının veya organlarının geliştiği ve kullanılmayanların kaybolduğu düşünülmektedir. Bu ilkeye benzer temelleri kullanan algoritma tipi ise evrimsel algoritmadır.

Çalışmada kullanılacak uçak parçası olan basınç duvarı hakkında bilgi edinilebilmek için uçak yapısı ve yapı içerisinde kullanılan parçaların işlevleri hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Basınç duvarı yapılarının bazı tipik örnekleri incelenmiştir [16]. Uçak yapısındaki ve bu endüstride kullanılan analiz yaklaşımları detaylı bir şekilde incelenmiştir [17]. Genetik algoritma ve karınca kolonisi yöntemi kullanılarak yarıküre basınç konisi optimizasyon çalışmaları yapan Felipe Viana'nın çalışmaları incelenmiştir [18].

Günümüzde havacılık ve uzay endüstrisinde üzerinde, en çok durulan konulardan bir tanesi ağırlık/dayanım oranıdır. Yapılan teknolojik çalışmaların bir çoğu bu oranı olabildiğince düşük seviyelere indirmek üzerinedir. Uçak yapısının ağırlığı uçağın performansı, yakıt tüketimi ve maliyeti gibi özelliklerini çok yakından etkilemektedir. Bu yüzden uçak parçalarında kullanılan bir yapısının olabildiğince hafif ve dayanıklı olması istenmektedir.

Bu istek doğrultusunda uçak parçalarının daha hafif ve dayanıklı tasarımı için bir takım optimizasyon tekniklerine ihtiyaç duyulmuştur. Optimizasyon sürecini daha kısa tutulabilmek için bilgisayar programları ve kodları kullanılmıştır.

Bu çalışmada, sonlu elemanlar analizi programları ve evrimsel algoritma yöntemini kullanan bir program geliştirilmiştir. Bu program yardımı ile çift kişilik bir uçağın basınç duvarının topolojik optimizasyonunun gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Analizi yapılacak olan tandem oturma düzenli bir eğitim uçağının basınç duvarıdır. Bu duvar, uçağın motor kompartmanı ile kokpiti birbirine bağlayan ve

basınçlandırılmış kokpitin basıncını tutma görevi yapan bir yapı elemanıdır. Bu çalışmada, basınç duvarındaki boyutlandırmayı etkileyen en kritik yükleme olan basınç yükleri kullanılacaktır. Ayrıca optimizasyon sonucu elde edilen yapı ile boyutlandırma analizi yapılan yapılar karşılaştırılacaktır. Çalışma sonucunda yapının ağırlığında belirli bir oranda düşüş amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, yapının sonlu elemanlar analizi MSC.NASTRAN ve MSC.PATRAN programları kullanılarak, topoloji optimizasyonu ise Visual Basic programında yazılan bir algoritma ile yapılacaktır. Sonlu elemanlar analizi modellemesi MSC.PATRAN programında, çözümleme MSC.NASTRAN programında yapılacak, EA'ların çözümünde VISUAL BASIC programı kullanılacaktır. Algoritma belirlenen bir değerin altında yüklenen elemanların çıkarılması ve tekrar bir analiz döngüsünün yeni eleman dizilimi ile başlatılmasını sağlamaktadır. Bu şekilde optimizasyonun amaç fonksiyonu optimal seviyeye getirilmeye çalışılacaktır.

Bu çalışmada günümüzde kullanılan her türlü teknolojik ürünlerde önemli fakat diğerlerinden farklı olarak uçaklar için performans, maliyet gibi değerleri çok yakından ilgilendiren kritik bir parametre olan ağırlık, amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Başlangıçta bir plaka olarak SEA modeli oluşturulacak olan basınç duvarı, belirlenen bir iterasyon sayısında ya da belirlenen bir dayanım değerine ulaşılan kadar optimize edilecektir. Burada her tekrarda uygunluk kriterlerini sağlayamayan ve verimli olarak yük taşımayan elemanlar SEA modelinden çıkarılacak, böylelikle ağırlık azalması gerçekleşecektir.

Literatürde bulunan optimizasyon şekilleri ve bunların hangi yöntemlerle yapıldığı bölüm 2'de anlatılmıştır.

Bölüm 3'de bu çalışmada kullanılacak yapısal optimizasyon şekli olan topolojik yapısal optimizasyon yöntemi detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca bu yöntemde kullanılacak olan evrimsel algoritmanın yapısı, çalışma şekli ve işlem akış şeması bilgileri verilmiştir. Çalışmada kullanılan optimizasyon programının doğrulaması da bu bölüm altında incelenmiştir.

Çalışmada optimizasyonu yapılan uçak parçası ile ilgili bilgiler verilmiştir. Kullanılacak olan tasarım kısıtlarına, amaç fonksiyonuna ve tasarım değişkenlerine bu bölümde değinilmiştir. Basınç duvarında yapılan optimizasyon çalışması ve sonuçları bölüm 4’de değerlendirilmiştir.

Elde edilen verilerin değerlendirmesi ve gelecek çalışmalar ile ilgili öneriler ise bölüm 5’de verilmiştir.

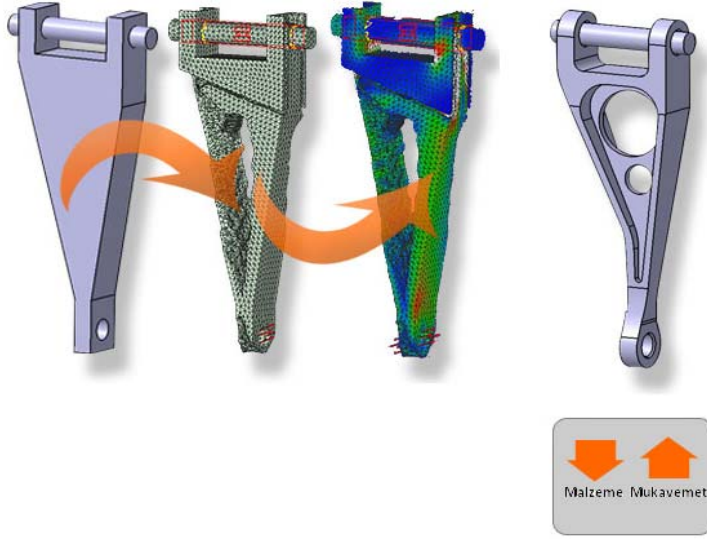
Eklerde ise algoritma döngü ağacı ve döngüler süresince elde edilen verilerin bir tablo hali verilmiştir. Ayrıca programın kayıt dosyasının bir örneği de eklerde verilmiştir.

2. OPTİMİZASYON

2.1. Giriş

Optimizasyon kısaca bir probleme belirtilen koşullar altında en iyi çözümü bulma işlemi olarak açıklanabilir. Optimizasyon sadece mühendislik hesaplarına değil evrensel hesaplamalara da bağlı olan tasarımların en önemli konusudur. Optimizasyon için en egemen ve sık kullanılan alan evrendir. Yaşayan tüm canlılar buldukları koşula adapte olmak için değişim göstermektedir. Değişmeye direnen varlıklar hayatlarını sürdürmemiş ve nesli tükenmiştir. Evren optimizasyonun varlığını ve önemini dikkatlice inceleyip fark etmelidir. İnsanoğlu limitli enerji ile maksimum performansta çalışan sistemlerle donatılmıştır. Optimizasyon teknikleri kullanılarak elmanın veya kirazın kendi yükleme koşullarında en optimum şekle sahip oldukları kanıtlanmıştır.

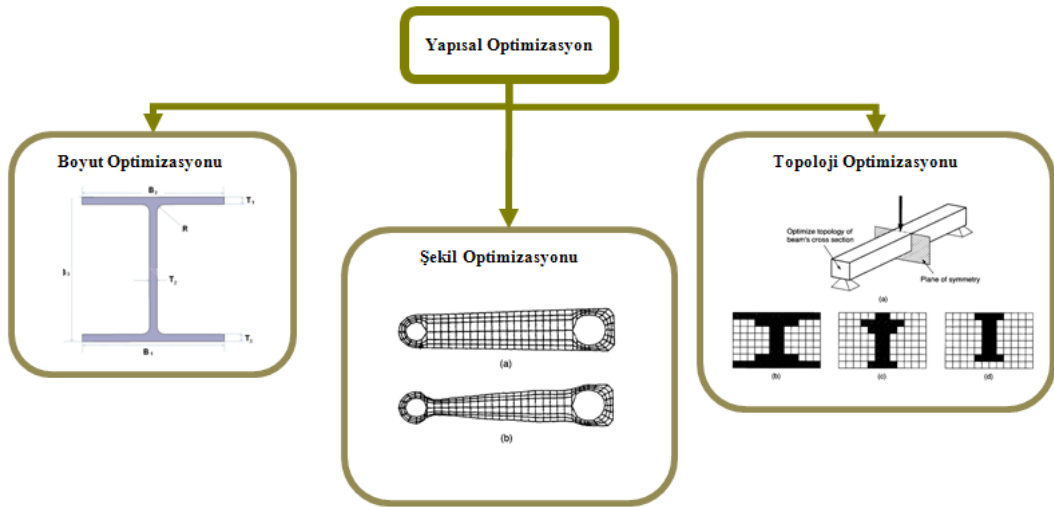
Artan rekabet ortamına dayanabilmek mühendislikte daha düşük maliyetli üretim ihtiyacını artırmış ve mühendisleri hem ekonomik hem verimli ürünler tasarlamak için optimizasyon gibi karar verme metotları bulmaya zorlamıştır. Optimizasyon problemlerinde karar verme için kullanılan matematiksel programlama teknikleri yöneylem araştırmalarının bir dalıdır. Yöneylem araştırmaları matematiğin bir alt dalıdır ve karar verme problemlerine bilimsel metot ve tekniklerin uygulanması ile en iyi veya uygun çözümlerin bulunmasıyla ilgilenir [9].



Şekil 2.1. Yapısal optimizasyon örneği

Mühendislik tasarım optimizasyonu çözümlerini üç ana optimizasyon çeşidi altında inceleyebiliriz. Bunlar;

- Topoloji optimizasyonu
- Şekil optimizasyonu
- Boyut optimizasyonu



Şekil 2.2. Yapısal optimizasyonu çeşitleri

2.1.1. Topoloji optimizasyonu

Topoloji optimizasyonu bir yapıdaki topoloji ilişkisini tanımlayan bir süreci anlatmaktadır. Optimize edilmiş yapının son hali ilk halinden çok farklı olabilir dolayısı ile sonuç yapısı ilk halinden bağımsızdır denilebilir. Konsept tasarım aşamalarında en çok kullanılan yöntemlerden biridir [19].

Tek parça halinde bulunan yapının topoloji optimizasyonu, tasarım alanındaki boşaltmaların geometrilerinin ve konumlarının belirlenmesi ile optimal tasarımı bulmaktır [20].

Topoloji optimizasyonunda kullanılan metotları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Optimallik kriteri metodu
- Homojenleştirme metodu
- Evrimsel yapısal optimizasyon metodu
- Genetik algoritmalar metodu

Optimallik kriteri metodu

Optimallik kriteri metodu topoloji optimizasyonunu kullanımına bir örnektir [21]. Tamamen yüklenmiş bir tasarım gibi bir takım kriterleri yerine getirmesi ile matematiksel programlama metoduna bir alternatiftir. Bu metot ile çok sayıda tasarım değişkenlerini kolaylıkla işleme alınabilir, fakat kullanıcıdan önemli sezgisel girdilere ihtiyaç duymaktadır [3, 22].

Homojenleştirme metodu

Topoloji optimizasyonu son 20 yılda homojenleştirme metodundan çok etkilenmiştir [23]. Bu metot aynı anda yapının topoloji, şekil ve boyut optimizasyonunu yapılabilmektedir.

Yapının tüm alanına sonlu elemanların (çok sayıda kısmi değişkenler ile) atanması ile yapılabilmektedir. Her eleman için, iç dikdörtgen deliklerin oryantasyonu ve

boyutunun parametreleri farklıdır. Optimal malzeme dağılımının bulunduğu temel ardışık ikinci dereceden programlama ile matematiksel programlama tekniklerinin kullanılmasıdır. Bu metodun gelişmesi için birçok yayın ve makale yayınlanmaktadır [3, 13, 24, 25]

Evrimsel yapısal optimizasyon metodu

Evrimsel yapısal optimizasyon metodu (EYO) topoloji optimizasyonunu kullanan bir diğer verimli optimizasyon metodudur [26]. Ayrık sonlu elemanlar metodunu temel alıp kullanan sezgisel bir prosestir. Sonlu elemanlar metodunu analiz motoru olarak kullanır. Yapıyı optimize etme uygulaması belli yük ve kısıtların olduğu çevresel şartlar altında tekrarlarla elemanların çıkarılmasına dayanır. Verimsiz malzemelerin yapıdan çıkarılması ile yapının optimum bir sonuca ulaşması ilkesine dayanır. Buradaki “verimsizlik” ifadesi çok genel bir ifadedir ve anlamı SEA ağ yapısındaki elemanın değişiminin optimallik kriterine duyarlılığıdır.

Bu duyarlılık bir takım performans ölçüsünün bileşimi olabilir ve optimallik kriteri birkaç fiziksel kriterin bileşimi olabilir. Birçok çalışma EYO ile yapılmıştır ve bu detaylı çalışmalar sistematik bir kural oluşturmuştur buda metodu yapısal durumun tamamı için uygulanabilir yapar [3, 26].

Genetik algoritmalar metodu

Yapının topoloji optimizasyonu Genetik Algoritmalar da kullanılarak yapılabilir [27]. Bu metot her kromozomun mümkün optimal bir çözümü temsil ettiği bir popülasyonunun optimizasyonunu kapsamaktadır. Buda her kromozomun 0 ve 1’lerden oluşan ikilinin (binary) karakter dizilimi ile tanımlanmasıyla yapılır. Yapay gen değişim mekanizması bu kromozomların sıralamasına en uygun gen seçilip tekrar üretilerek uygulanır. Bazı düşük sıralamalı genler seçilir ve daha yüksek sıralamaları ile mutasyona uğrattılır. Bu işlem optimum topolojinin üretilmesine kadar devam ettirilir [3, 28].

2.1.2. Şekil optimizasyonu

Şekil optimizasyonu topoloji optimizasyonunun kısıtlanmış halidir. Verilen belirlenmiş topoloji için bir yapının optimal sınırlarını hesaplar. Bu optimizasyon yöntemindeki hedef, tasarımcının belirlediği en iyi sonucu bulmaktır.

Şekil optimizasyonunda kullanılan metotları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Evrimsel yapısal optimizasyon metodu,
- Matematiksel programlama uygulaması,
- Bilgisayar destekli optimizasyon.

Evrimsel yapısal optimizasyon metodu

Şekil optimizasyonu, EYO metoduna sadece yüzeyde bulunan elamanların çıkarılmasına izin veren sınırlama eklenerek evrimsel algoritma kullanılarak yapılabilir. Buna kemirme (Nibbling) sınırlaması denilmektedir. Çoğu tasarım çalışmasında iç boşluk oluşumuna izin verilmez sınırlardan uzakta kemirmelere izin verilir. Querin şekil optimizasyonunun uygulandığı çizimlere örnek olarak kendi ağırlığı etkisinde asılı duran cisimleri göstermiştir [29]. Bunlara en güzel örnek ise elma ve kiraz gibi meyveler verilebilir. Xie and Steven tarafından da birkaç örnek ele alınmıştır [3, 26].

Matematiksel programlama uygulaması

1970lerde ve 1980lerde şekil optimizasyonunda kullanılan en tipik uygulama matematiksel programlamadır. Matematiksel programlamada, problem bir dizi tasarım değişkenleri cinsinden tanımlanan amaç fonksiyonunun matematiksel olarak yazımıdır. Amaç fonksiyonunun diferansiyelleri doğrudan veya diferansiyelin sonlu farkı şeklinde hesaplanması ile elde edilir. İkinci diferansiyel Hessian matrisi için elde edilir. Tasarım kriterlerine uyan tasarım değişkenleri eşlenik grandyanı (Conjugate gradient), steepest decent veya ikincil dereceden programlama arama motoru kullanılarak bulunur [30]. Matematiksel programlamada doğrusal ve doğrusal

olmayan, tümleşik doğrusal, ardışık ve olasılıksal programlama gibi kategoriler bulunmaktadır [3, 8].

Bilgisayar destekli optimizasyon

Bilgisayar destekli optimizasyon metodu yada alternatif olarak, Benzeşik (simulated) biyolojik büyüme, özellikle şekil kapsamında yapıların optimizasyonu ile ilgilenir [31]. Sonlu elemanlar modelinin ayrıklaştırılmasını ve yapısal elemanların büyüme operasyonu kullanarak hacimsel büyümesini kullanır. Bu bir alanda termal yüklenen yapı normal yükleme ile oluşturulan gerilmeye orantılı olarak tekrarlı bir şekilde yapılır. Şekil optimizasyonuna ek olarak, çentik gerilmelerini çıkarır ve yapının yüzeyinde gerilme durumu oluşturulmasını destekler. [3]

2.1.3. Boyut optimizasyonu

Boyut optimizasyonu, optimum tasarıma ulaşmak için yapının boyut ve ölçülerinin değişmesi uygulaması ile tanımlanır. Bu optimizasyon metodunda, tasarım alanı ve yapı malzemesi donmuştur. Yapının kesiti, kalınlıkları gibi değişkenleri optimize edilir. Bu, kabul edilebilir en iyi boyut ve ölçü kombinasyonunun bulunması ile elde edilir.

Kısaca açıklandığı gibi, bir çok yapısal optimizasyon metodu bulunmaktadır. Her biri kendi avantajı ve dezavantajına sahiptir ve her biri özel bir optimizasyon problemi ile özdeşleşmiştir. Kullanılan metotların uzun dizinlerine rağmen bu tezde Evrimsel Yapısal Optimizasyon metodu kullanılacaktır. Bu çalışma evrimsel algoritmalar kullanılarak topolojik optimizasyonun boyut analizine üstünlüğünü ve kabiliyetini araştırmaya yöneliktir. [3]

2.2. Optimizasyon Problemi

Optimizasyon problemlerinde istenilen sonucu elde edebilmek için bazı parametreleri problemin başlangıç safhasında belirlemek gerekmektedir. Bu parametreleri üç ana başlık altında inceleyebiliriz;

- Amaç fonksiyonu,
- Tasarım değişkenleri,
- Tasarım kısıtları.

2.2.1. Amaç fonksiyonu

Bir tasarım probleminin birden fazla kabul edilebilir tasarım çözümlü vardır ve optimizasyonun amacı, bu birçok farklı kabul edilebilir tasarımlar arasından en iyisini seçmektir. Amaç fonksiyonu, adından da anlaşılacağı gibi optimizasyon probleminin amacını belirlemek için kullanılır. Belirlenen kısıtlar için birçok çözümlü olan bir problemin, muhtemel çözümlerini karşılaştırarak bulmak için atanan fonksiyon amaç fonksiyonudur. Amaç fonksiyonu problemin kullanılacağı sektörden, problemin çözümlü için ayrılan bütçe ya da zaman gibi birçok etkene bağlıdır. Tüm problemlerin ortak noktası ise en iyi olanı bulma isteğidir [9, 32].

2.2.2. Tasarım değişkenleri

Tasarım değişkenleri, problemin amacına ulaşabilmek için optimizasyon süresince üzerinde oynama yapılabilen, değişmesi problemin en iyiye gitmesini engellemeyecek tasarım girdileridir. Amaç fonksiyonuna benzer şekilde problemde probleme değişkenlik gösterebilirler. Tasarım değişkenlerinin sayısı arttıkça problemin çözümlü için gerekli zaman artacaktır. Bu yüzden tasarım değişkenlerinin sayısı amaç fonksiyonuna paralel şekilde düşünölmeli ve karar verilmelidir.

2.2.3. Tasarım kısıtları

Tasarım kısıtları, problemin çözümlüde değişmesi en iyiye gitmemizi etkileyebilecek değişkenlerdir. Bir başka deyişle tasarımın istenmeyen çözümlere gitmesini engelleyen parametrelerdir. Tasarım kısıtlarının sayısının artması problemin çözümlüde harcanacak zamanı azaltabileceğı gibi bazı durumlarda gereğinden fazla artması problemin çözümlünü imkansız hale getirebilmektedir. Bundan dolayı tasarım kısıtlarının sayısı olabildiğince optimum sayıda tutulmalıdır.

3. TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU

3.1. Evrimsel Algoritmalar Kullanılarak Topoloji Optimizasyonu

Geliştirilen bir çok yapısal optimizasyon metotları arasından bir tanesi son yıllarda sürekli gelişmesi ile ve basitliği ile ilgi çekicidir. Bu Evrimsel Yapısal Optimizasyon metodudur. 1997’de Xie and Steven tarafından başlatıldığından beri, EYO kuvvetlenmektedir. Orijinalinde her elemanın von Mises gerilme seviyelerine bağlı elemanların çıkarılması durumunu çıkarma tekniği olarak kullanır. Optimalite kriteri olarak dayanım [33], gerilme azaltma [34], gerinim [26], burulma [35], sıkıştırılmaz akışkan akış problemleri [36], elektrostatik [36] ve magnetostatik [36] problemleri EYO’ya dahil edilmiştir. Daha birçok özellik EYO sürecine yerleştirilmiştir. çoklu yükleme durumları ve çoklu çevresel destekler ilk olarak Xie and Steven (1994) ve Steven (1995) tarafından kullanılmıştır. Değişik zamanlarda değişik yükleme durumlarına maruz kalan yapıların ve değişik zamanlarda değişik şekillerde desteklenen yapıların optimizasyonuna izin vermektedir.[3]

Şekil optimizasyonuna benzer şekilde bir diğer yenilik EYO şekil değiştirme olmuştur [29]. Buda klasik EYO’da tüm elemanların çıkarılması yerine elemanların azar azar çıkarılmasıdır. Kirişler için bu kademeli çıkarma durumu değişik kesit alanlarına uygulanabilir, plakalar için ise kalınlığına, elastiklik modülüne veya yoğunluğa uygulanabilir. EYO’da uygunsuz çıkarılan malzemelerin oluşması şüphesinin üstesinden gelmek için Çift yönlü (bi-directional) evrimsel yapısal optimizasyon geliştirilmiştir [29, 37]. Bu metot malzemenin çıkarılması gibi aynı anda malzeme eklenmesine izin verir. Yüksek gerilme bölgelerine gerektiğinde malzeme eklenerek devam edilir. Böylece evrimsel proses mümkün olan en küçük parçadan başlayarak optimuma doğru büyür. Elde edilen son optimum tasarım malzeme çıkarma ile elde edilen ile aynıdır [3].

EYO’da yapılan son yeniliklerden biriside Düzenlenmiş (Configurational) Optimizasyon yada Grup EYO’su olarak bilinir [38]. Bu yöntemde elemanların her birini tasarım değişkeni gibi inceleme yerine, elemanların grupları yada konfigürasyonları çıkarma, şekil değiştirme yada kemirmek (nibbling) için incelenir

[39]. Bu ana hattın optimizasyonuna izin vermekte ve deliklerin, güçlendiricilerin ve kabuk kalınlıklarının değerleri dondurulmadan önceki tasarım sürecinin ilk evrelerinde kullanılabilir. Bazı diğer optimizasyon metotları EYO yöntemi kullanılarak yeteneklerini geliştirerek oluşturulmuştur. Bunlardan bazıları kompozit panellere uygulanan EYO [40], malzeme ve geometrik sapmalar ile topoloji optimizasyonu [41], akıllı boşluk oluşturma, 2B topolojilerin ileri işlemleri [42] ve elastik temas problemleri için şekil tasarımı [43]. EYO'nun repertuarı bazı pratik uygulamalar bile içermektedir. Bu uygulamalara bazı örnekler şu şekildedir: tekerleklerin optimizasyonu [44], bisikletler [26], süt kasaları [45]. Bu bölümde bu gelişmelerin belirlenmesi araştırılmıştır [3].

Son yıllarda bir çok yapısal optimizasyon metodu geliştirilmiştir. Optimizasyon metotları olarak genelde analitik ve nümerik metotlar kullanılmaktadır. Analitik metotlarda ise matematiksel teoriler ve değişken metotları kullanılır, fakat yapıların gün geçtikçe daha karmaşık sistemlerden oluşması ve hesap sürelerindeki artışların maliyete yansımalarının dolayı analitik metotlar yerini nümerik metotlara bırakmıştır. Nümerik metot ise programlama metodu olarak da adlandırılabilir ve bu metot nümerik matematik alanının bir dalıdır. Genel olarak iteratif işlemlerden oluşmaktadır [46].

Sürekli yapıların topolojik tasarımı yapısal optimizasyonun önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Topolojik optimizasyonla daha ekonomik bir tasarım elde etmek mümkündür ve bunun için yeni optimizasyon metotları kullanılmıştır. Bunların başında evrimsel optimizasyon metotları gelmektedir. Son yıllarda evrimsel optimizasyon konusunda bir çok algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmaların temel ilkesi, dış şartlara uyum sağlanmasıdır. Bu metotlara örnek teşkil edecek bir yöntem olarak da evrimsel yapı optimizasyonu (EYO) yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem ile nesnelerin nasıl şekilleneceği veya bir nesnenin mümkün olan en iyi yapısal performansının nasıl olacağı gibi sorulara cevap bulunmaktadır. EYO yöntemi aynı zamanda boyut, şekil ve topoloji optimizasyonu problemlerinin çözümünü yapabileceği gösterilmiştir [26, 47].

3.2. Sonlu Elemanlar Analiz Modeli

Bu çalışmada sunulan EYO yönteminde hesaplama motoru olarak sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılmıştır. Her SEA'nın sonunda bilgisayar SEA sonuçlarını tayin eder ve sonra etkisiz malzemeyi çıkarmak için basit EYO kurallarını uygular. Yani, EYO işlemi SEA'yı tekrar tekrar çalıştırmaktan daha karışık değildir, böylece her SEA'nın sonunda sadece fazladan bir işlem olarak malzeme çıkartma işlemi gerçekleştirilir.

SEA bir hesaplama tekniğidir ve bu teknik yapıyı modeller veya sürekli bir yapıyı küçük bölümlerden (elemanlar) oluşan bir topluluğa dönüştürür. Yeni oluşan her eleman basit bir geometriye sahiptir (örneğin üçgensel veya dörtgensel) ve böylelikle analiz daha kolay hale gelir. SEA işlemi birçok eş zamanlı cebirsel denklemler üretir, bunlar bir bilgisayar ile çözülebilir. SEA gerilme analizi metotlarını merkez almıştır. Bugünlerde bunun uygulamaları ısı transferi, sıvıların akışkanlığı, elektrik ve manyetik alanları içeren birçok mühendislik alanlarında uygulanmaktadır. Karmaşık problemlerin klasik analiz metotları ile çözümünde artık rutin olarak SEA kullanılmaktadır. Çoğu mühendislik tasarım ofisleri ve imalat şirketleri bugünlerde SEA bilgisayar yazılımları bulundurmaktadır veya SEA servisi sağlayan danışmanlık şirketleri ile bağlantıları vardır.

Topoloji optimizasyonunda amaç önceden belirlenen sınırlayıcıları sağlayıp, var olan malzemeleri uygun şekilde dağıtarak, genellikle en hafif ve en rijit yapıyı elde etmektir. Topoloji optimizasyonu diğer geleneksel şekil optimizasyonları gibi başlangıçta verilen şekli geliştirmek yerine, en uygun şekli arama üzerine kuruludur. Nihai yapının şekli başlangıç şeklinden çok farklı olabilir [48].

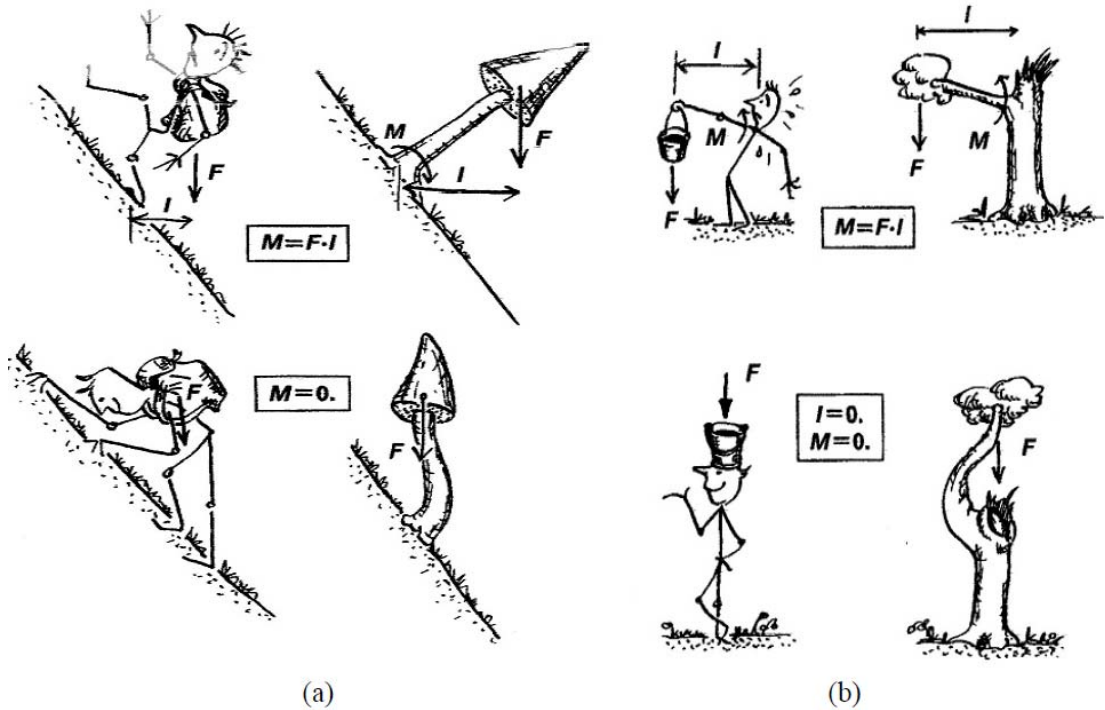
EYO yöntemi aynı zamanda topoloji optimizasyonunun bir uygulamasıdır. Bu yöntem, verimsiz malzemenin yapıdan kademeli olarak çıkartılarak, geride kalan yapının daha ekonomik doğrultuda kullanılmasını içeren süreci temel almaktadır [26]. EYO yöntemi diğer optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında, kavramsal olarak basit ve uygulanması kolay bir yöntem olduğu görülür. Bunun sebebi

karmaşık matematiksel işlemler ve denklemler bulunmamasıdır. Sistemik olarak etkisiz elemanların çıkartılarak sistemin tam gerilmeli hale gelmesinden oluşur.

Herhangi bir nesnenin mevcut şeklini kullanarak yeni tasarımlar türetmek çok hızlı ve güvenilir olabilir, fakat en etkili veya en iyi tasarımı bulmak için kullanılan yöntem bu değildir. Tasarım sınırlarının uygun bir şekilde tanımlanamadığı durumlarda, optimum tasarımın bulunmasında büyük zorluklarla karşılaşılır. Farklı çevre koşullarında, farklı yapısal formlara sahip sistemlerde ise EYO yöntemi kolaylıkla uygulanabilir.

3.3. Geliştirilen Evrimsel Optimizasyon Programı

İnsanoğlunun doğayla olan etkileşimi ve doğadan yaptığı gözlemler sonucu evrimsel yöntemlerin başlangıç süreci ortaya çıkmıştır. Şekil 3.1’de görülen ağaçlar, yerçekimine karşı gösterilebilecek en uygun şekilleri göstermektedir [49, 50].

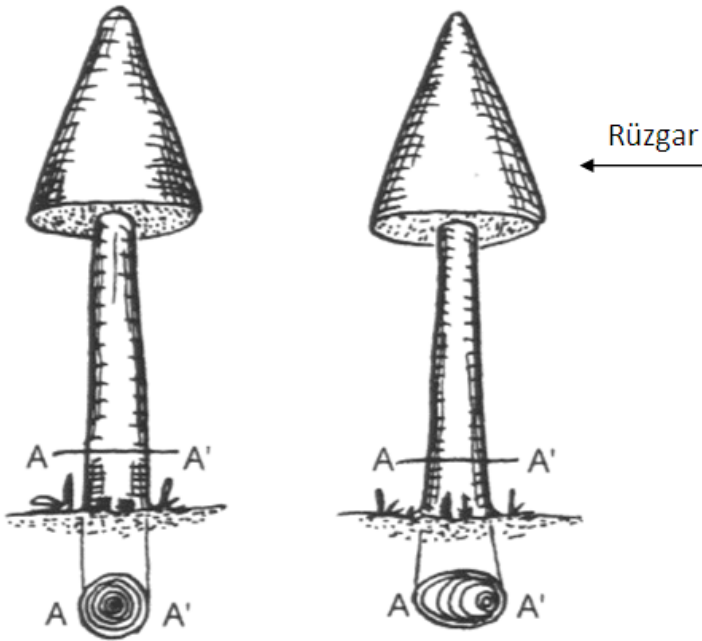


Şekil 3.1. Ağaçların yerçekimine (a) ve karşılaştıkları engellere karşı gösterdikleri (b) gelişim süreci [50]

Şekil 3.1.'deki ilk durumda ağaç, yerçekiminden kaynaklanacak eğilme momentini azaltma doğrultusunda bir gelişim göstermiştir. Benzer bir durumda her hangi biri sırtında taşıdığı çantanın yerçekimi doğrultusunda oluşacak yükünü ayaklara yöneltecek bir şekilde eğilim göstererek ortama adapte olmuştur. İkinci duruma bakıldığı zaman üst kısmını kaybeden bir ağaçtaki tek bir dal, gövdeyi bir M momentine maruz bırakmaktadır. Ağaç ise bu durumu aşabilmek için L moment kolundan kurtulmuş ve sıfır moment elde etmiştir. [50]

Bu gözlem basit bir örnek ile doğadaki canlıların enerjiiyi nasıl optimum kullandığını göstermektedir. Buna benzer bir adaptasyon süreci yine ağaçlarda görülmüştür. Ağaçların, rüzgara ve diğer olaylara karşı bir tepki olarak halkalarını sadece kuvvete maruz bölgelerde sıklaştırdığı gözlemlenmiştir (Bknz. Şekil 3.2) [51].

Yukarıda anlatılan ilkeyi temel alarak, bir yapının veya herhangi bir mekanizmanın tüm bölgelerinde aynı miktarda veya aynı cinstе malzeme kullanmak gerekmeyebilir. Bunun yerine sistemin fazla zorlanmaya maruz kaldığı bölgeler ona uygun şekilde tasarlanıp, az zorlanmaya maruz bölgelerdeki etkisiz eleman kullanımından kaçınılır.



Şekil 3.2. Ağaçların maruz kaldıkları rüzgar kuvvetine göre halkalarındaki değişimleri [50]

1990'lı yıllarda Xie ve Steven tarafından geliştirilen EYO yöntemi de yukarıda anlatılan esaslara dayanmaktadır [52]. Bu yöntemin temel ilkesi dış yükler, mesnet şartları, yapının topolojisi vb. yapısal özelliğın dış şartlara uyum sağlayarak kendisini çevre koşullarına adapte etmesidir [48].

Bu adaptasyon süreci etkisiz elemanların (gerilme seviyesi düşük elemanların) kademeli bir şekilde tasarım alanından çıkartılmasıyla oluşmaktadır.

EYO yöntemi aynı zamanda, en verimli tasarımları elde etmek için, yapıda veya yapının yüzeyinde daha uniform gerilme seviyesi oluşturmayı amaçlar [26,48]. Malzemenin optimum şeklini oluşturmak için bütün elemanların yaklaşık olarak aynı gerilmeye olduğu "Tam Gerilmeli Tasarım" (FSD, Fully Stressed Design) kavramı EYO yönteminde sıkça kullanılmıştır[53]. Tam gerilmeli tasarım sağlandığı durumlarda yapının her bileşeni maksimum veya minimum izin verilen limit değere maruz kalır. Tüm yapısal bileşenlerin sahip olduğu gerilme yaklaşık olarak aynı duruma geldiği zaman, nihai yapı tamamıyla eşit gerilmeli hale gelir ve tam gerilmeli tasarıma ulaşılmış olur [48]. Bu tasarım ile yapının tüm bölgeleri yaklaşık olarak eşit emniyet gerilmelerine sahip değerlerden oluşmakta ve malzemedен tam verim alınabilmektedir.

Genel olarak mühendislik çalışmalarında, amaç fonksiyon olarak minimum ağırlık veya hacim kullanılır. Sınırlayıcılarda ise farklılıklar görülebilir. Yapının kullanım amacına, çevre koşullarına ve ekonomik şartlara göre sınırlayıcı olarak, rijitlik, gerilme, kalınlık, frekans vb. gibi nicelikler kullanılabilir. Tasarım değişkenleri de kullanılacak algoritmalara veya malzemeye göre değişiklikler gösterir, fakat çoğunlukla eleman sayısı, eleman kalınlığı, eleman hacmi gibi değişkenler kullanılır.

Bu çalışma için geliştirilen evrimsel optimizasyon programında Visual Basic programlama dili kullanılmıştır. Programda geleneksel evrimsel algoritmalar temel alınmış ve üzerlerinde bu çalışma için gerekli olan değişiklikler yapılmıştır. Hazırlanan algoritmada kullanıcı girdileri bir form aracılığı ile, analiz girdileri ve çıktıları ise MSC.NASTRAN ve MSC.PATRAN programı aracılığı ile yapılmıştır.

Programın çalışma mantığını kısaca açıklayan akış şeması Ek-1’de verilmiştir. Program bu çalışma için tek yükleme koşulu ile çalışabilecek ve analizi yapılacak parçanın büyüklüğü göz önünde bulundurularak yaklaşık 500000 eleman ile çalışabilecek şekilde değiştirilmiştir.

Programın çalışma sıralamasında öncelikli olarak analizi yapılacak yapısal parçanın SEA modelleme programı olan MSC.PATRAN ile yapılmış bir modeline ihtiyaç duymaktadır. Bu modelin içermesi gereken bilgilerin en başında sınır şartları ve yükleme koşullarının bulunmaktadır. Daha öncede bahsettiğimiz gibi program tek yükleme koşulu ile çalışacak şekilde ayarlandığından yükleme koşulları birden fazla olan parçaların boyutlandırılmasında en kritik koşul olan yükleme kullanılmalıdır. Ayrıca program içine iki özellikte eleman tanımlanmıştır bunlardan biri yapıdan çıkarılabilecek elemanlar diğeri yapıdan çıkarılamayacak elemanlardır. Bu ayrımı programın yapabilmesi için MSC.PATRAN programında elemanların iki gruba ayrılması gerekmektedir. Çıkarılabilecek ve çıkarılamayacak özellikteki elemanlar gruplandırıldıktan sonra modelleme işlemi tamamlanmış olacaktır. Modelleme işleminin tamamlanmasının ardından MSC.PATRAN programı ile optimizasyon programının girdilerinden biri olan .bdf uzantılı dosya oluşturulmalıdır. Optimizasyon programı bulunduğu klasör içinde ‘iterasyon.bdf’ uzantılı dosyayı kendisi için girdi bilgisinde kullanmaktadır.

Analiz modelinin .bdf dosyasının hazırlanmasının ardından optimizasyon programı için ikinci girdi dosyası olan kullanıcı formuna gerekli bilgilerin girilmesi gerekmektedir. Bu bilgiler evrimsel optimizasyonun temel bilgileri olan çıkarma oranı, evrimsel oran, malzeme akma sınırı ve program durdurma oranı olarak belirlenmiştir. Optimizasyon programının kullanıcı ara yüzü tek bir form ile sağlanmıştır. Bu form ile programın kullanıcı tarafından girmesini beklediği tüm bilgileri içermektedir. Formda kullanıcı tarafından girilmesi beklenen bilgileri şunlardır:

Başlangıç çıkarma oranı: Programın başlatılmasının ardından ilk analiz sonucuna göre maksimum von Mises gerilmesinin yüzde kaçının altındaki elemanların yapıdan çıkarılacağı girildiği alandır.

Çıkarma oranı artışı: Programın her iterasyondan sonra çıkarma oranını ne kadar artıracaklarının girildiği alandır. Bu alana 1, 2, 3 gibi tam sayıların yazılabileceği gibi 0,1, 0,2, 0,5 gibi ondalık sayılarda yazılabilecek şekilde program geliştirilmiştir. Buda küçük artırımlar ile eleman çıkarımına izin vermektedir.

Döngü sonlandırma oranı: İterasyonların sonlandırılacağı çıkarma oranı. Program bu bu orana ulaşınca gerekli çıktı dosyalarını oluşturup optimizasyonu sonlandırmaktadır.

Malzeme akma sınırı: optimizasyonda kullanılacak malzemenin çekme akma sınırının girildiği alandır. Bu bilgi ile program elemanlardaki gerilmeleri kontrol etmektedir. Bu değerin üzerinde olan tüm elemanları program çıktı dosyasında vermektedir.

The screenshot shows a window titled 'Form1' with the following fields and a button:

- BAŞLANGIÇ ÇIKARMA ORANI [] %
- ÇIKARMA ORANI ARTIŞI [] %
- DÖNGÜ SONLANDIRMA ORANI [] %
- MALZEME AKMA SINIRINI GIRINIZ []
- BAŞLAT

Four text boxes on the right provide explanations for each field:

- İlk döngüde Maks. Gerilmenin yüzde kaçındaki elemanların yapıdan çıkarılacağı bilgisi girilir. (%)
- Her döngüde çıkarma oranının artıma oranı girilir. (%)
- Döngü bitime oranı bilgisi girilir. (%)
- Malzeme akma oranının girildiği alandır. (MPa)

Şekil 3.3. Kullanıcı girdi formu

Programın girdileri olan .bdf uzantılı analiz modeli hazırlandıktan sonra ve kullanıcı form bilgileri girildikten sonra formda bulunan 'başlat' çubuğu ile program başlatılabilmektedir. Programın başlatılmasının ardından optimizasyon kodu MSC.NASTRAN programını açmakta ve bu program ile hazırlanan 'iterasyon.bdf' dosyasını çalıştırmaktadır. MSC.NASTRAN programı 'iterasyon.bdf' dosyasını çözdükten sonra çıktı olarak 'iterasyon.f06' dosyasını vermektedir. Bu dosyanın

içerisinde SEA modelinde bulunan tüm elemanların gerilme değerleri optimizasyon programı tarafından okunmaktadır.

Geleneksel EYO metodunda, çıkarma kriteri (sınırlayıcı) olarak von Mises gerilmeleri kullanılmıştır [26]. Bundan dolayı bu çalışmadaki optimizasyon sürecinde sınırlayıcı olarak von Mises gerilmeleri kullanılmıştır.

Program tarafından .f06 dosyasından okunan değerler yardımıyla elemanların numaraları ve gerilme değerlerinin (σ_e^{vm}) bulunduğu bir matris oluşturulmaktadır. Tüm elemanların içinde maksimum von Mises değeri belirlenir ve elemanın gerilme değeri ile maksimum gerilme değerinin oranı çıkarma oranının (RR_i) altında ise bu eleman MSC.PATRAN programı kullanılarak ‘iterasyon.bdf’ dosyasından çıkarılır.

$$\frac{\sigma_e^{vm}}{\sigma_{max}^{vm}} < RR_i \quad i=1,2,3.... \quad (3.1)$$

Yeni oluşan .bdf dosyasına program tarafından ‘iterasyon(1).bdf’ ismi verilmektedir. Buradaki ‘(1)’ ifadesi her iterasyon sonunda 1 artırılarak devam etmektedir.

Genellikle çıkarma oranı başlangıçta düşük değerli olarak seçilir, böylelikle döngülerde çıkartılacak eleman sayıları aniden yükselmez, kademeli olarak artış gösterir. Her döngünün sonunda ise evrimsel oran (EO) devreye girer ve çıkarma oranı RR_i ‘ye EO sabit sayısı eklenir [20].

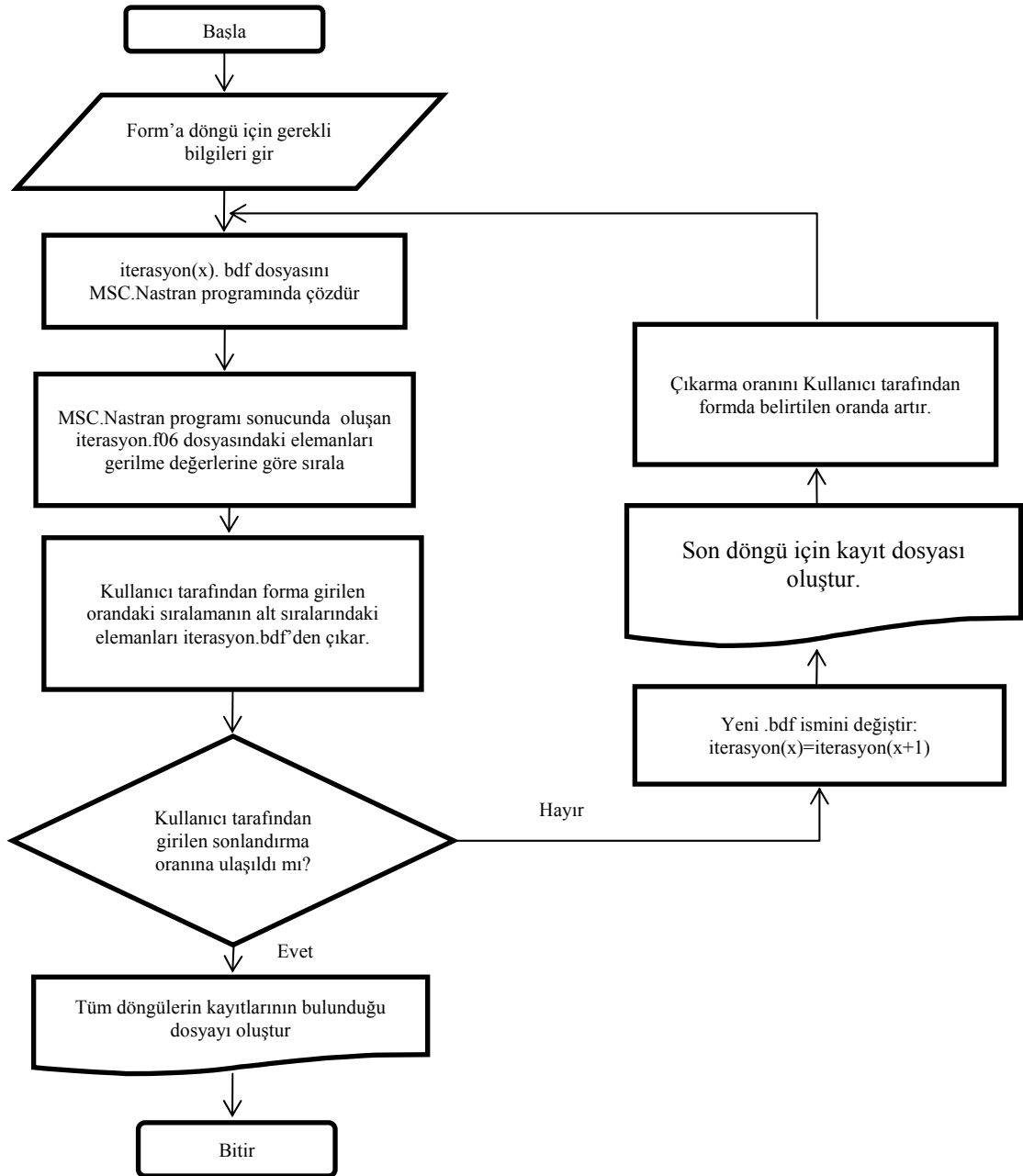
$$RR_{i+1} = RR_i + EO \quad i=1,2,3.... \quad (3.2)$$

Bu arttırılmış çıkarma oranı ile kullanıcı tarafından girilen durdurma oranına ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilir. Eğer ulaşılmamış ise yeni sonlu eleman analiz döngüleri oluşturulur ve mevcut döngülerde eleman çıkarma işlemi devam ettirilir. Durdurma oranına ulaşıldığında program tarafından bir kayıt dosyası oluşturulur. Bu dosyanın içerisine döngüdeki maksimum von Mises gerilme değeri ve kaçınıcı elemanda olduğu, hangi döngüde kaç eleman çıktığı ve çıkan elemanlardaki gerilme değerleri

ayrıca akma sınırını geçen elemanlar gibi bilgiler yazdırılmaktadır. Örnek bir kayıt dosyası Ek-3’de verilmiştir.

3.3.1. Algoritma akış şeması

Bu çalışmada kullanılacak olan algoritmanın akış şeması Şekil 3.4’deki gibidir.



Şekil 3.4. Algoritma akış şeması

3.3.2. Program durdurma kriteri

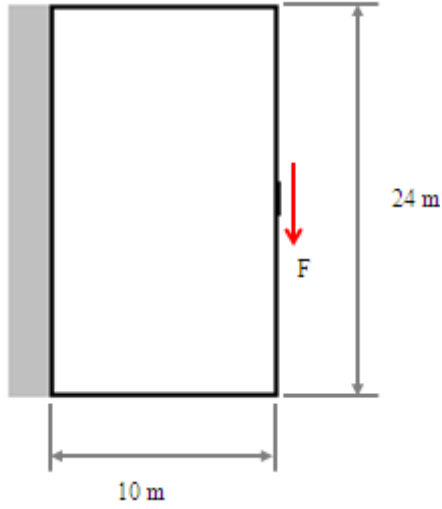
Evrimsel algoritmada bir elemanın gerilme değerinin elemanlar arasında maksimum von Mises gerilemesi bulunan elemana oranı, çıkarılma oranının altında ise o eleman yapıdan çıkarılır. Çıkarılacak elemanların yapıdan uzaklaştırılması sonrasında, çıkarılma oranı kullanıcı tarafından belirlenen miktarda artırılır. Bu döngü algoritmanın başlangıcında kullanıcı tarafından belirlenen belirli bir çıkarma oranına ulaştığında program durdurulur.

Bu döngü sayesinde kullanıcı çıkarılacak eleman sayısını ve optimizasyonun durdurulacağı çıkarılma oranını belirleyebilmektedir. Bu da kullanıcıya optimizasyon süresince yapının dengesini bozabilecek sayıda fazla elemanın çıkarılmasının önüne geçilmesine olanak vermektedir.

3.4. Program Doğrulama

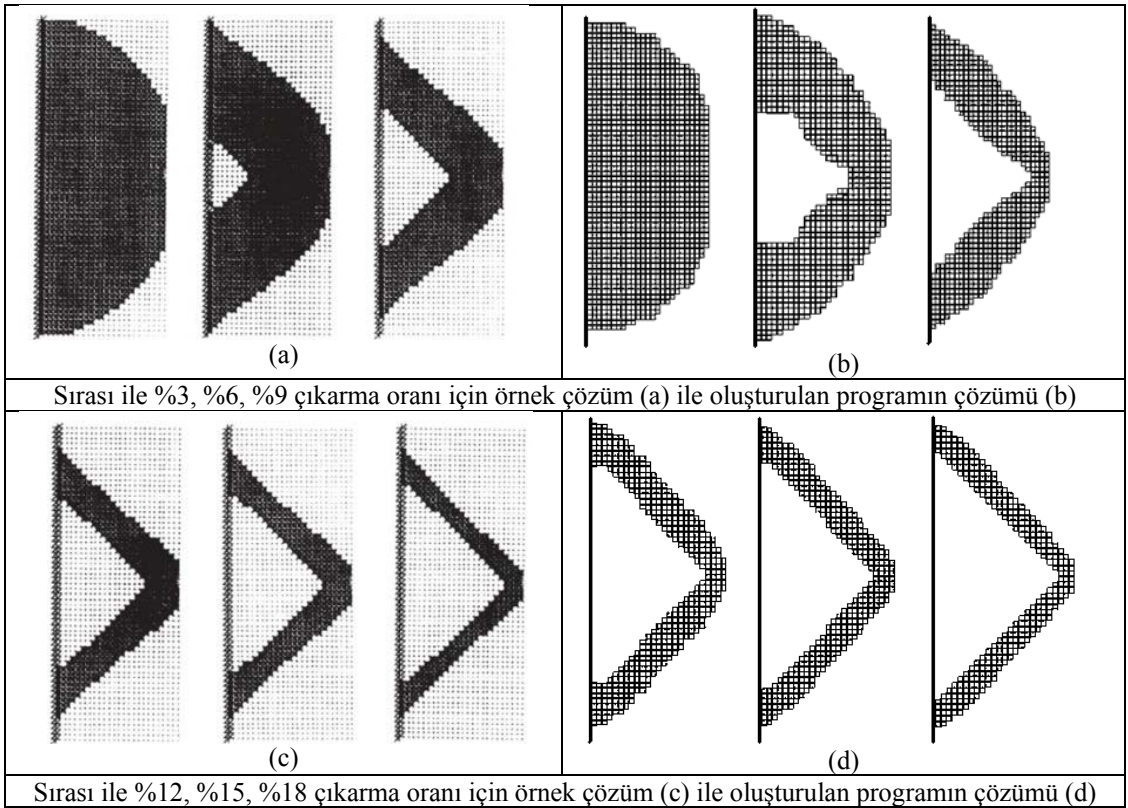
Yazılan programın doğrulamasının yapılması için evrimsel algoritmanın literatürde çözümleri yapılmış örnekleri incelenmiştir. İki-bar çerçeve (two-bar frame) yapısının örneği incelenmiştir [20].

Bu yapıda Şekil 3.5'de gösterildiği gibi desteklendiği ve yüklendiği durumda en iyi tasarımı bulunmaya çalışılmaktadır. Buradaki yapı 0.001 m kalınlıkta, 24 m uzunlukta, 10 m enindedir. 1 MPa'lık bir kesme gerilmesi parçanın sağ yüzeyinin ortasından uygulanmaktadır. Parça yatay yönde 25, dikey yönde 60 eleman olacak şekilde 4 düğüm noktalı elemanlara bölünür. Malzeme özellikleri olarak elastisite modülü $E = 100 \text{ GPa}$ ve poisson oranı $\nu = 0,3$ olduğu kabul edilmiştir. Başlangıç çıkarma oranı olarak % 1, çıkarma oranı artışı % 1 olacak şekilde optimizasyon başlatılacaktır. Optimizasyon sonucunda analitik yöntemlerle de çıkan iki-bar çerçeve yapısının kalması beklenmektedir [20].

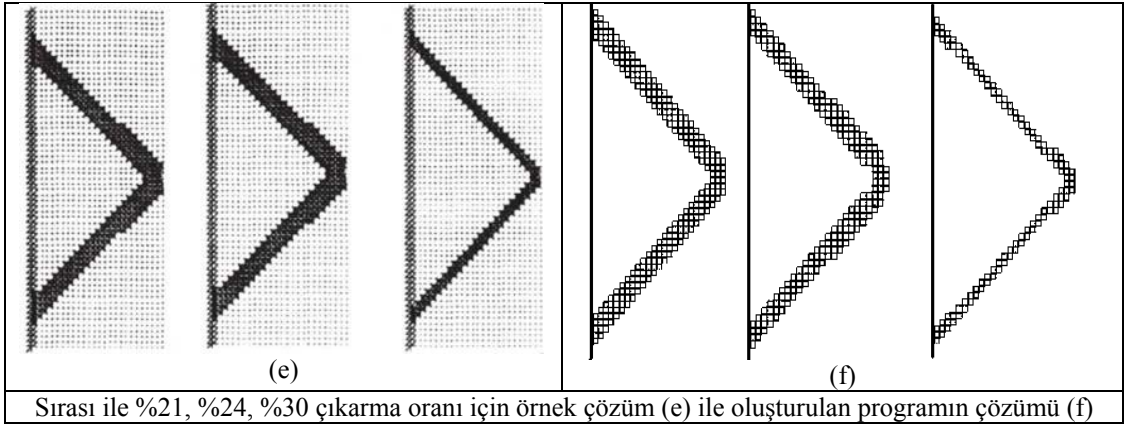


Şekil 3.5. İki bar çerçevesi için tasarım alanı

Oluşturulan yeni program ile başlatılan optimizasyon sonuçları ile literatürdeki örnekler karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar Şekil 3.6'da karşılaştırılmıştır.

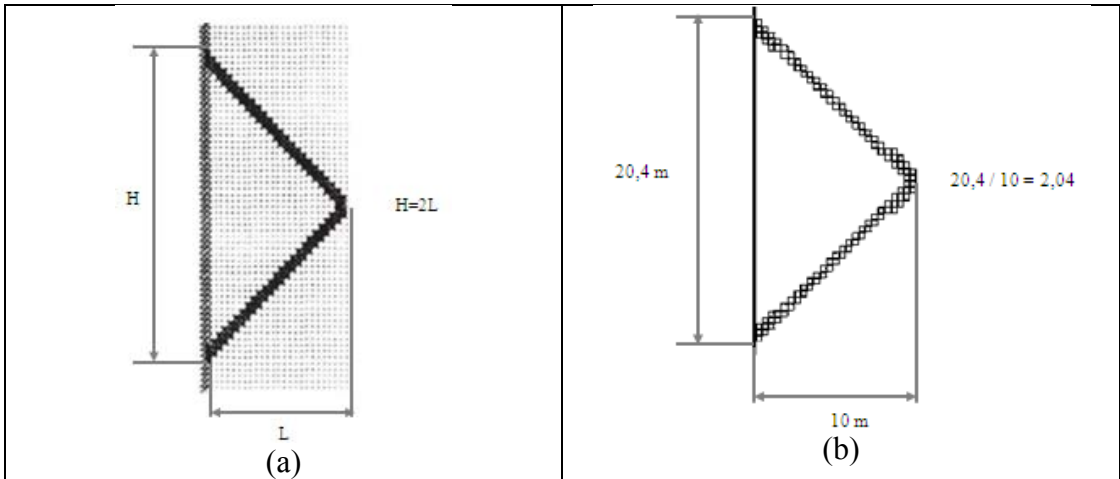


Şekil 3.6. Örnek iki-bar çerçeve EYO topolojileri [20] ile oluşturulan programın sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 3.6. (Devam) Örnek iki-bar çerçeve EYO topolojileri [20] ile oluşturulan programın sonuçlarının karşılaştırılması

Örnekler incelendiğinde literatür örneğinde iki-bar'ın ankastre bağlantısının bulunduğu bölgedeki ayaları arasındaki uzaklık ile yüklemenin yapıldığı kenardaki elemanların ankastre bağlantı kenarına olan mesafesi Şekil 3.7 (a)'da verildiği gibi bir bağıntı bulunmaktadır. Bu bağıntı aynı şekilde analitik çözümün sonucunda elde edilen ile aynıdır. Bu çalışmada kullanılan yapının kenarları arasındaki mesafelerde Şekil 3.7 (b)'de verildiği gibidir. Bu şekilde kontrolü yapılan optimizasyon programının doğrulaması gerçekleşmiş olmuştur.



Şekil 3.7. Örnek iki-bar çerçeve (a) [20] ile oluşturulan programın sonucunun karşılaştırılması (b)

4. OPTİMİZASYONU YAPILACAK UÇAK PARÇASININ TANIMI

4.1. Basınç Duvarının Yapısı ve Uçak Yapısı İçerisindeki Görevi

Yaşadığımız ortamda pozitif atmosfer basıncı vardır. Yani biz fark etmesek de atmosferi oluşturan gazlar (nitrojen, oksijen, vs.) vücudumuza sürekli baskı halindedirler. Bu basınç sayesinde nefes alıp vermemiz ve kendimizi iyi hissetmemiz mümkündür. Bu basınç azaldıkça başta solunum olmak üzere insan yaşamı için olumsuzluklar başlar.

İnsanlı uçuşların ilk yıllarında çok yükseğe çıkılmadığı için kabinin basınçlandırılmasına gerek duyulmamıştır. Daha sonraları teknoloji gelişip uçaklar yükseklere çıktıkça insan yaşamı için risk oluşmaya başlamış ve kabinin basınçlandırılması ihtiyacı doğmuştur. (Günümüzde uçuş yükseklikleri genellikle 8.000-12.000 metre civarındadır).

Basınçlandırma uçak henüz yerdeyken motorlar çalıştırdıktan sonra başlar ve yere inene kadar basıncın çoğaltılıp azaltılması şeklindeki ayarlamalarla devam eder. Kabin basınçlanırken deniz seviyesindeki basınç değil, biraz daha yüksekteki eşdeğer basıncın oluşturulması amaçlanır. Bunun en önemli nedeni yukarılardaki düşük atmosfer basıncı ile uçak içerisindeki nispeten yüksek basınç arasındaki farktır. Uçağın gövdesinin ve sistemlerinin bu basınç farkına rahatça karşı koyabilmesi gerekir. Bu nedenle hem uçağı daha az zorlayacak hem de yolcuların rahatça nefes alıp vererek kendilerini iyi hissetmeleri için yeterli olabilecek kabin basıncı tercih edilir.

Basınçlandırılmış uçak kabinlerinde iki çeşit basınç duvarı yapısı bulunmaktadır. Yolcu uçakları gibi birçok büyük uçak yapısında basınç duvarı uçağın kabinin arka bölümünde bulunmaktadır. Bu yapı büyüklüğü sebebi ile düz ve tek parça yerine bir kaç parçadan oluşan ve küre kesitli yapılardır (Şekil 4.1). Diğer basınç duvarı yapısı daha küçük ölçekli uçaklarda tercih edilmektedir. Bu tercihin sebebi uçak içerisindeki alanın darlığı küresel bir yapıyı sığdırabilmeye izin vermemesidir.

Ayrıca uçağın kesiti çok geniş olmadığı için basınç duvarının yapısının düz olması bu basıncı taşımasında bir zafiyet oluşturmamaktadır (Resim 4.1).

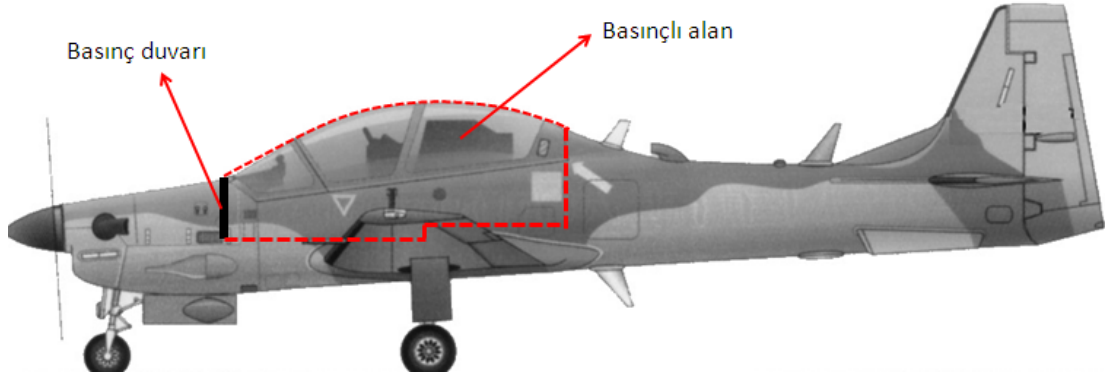


Şekil 4.1. Konik uçak duvarı yapısı örneği



Resim 4.1. Basınç duvarı uçak üzerinde montajı örneği

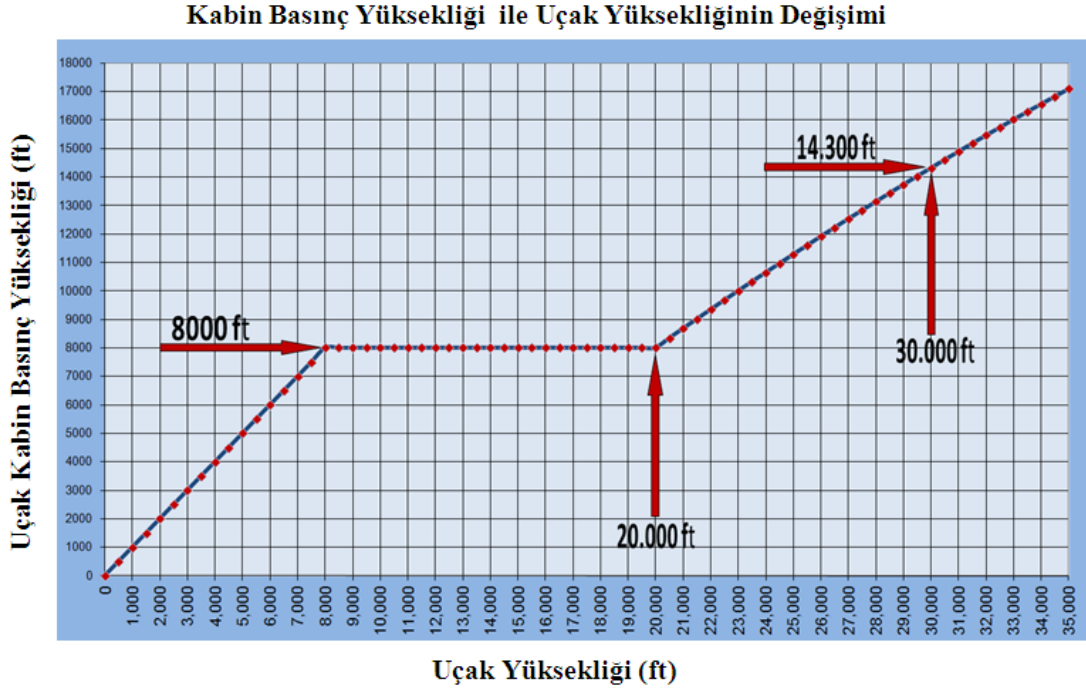
Bu çalışmada ele alacağımız uçak çift kişilik tandem oturumlu bir uçağın kabinin ön basınç duvarı parçasıdır. Bu parça uçağın motor kompartımanı ile kokpiti birbirinden ayırmaktadır. Benzer uçaklardan bir örnek ve basınç duvarının uçak üzerinde bulunduğu bölge Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Çift kişilik tandem oturumlu bir uçağın basınç duvarı ve basınçlı alanının bir görünüşü

Uçak kesitinin küçük olmasından dolayı yapının düz olması yapıda bir zafiyet oluşturmamakta tam tersine daha az yer kapladığı için uçak sistemlerinin yerleşiminde avantaj sağlamaktadır. Uçağın kabin basıncının belirlenmesinde havacılık sektöründe kullanılan standartlardan yararlanılmıştır. Bu basınç değeri pilotların konforu ve uçağın performansı için önem arz etmektedir.

Şekil 4.3’den de görebileceğimiz gibi uçak kabin basıncı 8000 ft’e kadar dış ortam basıncı ile aynı tutulmaktadır. Bu durumda da uçak kabini ile dış ortam arasındaki basınç farkı bulunmamaktadır dolayısı ile kabin yapısal parçalarına ek bir basınç yükü etki etmemektedir. 8000 ft’den sonra kabin basıncı sabit tutulmakta dolayısı ile kabin ile dış atmosfer arasında bir basınç farkı oluşmaktadır.



Şekil 4.3. Kabin basıncının uçak yüksekliği ile değişimi

$$P = P_0 \left(1 - \frac{L \cdot X \cdot h}{T_0} \right)^{\frac{g \cdot X \cdot M}{R \cdot X \cdot L}} \quad (4.1)$$

Burada;

P_0 : Deniz seviyesi atmosfer basıncı

L: Düşme oranı

T_0 : Deniz seviyesi sıcaklık (K)

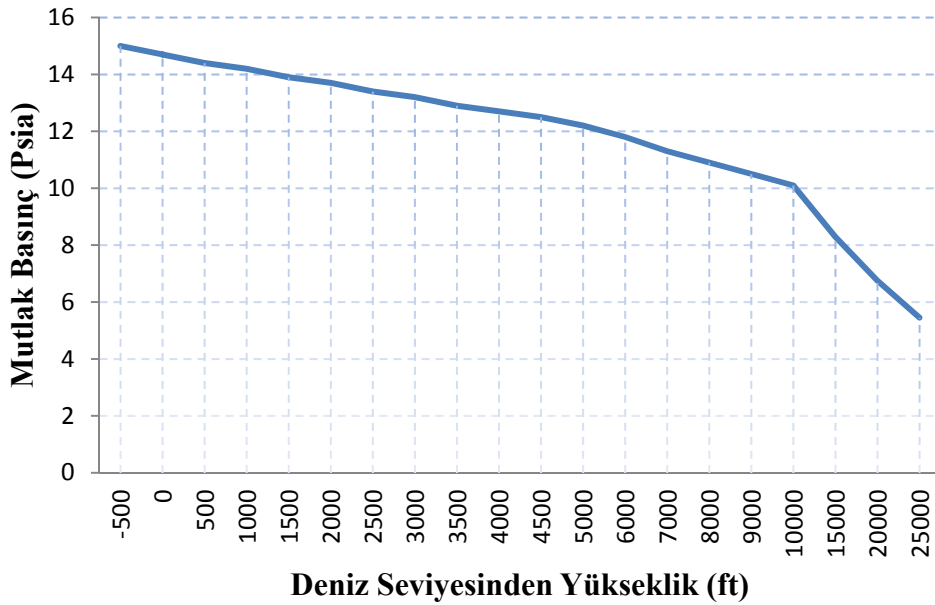
g: Yerçekimi ivmesi (9,8 m/s)

M: Kuru havanın mol ağırlığı (0,02896 kg/mol)

R: Evrensel gaz sabiti (8,31447 J/(mol K)) 'dür

Eş. 4.1'de yapılan hesaplar sonucunda Şekil 4.4 oluşturulmuştur. Deniz seviyesinden 8000 ft yükseklikteki hava basıncı Şekil 4.4'den okunulabileceği gibi yaklaşık 10,9 psi'dir. Bu yükseklikte kabin basınç valfleri kapanır ve basıncın kabin içinde kalması sağlanır. Bu çalışmada kullanacağımız uçakta kullanılan basınç valflerin 20000 ft'e kadar basıncı tutmaktadır. Bu yükseklikteki dış ortam basıncı yaklaşık 6,74 psi'dir. Bu yükseklikten sonra basınç valfleri açılır ve uçak yükseldikçe kabin basıncı azalır. Bu sistem ayarlarında ve uçuş zarfında oluşan maksimum kabin ve dış ortam

basınçları arasındaki fark 4,16 psi'dir. Basınç valflerinin her sistemde olduğu gibi belli bir hata oranı vardır. Bu oran bu çalışmada mevcut sistemler araştırılarak yaklaşık olarak %8 seçilmiştir. Bu oran ile birlikte basınç duvarının tutması gereken basınç yaklaşık 4,5 psi olmaktadır. Basınç duvarının bu yükü kabinde bir sızıntı olmadan taşıması uçak yapısı içerisindeki başlıca görevlerindedir.



Şekil 4.4. Deniz seviyesinden yükseklik ile mutlak basınç değişim grafiği

4.2. Amaç Fonksiyonu

Optimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonu, problemin sonucunda elde edilen yapıda istenilen amacı ifade eder. Basınç duvarı için yaptığımız çalışmada havacılık sektöründe çoğu çalışmada olduğu gibi, parçanın hafifletilmesi optimizasyon çalışmasının amacıdır. Bu da mevcut yapı için minimum malzeme ile üzerine düşen yükü taşıyabilecek tasarımı elde etmek ile sağlanabilecektir. Dolayısı ile optimizasyon çalışmasında başlangıç yapısından ne kadar çok eleman yapıdan çıkarılırsa yapı o derece hafifletilmiş olacaktır.

4.3. Tasarım Kısıtları

Optimizasyon problemlerinde çalışmanın süresini kısaltmak ve maliyetini azaltmak için yapılabilecek en kolay çalışma tasarım kısıtlarının tamamını açık bir şekilde belirlemektir. Belirlenen kısıtları gerek algoritmaya gerek analiz modeline yansıtmak gerekmektedir.

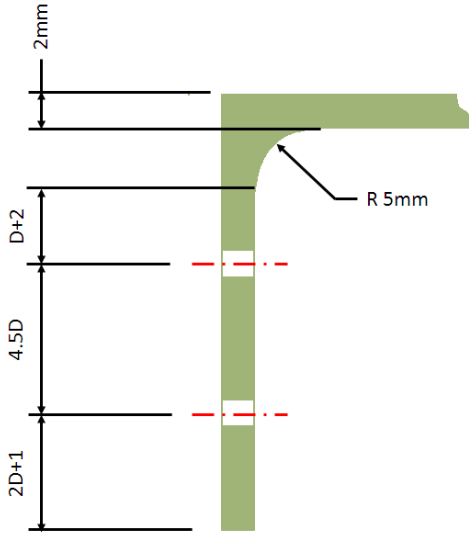
Bu çalışmadaki tasarım kısıtlarını aşağıdakiler gibi sıralayabiliriz:

- *Kabin basıncının sızması*: Modeldeki basınç duvarının bir yüzündeki elemanların analiz döngüleri boyunca silinememesi ile sağlanacaktır. Ayrıca basınç duvarı ile basınçlı kabinin kabuğunun bağlandığı flanşlarda basınç sızmasını engellemek için çift sıra bağlayıcı kullanılması gerekmektedir. Çift sıra bağlayıcı kullanılmasından dolayı basınç duvarının flanşının minimum değeri yaklaşık olarak Eş. 4.2’de de gösterildiği gibi hesaplanabilir.

Bağlayıcı flanş kenar mesafesi havacılık endüstrisinde kullanılan değerlerden esinlenilerek $2D+1$, bağlayıcılar arası mesafe $4D$ ile $6D$ değerleri arasında alınmaktadır. Bağlayıcılar arası mesafeler için $4,5D$ değeri önerilen değerdir. Bağlayıcının parçanın iç işleme kenarına mesafesi $D+2$ olarak alınmıştır. Parçanın iç kenar işleme yarıçapı olarak 4 mm ve parçanın tahmini sırt kalınlığı ise 2 mm alınmıştır. Bu değerler ışığında parçanın öngörülen kalınlığı aşağıdaki hesap sonucu elde edilen değer alınmıştır.

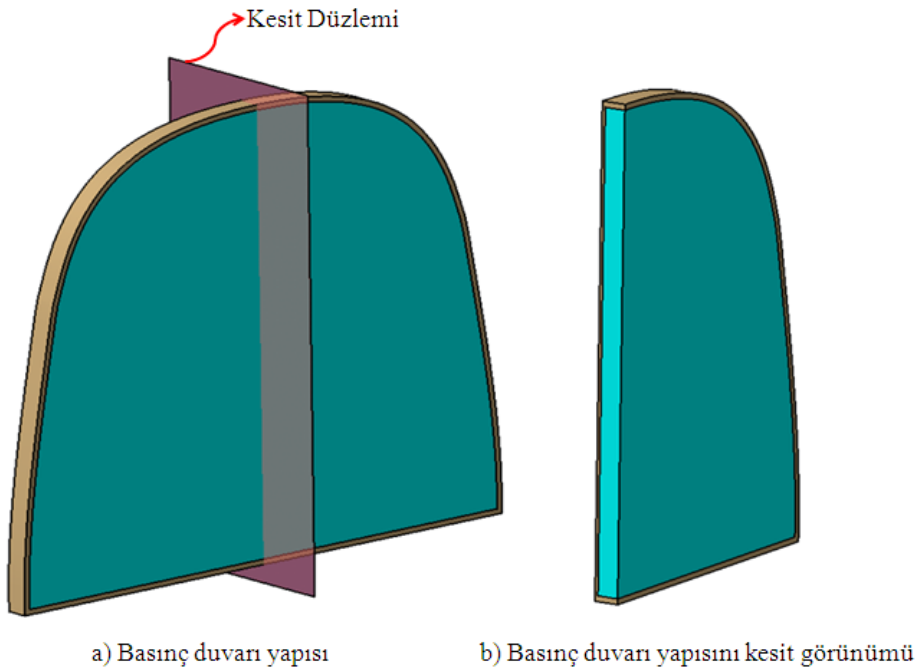
Bağlayıcı çapı olarak havacılık sanayisinde en çok kullanılan perçin çapı olan 4 mm değeri öngörülmüştür. Bu da $D= 4$ mm alındığında;

$$(2D+1) + 4,5D + (D+2) + 4\text{mm} + 3 \text{ mm} = 40\text{mm} \quad (4.2)$$



Şekil 4.5. Basınç duvarı flanş kabuk bağlantısı gereksinimi

- *Diğer yapısal parçaların bağlantısı:* Uçağın yapısal bağlantıları için belirli bölgelerde malzemelerin korunması gerekmektedir. Bu amaçla parçadaki Şekil 4.6 da kahverengi ile gösterilen elemanlar döngüler boyunca silinemeyecektir.



Şekil 4.6. Basınç duvarı üzerinde tasarım kısıtlarına göre elemanların görünümü

Şekil 4.6’da tasarım kısıtları göz önüne alınarak modellenen basınç duvarı bulunmaktadır. Burada kahverengi elemanlar yapıdan çıkarılamayacak özellikte, turkuaz elemanlar ise yapıdan optimizasyon süresince çıkarılabilecek özelliğe sahip elemanları temsil etmektedir.

4.4. Tasarım Değişkenleri

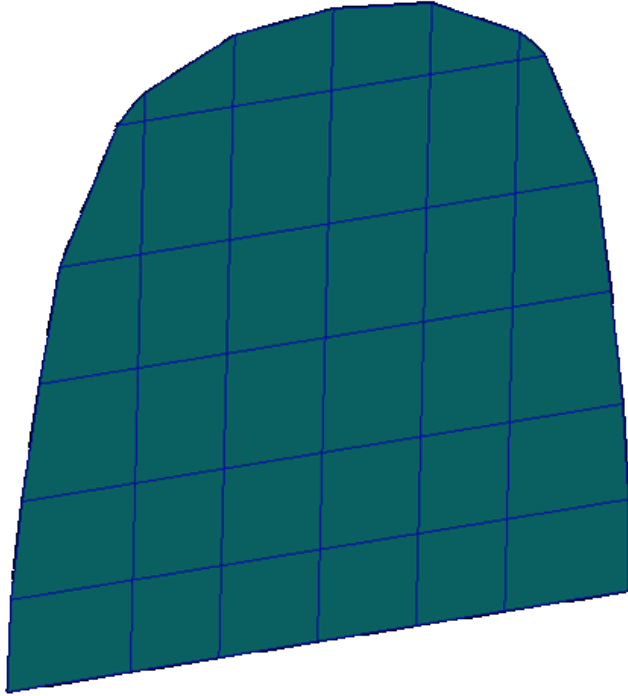
Optimizasyon sürecinde problemin amacına ulaşabilmek için üzerinde oynama yapılabilen problemin en iyiye gitmesini engellemeyecek değişkenler tasarım değişkenleridir. Bu çalışmadaki değişkenlerimiz şu şekildedir:

- *Malzeme*: Optimizasyon probleminde yapının malzemesinin değişimi amaca yaklaşmamıza da uzaklaşmamıza da sebep olabilir. Burada belirleyici faktör malzemenin yoğunluğu ve dayanım değerleridir. Bu çalışmada başlangıç için havacılık sektöründe en çok kullanılan, maliyet açısından en uygun ve yoğunluk/dayanım oranı en efektif olan Al 7050 T7451 malzemesi kullanılacaktır.
- *Sonlu elemanlar modelindeki eleman boyutları*: Sonlu elemanlar analizinde kullanılacak eleman sayısı optimizasyon süresini artıracak hatta bazı durumlarda bilgisayar sistemlerinin kaldıramayacağı bir model olabilmektedir. Optimizasyon sürecinde elemanların boyutlarının değişmesi optimizasyonun amacına ulaşmasına bir engel teşkil etmemektedir.

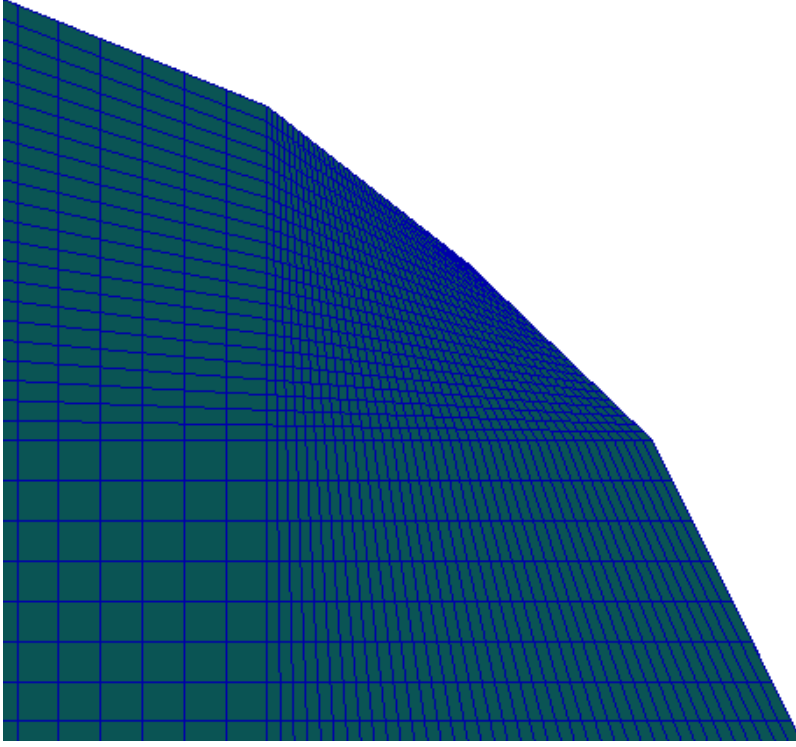
4.5. Analiz Modeli

Bu optimizasyon çalışmasında analiz aracı olarak sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modeli MSC.PATRAN programında oluşturulmuştur. Analiz modelinin oluşturulmasını ve sonrasında algoritmanın işleyişini şu şekilde özetleyebiliriz: MSC.PATRAN programında optimize edilecek basınç duvarı yüzeyi oluşturulmuştur. Bu yüzey üzerinde dört düğüm noktasından oluşan QUAD elemanlar oluşturulmuştur. Ardından bu elemanlar parçanın kalınlığı yönünde daha önce Eş. 4.2’de hesaplandığı gibi 40 mm ön görülerek uzatılmıştır. Uçak yapısında

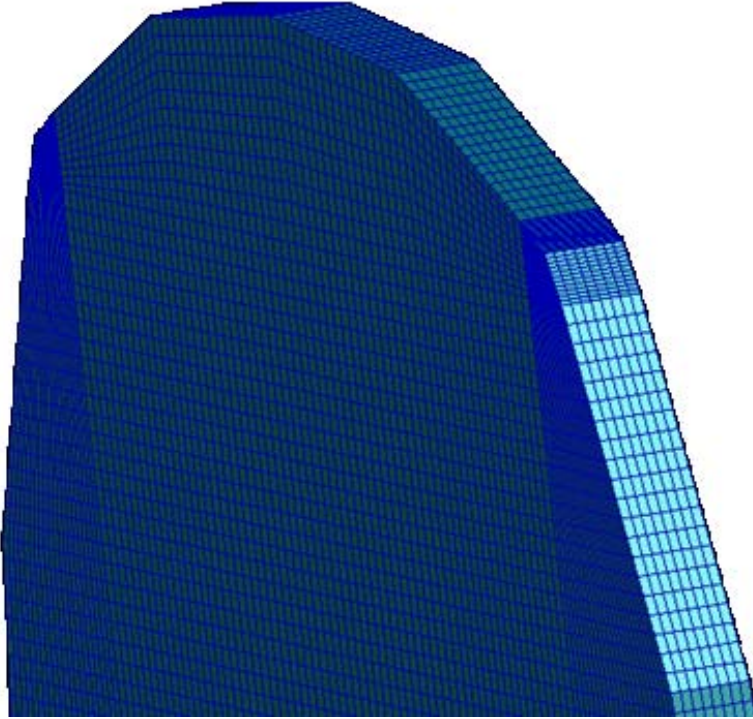
parçanın tutturulduğu yüzeylerdeki elemanlar modelde de tutturulmuştur. Parça üzerinde parçayı boyutlandırarak kritik yükleme durumundaki yükler oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılacak olan algoritma için MSC.NASTRAN ara yüz dosyası oluşturulması gerekmektedir. Bu bilgilerin hepsi ile MSC.PATRAN - MSC.NASTRAN ara yüzü dosyası oluşturulur (.bdf dosyası). Oluşturulan bu dosya algoritma kodu sayesinde MSC.NASTRAN programı kullanılarak her döngüde çözdürülür. Algoritma sonucunda MSC.NASTRAN programı çözüm sonucunda bir sonuç dosyası oluşturur (.f06 ve .xdb dosyası). Yeni döngüye geçildiğinde çıkarılan elemanların silindiği ve diğer döngüde girdi olarak kullanılacak olan yeni ara yüz dosyası oluşturulur (.bdf dosyası).



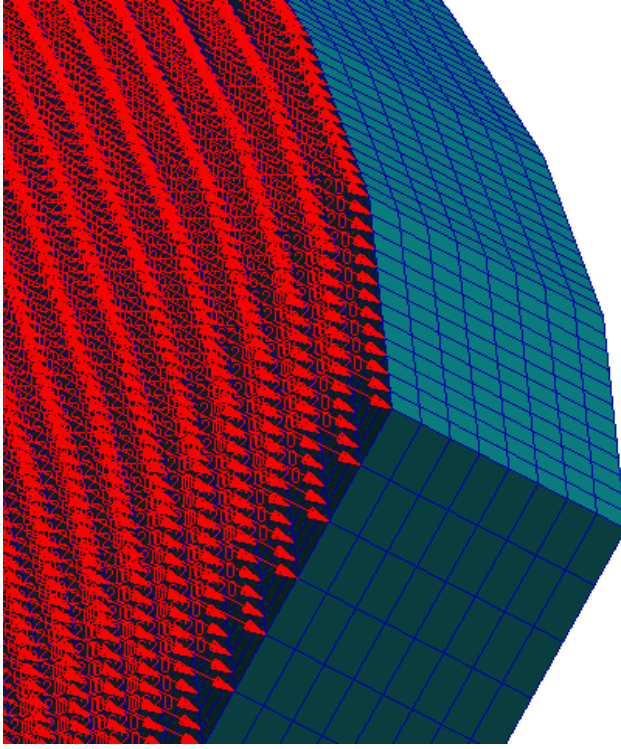
Şekil 4.7. Sonlu elemanlar analizi modelinde basınç duvarı yüzeyi



Şekil 4.8. Basınç duvarı yüzeyi üzerinde oluşturulan elemanların görünüşü



Şekil 4.9. Kalınlık boyunca uzatılan elemanlar



Şekil 4.10. Sonlu elemanlar modeli üzerindeki yüklemeler

4.5.1. Malzeme özellikleri

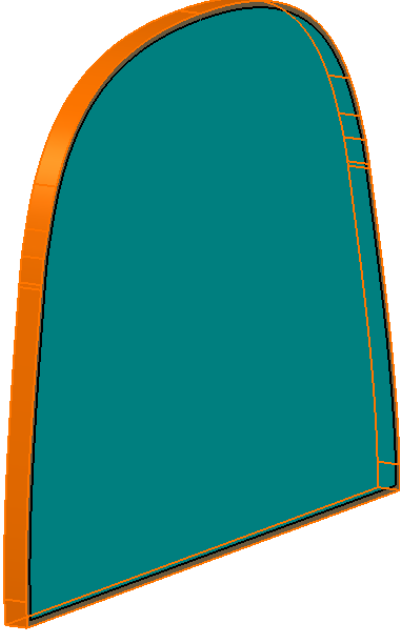
Bu optimizasyon çalışmasında malzeme olarak Alüminyum 7050 T7451 kullanılacaktır. Amerika havacılık kurulunun (FAA) yayınladığı Metalik Malzeme Özellikleri Geliştirme ve Standartlaştırma (MMPDS)'dan alınan bilgilere göre alüminyum malzemenin öz kütlesi $2,83\text{g/cm}^3$, elastisite modülü $71,7\text{ GPa}$, Kayma modülü $26,9\text{ GPa}$ ve poisson sabiti $0,33$ olarak alınmıştır. Maksimum gerilme analizlerinde kullanılan izin verilebilir çekme gerilmesi (çekmeye göre akma gerilmesi sınırı) 450 MPa olarak alınmıştır [54].

4.5.2. Yükler ve sınır koşulları

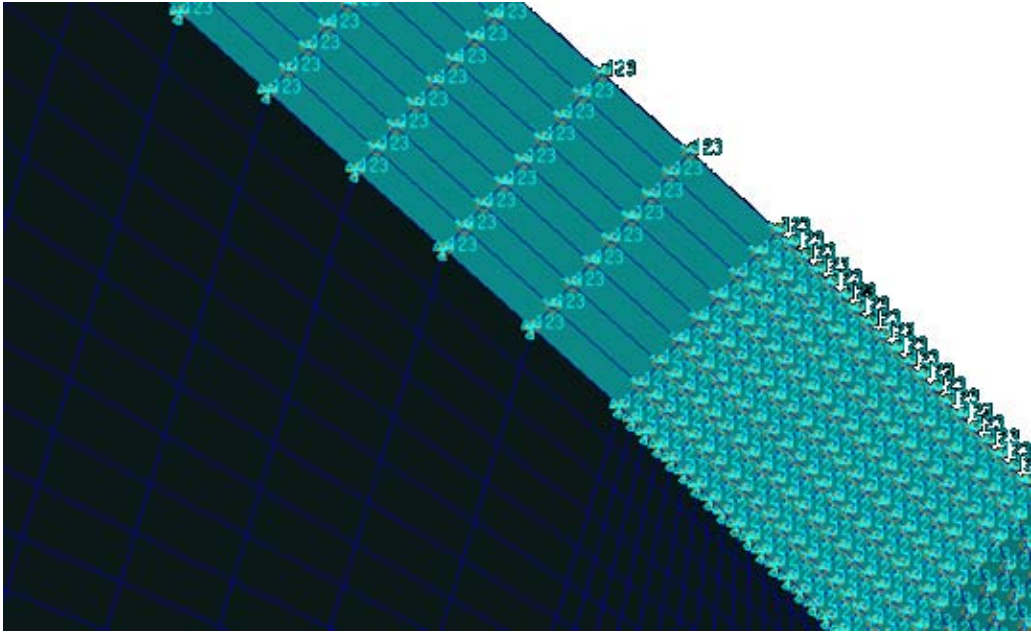
Sınır koşulları

Basınç duvarı, uçak kabukları ile bağlanan kenar elemanlarından sonlu elemanlar analiz modelinde sabitlenmiştir. Bu sabitleme sayesinde basınç duvarı düzgün yük

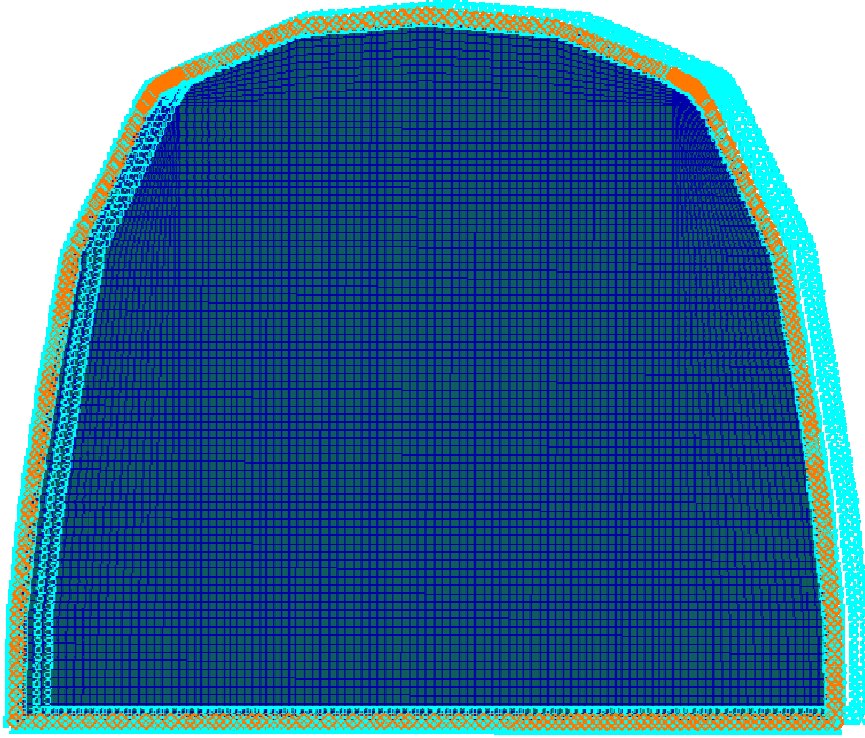
altında iki ucundan destekli bir çubuk kesiti ile aynı yükleme şartları altında gibi davranır.



Şekil 4.11. Sınır koşullarının basınç duvarı modelinde gösterimi



Şekil 4.12. Sınır koşullarının sonlu elemanlar modelinde gösterimi



Şekil 4.13. Sınır koşullarının sonlu elemanlar modelinde gösterimi

Uçuş yükleri

Uçağın üzerindeki her yapısal elemanın farklı görevleri vardır. Bu yapısal elemanların boyutlandırılması da o elemanı etkileyen kritik yükleme koşulları dikkate alınarak yapılır.

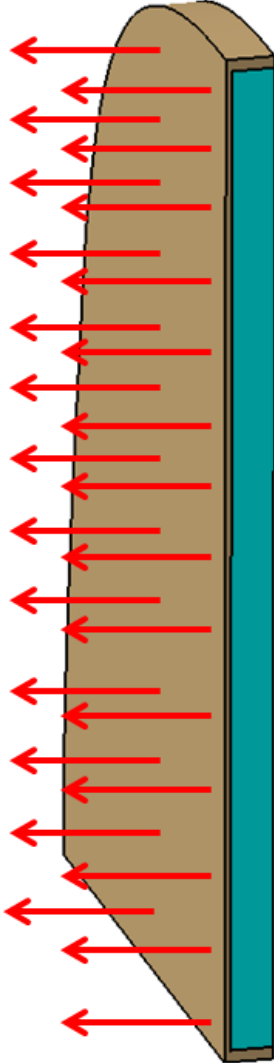
Bu çalışmada, yapısal optimizasyonu yapılan uçak akrobatik bir uçak olduğundan manevra kabiliyetlerinden ve Avrupa sivil havacılık örgütü (EASA) tarafından belirlenen gereksinimlerden ötürü bazı kritik yükleme durumları ön plana çıkar.

Bu çalışmada incelenecek olan basınç duvarı için en kritik yükleme koşulu Avrupa sivil havacılık örgütü (EASA) tarafından sivil akrobatik uçaklarda basınçlandırılmış kabin için belirtilen yükleme koşulu Sertifikasyon Şartnamesi (CS) 23.365 maddesinde belirtilmiştir. Bu maddeye göre basınçlandırılmış kabin basınç valfinin ayarlanmış basıncının 1,33 katı basınca dayanmalıdır. Havacılık sektöründe ve

sertifikasyon gereksinimlerine göre yapının güvenlik katsayısı 1,5 olarak seçilmiştir. Bu gereksinimler ile mevcut uçağımızda kullanacağımız ve basınç duvarının dayanması gereken basınç;

$$\Delta P \times 1,33 \times GK = 4,5 \times 1,33 \times 1,5 = 9 \text{ psi (0,062 MPa)} \quad (4.3)$$

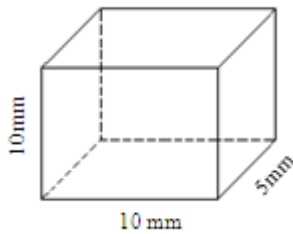
Eş. 4.3'de verildiği gibi 9 psi'dır.



Şekil 4.14. Basınç duvarı üzerinde yükleme koşulunun görüntüsü

4.6. Basınç Duvarında Yapısal Optimizasyon Uygulaması

Çalışmada sonlu elemanlar analiz modeli MSC.PATRAN programı kullanılarak yapılmıştır. Optimizasyon çalışmasında topolojik optimizasyon için MSC.PATRAN programında eleman olarak dörtgenler prizması üç boyutlu elemanlar kullanılmıştır. Boyutlandırma analizinde sonlu elemanlar modelinde 2 boyutlu ağ yapılar kullanılmıştır. Topolojik optimizasyonda kullanılacak basınç duvarının analiz modellemesi kademeli olarak detaylandırılarak yapılmıştır. Döngülerin bazı evrelerinde çıkan eleman sayısının diğer döngülere göre aşırı arttığı gözlemlenmiştir. Daha hassas bir yaklaşım için aşırı eleman çıkarımı olan döngüdeki elemanlar detaylandırılır. Böylelikle bir anda aşırı eleman kaybının önüne geçilerek ileride ihtiyaç duyulabilecek elemanları yapıdan çıkarılması engellenmeye çalışılmıştır. Bu sebeple yapıdaki eleman boyutlarına göre topolojik optimizasyon çalışması 3 kademe yapılmıştır. Çalışmanın başlangıç aşamasında çoğunlukla Şekil 4.15’de verilen boyutlarda elemanlar kullanılmıştır.



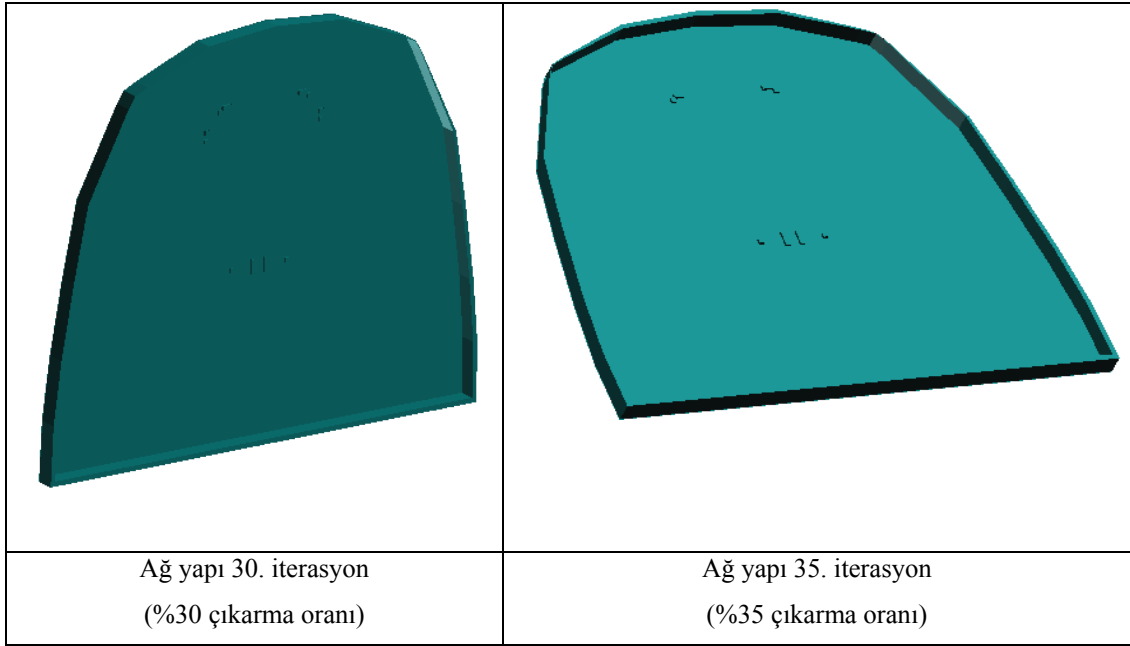
Şekil 4.15. İlk aşamadaki elemanların boyutları

Bu boyutlardaki elemanlar kullanılarak yaklaşık olarak 74000 eleman ile yapı oluşturulmuştur. Bu elemanlar ile yapının konsepti oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu elemanlar ile ‘Başlangıç Çıkarma Oranı’ %1, ‘Çıkarma Oranı Artışı’ %1, ‘Sonlandırma Oranı’ % 36 olacak şekilde döngü başlatılmıştır. İterasyonlar sonucunda alınan veriler EK-2’de toplanmıştır.

Döngülerin sonunda kayıtlar incelendiğinde her beş döngü sonucu alınan sonuç dosyasının MSC.PATRAN programındaki görüntüsü Şekil 4.16’daki gibidir.

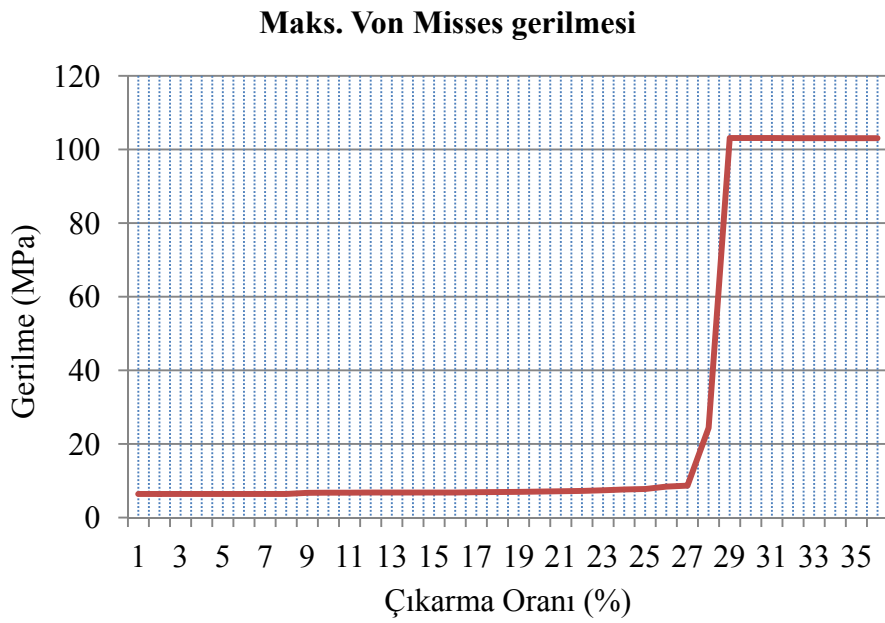
A dark blue, semi-circular shape with a smooth, slightly irregular top edge and a straight bottom edge. The shape is oriented vertically.	A dark blue, semi-circular shape with a smooth, slightly irregular top edge and a straight bottom edge. The shape is oriented vertically.
Ağ yapı 1. iterasyon (%1 çıkarma oranı)	Ağ yapı 5. iterasyon (%5 çıkarma oranı)
A dark blue, semi-circular shape with a smooth, slightly irregular top edge and a straight bottom edge. The shape is oriented vertically.	A dark blue, semi-circular shape with a smooth, slightly irregular top edge and a straight bottom edge. The shape is oriented vertically.
Ağ yapı 10. iterasyon (%10 çıkarma oranı)	Ağ yapı 15. iterasyon (%15 çıkarma oranı)
A dark blue, semi-circular shape with a smooth, slightly irregular top edge and a straight bottom edge. The shape is oriented vertically.	A dark blue, semi-circular shape with a smooth, slightly irregular top edge and a straight bottom edge. The shape is oriented vertically.
Ağ yapı 20. iterasyon (%20 çıkarma oranı)	Ağ yapı 27. iterasyon (%27 çıkarma oranı)

Şekil 4.16. İlk aşama döngülerdeki eleman çıkarma işlemindeki ilerleme

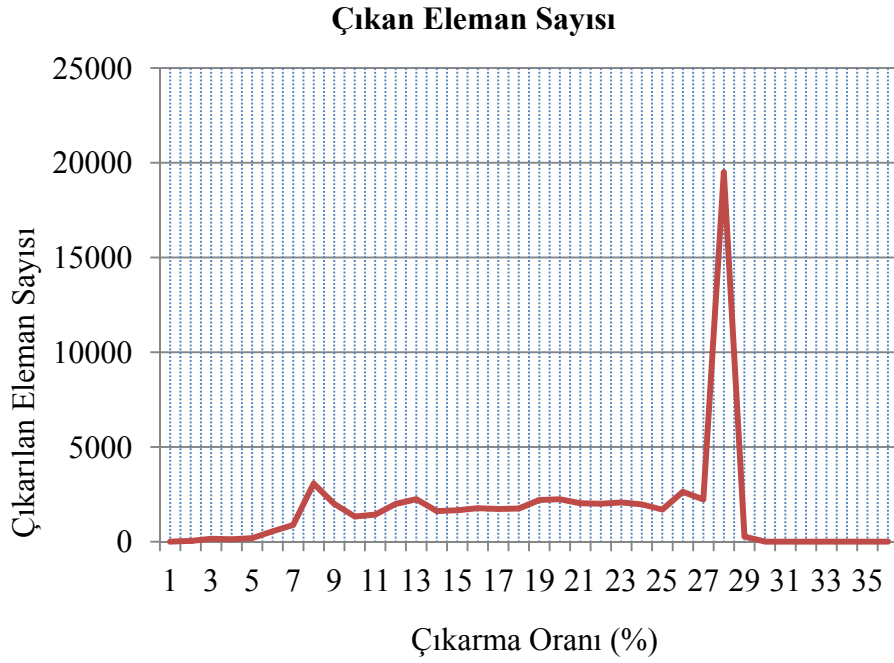


Şekil 4.16. (Devam) İlk döngüdeki eleman çıkarma işlemindeki ilerleme

Bu tabloyu aşağıdaki grafikler üzerinden incelersek 28. iterasyonda hem çıkan eleman sayısında hem de bu elemanların çıkmasının ardında gerilme değerlerimde çok büyük bir artış olmuştur.

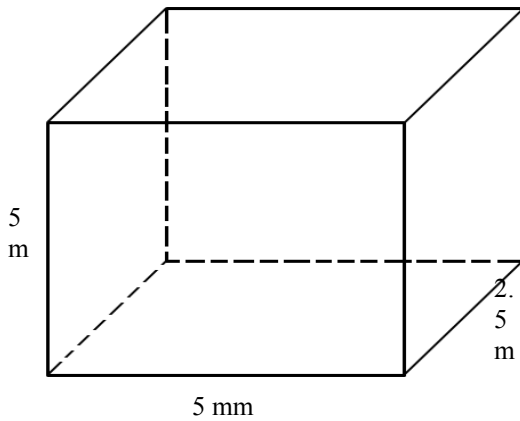


Şekil 4.17. Çıkarma oranı ile elemanlardaki maksimum von Mises gerilmesi değişimi



Şekil 4.18. Çıkan eleman sayısının iterasyon sayısına göre değişimi

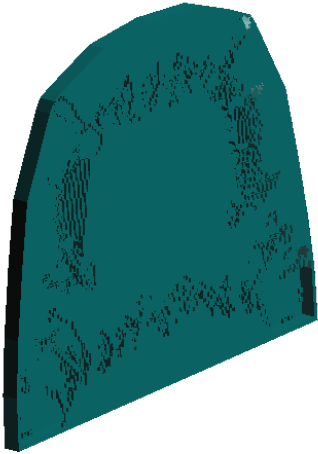
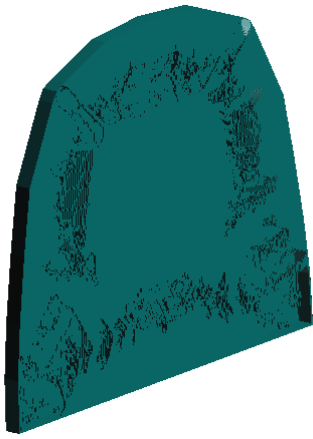
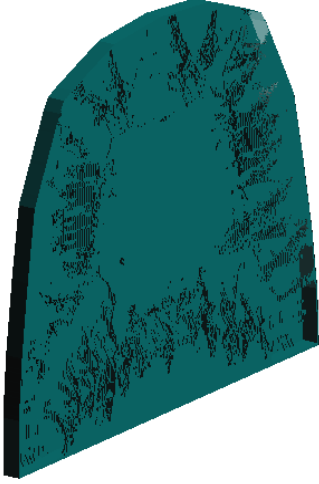
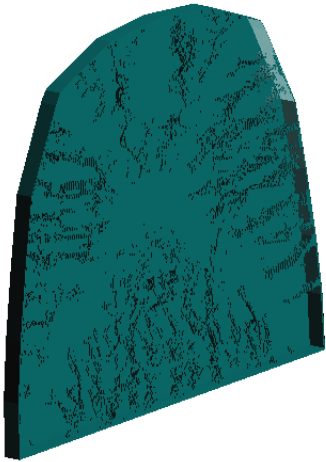
28. iterasyondaki bu artışın parçanın detay optimizasyon sürecinde etkisinin olumsuz olacağı öngörüldüğü için 27. iterasyon sonucunda oluşan yapı daha detaylandırılması için kayıt dosyalarından alınmıştır. Alınan bu dosya tekrar MSC.PATRAN programı kullanılarak detaylandırılmıştır. Bu detaylandırma işleminde çoğunlukla aşağıdaki boyutlardaki elemanlar kullanılmıştır.



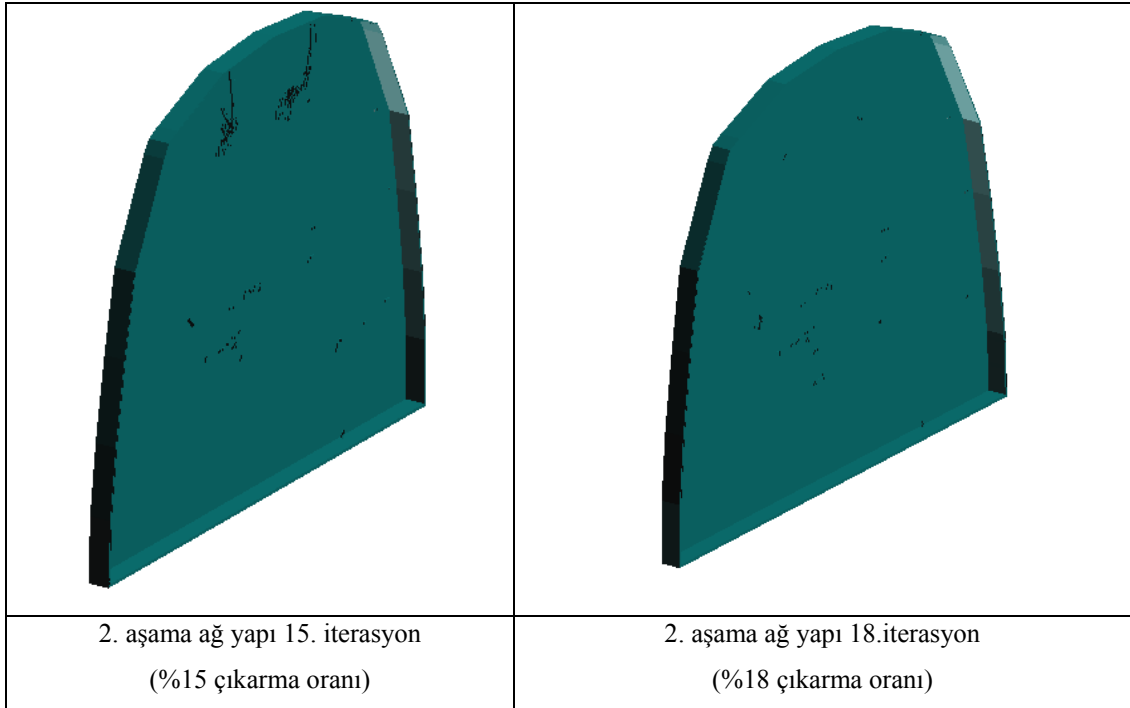
Şekil 4.19. Sıkılaştırılmış eleman döngüsündeki elemanların boyutları

Bu detaylandırma işleminden sonra tekrar başlatılan optimizasyon prosesinde yaklaşık 144000 eleman kullanılmıştır. . Bu elemanlar ile ‘Başlangıç Çıkarma Oranı’ %1, ‘Çıkarma Oranı Artışı’ %1, ‘Sonlandırma Oranı’ % 18 olacak şekilde döngü başlatılmıştır. 18 iterasyon sonucunda alınan veriler EK-2’de toplanmıştır.

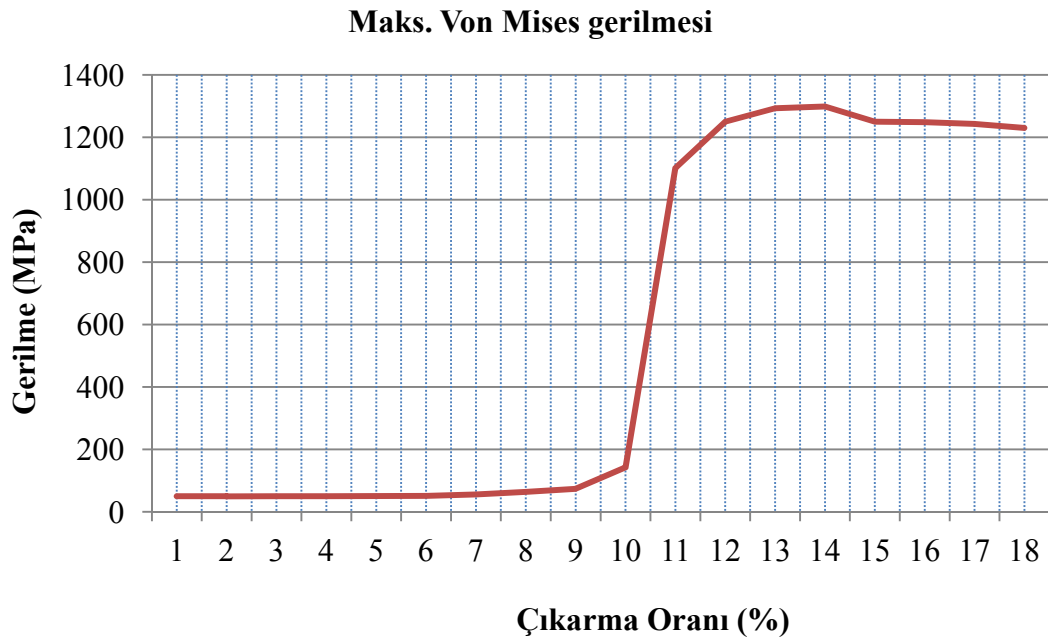
İkinci aşama analiz sonuçlarında 18 döngü arasından bazı sonuçların MSC.PATRAN programındaki görüntüsü Şekil 4.20’deki gibidir.

	
<p>2. aşama ağ yapı 1. iterasyon (%1 çıkarma oranı)</p>	<p>2. aşama ağ yapı 5. iterasyon (%5 çıkarma oranı)</p>
	
<p>2. aşama ağ yapı 9. iterasyon (%9 çıkarma oranı)</p>	<p>2. aşama ağ yapı 10. iterasyon (%10 çıkarma oranı)</p>

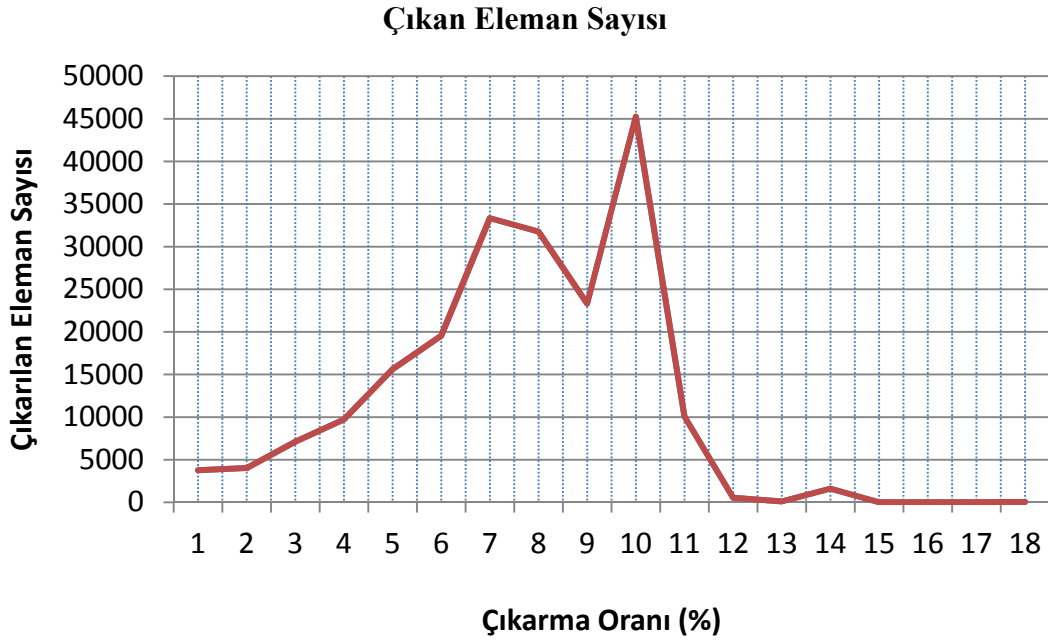
Şekil 4.20. İkinci aşama döngülerdeki eleman çıkarma işlemindeki ilerleme



Şekil 4.20. (Devam) İkinci aşama döngülerdeki eleman çıkarma işlemindeki ilerleme

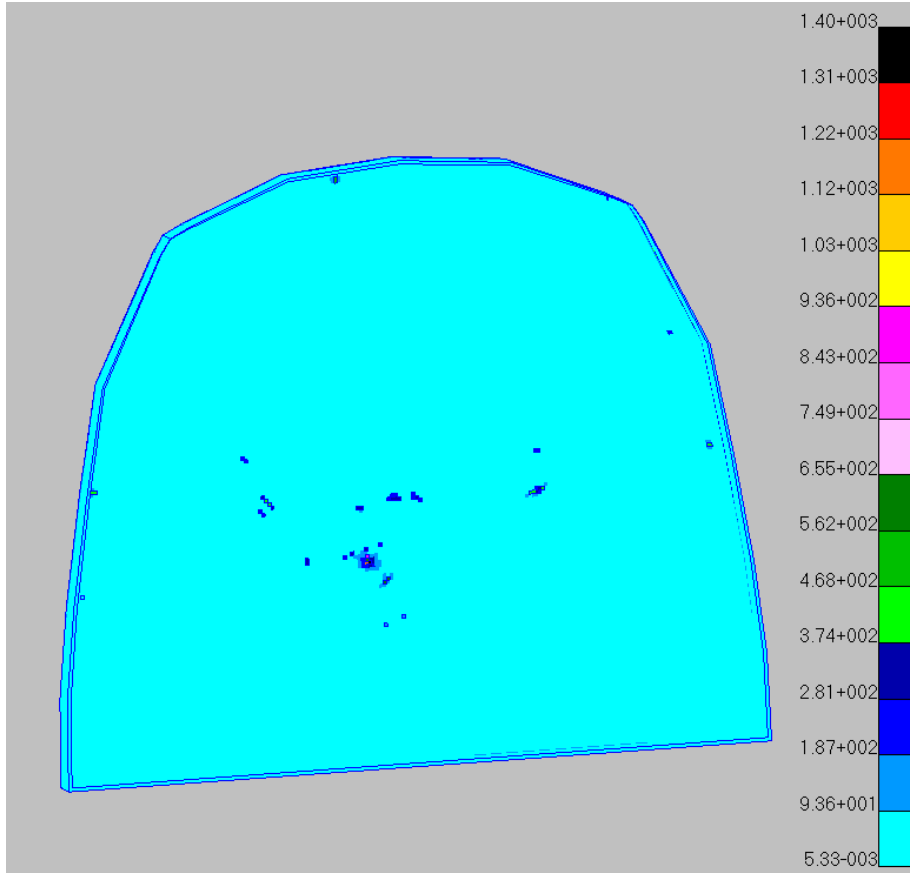


Şekil 4.21. İkinci aşama detaylandırılmış analiz modelinde çıkarma oranı ile elemanlardaki maksimum von Mises gerilmesi değişimi



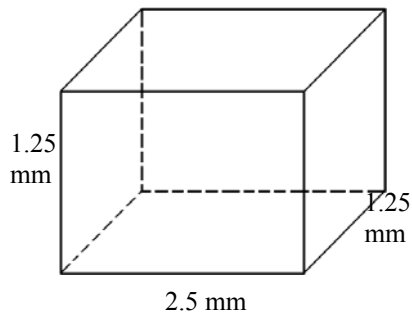
Şekil 4.22. İkinci aşama detaylandırılmış analiz modelinde çıkan eleman sayısının iterasyon sayısına göre değişimi

İkinci aşama detaylandırılmış modeller ile yapılan analiz sonucu Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 tabloları incelendiğinde 10. döngüde çıkan eleman sayısında ve elemanlardaki gerilmelerde aşırı sayılabilecek bir artış gözlemlenmiştir. Bu çıkarma işlemi sonucunda von Mises gerilmeleri malzeme akma sınırını geçmiş elemanlar olduğu tespit edilmiştir. 18. iterasyon sonucu elde edilen yapıdaki akma sınırını geçmiş gerilmeler aşağıdaki ekran görüntüsünde gösterildiği gibi bölgesel olarak bazı elemanlarda bulunmaktadır. Bu elemanlar dışında diğer elemanların gerilmeleri incelendiğinde malzemenin akma sınırının çok altındadır. Dolayısı ile 18. iterasyon sonucu elde edilen yapı tekrar detaylandırılarak 3. aşama topolojik optimizasyon modeli elde edilmiştir.



Şekil 4.23. İkinci aşama 18. döngü sonundaki gerilme dağılımı

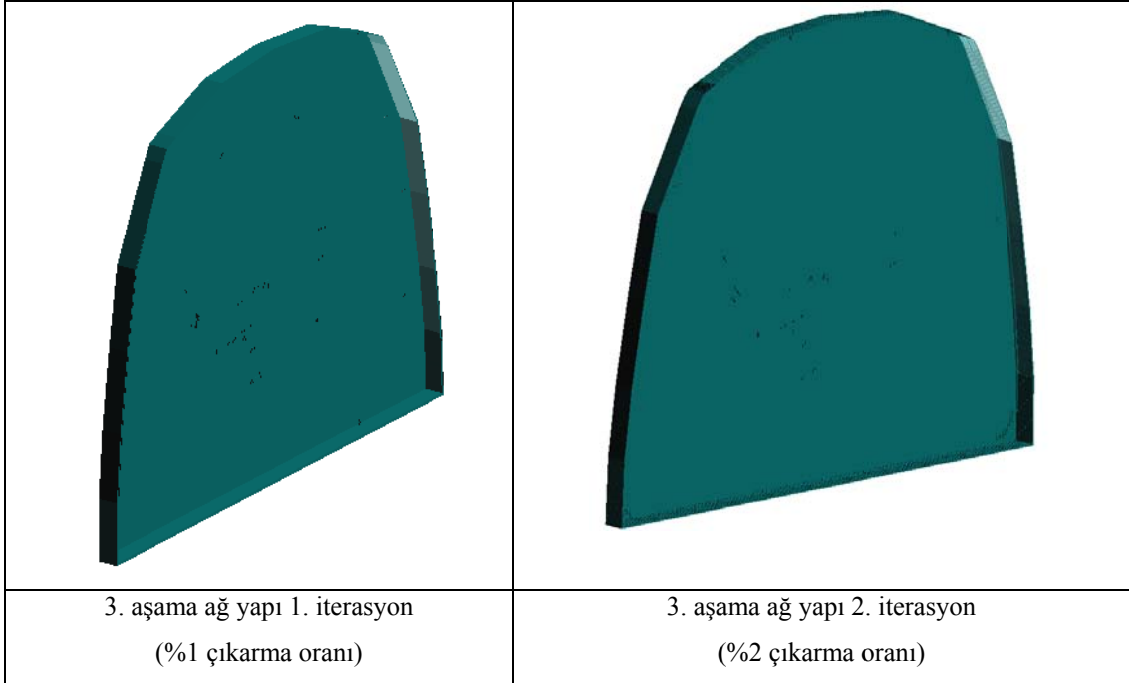
Üçüncü aşama için elemanlar aşağıdaki boyutlarda güncellenmiştir.



Şekil 4.24. Üçüncü aşama döngülerdeki elemanların boyutları

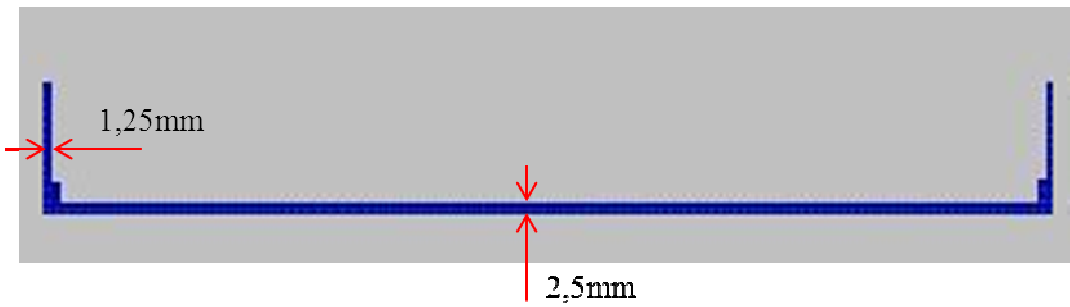
Bu detaylandırma tekrar başlatılan optimizasyon prosesinde yaklaşık 432000 eleman kullanılmıştır. . Bu elemanlar ile ‘Başlangıç Çıkarma Oranı’ %1, ‘Çıkarma Oranı Artışı’ %1, ‘Sonlandırma Oranı’ % 2 olacak şekilde döngü başlatılmıştır. 2 iterasyon

sonucunda aşağıdaki veriler toplanmıştır. Üçüncü aşama analiz sonuçlarında 2 döngünün sonuçlarının MSC.PATRAN programındaki görüntüsü Şekil 4.25'deki gibidir.



Şekil 4.25. Üçüncü aşama döngülerdeki eleman çıkarma işlemindeki ilerleme

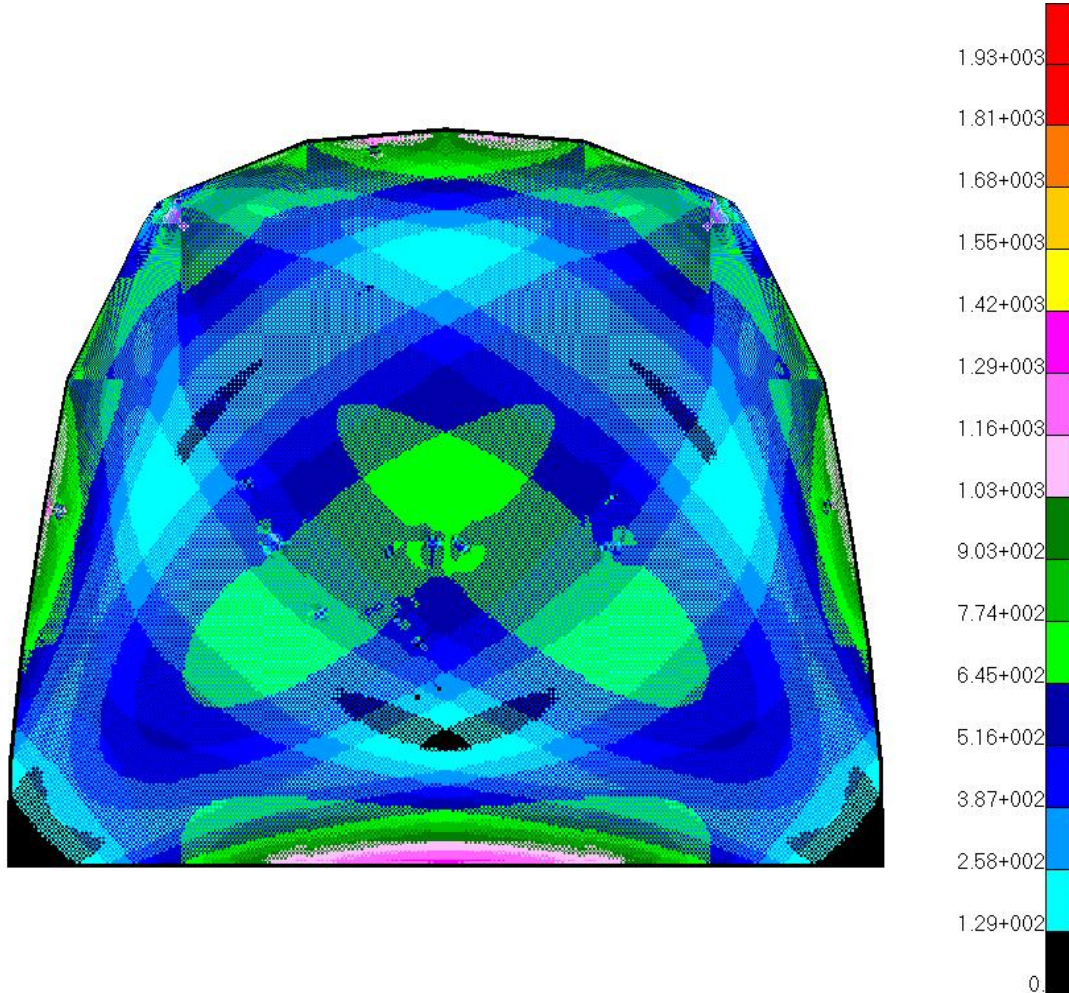
Süreç sonunda elde edilen yapının kalınlık dağılımı Şekil 4.26'da verildiğı gibidir.



Şekil 4.26. Optimizasyon sonucu elde edilen kalınlık dağılımı

Elde edilen yapının taban duvarında 2,5 mm kalınlık oluşmuştur. Flanşlarda ise 1,25 mm kalınlık kalmıştır. Taban duvarından flanşlara geçişte bölgesel olarak bazı kalınlık artışları gözlemlenmiştir.

Üçüncü iterasyon sonunda elde edilen yapının yük dağılımı Şekil 4.27'deki gibidir.



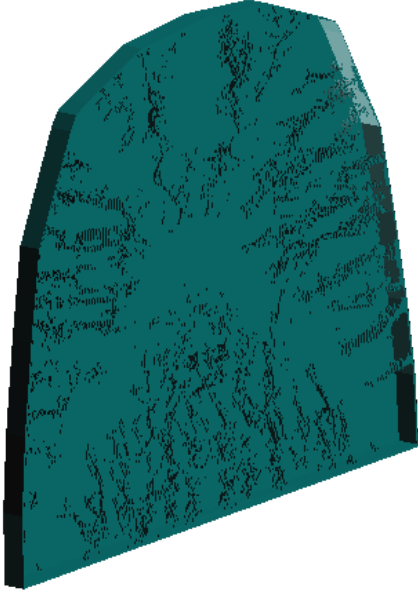
Şekil 4.27. Üçüncü aşama döngülerdeki elemanların merkezindeki yük dağılımı

Şekil 4.27'deki yük dağılımı incelendiğinde beklenildiği gibi parçanın merkezine doğru elemanların merkezlerindeki yük dağılımının arttığı gözlemlenmiştir. Optimizasyon prosesinin amaç fonksiyonlarından olan homojen yük dağılımı elde edilmiştir. Bu yüzden optimizasyon prosesi durdurulmuştur.

Optimizasyon sonucu elde edilen yapı incelendiğinde, beklenildiği gibi her kenarından tutulan plakanın merkezinde gerilme en yüksek seviyelere çıkmıştır. Yapının tutulduğu bölgeler ile merkezi arasında kalan bölgelerdeki elemanların yapıdan ilk çıkarılanlar olduğu gözlemlenmiştir. Bu davranış sonucu yapının

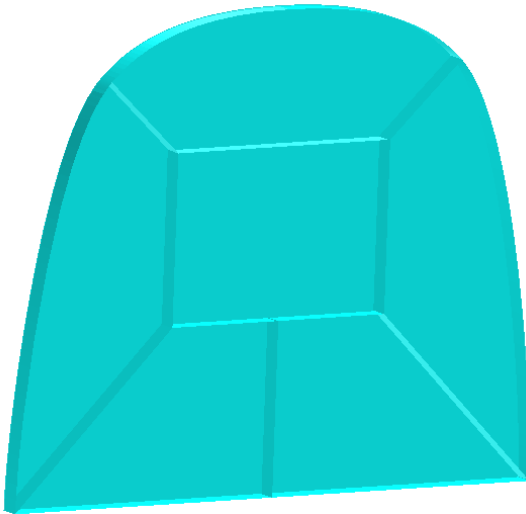
tutturulduğu bölgelerden merkeze gidildikçe gerilme seviyesi artmış bu da gerilmenin arttığı bölgelerde malzemenin yapıdan çıkarılmaması ile sonuçlanmıştır.

Şekil 4.27'deki elemanların gerilmeleri merkezde 650-700 MPa seviyelerine çıktığı gözlemlenmiştir. Aynı yapının tutulduğu yüzeylerinden basıncın uygulandığı duvar üzerine geçişlerde duvarın merkezinin hizasında gerilme seviyeleri bölgesel olarak 1160 - 1290 MPa seviyelerine çıkmaktadır. Bu değerler ile malzemenin akma sınırı olan 450 MPa karşılaştırıldığında parçanın belirtilen bölgelerde güçlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu güçlendirme çalışması iki şekilde yapılabilir. Bunlardan biri gerilme değerlerinin yüksek olduğu bölgelerdeki malzeme kalınlıklarını artırmak, bir diğeri ise o bölgelerde yapının atalet moment değerini artırarak gerilme değerlerini düşürmektir. Bu iki seçenek arasında karar verebilmek için yapının belirlenen bölgelerinde gerilmelerin artma sebebinin incelenmesi gerekmektedir. Bu bölgelerdeki gerilme değerleri optimizasyon sonucu elde edilen yapının basınç etkisi altında deformasyonu ve bu deformasyonun elemanlarda moment oluşturması sonucu artmaktadır. Bu şişmeyi önleyebilmek için yapının yükleme yönünde ataletini artırmamız gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için gerilmenin yüksek olduğu bölgelerde yapıya bazı takviye elemanları eklemek yapının kalınlığını artırmamızdan daha az malzeme ekleyerek atalet momentini artıracaktır. Bu aşamada optimizasyon sürecinde aralıklarla elde edilen yapıların görüntüsü incelendiğinde ikinci aşama %10 çıkarma oranı ile yapılan analiz sonucunda Şekil 4.28'deki görüntü elde edilmiştir.



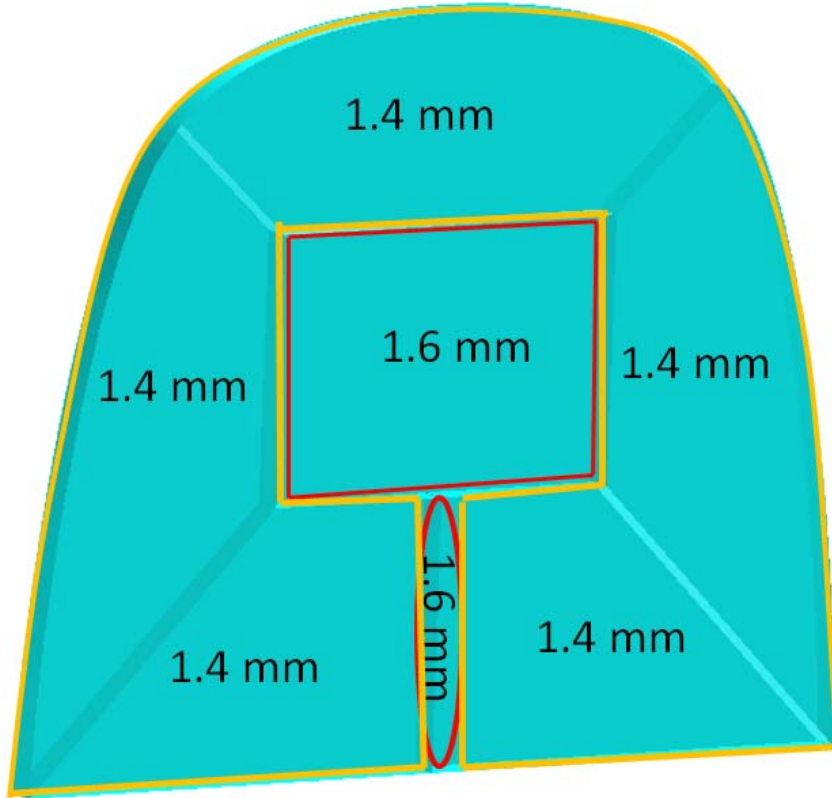
Şekil 4.28. İkinci aşama %10 çıkarma oranı sonucu elde edilen analiz modeli

Şekil 4.28 ile Şekil 4.27'deki gerilme dağılımları yan yana incelendiğinde gerilme dağılımının olduğu bölgelerde önceki iterasyonlarda takviye elemanları olduğu görülmektedir. Bu görüntüdeki elemanların oluşturduğu takviye elemanları sayısı yapılmak istenen sayıdan fazladır. Bu takviye elemanlarına benzer şekilde ve yapının ortasındaki gerilmeleri azaltma yönünde yapıya Şekil 4.29'da verildiği gibi takviye elemanları eklenmiştir.



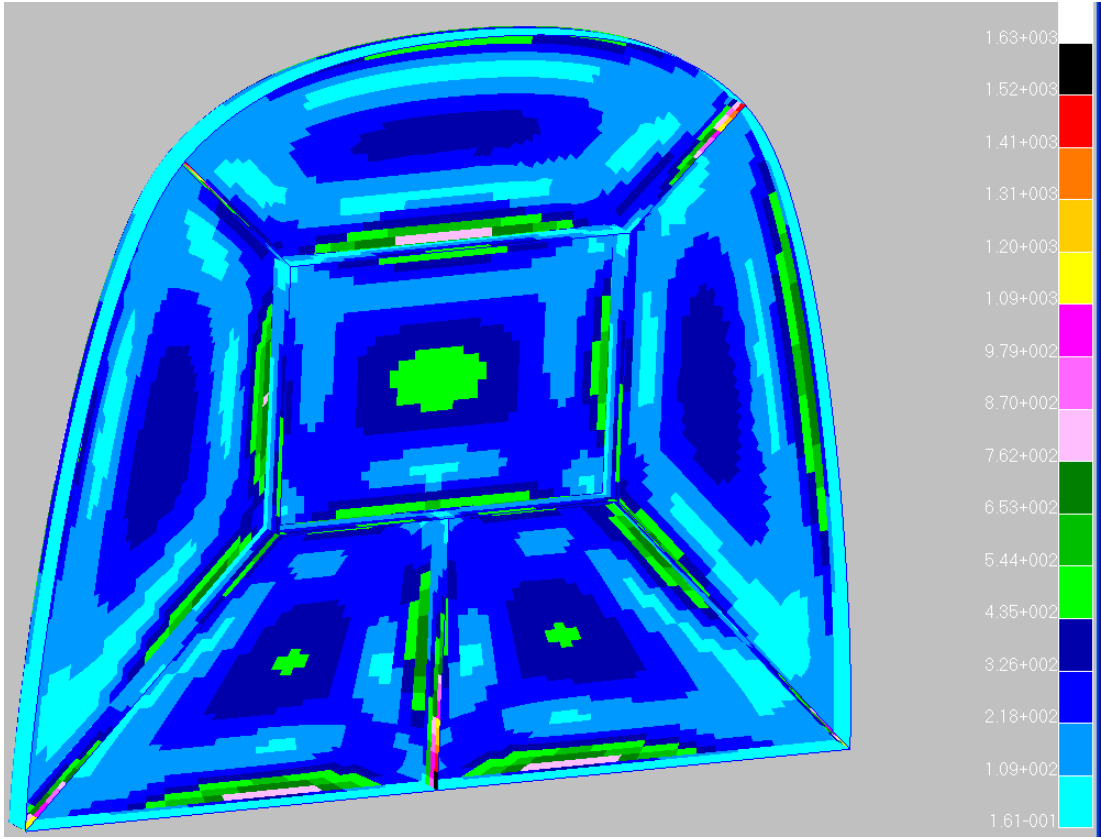
Şekil 4.29. Atalet artırıcı takviye elemanları eklenmiş model görüntüsü

Şekil 4.29'daki modelde her bölge için ayrı ayrı kalınlık haritaları Şekil 4.30'da gösterildiği gibi atanmıştır. Burada alt flanşın ortasından merkeze giden takviye elemanı ve parçanın merkezinin kalınlıkları 1,6mm geri kalan tüm yapı elemanları 1,4mm alınmıştır.



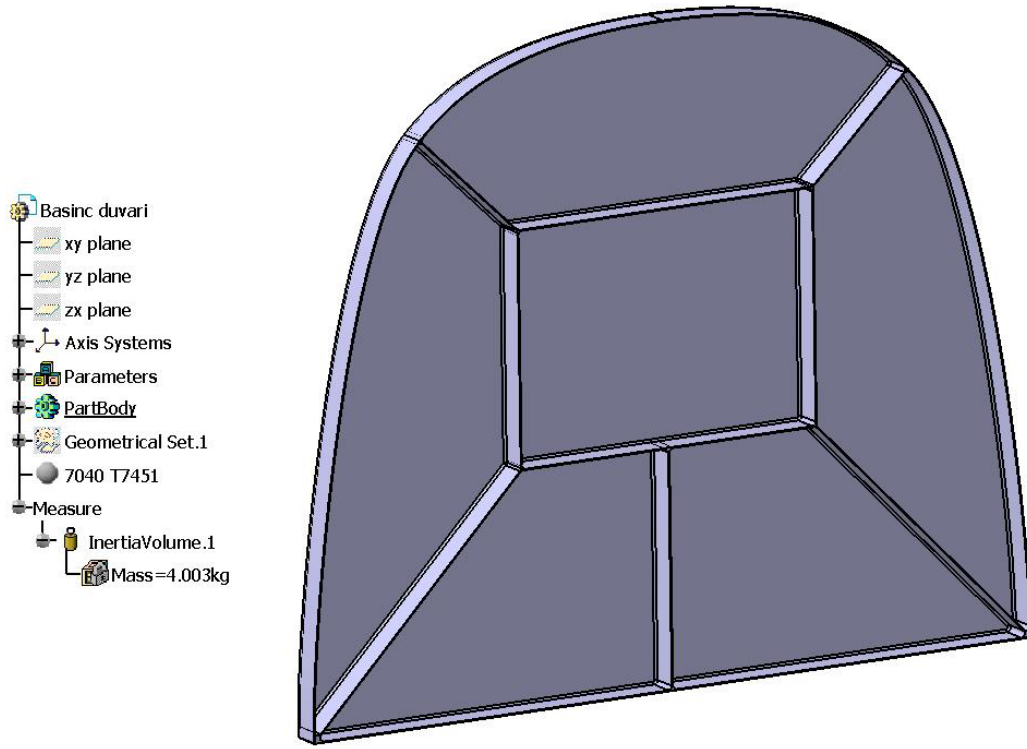
Şekil 4.30. Optimizasyon sonucu kalınlık haritası

Bu yapı MSC.PATRAN ve MSC.NASTRAN programı kullanılarak tekrar analiz edildiğinde Şekil 4.31'deki gibi bir gerilme dağılımının oluştuğu görülmüştür. Yapı incelendiğinde istenildiği gibi homojen bir gerilme dağılımı elde edilmiştir.



Şekil 4.31. Optimizasyon sonucu gerilme dağılımı

Elde edilen yapıda üretim kolaylığı için takviye elemanları ve flanş kenarlarında belirli bir oranda dip işleme yarıçapı eklenmiştir. Bu dip işleme yarıçapları aynı zamanda takviye elemanlarının ve flanşların kenarlarında Şekil 4.31’de görüldüğü gibi biriken gerilmeleri azaltan bir göreve sahip olacaktır. Bu kısıtlar da göz önünde bulundurularak yapılan yapının ağırlığını hesaplamak için yapı CATIA V5 programında modellenmiştir.



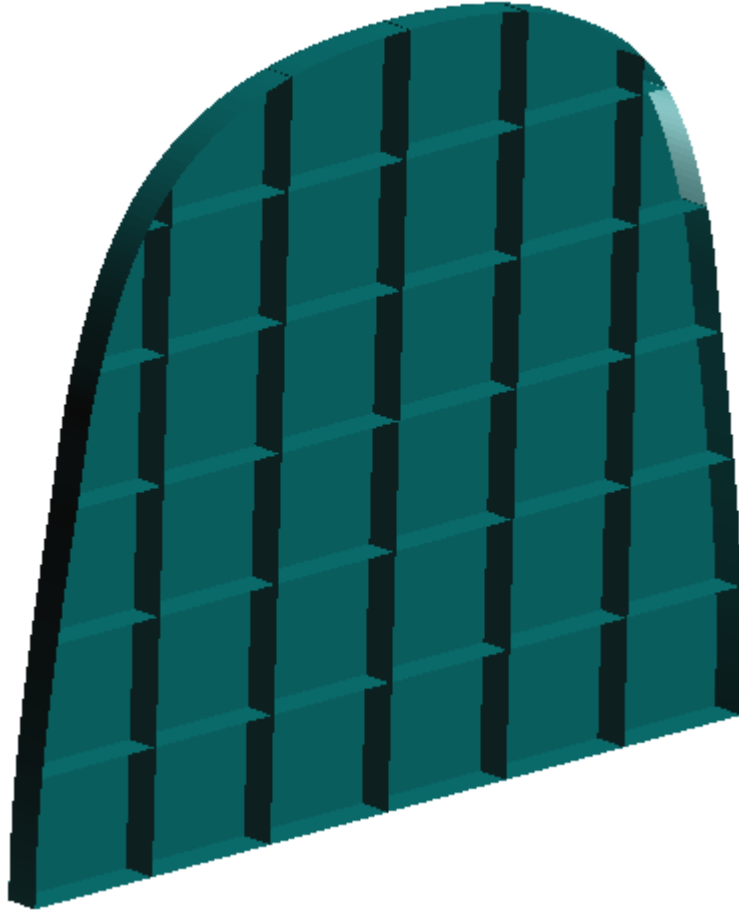
Şekil 4.32. Optimizasyon sonucu elde edilen yapının 3 boyutlu modeli

Şekil 4.31'deki yapının ağırlığı modellemeler sonucunda yaklaşık olarak 4,003 kg olarak ölçüldüğü Şekil 4.32'de verilmiştir..

4.7. Boyutsal Optimizasyon Analizi

Boyutsal optimizasyon endüstride bir çok alanda analiz çalışmalarında kullanılmaktadır. Boyutsal optimizasyon süreci yapılan kavramsal tasarım çalışmasından sonra yapının bileşenlerinin kalınlıklarının belirlenmesi için bir çok kombinasyonunun denendiği bir analiz çalışmasıdır. Yapıdaki benzer özelliklere ve görevlere sahip bileşenlerin aynı grup altında toplanması optimizasyon süresinde etkili yöntemlerden biridir.

Bu çalışmada incelenecek olan basınç duvarının kavramsal tasarımını aşağıdaki gibi yapılabilir.

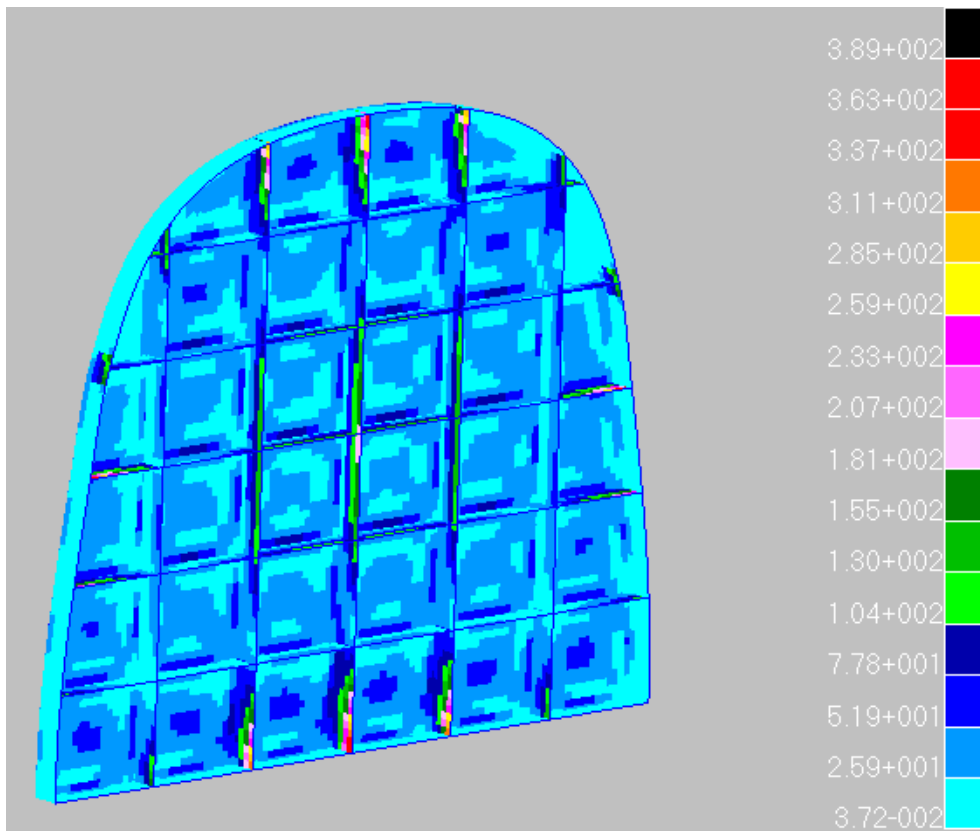


Şekil 4.33. Basınç duvarının iki boyutlu elemanlar kullanılarak yapılan sonlu elemanlar modeli

Basınç duvarının modelinde iki boyutlu analiz elemanları kullanılmıştır. Yapının içerisinde 5 yatay ve 5 dikey takviye elemanları kullanılmıştır. Boyutlandırma analizinde topoloji optimizasyonu çalışmasında yapıldığı gibi kenar flanşlardaki elemanlardan yapı tutturulmuş ve taban duvarındaki elemanlara da 4,5 psi'lik basınç yükü uygulanmıştır. Bu modelde boyutlandırma analizinin süresini kısaltabilmek için yapı içerisindeki elemanlar yapı içerisindeki görevlerine göre 2 grupta toplanmıştır. Bu gruplardan bir tanesi basınç yükünün uygulandığı ve yapı içerisinde asıl yük taşıyıcı görevi olan taban duvarıdır. Diğer grup ise kenar flanşları ve takviye elemanlarıdır. Analiz modelinde havacılık sanayisinde en çok kullanılan malzemelerden biri olan AL 7050 T7451 malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemenin özellikleri şu şekildedir: Amerika havacılık kurulunun yayınladığı MMPDS'den

alınan bilgilere göre alüminyum malzemenin öz kütlesi $2,83\text{g/cm}^3$, elastisite modülü $71,7\text{ GPa}$, Kayma modülü $26,9\text{ GPa}$ ve poisson sabiti $0,33$ olarak alınmıştır. Maksimum gerilme analizlerinde kullanılan izin verilebilir çekme gerilmesi (çekmeye göre akma gerilmesi sınırı) 450 MPa olarak alınmıştır [54].

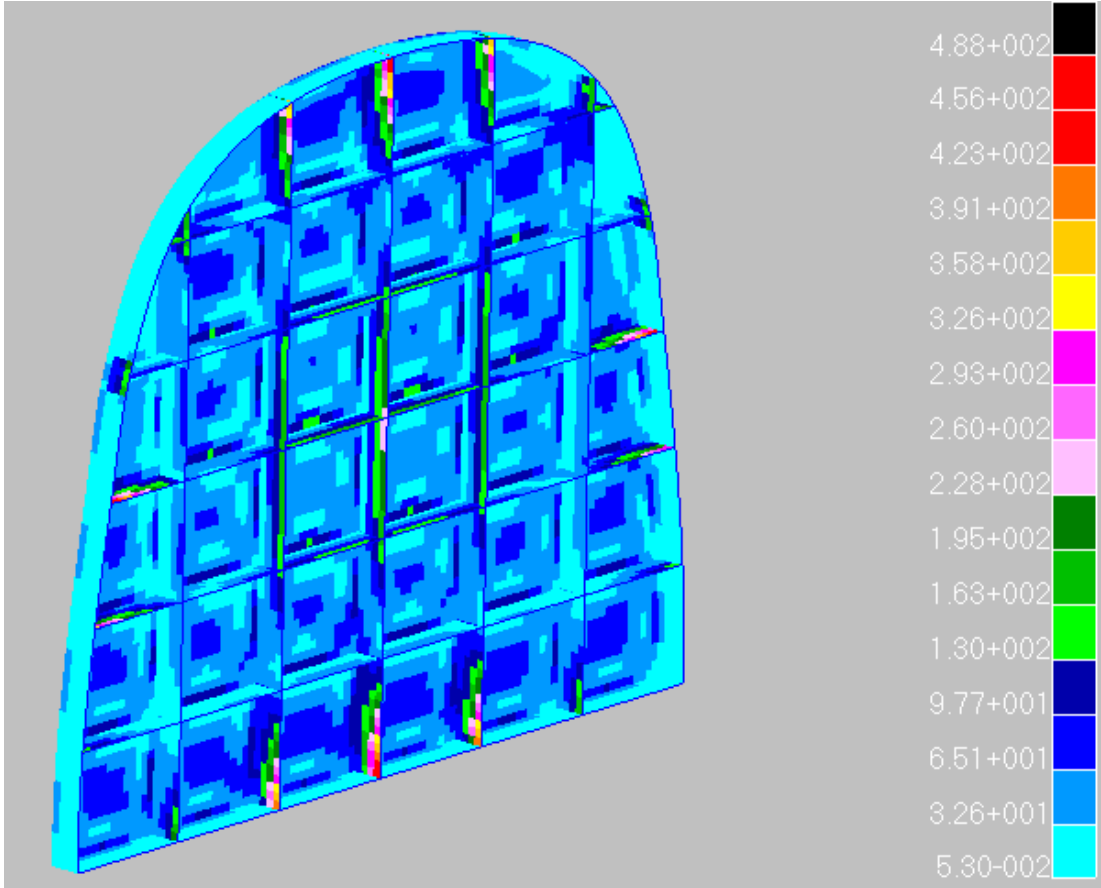
Yapılan ilk aşama analiz çalışmalarında her iki grup elemanlarında da 2 mm kalınlık kullanılmıştır. Basınç yükü altında sonlu elemanlar modelindeki gerilme dağılımı aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.34. 2 mm kalınlıktaki elemanlarda oluşan gerilme dağılımı

Şekil 4.34'de görüldüğü gibi basınç duvarının merkezinde oluşmasını beklediğimiz gerilme artışı o bölgede bulunan takviye elemanları tarafından alınmıştır. Diğer bazı takviye elemanlarında bölgesel gerilme birikimleri olmuştur. Fakat genel olarak bakıldığında zaman zaman taban duvarında oluşan gerilmeler düşük sayılabilecek mertebelere sahiptir.

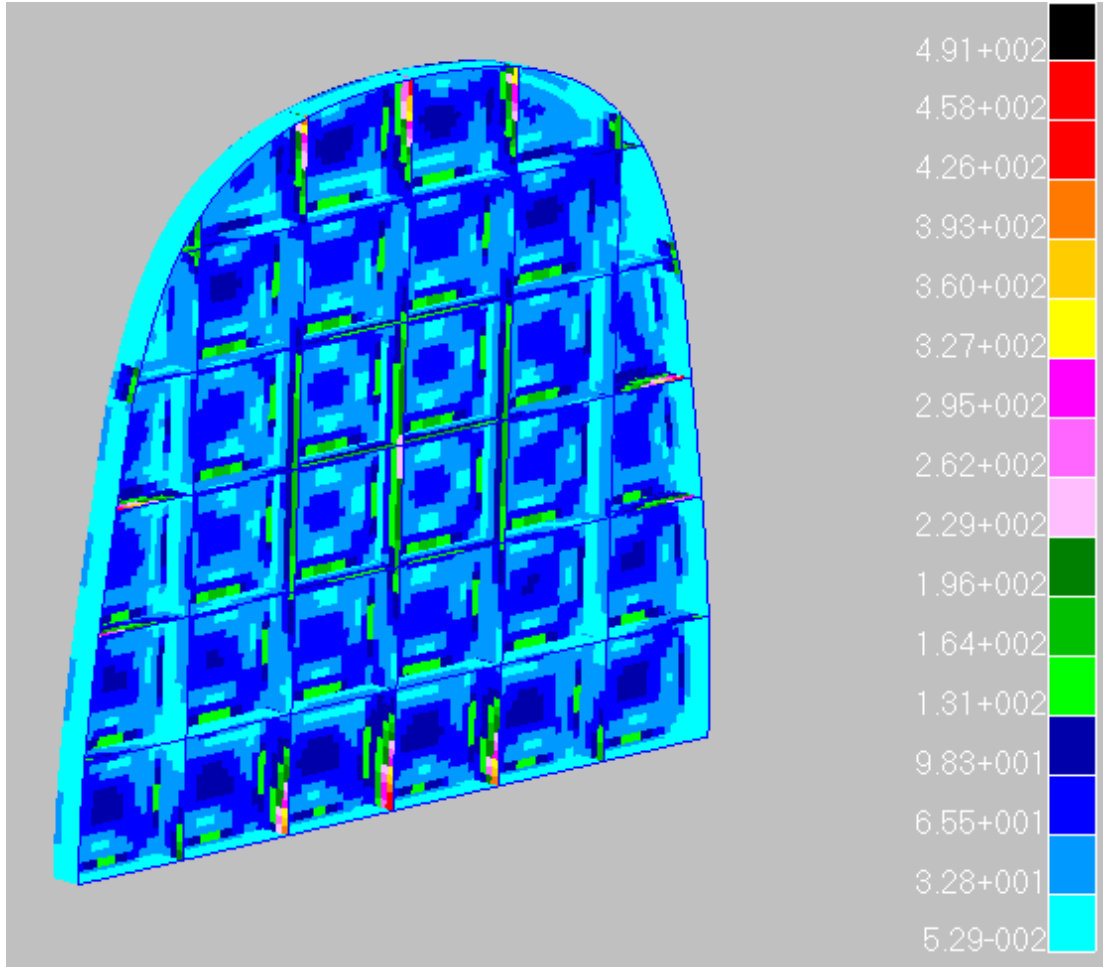
İlk aşamada iki grup elemanları içinde 2 mm olarak verilen eleman kalınlıkları ikinci aşama çalışmalarda 1,6 mm olarak düşürülmüştür. İkinci aşamada yeni eleman kalınlıkları ile yapılan analiz sonucunda gerilme dağılımı aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.35. 1,6mm kalınlıktaki elemanlarda oluşan gerilme dağılımı

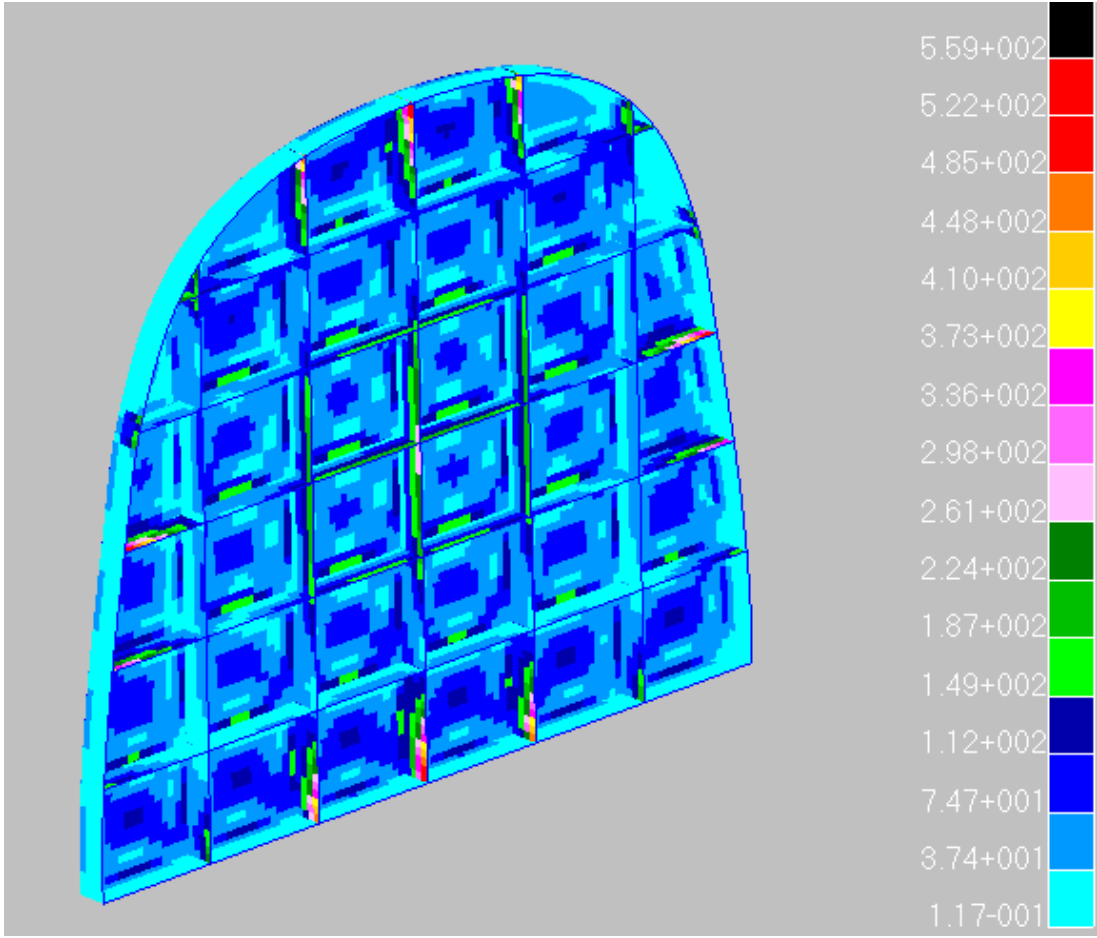
Şekil 4.35’de görüldüğü gibi elemanlar üzerindeki gerilmeler artmıştır fakat homojen bir dağılım elde edilememiştir. Elde edilen bu dağılımı daha homojen bir şekilde getirebilmek için taban duvarının kalınlıkları bir sonraki aşamada 1,4 mm olarak alınacaktır. Flanşlardaki kalınlıklar ise mevcut kalınlık olan 1,6 mm’de tutulacaktır.

Güncellenen kalınlıklar ile yapılan analiz sonucunda Şekil 4.36’daki gerilme dağılımı elde edilmiştir.



Şekil 4.36. 1,6mm kalınlıktaki flanşlar ve 1.4mm kalınlıktaki taban duvarındaki elemanlarda oluşan gerilme dağılımı

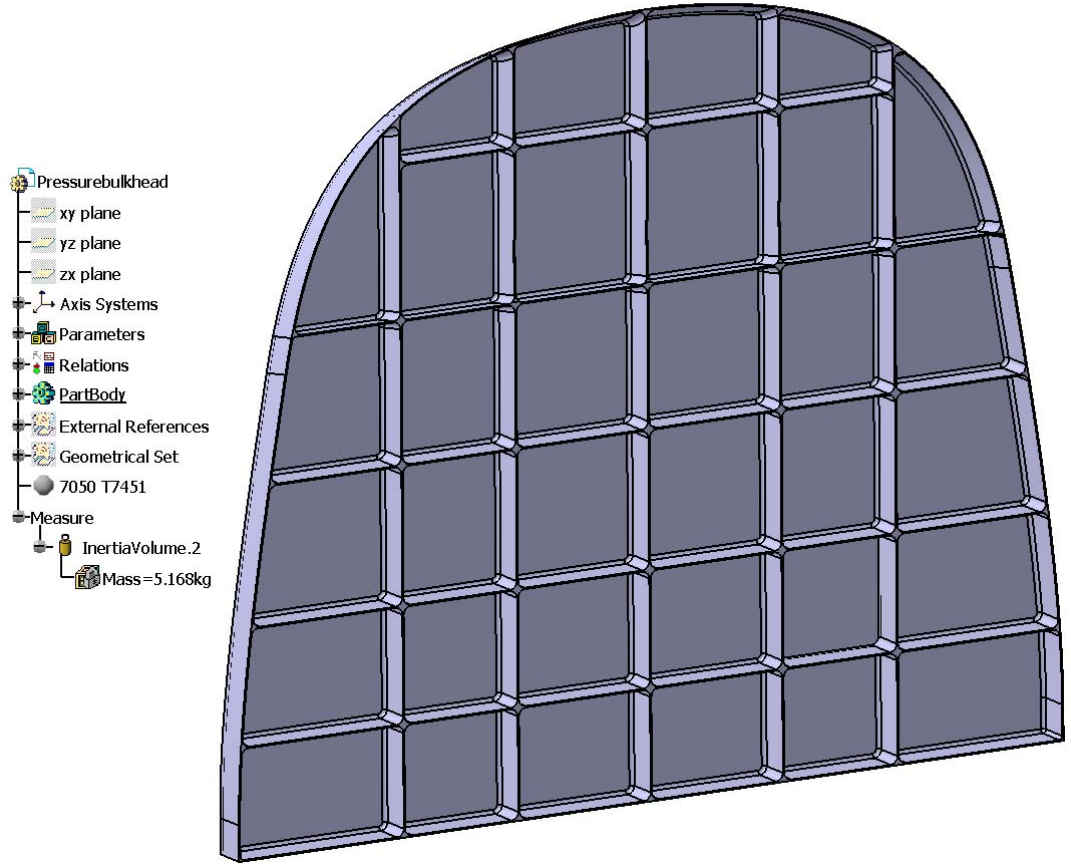
Bu kalınlıklar ile elde edilen gerilme dağılımları incelendiğinde yapı üzerindeki gerilmeler daha homojenleşmiştir. Fakat gerilme değerleri göz önünde tutulduğunda yapıdaki kalınlıklarda inceltmelerin devam edebileceği görülmektedir. Bu bilgiler ışığında flanş ve taban duvarlarındaki kalınlıkların her ikisi de 1,4 mm olacak şekilde yeni bir analiz başlatılmıştır.



Şekil 4.37. 1,4mm kalınlıktaki elemanlarda oluşan gerilme dağılımı

1,4 mm kalınlık için elde edilen gerilmeler Şekil 4.37'deki gibidir. Bu aşamada elde edilen kalınlıklar ve yapıdaki gerilmeler beklenen seviyelere gelmiştir. Bu kalınlıklar bir plakada işleme kalınlıkları için en düşük seviyelerdendir. Dolayısı ile yapının üretim açısından da kalınlıkları indirilebilecek en düşük seviyelere gelmiştir.

Boyutlandırma analizi sonucunda elde edilen yapının modeli Şekil 4.38'de verildiği gibidir. Buradaki yapı incelendiğinde yapının ağırlığının 5,168 kg olduğu görülmüştür.



Şekil 4.38. Boyutlandırma analizi sonucu elde edilen modeli ve ağırlığı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çift kişilik tandem oturumlu bir uçağın basınçlı kabininin ön basınç duvarının yapısal optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu optimizasyon çalışmasında topolojik optimizasyon temel alınmıştır. Optimizasyon prosesinde kullanılan EA programı Visual Basic 6.0 programlama dilinde yazılmıştır. Bu program var olan EA programının, belirlenen kritik yükleme senaryosuna uygun olarak istenen optimizasyon problemine uyarlanmasından ve bu çerçevede geliştirilmesinden oluşmaktadır. Topolojik optimizasyon çalışması sonucunda elde edilen yapı, boyutsal analizi yapılan yapı ile karşılaştırılmıştır.

Topoloji optimizasyonu sonucu elde edilen yapı ile boyutsal analizi tamamlanan yapı karşılaştırıldığında boyutsal analizi yapılan yapıda gereksiz yatay ve dikey elemanlar kullanıldığı ve bunun da fazladan ağırlık olarak yapıya yansıdığı görülmektedir. Ayrıca optimizasyonu yapılan yapının üzerindeki elemanlar daha fazla yüklenmiş durumdadır. İki yapının ağırlıkları incelendiğinde aralarında 1160 gramlık bir fark oluşmuş bu da yapının toplam ağırlığı göz önüne alındığında %25 gibi bir değerde hafifleme olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, evrimsel algoritma ile topoloji optimizasyonu yönteminin bir uçak parçasına uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda parçanın konsept tasarım aşamasında bu yöntemin kullanılabileceği ortaya çıkmıştır fakat optimizasyon sonucunda elde edilen yapının olduğu gibi kullanılabilmesi mümkün gözükmemiştir. Burada tasarımcı tarafından sebep sonuç ilişkisi takip edilerek bazı yorumların eklenmesi gerekmektedir. Bu yöntemin avantajlarından bir tanesi konsept tasarım safhasında gereksiz eleman kullanılmasının önlenmesini sağlamasıdır. Yetersizliği ise parçadan devamlı eleman çıkarma yöntemi kullanılması parçada kalması amaç fonksiyonuna daha çok yaklaştıracak elemanların da çıkmasına sebep olmaktadır.

Bu aşamada optimizasyon süreci içinde döngülerin bazılarının sonuçları bizi en iyiye ulaştırmak için bir ip ucu niteliğindedir. Yorumlamalar sonucu optimize edilen yapının ağırlığı yaklaşık olarak %25 azaltılmıştır. Bu azalma bir uçak parçası için

yüksek bir oran olarak gözükmetedir. Havacılık endüstrisinde uçakların performansı ve maliyeti açısından çok önemli bir ölçüt olan ağırlık topolojik optimizasyon süreçleri sonucunda optimize edilmiştir.

Bir uçak parçasının evrimsel algoritmalar ile topolojik optimizasyonunun yapılmasında bundan sonraki çalışmalarda sadece eleman çıkarma yöntemi değil, bununla birlikte yapıda gerilmelerin fazla olduğu bölgelere eleman eklenmesine de imkan tanıyan bir algoritma kullanılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Schmidt, L. A., “Structural Synthesis – Its Genesis and development”, *AIAA Journal*, 19 (10): 1249-1263 (1981).
2. Sheu, C. Y., Prager, W., “Recent Developments in Optimal Structural Design”, *Applied Mechanics Reviews*, 21 (10): 985-992 (1968).
3. Çiftçi E., “Evolutionary algorithms in design”, Master of Science Thesis, *The Graduate School of Natural and Applied Science of Middle East Technical University*, Ankara, 5-11 (2006).
4. Wasiutynski, Z., Brandt, A., “The Present State of Knowledge in the Field of Optimum Design of Structures”, *Applied mechanics Review*, 16 (5): 341–350 (1963).
5. Rabinovich, I. M. “On The Theory of Statically Indeterminate Lattices”, *Centr. Inst. Transp. Stroit*, 1-55 (1933).
6. Wasiutynski, Z., “The Strength Design (In Polish)”, *Acad. Tech. Sci.*, Warsaw, Poland, 1-109 (1939).
7. Prager, W., “Minimum Weight Design of Plates”, *Applied Mechanics Review*, 9: 141-142 (1956).
8. Haftka, R. T., Kamat, M. P., “Elements of Structural Optimization”, *Martinus Nijhoff Publishers*, The Netherlands, 1-133 (1985).
9. Rao, S. S., “Engineering Optimization, Theory and Practice 3rd ed.” , *John Wiley & Sons Inc. Press*, USA, 1-129 (1996).
10. Vanderplaats, G. N., “Numerical Optimization Techniques for Engineering Design with Applications”, *McGraw-Hill*, USA, 50-330 (1984).
11. Belegundu, A. D., Chandrupatla, T. R., “Optimization Concepts and Applications in Engineering” , *Prentice Hall Inc.*, New Jersey, 250-432 (1999).
12. Haftka, R. T., Gürdal, Z., “Elements of Structural Optimization”, *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 300-450 (1990).
13. Allaire, G., Kohn, R. V., “Topology Optimization and Optimal Shape Design Using Homogenisation”, Bendsøe, M. P., Mota Soares, C. A., (Eds.) *Topology Design of Structures*, *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, Netherlands, 207-218 (1993).

14. Charbonneau, P., "An Introduction to Genetic Algorithms for Numerical Optimization", *NCAR Technical Note*, Colorado, 17-27 (2002).
15. McCall, J., "Genetic Algorithms for Modelling and Optimization", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 184: 205-222 (2005).
16. Niu, M. C. Y., "Airframe Structural Design 2nd ed. ", *Con Milit Press*, Hong Kong, 119-162 (1999).
17. Bruhn, E. F., "Analysis and Design of Flight Vehicle Structures", *Tri-State Offset Company*, U.S.A, 670-735 (1965).
18. Viana, F., Steffen, V., "Optimization of an Aircraft Structural components by using nature-inspired algorithms and multi-fidelity approximation", *Springer Science & Business Media*, 45(3): 427-449 (2008).
19. Gallagher, R. H., Zienkiewicz, R. H., "Optimum Structural Design", *John Wiley and Sons*, 133-358 (1973).
20. Huang X., Xie Y. M., "Evolutionary Topology Optimization of Continuum Structures: Methods and Applications", *John Wiley & Sons*, New Delhi, India, 5-150 (2010).
21. Prager, W., Rozvany, G. I. N., "Optimization of Structural Geometry", Bednarek, A. R., Cesarj, L., (Eds.) *Dynamical Systems*, *Academic Press*, New York, 265-293 (1977).
22. Rozvany, G. I. N., Bendsøe, M. P., Kirsch, U., "Layout Optimization of Structures", *Applied Mechanics Review*, 48 (2): 41-119 (1995).
23. Bendsøe, M. P., "Optimization of Structural Topology", Shape and Material, Springer, Berlin, Germany, Carmichael, D., G., "Computation of Pareto Optimal in Structural Design", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 15: 925-952 (1995).
24. Bendsøe, M. P., Kikuchi, N., "Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenisation Method", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 71: 197-224 (1988).
25. Maute, K., Ramm, E., "Adaptive Topology Optimization", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 10: 100-112 (1995).
26. Xie, Y. M., Steven, G. P., "Evolutionary Structural Optimization", *Springer-Verlag*, London, UK, 1-188 (1997).

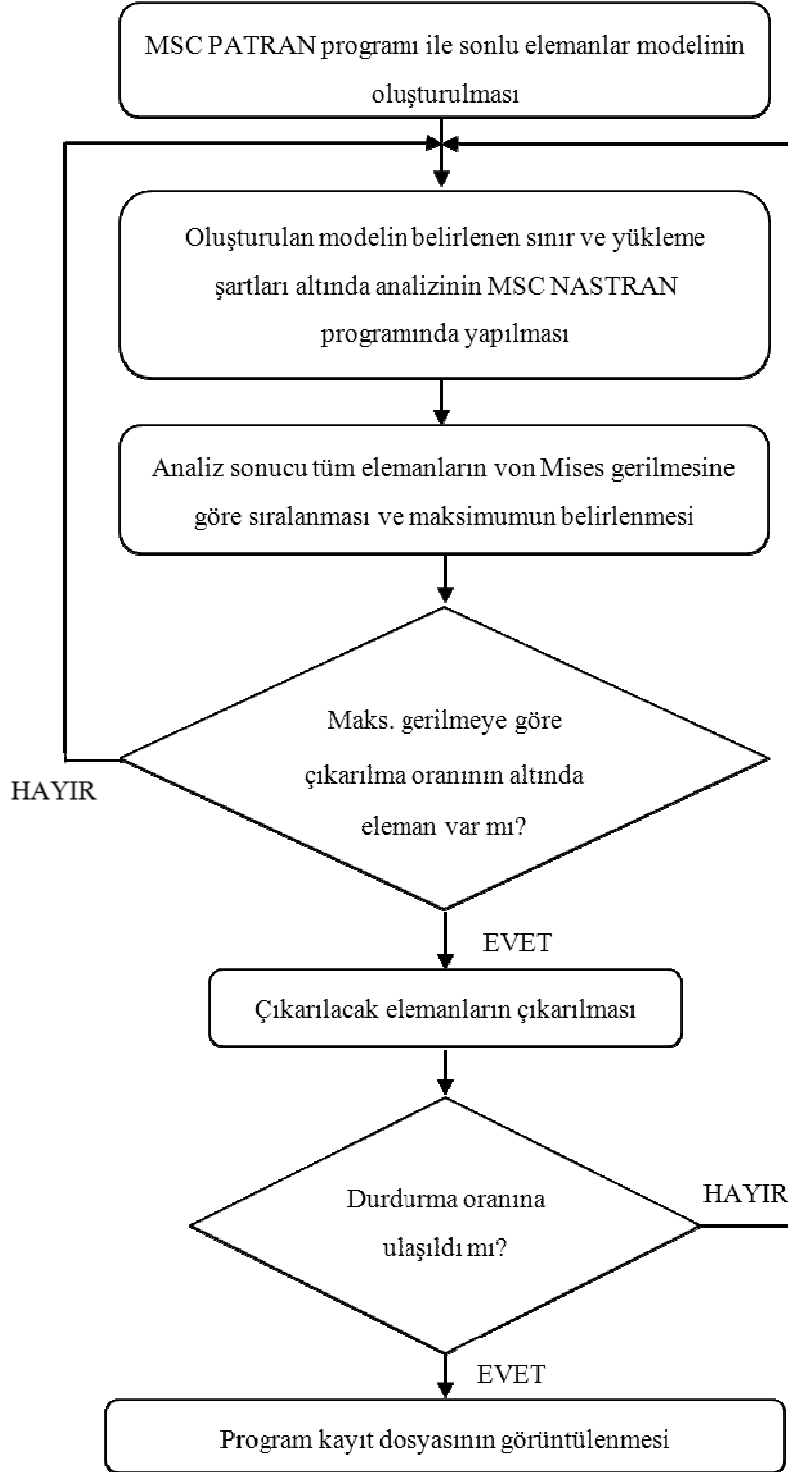
27. Goldberg, D. E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", *Addison-Wesley*, USA, 1-7 (1989).
28. Woon, S. Y., Tong, L., Querin, O. M., Steven, G. P., "Optimising Topologies Through a Multi-GA System, *The Fifth World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization (WCSMO-5)*, Italy, 229-230 (2003).
29. Querin, O. M., "Evolutionary Structural Optimisation: Stress Based Formulation and Implementation", Doctorate Thesis, School of Aeronautical, *Mechatronic and Mechanical Engineering, University of Sydney*, Australia, 15-184 (1997).
30. Kristensen, E., Madsen, N., "On the Optimum Shape of Fillets in Plates Subject to Multiple In-Plane Loading Cases", *International Journal of Numerical Methods in Engineering*, 10: 1007-1019 (1972).
31. Mattheck, C., Moldenhauer, H., "An Intelligent CAD-Method Based on Biological Growth", *Fatigue and Fracture of Engineering Material and Structures*, 13: 41-51 (1990).
32. Dehneliler S., "Bir uçağın yatay dengeleyicisinin genetik algoritma yöntemi ile yapısal optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-70 (2006).
33. Chu, D. N., Xie, Y. M., Hira, A., Steven, G. P., "Evolutionary Structural Optimization for Problems with Stiffness Constraints", *Finite elements in Analysis and Design*, 21: 239-251 (1996).
34. Li, Q., Steven, G. P., Xie, Y. M., "Evolutionary Shape Optimization A Stress Based Sensitivity Analysis Method", *Proceedings of the Second Australian Congress on Applied Mechanics ACAM '99*, Canberra, 40-50 (1999).
35. Manickarajah, D., Xie, Y. M., Steven, G. P., "An Evolutionary Method for Optimization of Plate Buckling Resistance", *Finite Elements in Analysis and Design*, 29: 205-230 (1998).
36. Li, Q., "Evolutionary Structural Optimization for Thermal and Mechanical Problems", Doctorate Thesis, School of Aeronautical, *Mechatronic and Mechanical Engineering, University of Sydney*, Australia, 1-47 (2000).
37. Young, V., Querin, O. M., Steven, G. P., Xie, Y. M., "3D and Multiple Load Case Bi-directional Evolutionary Structural Optimisation (BESO)", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 18: 183-192 (1999).
38. Lencus, A., Querin, O. M., Steven, G. P., Xie, Y. M., "Modifications to the Evolutionary Structural Optimization (ESO) Method to Support Configurational Optimization", *CD-Rom Proceedings of the 3rd World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization*, New York, USA, 17-22 (1999).

39. Lencus, A., Querin, O. M., Steven, G. P., Xie, Y. M., "Group ESO with Morphing", *First ASMO UK / ISSMO Conference on Engineering Design Optimization*, Ilkley, UK, 241-248 (1999)
40. Falzon, B. G., Steven, G. P., Xie, Y. M., "Shape Optimization of Interior Cutouts in Composite Panels", *Structural Optimization*, 11: 43-49 (1996).
41. Querin, O. M., Steven, G. P., Xie, Y. M., "Topology Optimization of Structures with Material and Geometric Non-Linearities", *Sixth IAA/NASA/USAF/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization*, Bellevue, Washington, USA, 4-6th September, 1812-1818 (1996)
42. Kim, H., Querin, O. M., Steven, G. P. (2000), "Post-Processing of the Two-Dimensional Evolutionary Structural Optimization Topologies", Parmee, I., C., (Ed.) *Evolutionary Design and Manufacture: Selected Papers from Adaptive Computing in Design and Manufacture*, Springer, UK, 33-44 (2000).
43. Li, W., Steven, G. P., Xie, Y. M., "Shape Design for Elastic Contact Problems by Evolutionary Structural Optimization", *Seventh AIAA/NASA/USAF/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization*, St Louis, Missouri, USA, 2-4th September, 1108-1114 (1998).
44. Guan, H., Steven, G., P., Querin, O., M., Xie, Y., M., "Design of Wheels by the Evolutionary Structural Optimization Method", *Proceedings of EPMESC VI – the Sixth International Conference on Education and Practice of Computational Methods in Engineering and Science*, Guangzhou, China, 4th-7th August, 1: 203-208 (1997).
45. Barton, A. C., Steven, G. P., Querin, O. M., Xie, Y. M., "Minimising Material Usage in a Plastic Milk Crate through Structural Optimisation", Schäfer, A., I., Basson, L., Richards, B., S., (Eds.) *Environmental Engineering Research Event, Environmental Engineering in Australia: Opportunities and challenges*, Avoca Beach, Australia, 7th-9th December, 135-140 (1998).
46. Arora, J. S., "Introduction to Optimum Design", *McGraw-Hill Book Company*, 1-728 (1989)
47. Guan H., Chen Y. J, Loo Y. C., Xie Y. M., Steven G. P., "Bridge topology optimization with stress, displacement and frequency constraints", *Computers & Structures*, 81: 131-145 (2003)
48. D.Nha Chu, Xie Y. M., Hira A., Steven G. P., "On various aspects of evolutionary structural optimization for problems with stiffness constraints", *Finite Elements in Analysis and Design*, 24: 197-212 (1997)

49. Thomas P., “Trees: Their Natural History”, *Cambridge University Press*, Cambridge, UK, 1-286 (2000).
50. Usluoğulları Ö. F., “Evrimsel yapı optimizasyonu yönteminin incelenmesi ve uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 17-23 (2006).
51. Mattheck C., “Design in Nature: Learning from Trees”, *Springer*, Berlin, 1- 276 (1998).
52. Xie Y. M., Steven G. P., “A simple evolutionary procedure for structural optimization”, *Computers and Structures*, 4: 885-896 (1993)
53. Steven G. P., Li Q., Xie Y. M., “Multicriteria optimization that minimizes maximum stress end maximizes stiffness”, *Computers & Structures*, 80: 2433-2448 (2002).
54. Federal Aviation Administration, “*Metallic materials properties development and standardization - 04 (MMPDS)*”, FAA, USA, B: 3-1 - 3-380 (2008).

EKLER

EK-1. Algoritma döngü ağacı



Şekil 1.1. Algoritma döngü ağacı

EK-2. Döngülerdeki elemanların gerilmesi ve çıkarma oranı

İlk aşama döngülerin sonunda kayıtlar incelendiğinde Çizelge 2.1 ortaya çıkmıştır.

Çizelge 2.1. İlk döngüdeki elemanların gerilmesi ve çıkarma oranı tablosu

Çıkarma Oranı	Çıkan Eleman Sayısı	Maks. von Mises gerilmesi (MPa)
1%	0	6,397879
2%	38	6,397879
3%	152	6,397917
4%	126	6,398276
5%	188	6,398384
6%	550	6,3987
7%	878	6,399913
8%	3072	6,405182
9%	2008	6,705225
10%	1332	6,754818
11%	1434	6,763949
12%	1998	6,788968
13%	2242	6,795257
14%	1618	6,80044
15%	1656	6,794137
16%	1770	6,812069
17%	1726	6,864025
18%	1754	6,91459
19%	2196	6,963523
20%	2242	7,070858
21%	2028	7,164701
22%	2002	7,245816
23%	2076	7,400302
24%	1968	7,604502
25%	1691	7,739734
26%	2633	8,414886
27%	2237	8,654726
28%	19505	24,37875
29%	266	103,1025
30%	0	103,1
31%	2	103,1
32%	2	103,0969
33%	0	103,0953

EK-2. (Devam) Döngülerdeki elemanların gerilmesi ve çıkarma oranı

Çizelge 2.1. (Devam) İlk döngüdeki elemanların gerilmesi ve çıkarma oranı tablosu

34%	0	103,0953
35%	0	103,0953
36%	0	103,0953

İkinci aşama döngüler sonunda kayıtlar incelendiğinde Çizelge 2.2 ortaya çıkmıştır.

Çizelge 2.1. İkinci aşama detaylandırılmış analiz modelindeki elemanların gerilme ve algoritma çıkarma oranı tablosu

Çıkarma Oranı	Çıkan Eleman Sayısı	Maks. von Mises gerilmesi (MPa)
1%	3756	49,63602
2%	4024	49,6531
3%	7120	50,10322
4%	9728	50,21111
5%	15619	50,42332
6%	19539	50,83863
7%	33349	55,48383
8%	31760	63,68581
9%	23322	73,7554
10%	45256	142,1096
11%	10077	1101,246
12%	545	1250,259
13%	116	1293,054
14%	1618	1299,086
15%	20	1250,135
16%	500	1248,449
17%	17	1243,104
18%	45	1229,911

Üçüncü aşama döngülerdeki kayıtlar incelendiğinde Çizelge 2.3 ortaya çıkmıştır.

Çizelge 2.2. Üçüncü aşama detaylandırılmış analiz modelindeki elemanlardaki gerilme ve algoritma çıkarma oranı tablosu

Çıkarma Oranı	Çıkan Eleman Sayısı	Maks. Von Mises gerilmesi (MPa)
1%	39414	1935,6
2%	2006	1934,006

EK-3. Örnek algoritma çıktısı

TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU İÇİN KAYIT DOSYASI

EMRE YABAN

PRORAM BAŞLAMA ZAMANI 19:24:01.

MAXIMUM VON MISES STRESS OF THE WHOLE STRUCTURE IS 6.397879 MPA ON ELEMENT 73842.

THE CURRENT REMOVAL RATIO IS 1 %.

ELEMENT NO VON MISSES STRESS (MPa)

0 ELEMENTS ARE REMOVED. THE NUMBER OF REMAINING ELEMENTS IS 73216.

THE ITERATION 1 IS COMPLETED AT 20:10:02.

MAXIMUM VON MISES STRESS OF THE WHOLE STRUCTURE IS 6.397879 MPA ON ELEMENT 73842.

THE CURRENT REMOVAL RATIO IS 2 %.

ELEMENT NO VON MISSES STRESS (MPa)

27470	0.1151266
28486	0.1151266
36622	0.08141758
36623	0.09650364
36624	0.1083608
36625	0.125657
36634	0.09792577
36635	0.1128227
36636	0.1211783
36646	0.1120316
36647	0.1241068
36648	0.1252544
36661	0.1257998
36674	0.1274998
37638	0.08141758
37639	0.09792577
37640	0.1120316
37658	0.09650364
37659	0.1128227
37660	0.1241068

EK-3. (Devam) Örnek algoritma çıktısı

37678	0.1083608
37679	0.1211783
37680	0.1252544
37698	0.125657
37701	0.1257998
37722	0.1274998
45774	0.0876141
45775	0.1056253
45776	0.1181731
45786	0.1071871
45787	0.126165
45798	0.1218745
46790	0.0876141
46791	0.1071871
46792	0.1218745
46810	0.1056253
46811	0.126165
46830	0.1181731

38 ELEMENTS ARE REMOVED. THE NUMBER OF REMAINING ELEMENTS IS 73178.

THE ITERATION 2 IS COMPLETED AT 20:57:00.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : YABAN, Emre
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 07.10.1984 Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 811 18 00 – 7570
:0 535 838 76 17
Faks : 0 (312) 811 14 25
E-mail : eyaban@tai.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üni./ Makine Mühendisliği Bölümü	2007
Lise	Çankaya Atatürk Anadolu Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-	TAI	Yapısal Tasarım Mühendisi
2007-2008	Cematek Mak. İm.	Tasarım Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca