

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UYDU FIRLATMA ARAÇLARINDA KULLANILAN FAYDALI YÜK
KAPSÜLÜNÜN YAPISAL TASARIMININ ENİYİLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan ATAR

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erdem ACAR

NİSAN 2016

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....
Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....
Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 131511016 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hakan ATAR**'ın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**UYDU FIRLATMA ARAÇLARINDA KULLANILAN FAYDALI YÜK KAPSÜLÜNÜN YAPISAL TASARIMININ ENİYİLENMESİ**” başlıklı tezi **08, Nisan, 2016** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Erdem ACAR**
TOBB Ekonomik ve Teknoloji Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mehmet Ali GÜLER (Başkan)**
TOBB Ekonomik ve Teknoloji Üniversitesi

Doç. Dr. Melin ŞAHİN
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Hakan ATAR

ÖZET

Yüksek Lisans

UYDU FIRLATMA ARAÇLARINDA KULLANILAN FAYDALI YÜK KAPSÜLÜNÜN YAPISAL TASARIMININ ENİYİLENMESİ

Hakan ATAR

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Erdem ACAR

Tarih: Nisan 2016

Uydu Fırlatma Aracı; uydu, çeşitli deney araçlar, gözlem robotları gibi Faydalı Yüklerin atmosfer dışına taşınması ve istenilen yörüngeye yerleştirilmesi amacıyla kullanılan bir sistemdir. Faydalı Yük, Faydalı Yük Kapsülü ismi verilen ve Faydalı Yükü uçuş koşullarında maruz kalacağı çevresel etkilerden koruyan bir kapsül içerisinde taşınır.

Uydu Fırlatma Araçlarının tasarımında öne çıkan ölçütlerden en önemlisi taşınabilen Faydalı Yük ağırlığıdır. Bir Uydu Fırlatma Aracı ile taşınabilecek Faydalı Yük ağırlığını artırabilmenin başlıca yollarından biri, Faydalı Yük için ayrılan hacmi koruyarak Faydalı Yük Kapsülü ağırlığını enküçükmektir. Bu tezde Faydalı Yük Kapsülü tasarımının, istenilen hacimdeki Faydalı Yükü uçuş koşullarından gelen aerodinamik ve ataletsel yükler gibi etkilere karşı dayanıklı olacak şekilde en düşük ağırlıkta yapılabilmesi hedeflenmiş ve bir Eniyileme Sistemi geliştirilmiştir. Eniyileme Sistemi'ne Faydalı Yük Kapsülü tasarımını eniyilemek amacıyla Tabu Arama sezgisel yöntemi entegre edilmiştir. Tabu Arama entegre edilmiş Eniyileme Sistemi ile mevcut Faydalı Yük Kapsülü tasarımının tümkomşu konfigürasyonları değerlendirme altına alınmaktadır. Faydalı Yük Kapsülü konfigürasyonlarının

yapısal dayanımlarının uçuş şartlarına uyumlu olduğu saptanarak gerekli tasarım değişiklikleri gerçekleştirilmektedir. Faydalı Yük Kapsülü konfigürasyonlarının yapısal dayanımını değerlendirmek amacıyla Eniyileme Sistemi'ne yapısal analiz programı entegre edilerek otomatize bir sistem haline getirilmiştir. Tabu Arama ile ağırlığı enküçüklenmiş ve yapısal dayanımı uygun olan Faydalı Yük Kapsülü konfigürasyonu seçilmesi sağlanmıştır.Tabu Arama entegre Eniyileme Sistemi, Faydalı Yük Kapsülü ağırlığını %75,5 oranında iyileştirmiştir.

Tabu Arama entegre edilmiş Eniyileme Sisteminin performansını değerlendirmek ve doğrulamak amacıyla Eniyileme Sistemine Matlab Genetik Algoritma aracı entegre edilmiştir. Faydalı Yük Kapsülü eniyileme probleminin Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi ve Tabu Arama entegre Eniyileme Sistemi'nden elde edilen çözümlerine ait amaç fonksiyonu değerleri ile karar değişkenlerinin değerleri karşılaştırılmıştır.Genetik Algoritma amaç fonksiyonu değeri Tabu Arama ile elde edilen çözüme ait amaç fonksiyonu değerine %1'lik bir marj içinde kalmıştır.

Tez kapsamında Uydu Fırlatma Aracı Faydalı Yük Kapsülü ağırlık enküçüklemesi için Eniyileme Sistemi geliştirilmiş, geliştirilen Eniyileme Sisteminde Tabu Arama kullanılmış ve daha önceden performansı kanıtlanmış Genetik Algoritma ile performansı doğrulanarak geliştirilen sistemin kullanılabilirliği sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapısal eniyileme, Faydalı yük kapsülü, Sezgisel yöntemler, Tabu arama, Genetik algoritma.

ABSTRACT

Master of Science

OPTIMIZATION OF STRUCTURAL DESIGN OF PAYLOAD FAIRING USED FOR SPACE LAUNCH VEHICLES

Hakan ATAR

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Science Programme

Supervisor: Assoc. Prof. Erdem ACAR

Date: April 2016

Space Launch Vehicle is a system to transport and place the payload such as satellites, experimental tools, and observation robots into desired orbit. Payload is transported in Payload Fairing which protects payload from environmental effects exposed during flight.

Payload capacity is the major criteria in design of Space Launch Vehicles. One option to increase payload capacity of Space Launch Vehicles is to minimize Payload Fairing weight while protecting the volume allocated for payload. In this thesis, an Optimization System is developed to minimize Payload Fairing weight while maintaining the Payload Fairing structural design strong enough to protect payload from effects such as aerodynamic and inertial loads that emerged from flight conditions. Tabu Search is integrated to the Optimization System to perform optimization. All neighbor configurations of the present Payload Fairing configuration are evaluated with Tabu Search integrated into the Optimization System. Design variables are changed after evaluating the Payload Fairing configurations' structural strength under flight conditions. Structural analysis program is integrated to the Optimization System to evaluate the structural strength.

It is found that an optimized and structurally appropriate Payload Fairing configuration can be selected with Tabu Search integrated Optimization System. Tabu Search integrated Optimization system decreased the Payload Fairing weight by 75,5%.

MATLAB Genetic Algorithm Toolbox is integrated to the Optimization system in place of Tabu Search to evaluate and verify Tabu Search integrated Optimization System. The problem is solved with Genetic Algorithm integrated Optimization System and the solutions of both method is compared by considering decision variables' and objective function values. Objective function value of Tabu Search is in 1% margin of the objective function value of Genetic Algorithm.

In the scope of thesis, Optimization System is developed and Tabu Search is integrated for Space Launch Vehicle Payload Fairing weight minimization. This system is verified by comparing the performance of the system with the proved genetic algorithm performance.

Keywords: Structural optimization, Payload fairing, Heuristic Methods, Tabu search, Genetic algorithm.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Doç. Dr. Erdem ACAR'a, destekleriyle her zaman yanımda olan eőim İncilay SİVRİKAYA ATAR'a ve aileme, çalıőmam boyunca bilgi ve deneyimi ile bana yol gösteren Dr. Yiğit Koray GENÇ'e, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makine ve Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve çalıőmalarım sırasında beni maddi açıdan destekleyen TÜBİTAK Bilim Adamı Yetiőtirme Grubu'na çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | vi |
| TEŞEKKÜR | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİL LİSTESİ | xi |
| ÇİZELGE LİSTESİ | xiii |
| KISALTMALAR | xv |
| SEMBOL LİSTESİ | xvi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Tezin Amacı | 1 |
| 1.2 Literatür Araştırması | 1 |
| 2. YAPISAL TASARIMIN ENİYİLENMESİ | 9 |
| 2.1 Amaç | 9 |
| 2.2 Sezgisel Arama Yöntemleri..... | 9 |
| 2.2.1 Sezgiseller | 9 |
| 2.2.2 Metasezgiseller..... | 10 |
| 2.3 Tabu Arama Algoritması..... | 11 |
| 2.3.1 Başlangıç çözümünün oluşturulması | 12 |
| 2.3.2 Hareket mekanizması | 12 |
| 2.3.3 Komşuluk | 12 |
| 2.3.4 Hafıza | 12 |
| 2.3.5 Tabu listesi | 13 |
| 2.3.6 Tabu yıkma kriterleri | 13 |
| 2.3.7 Durdurma koşulu..... | 13 |
| 2.3.8 Tabu arama algoritması akış diyagramı | 13 |
| 3. MATEMATİKSEL MODEL VE SEZGİSEL YÖNTEM | 15 |
| 3.1 Matematiksel Model..... | 15 |
| 3.1.1 Amaç | 15 |
| 3.1.2 Karar değişkenleri ve parametreler | 15 |
| 3.1.3 Amaç fonksiyonu ve kısıtlar | 17 |
| 3.2 Eniyileme Sistemi Mimari Tasarımı | 20 |
| 3.2.1 Tasarım altsistemi | 21 |
| 3.2.2 Analiz altsistemi..... | 21 |
| 3.2.3 Sezgisel arama altsistemi | 22 |
| 3.3 Tabu Arama Entegre Eniyileme Sistemi Detay Tasarımı | 26 |
| 3.4 Bulgular | 42 |
| 4. DOĞRULAMA | 45 |
| 4.1 Amaç | 45 |
| 4.2 Genetik Algoritma ile Doğrulama..... | 45 |
| 4.3 Bulgular | 49 |
| 5. KARAR DEĞİŞKENLERİNİN ETKİLERİ | 53 |

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 5.1 Amaç..... | 53 |
| 5.2 Duyarlılık Analizi..... | 53 |
| 5.3 Değerlendirme..... | 57 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 59 |
| 6.1 Sonuç..... | 59 |
| 6.2 Gelecek Çalışmalar..... | 60 |
| KAYNAKLAR..... | 61 |
| EKLER..... | 65 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 77 |



ŞEKİL LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Şekil 1-1: Uzay Fırlatma Sistemi (<i>Space Launch System</i>) Yüksek Kalkış Ağırlıklı (Heavy-Lift) Fırlatma Aracı [1]..... | 2 |
| Şekil 1-2: HyperSizer ile Eniyilemesi Yapılan Kompozit Göbek Kapsülü Gösterimleri[3] | 2 |
| Şekil 1-3: Uydu Fırlatma Aracı Faydalı Yük Kapsülü Çözüm Ağı [4] | 3 |
| Şekil 1-4: Aerodinamik Yapısı İyileştirilecek Faydalı Yük Kapsülü Tasarımı Parametrik Tanımlanması [6] | 4 |
| Şekil 1-5: Genetik Algoritma ile Eniyilenecek Kule Kafes Yapısı [8]..... | 5 |
| Şekil 1-6: Genetik Algoritma ile Eniyilenecek Otobüs Karkas Yapısı [9] | 5 |
| Şekil 1-7: Tabu Arama ve Genetik Algoritma ile Eniyilenen Çatı İskelet Yapısı [11] 6 | 6 |
| Şekil 1-8: Genetik Algoritma ve Sıralı Karesel Programlama ile Eniyilenen Uydu Fırlatma Aracı Yörüngesi [16] | 8 |
| Şekil 2-1: Tabu Arama Genel Akış Diyagramı..... | 14 |
| Şekil 3-1: Mevcut Faydalı Yük Kapsülü..... | 15 |
| Şekil 3-2: Eniyileme Sistemi Akış Şeması..... | 21 |
| Şekil 3-3: Tabu Arama İşlevsel Akışı | 25 |
| Şekil 3-4: ‘I’ Kiriş Görünümü ve Kirişi Tanımlayan Ölçüler..... | 30 |
| Şekil 3-5: ‘C’ Kiriş Görünümü ve Kirişi Tanımlayan Ölçüler | 30 |
| Şekil 3-6: ‘Z’ Kiriş Görünümü ve Kirişi Tanımlayan Ölçüler..... | 30 |
| Şekil 3-7: ‘L’ Kiriş Görünümü ve Kirişi Tanımlayan Ölçüler..... | 31 |
| Şekil 3-8: ‘T’ Kiriş Görünümü ve Kirişi Tanımlayan Ölçüler..... | 31 |
| Şekil 3-9: ‘W’ Kiriş Görünümü ve Kirişi Tanımlayan Ölçüler | 32 |
| Şekil 3-10: Faydalı Yük Kapsülü Ağırlığının İterasyon Sayısı ile Değişimi..... | 43 |
| Şekil 4-1: Eniyileme Sistemi Akış Şeması..... | 46 |
| Şekil 4-2: Genetik Algoritma Entegre Eniyileme Sistemi Sonuçları..... | 49 |
| Şekil 5-1: Konfigürasyon 1 Çözümünün İterasyon Sayısı ile Değişimi | 54 |
| Şekil 5-2: Konfigürasyon 3 Çözümünün İterasyon Sayısı ile Değişimi | 56 |
| Şekil 5-3: Konfigürasyon 4 Çözümünün İterasyon Sayısı ile Değişimi | 57 |
| Şekil Ek.1: Faydalı Yük Kapsülü Kabuk Yapısı Çözüm Ağı Örneği Görünümü-1 .. | 67 |
| Şekil Ek.2: Faydalı Yük Kapsülü Kabuk Yapısı Çözüm Ağı Örneği Görünümü-2 .. | 67 |
| Şekil Ek.3: Faydalı Yük Kapsülü C Kiriş Tipi Çözüm Ağı | 68 |
| Şekil Ek.4: Faydalı Yük Kapsülü Z Kiriş Tipi Çözüm Ağı..... | 68 |
| Şekil Ek.5: Temel Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Gerilme Dağılımı Gösterimi-1 | 69 |
| Şekil Ek.6: Temel Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Gerilme Dağılımı Gösterimi-2 | 69 |
| Şekil Ek.7: Temel Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Deformasyonların Gösterimi-1 | 70 |

| | |
|--|----|
| Şekil Ek.8: Temel Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Deformasyonların Gösterimi-2 | 70 |
| Şekil Ek.9: Temel Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Deformasyonların Gösterimi-3 | 71 |
| Şekil Ek.10: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Gerilme Dağılımı Gösterimi-1 | 72 |
| Şekil Ek.11: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Gerilme Dağılımı Gösterimi-2 | 72 |
| Şekil Ek.12: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Deformasyonların Gösterimi-1 | 73 |
| Şekil Ek.13: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Deformasyonların Gösterimi-2 | 73 |
| Şekil Ek.14: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Deformasyonların Gösterimi-3 | 74 |
| Şekil Ek.15: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımı Gösterimi-1 | 75 |
| Şekil Ek.16: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımı Gösterimi-2 | 75 |
| Şekil Ek.17: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımı Gösterimi-3 | 75 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Çizelge 3-1: FY Kapsülü Yapısal Tasarımı Karar Değişkenleri..... | 16 |
| Çizelge 3-2: Faydalı Yük Kapsülü Yapısal Tasarımı Matematiksel Model Parametreleri | 17 |
| Çizelge 3-3: Malzeme Tipleri için Smax Değerleri | 19 |
| Çizelge 3-4: Tabu Arama Karar Değişkenleri | 23 |
| Çizelge 3-5: Tasarım Değişkenlerinin Matlab Kodu ile Tanımlanması | 27 |
| Çizelge 3-6: Tabu Arama Yöntemi Girdileri | 27 |
| Çizelge 3-7: Faydalı Yük Kapsülü Tasarımı Ağırlığının Hesaplanması | 28 |
| Çizelge 3-8: Tabu Arama ile Değerlendirilecek Komşulukları Belirlenmesi için Matlab Kodu | 29 |
| Çizelge: 3-9 Kiriş Tiplerinin ve Boyutlarının Tanımlanması için Matlab Kodu | 33 |
| Çizelge 3-10: APDL ile Analiz Modelinin Oluşturulması için Gerekli Girdilerin Metin Dosyasında Oluşturulduğu Matlab Kodu | 33 |
| Çizelge 3-11: Malzeme Tiplerinin ve Özelliklerinin Tanımlanması için Matlab Kodu | 34 |
| Çizelge 3-12: Kabuk Eleman Tipinin APDL ile Tanımlanması için Matlab Kodu... 35 | 35 |
| Çizelge 3-13: Kiriş Eleman Tipinin APDL ile Tanımlanması için Matlab Kodu..... 35 | 35 |
| Çizelge 3-14: Kiriş Tipi Boyutlarının APDL’de Tanımlanması için Matlab Kodu... 36 | 36 |
| Çizelge 3-15: Faydalı Yük Kapsülü Tasarımına Ait Noktaların APDL’de Tanımlanması için Matlab Kodu | 37 |
| Çizelge 3-16: Faydalı Yük Kapsülü Silindirik Yapısının Oluşturulması için Matlab Kodu..... | 38 |
| Çizelge 3-17: APDL ile Çizgi Üzerinde Ağ Yapı Oluşturmak için Matlab Kodu..... 38 | 38 |
| Çizelge 3-18: APDL ile Yüzeylerde Ağ Yapı Oluşturmak için Matlab Kodu | 39 |
| Çizelge 3-19: APDL ile Sınır Koşulu Oluşturmak için Matlab Kodu | 39 |
| Çizelge 3-20: APDL ile Faydalı Yük Kapsülü Üzerinde Uçuşta Maruz Kalınan Basıncı Oluşturmak için Matlab Kodu | 40 |
| Çizelge 3-21: APDL ile ANSYS Analiz Sonuçlarına Almak için Matlab Kodu..... 41 | 41 |
| Çizelge 3-22: Oluşturulan Metin Dosyasının Ansys’e Verilmesi ve Çözdürülmesi için Matlab Kodu | 41 |
| Çizelge 3-23: Tabu Arama Süreci için Matlab Kodu..... | 42 |
| Çizelge 3-24: Farklı İterasyon Sayılarında Koşuturum Sonuçları | 43 |
| Çizelge 3-25: Farklı İterasyon Sayıları için Koşuturum Süreleri..... | 44 |
| Çizelge 4-1: Genetik Algoritma Seçenekleri için Uygulanan Değerler..... | 47 |
| Çizelge 4-2: Genetik Algoritma Aracının Kullanımı için Matlab GA Fonksiyonu Kodu..... | 48 |
| Çizelge 4-3: Genetik Algoritma Aracı “Fitness Function” için Karar Değişkenlerinin Girdileri..... | 48 |
| Çizelge 4-4: 10 ve 20 Jenerasyon ile Gerçekleştirilen Genetik Algoritma Entegre Eniyileme Sistemi Karar Değişkenlerine ait Sonuçlar | 50 |

| | |
|--|----|
| Çizelge 4-5: 10 ve 20 Jenerasyon ile Gerçekleştirilen Genetik Algoritma Entegre Eniyileme Sistemi Çalışma Süreleri | 50 |
| Çizelge 4-6: Tabu Arama ve Genetik Algoritma Performanslarının Karşılaştırılması | 51 |
| Çizelge 4-7: Tabu Arama ve Genetik Algoritma İyileştirme Çalışmaları Sonucu Oluşan Karar Değişkeni Değerleri..... | 51 |
| Çizelge 5-1: Duyarlılık Analizi Karar Değişkeni Konfigürasyonları | 53 |
| Çizelge 5-2: Konfigürasyon 1 Çözümüne Ait Sonuçları | 54 |
| Çizelge 5-3 Konfigürasyon 2 Çözümüne Ait Sonuçlar..... | 55 |
| Çizelge 5-4: Konfigürasyon 3 Çözümüne Ait Sonuçlar..... | 55 |
| Çizelge 5-5: Konfigürasyon 4 Çözümüne Ait Sonuçlar..... | 56 |



KISALTMALAR

| | |
|-------------|---|
| Al | : Alüminyum |
| APDL | : ANSYS Parametrik Tasarım Dili (<i>ANSYS Parametric Design Language</i>) |
| BK | : Burun Kısmı |
| HAD | : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği |
| FY | : Faydalı Yük |
| FYK | : Faydalı Yük Kapsülü |
| Mg | : Magnezyum |
| UD | : Uygulanabilir Değil |
| UFA | : Uydu Fırlatma Aracı |

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

∇

Tümü üzerinden



1. GİRİŞ

Uydu Fırlatma Aracı; uydu, çeşitli deney araçları, gözlem robotları gibi Faydalı Yüklerin atmosfer dışına taşınması ve istenilen yörüngeye yerleştirilmesi amacıyla kullanılan bir sistemdir. Uydu Fırlatma Aracı; itki üreteçlerinin bulunduğu kademelerden ve Faydalı Yük'ün içerisinde taşındığı Burun Kısmı'ndan oluşmaktadır. İtki üreteçlerinin bulunduğu kademelerdeki yakıt tamamlandıkça, yakıtı biten kademe Uydu Fırlatma Aracı'ndan ayrılmaktadır. Bir kademe Uydu Fırlatma Aracı'ndan ayrıldıktan sonra Uydu Fırlatma Aracı'nda yer alan diğer kademe görevini yerine getirmeye başlamakta ve Faydalı Yük'ün hedefine ulaşması için gereken itkiyi sağlamaktadır. Faydalı Yük, Faydalı Yük Kapsülü ismi verilen ve Faydalı Yük'ü uçuş koşullarında maruz kalacağı çevresel etkilerden koruyan yapısal bir bütün içerisinde taşınmaktadır.

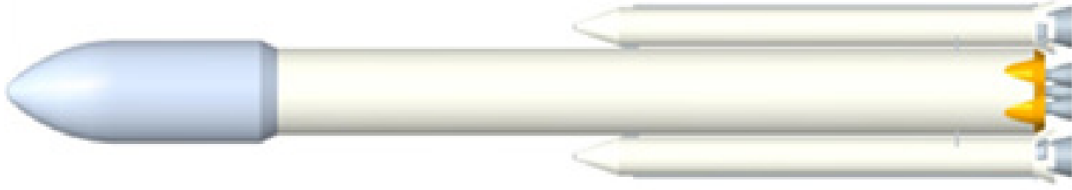
1.1 Tezin Amacı

Uydu Fırlatma Aracı'nın tasarımında öne çıkan ölçütlerden en önemlisi taşınabilen Faydalı Yük ağırlığıdır. Bir Uydu Fırlatma Aracı ile taşınabilecek Faydalı Yük ağırlığını artırabilmenin başlıca yollarından biri Faydalı Yük için ayrılan hacmi koruyarak Faydalı Yük Kapsülü ağırlığını enküçüklemektir. Bu tez kapsamında ise Uydu Fırlatma Aracı Faydalı Yük Kapsülü ağırlığını azaltmaya yönelik bir yapısal eniyileme modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır.

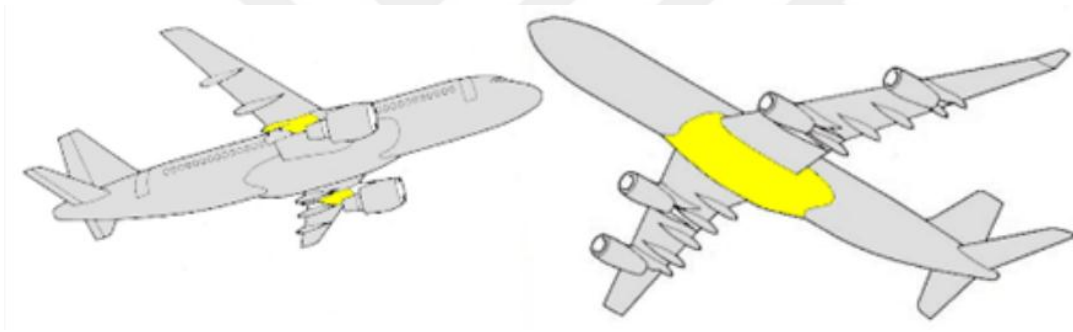
1.2 Literatür Araştırması

Literatürde bulunan benzer bir çalışmada Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi kullanılmıştır[1]. Bu yöntemde çeşitli tasarım ve üretim kriterleri göz önüne alınmıştır. Farklı kompozit malzemelerden üretilen Uzay Fırlatma Sistemi Yüksek Kalkış Ağırlıklı Fırlatma Aracı (Şekil 1-1) Faydalı Yük Kapsülleri kriterlere göre puanlanarak en iyi Faydalı Yük Kapsülü kompozit malzemesinin seçimi sağlanmıştır[1]. Bir başka çalışmada ise Minataur Fırlatma Aracı Faydalı Yük Kapsülünün tasarım optimizasyonunu sağlamak için sonlu elemanlar modeli ile

birlikte HyperSizer programı kullanılmıştır[2]. Kompozit Faydalı Yük Kapsülü tasarımının eniyilenmesi için HyperWorks programının kullanılabilceği bir diğerk çalışmada kompozit göbek kapsülü (Şekil 1-2) üzerinde yapılan çalışma ile değerlendirilmektedir[3]. HyperWorks programı ile üç aşamada eniyilemenin yapılabileceği belirtilmektedir; ön tasarım, tasarım iyileme ve detay tasarım. Bu çalışma kapsamında programın kullanımışına ve adımların gerçekleştirilmesine yönelik bilgiler verilmektedir [3].



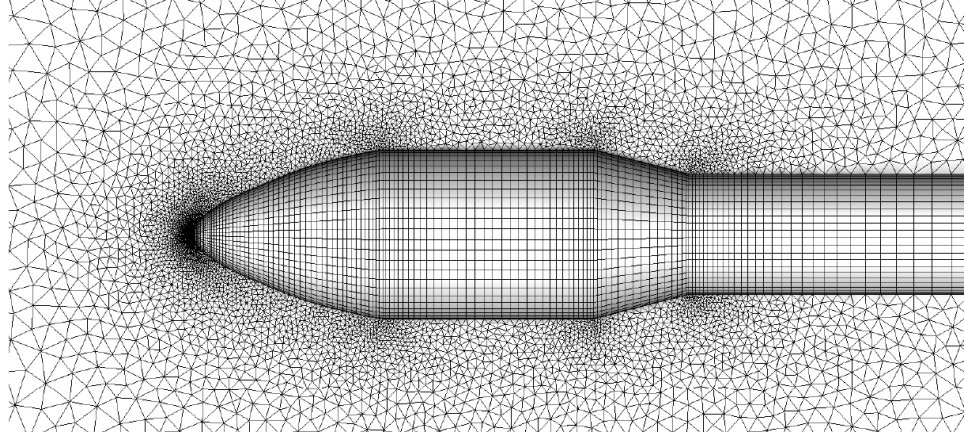
Şekil 1-1: Uzay Fırlatma Sistemi (*Space Launch System*) Yüksek Kalkış Ağırlıklı (Heavy-Lift) Fırlatma Aracı [1]



Şekil 1-2: HyperSizer ile Eniyilemesi Yapılan Kompozit Göbek Kapsülü Gösterimleri[3]

Uydu Fırlatma Aracı Faydalı Yük Kapsülü tasarımının eniyilenmesi ile ilgili yürütölen benzer çalışmalarda bazırları ise Faydalı Yük Kapsülü aerodinamik performansının eniyilenmesi ile ilgilidir. Bu çalışmalardan birinde, Faydalı Yük Kapsülü tasarım değişkenleri vekil model tabanlı bir eniyileme yöntemi önerilmiştir[4]. Faydalı Yük Kapsülünün tüm performansı maruz kalınan ivme artışına karşın Faydalı Yük Kapsülünün Uydu Fırlatma Aracına olan arayüzünde meydana gelen yük ile değerlendirilmiştir. Bu amaçla Faydalı Yük Kapsülü karar değişkenleri ile küresel koordinat sistemi ile eğrilerin kontrol edilmesi parametrik olarak tanımlanmıştır. Vekil model tabanlı yürütölen bu çalışmada yerel yüzeylerin eniyilenmesi için eğim tabanlı eniyileme yöntemi önerilmiş ve orta kalkış yüklerine sahip bir Uydu Fırlatma

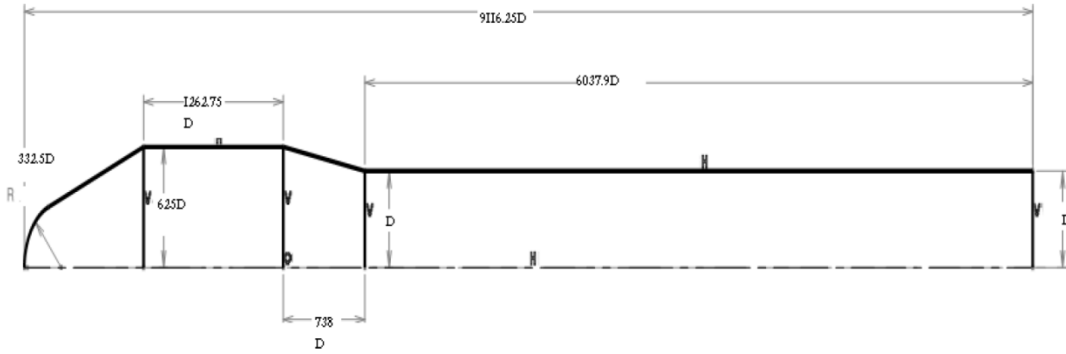
Aracı üzerinde deneme gerçekleştirilmiştir [4]. Yapılan çalışmada Faydalı Yük Kapsülünde oluşturulan çözüm ağına bir örnek Şekil 1-3 ile verilmiştir.



Şekil 1-3: Uydu Fırlatma Aracı Faydalı Yük Kapsülü Çözüm Ağı [4]

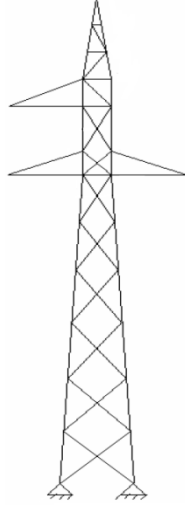
Bir diğer aerodinamik tasarım eniyileme çalışmasında ise Yüksek Kalkış Yüklü Atlas V Uydu Fırlatma Aracı için asimetrik bir Faydalı Yük Kapsülü tasarımının gerçekleştirilmesi ve eniyilenmesi değerlendirilmiştir[5]. Dünyada mevcut olan tüm Uydu Fırlatma Araçları ve Faydalı Yük Kapsülleri aerodinamik olarak simetrik ve silindirik bir yapıya sahiplerken, taşınması gereken yüklerin sayısının çok olması ve asimetrik bir yapı oluşturmaları nedeniyle bu Uydu Fırlatma Aracında ve dolayısıyla Faydalı Yük Kapsülünde asimetrik bir yapıya gidilmiştir. Bu çalışmada Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği temelinde geometrik yapıyı eniyileme yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem küçük ölçekli Faydalı Yük Kapsülünün rüzgar tüneli testlerinden elde edilen test sonuçları ve analiz sonuçlarının örtüşmesi ile doğrulanmıştır [5]. Faydalı Yük Kapsülünü aerodinamik açıdan tasarlamak için yapılan bir çalışmada Faydalı Yük Kapsülü üzerinde oluşacak aerodinamik yükleri minimize edilmesi, minimum ayrılma derecesine ve azaltılmış şok dayanımına sahip olması amaçlanmıştır[6]. Bu çalışmada öne çıkan konu Fırlatma Aracının parametrik tanımlanması (Şekil 1-4)olmuştur. Dört değişken ile Faydalı Yük Kapsülü tasarlanmış ve bu dört değişken üzerinde değişiklikler yapılarak farklı Faydalı Yük Kapsülü tasarımlarına ulaşılmıştır. Elde edilen Faydalı Yük Kapsülü tasarımları, belirlenen Mach değerlerinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kodu ile koşuturular gerçekleştirilerek eniyilenmiştir[6]. Bir diğer çalışmada Faydalı Yük Kapsülü tasarımının iyileştirilmesinde HAD ve optimizasyon yöntemini beraber kullanılmıştır[7]. Bu çalışmada amaç, Faydalı Yük Kapsülünü aerodinamik açıdan iyileştirmek bununla beraber kararlılık, kontrol ve ağırlık kısıtlarını sağlayan tasarımı

elde etmek olmuştur. Tasarım için birden fazla iterasyon gerçekleştirilmiştir. Her simülasyonda farklı bölgeler incelenmiş ve bu simülasyonların birleşiminden sisteme ulaşmaya çalışılmıştır. Her iterasyonda kısa süreler süren HAD simülasyonları yapılmış ve HAD sonuçları vekil model tabanlı optimizasyon çalışmaları için girdi olarak alınmıştır. Bu yaklaşımı sergilemek için belli bir yanıt yüzey üzerinde sadece tasarım eniyileme sonuçları alınmış ve bu süreci sürekli bir şekilde tanımlayarak tüm yüzey için iyileştirme yapılmıştır[7].



Şekil 1-4: Aerodinamik Yapısı İyileştirilecek Faydalı Yük Kapsülü Tasarımı Parametrik Tanımlanması [6]

Yapısal tasarımın eniyilenmesi konulu bir başka çalışmada ise MATLAB Genetik Algoritma Araç Kutusu kullanılmıştır[8]. Bu çalışmada eniyileme problemi olarak 2 boyutlu çatı ve kule kafes sistemler (Şekil 1-5) seçilmiştir. ANSYS analiz programı ile yapısal analiz sonuçları elde edilmiştir[8]. Araç yapıları üzerine yapılan bir diğer çalışmada da aracı sağlamlık ve ağırlık amaç fonksiyonlarını gözeterek eniyilemek amaçlanmıştır[9]. Kompleks bir aracın (otobüs) karkas yapısı (Şekil 1-6) göz önüne alınarak yapılan çalışmada MATLAB ve ANSYS yazılımı birlikte kullanılarak eniyilenme yaklaşımı oluşturulmuştur. Oluşturulan yaklaşımda, karkas yapısı MATLAB üzerinden Genetik Algoritma ile eniyilenmekte, ANSYS analiz programı ile de elde edilen mevcut yapının yapısal analizleri gerçekleştirilmektedir. MATLAB ve ANSYS yazılımları üzerindeki çalışmalar bir döngü içine yerleştirilmiş ve iteratif bir şekilde çalışmaları sağlanmıştır[9].



Şekil 1-5: Genetik Algoritma ile Eniyilenecek Kule Kafes Yapısı [8]



Şekil 1-6: Genetik Algoritma ile Eniyilenecek Otobüs Karkas Yapısı [9]

Mekanik yapıların eniyilenmesi için sezgisel yöntemler kullanılabileceğine yönelik çalışmalar yürütülmüştür[10]. İskelet yapının eniyilenmesi için yapılan çalışmaların birisinde Tabu Arama yöntemi önerilmiştir. Bunun için Tabu Arama algoritması geliştirilmiş ve FORTRAN dilinde bilgisayar programı oluşturulmuştur. Oluşturulan programda herhangi bir mühendisin müdahalesi olmadan sonuç elde edilmesi sağlanmıştır. Önerilen yöntemde 3-kat/3-dikme, 9-kat/5-dikme ve 20-kat/5-dikme

metallerle ağırlık eniyileme çalışması yapılmış ve %23,4'lük bir ağırlık azalması sağlanmıştır [10]. Çatı iskeleti (Şekil 1-7) ile yapılan bir başka çalışmada ise bir grup iskelet yapı değerlendirilmeye alınmış ve sayıdan bağımsız olarak yürütülen bir çalışma olduğu için N-Şekilli İskelet olarak isimlendirilmiştir[11]. Bu yapılar 27 adet karar değişkeni ile parametrik olarak tanımlanmıştır. Parametrik tanımlamada gerçek dünya olabildiğince yansıtılmış ancak modelin gerçekliğini etkilemeyen detay tasarım bilgileri eklenmemiştir. Tabu Arama ve Genetik Algoritma ile N-şekilli iskelet üzerinde çalışmalar yürütülmüş ve Tabu Arama ile elde edilen çalışmalardaki sonuçların daha iyi olduğu görülmüş ve Tabu Arama yöntemi önerilmiştir [11].



Şekil 1-7: Tabu Arama ve Genetik Algoritma ile Eniyilenen Çatı İskelet Yapısı [11]

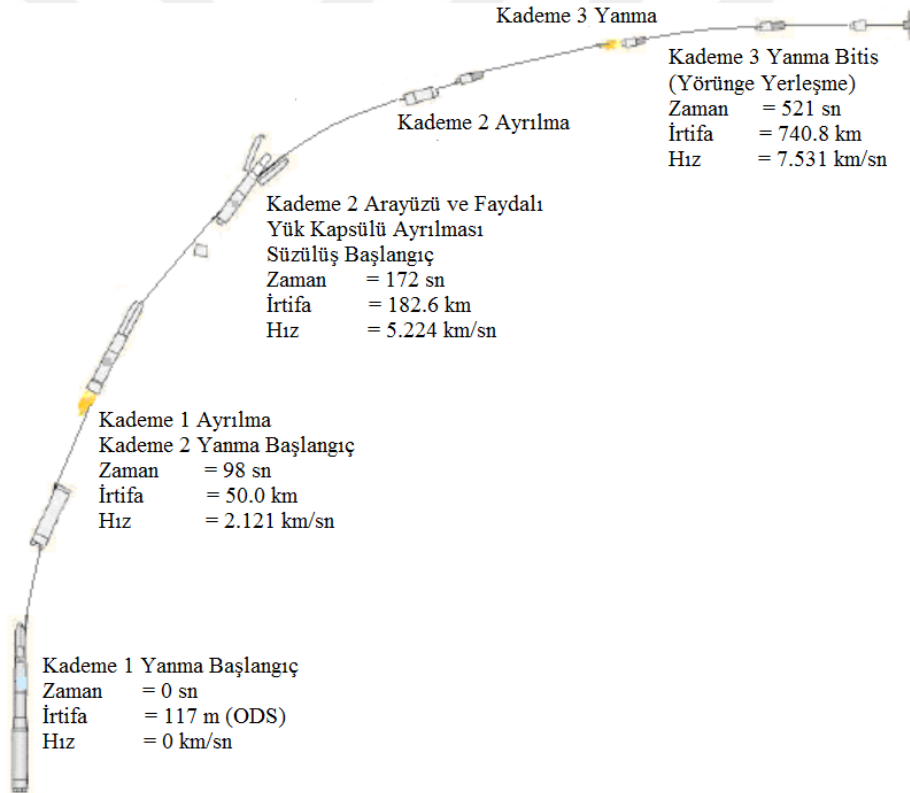
Başka bir çalışmada Fırlatma Aracı yapılarının yüksek ağırlıklarda olmasının yüksek maliyetlere sebep olacağı belirtilmiş ve bu nedenle yapısal eniyilemelerle yüksek kazanç sağlamak amacıyla Tabu Arama yöntemi ile Fırlatma Aracı ağırlığını eniyileme yöntemine gidilmiştir[12]. Fırlatma aracı yapılarından olan iki boyutlu çerçevelerin kesit alanları eniyilenecek Fırlatma Aracı'nın ağırlık eniyilenmesi sağlanmıştır[12]. Yapıların eniyilenmesi amacıyla yapılan bir başka çalışmada da Genetik Algoritma ve Tavlama Benzetimi gibi sezgiel yöntemlerin yerine Tabu Arama ile daha iyi sonuçlar elde edildiği için Tabu Arama kullanılmıştır[13]. Kısa dönem hafıza, arama uzayında yoğunlaşma ve farklılaşma, dağ tırmanma algoritması gibi yöntemler Tabu Arama'ya dahil edilmiştir. Geliştirilen 10 adet kirişten oluşan yapısal üzerinde denenmiş ve ağırlığı minimize edilmiş bir çözüme ulaşılmıştır [13].

Uydu Fırlatma Aracı tasarımı çok disiplinli bir yapıya sahip olması nedeniyle karmaşık bir yapıya sahiptir ve bu ise yapısal optimizasyonu zorlaştırmaktadır. Uydu Fırlatma Araçlarının itki sağlayan yakıt dolu kademelerinin yapısal optimizasyonunu sağlamak amacıyla önerilen bir başka hibrid sezgisel yöntem ise Uydu Fırlatma

Araçlarının izlediği yörünge ile tasarım değişkenlerinin beraber eniyilenmesinden oluştuğu belirtilmektedir[14]. Çünkü Uydu Fırlatma Aracının izlediği yörüngeye bağılı olarak isterleri değişmekte ve bu ise Uydu Fırlatma Aracı tasarım değişkenlerini doğrudan etkilemektedir. Daha önce gerçekleştirilen çalışmaların tek seviye çok disiplinli eniyileme metodu ile yürütülen çalışmalar olduğundan ve bu çalışmaların ise çözüm kümesinde geniş bir arama alanı ve hesaplama maliyeti oluşturduğundan bahsedilmektedir. Çalışmada ise çok kademeli çok disiplinli bir optimizasyon yöntemi önerilmektedir. Önerilen yöntemin üç kademeli olduğu, ilk kademenin optimal çözümün bulunması için çözüm uzayının keşfini içeren bir kademe olacağından ve diğer iki kademenin ise çok geniş bir çözüm uzayında verimli bir şekilde eniyileme yapabileceği ileri sürülmektedir. Bu çalışmada önerilen yöntemin üç kademeli katı yakıtlı bir Uydu Fırlatma Aracı tasarımının eniyilenmesinde test edildiği ve optimal değere ulaşıldığı belirtilmektedir [14]. Başka bir çalışmada ise Uydu Fırlatma Aracı tasarımının eniyilenmesi için yeni bir çok disiplinli eniyileme yöntemi ortaya konulmaktadır[15]. Uydu Fırlatma Aracının yörüngesi ve tasarım değişkenleri nedeniyle karmaşık ve çok disiplinli bir yapıya sahip olduğundan bahsedilmektedir. Bu nedenle karmaşık yapının Uydu Fırlatma Aracı kademeleri bazında değerlendirilebileceği ve eniyilenmenin bu yapıda olabileceğine değinilmektedir. Bu çalışmada ilk olarak global eniyilenmenin sağlanacağı, global eniyilenmenin tüm kademelerin etkileşimi ile değerlendirileceği ve ardından kademelerin kendi içlerinde eniyilenmelerinin sağlanacağı bir yöntem önerilmektedir. Yöntem ile daha maliyet etkin bir eniyileme elde edilmesi için iki kere başlatılması önerilmektedir [15].

Eniyilenmiş Fırlatma Aracı tasarımına ulaşmak için önerilen bir başka yöntem ise hibrid sezgisel model kullanmaktır. Eniyileme yöntemi içerisinde yalnız Genetik Algoritma gibi sezgisel metodlar kullanılması durumunda eniyilenmiş değere yakın iyi sonuçların elde edildiği belirtilmiştir[16]. Aynı zamanda sezgisel yöntemlere alternatif olan yerel arama yöntemleri ile de eniyilenmiş değere ulaşıldığını ancak bu yöntemlerin küçük arama alanları için uygun olduğu aksi takdirde eniyilenmemiş sonuca aşlamayacağından bahsedilmektedir. Bu nedenle sezgisel yöntemin ve yerel arama yöntemin beraber kullanıldığı hibrid bir model kullanılması önerilmektedir. Sezgisel arama için Genetik Algoritma, yerel arama yöntemi içinse Sıralı Karesel Programlama kullanılmıştır. Fırlatma Aracını değerlendirme aşamasında ağırlık,

aerodinamik yapı, itki değerleri ve uçuş yörüngesi (Şekil 1-8) eniyilenmeye çalışılan kriterlerdir. Bu amaçla Fırlatma Aracını yansıtan yakıt ağırlığı, verimli yakıt ağırlığının kalkış ağırlığına oranı, yakıt yapısı parametresi, yakıt yanma oranı, lüle çıkış basıncı, yanma odası basıncı, gövde çapı ve azami hücum açısı gibi tasarım değişkenleri kullanılmıştır[16]. Bir başka çalışmada da Fırlatma Aracının ağırlığını dolayısıyla maliyetini azaltmak amacıyla Genetik Algoritma'nın kullanıldığı bir tasarım iyileştirme yöntemi geliştirilmiştir[17]. Farklı türde Fırlatma Aracı konfigürasyonları analiz edilmiştir. Fırlatma Araçları itki karakteristiği, aerodinamik yapısı, ağırlık özellikleri ve uçuş dinamikleri dikkate alınarak dört farklı disiplinin entegre edildiği bir iyileştirme süreci yürütülmüştür. Genetik algoritmanın bir diğer hedefi ise yörünge ihtiyaçlarının mevcut Fırlatma Aracının performansı ile sağlanabilir olmasını sağlamaktır[17].



Şekil 1-8: Genetik Algoritma ve Sıralı Karesel Programlama ile Eniyilenen Uydu Fırlatma Aracı Yörüngesi [16]

2. YAPISAL TASARIMIN ENİYİLENMESİ

2.1 Amaç

Literatürde yapısal tasarımların iyileştirilmesini inceleyen farklı sayısal yöntemlerle yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bu çalışmalarda Uydu Fırlatma Aracı Faydalı Yük Kapsülü tasarımını eniyilemek amacıyla sezgisel yöntem geliştirilmemiş, yazılım programları tarafından sunulan araçlar kullanılarak eniyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Ayrıca sezgisel arama yönteminin geliştirildiği benzer çalışmalarda ise büyük boyutlu ve zorlu şartlara maruz kalan yapılar için çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma ile yukarıda bahsedilen konuları kapsayan ve sezgisel arama yönteminin kullanılmasında başlıca sebeplerden olan polinom zamanlarda çözümler elde edilmesi amaçlanmıştır.

2.2 Sezgisel Arama Yöntemleri

2.2.1 Sezgiseller

Sezgiseller bir problemin çözüme ulaştırılması için kullanılan tekniklerden biridir. Sezgisel yöntemler karar alabilmek için gerekli olan bilişsel yükü azaltmak amacıyla zeka yoluyla elde edilen metotlardan oluşmaktadır denebilir. Optimal değeri yakalamanın imkansız ve pratikte uygulanabilir olmadığı durumlarda hızlı bir şekilde memnun edici bir sonuç elde edilmek istendiğinde sezgisel yöntemler kullanılır. Sezgisel yöntem sonucun doğruluğundan (optimal olup olmamasından) bağımsız olarak iyiye yakın çözümlerin büyük bir oranda elde edilmesini sağlar. Bir diğer deyişle sezgisel yöntemler optimal değeri aramayıp iyi bir çözüm elde eden ve bunu verimli bir süre içinde gerçekleştiren yöntemlerdir[19].

Sezgisel yöntemler eski yöntemlerin (örneğin, tamsayılı programlama) çok uzun sürelerde çözüme eriştiğinde kısa sürelerde çözüme ulaşabilmesi veya eski yöntemlerin olurlu bir çözüm bulmakta zorlandığında olurlu bir çözüm bulmak için tasarlanmışlardır, ancak tüm bu hıza optimallikten, tüm çözüm kümesinin taranmasından, tüm çözümlerin elde edilmesinden ödün verilerek erişilebilmektedir.

NP-zor (Non Polinomial-Hard) olarak tanımlanan problemlerin çözümleri sadece sezgisel yöntemler ile elde edilebilmektedir.

Sezgisel arama yöntemlerine örnekler ise aşağıda sıralanmıştır.

- Tırmanış araması,
- En iyi öncelikli arama,
- Açgözlü en iyi öncelikli arama.

Bu sezgisel yöntemler bir amaç için geliştirilmiş yöntemler olup, birkaç farklı sezgisel yöntemin bir araya getirilmesi ile oluşan sezgiseller global arama için en uygun olanlarıdır. Örneğin, açgözlü en iyi öncelikli arama bir başlangıç çözümü için kullanılacak bir sezgisel yöntem iken, tırmanış araması yerel minimum ile kısıtlanmış ve global optimumu bulmak amacıyla kullanılacak bir sezgisel yöntemdir. Ancak bu sezgisel yöntemler tek başlarına kullanıldığında global optimumu bulmak için yararlı olamazlar; farklı amaçlara sahip birden fazla sezgisel yöntemin bir araya getirilmeleri gerekmektedir.

2.2.2 Metasezgiseller

Metasezgisel, yüksek kaliteli çözümleri etkin bir şekilde üretmek için altseviye sezgisellere rehberlik eden bir iteratif üst seviye prosestir. Her iterasyonda, bir çözümü ya da çözümlerin bir topluluğunu kullanır. Alt seviye sezgiseller, basit yerel arama algoritması ya da çözüm kurucu bir yöntem olabilir[18]. Sezgisel yöntemlerin yüksek seviyeli perosedürel yapıya sahip olmaları ya da optimizasyon problemine oldukça iyi bir sonuç bulmaları, seçmeleri veya yaratmaları durumunda metasezgisel yöntem olarak değerlendirilirler. Metasezgiseller tüm uzayı örnekleyemeyecek kadar geniş bir örnekleme uzayına sahiplerdir. Metasezgiseller birkaç varsayıma dayanarak probleme çözüm üretebilirler ve böylece farklı türden problemler için kullanılabilirler[20]. Metasezgiseller [21];

- arama sürecine rehberlik eden stratejilerdir.
- en iyi ya da en iyiye yakın çözümleri bulmak için arama uzayını hızlı bir şekilde araştırmayı amaçlamışlardır.
- basit yerel arama algoritmalarından karmaşık öğrenme proseslerine kadar geniş bir yelpazeyi içerirler.

- yaklaşık algoritmalar ve genellikle deterministik değildirler.
- Arama uzayındaki yerel en iyi tuzaklardan kurtulmak için çeşitli mekanizmaları kullanırlar.
- Probleme özgü değildirler.
- Üst seviye stratejiler tarafından kontrol edilen sezgisellerde probleme özgü bilgi kullanımına izin verirler.
- Aramaya rehberlik etmesi amacıyla arama sırasında elde edilen bilgiyi hafızada tutar ve kullanırlar.

Tüm bu özellikler düşünüldüğünde metasezgiseller farklı metodlar ile arama uzayının araştırılması için yüksek seviye stratejiler topluluğu olarak tanımlanabilir.

Metasezgisel yöntemlere başlıca örnekler aşağıda verilmektedir;

- Tavlama Benzetimi,
- Genetik Algoritma,
- Tabu Arama,
- Karına Kolonisi Algoritması,
- Değişken Komşu Arama.

2.3 Tabu Arama Algoritması

Bu çalışmada, Uydu Fırlatma Aracı Faydalı Yük Kapsülü yapısal tasarımı ağırlık enküçüklenmesi çalışması için sezgisel yöntem olarak Tabu Arama metasezgiselinin kullanılmıştır. Tabu Arama; yapısal tasarımın eniyilendiği çalışmalarda Genetik Algoritma, Tavlama Benzetimi gibi birçok sezgiselle oranla daha yüksek performans gösterdiği bilinmektedir[11,13]. Bu amaçla bu çalışma kapsamında da Tabu Arama yönteminin uygulanması hedeflenmiştir.

Tabu Arama'da temel yaklaşım, son çözüme götüren adımın dairesel hareketler yapmasını önlemek için bir sonraki döngüde tekrarın yasaklanması veya cezalandırılmasıdır. Böylece yeni çözümlerin incelenmesiyle Tabu Arama algoritması, bölgesel en iyi çözümün daha ilerisinde bulunan çözümlerin araştırılabilmesi için bölgesel-sezgisel araştırmaya kılavuzluk etmektedir.

Tabu Arama algoritmasının bölgesel optimalliği aşmak amacıyla kullandığı temel prensip, değerlendirme fonksiyonu tarafından her iterasyonda en yüksek değerlendirme değerine sahip hareketin bir sonraki çözümü oluşturmak amacıyla seçilmesine dayanmaktadır. Bunu sağlamak amacıyla bir tabu listesi oluşturulur, tabu listesinin orijinal amacı önceden yapılmış bir hareketin tekrarından çok tersine dönmesini önlemektir. Tabu listesi kronolojik bir yapıya sahiptir ve esnek bir hafıza yapısı kullanır. Tabu arama algoritması her ne kadar istenmeyen noktaların işaretlenmesi olarak açıklanmış olsa da, daha cazip noktaların işaretlenmesi olarak da kullanılır[22-23].

2.3.1 Başlangıç çözümünün oluşturulması

En genel şekilde başlangıç çözümü rastsal olarak elde edilir. Ancak ilgilenilen, problem için geliştirilmiş olan bir sezgisel algoritmadan yararlanarak da başlangıç çözümünden elde edilmesi mümkündür.

2.3.2 Hareket mekanizması

Mevcut bir çözümde yapılan bir değişiklik ile yeni bir çözümün elde edilmesi hareket mekanizmasıyla gerçekleştirilir. Hareket mekanizmasındaki olası hareketler, mevcut çözümün komşularını oluşturur.

2.3.3 Komşuluk

Tabu Aramada en önemli bileşenlerden birisi de komşuluk yapısıdır. Çözümü iyileştirmek için amaç fonksiyonunun değeri açısından en iyi hareketlerin seçilmesidir. Komşulukların oluşturulmasında seçilen komşuluk üretme yapısına göre problem boyutu n olduğu durumda $(n-1)$ tane komşuluk üretilir.

2.3.4 Hafıza

Tabu Arama algoritmasının temel elemanlarından birisi de hafızadır. Arama boyunca ortaya çıkan durumlar, H hafızasına kayıt edilir. Yapılmasına izin verilmeyen hareketler "tabu" olarak adlandırılır ve esnek hafıza içinde "tabu listesi" adı altında kaydedilirler. Bu hareketler belli bir süre sonra tabu listesinden çıkarılır ve yapılmasına izin verilir.

2.3.5 Tabu listesi

Tabu listesi, araştırmanın herhangi bir iterasyonu içinde hangi seçimlerin tabu grubu olduğu, kaç tanesi uzerinde karar verileceğive tabu listesinin guncellenmesi ile ilgilenir. Tabu listesinin boyutu, sonucu onemli derecede etkileyebilir. Deneysel sonuçlar problemin boyutu buyuduke problem boyutu ile orantılı olarak tabu listesi uzunluğunun da buyumesigerektiğini gostermiştir[23].

2.3.6 Tabu yıkma kriterleri

Tabu yıkma kriterleri, tabunun ortadan kalkabileceği durumları ifade etmektedir. En genel tabu yıkma kriteri, mevcut durumdan daha iyi bir sonuç verecek tabu hareketinin yapılmasına izin verilmesidir. Bu kriterin kullanılması Tabu Arama algoritmasının etkinliğini artırmaktadır. Ayrıca, eğer tum mumkun hareketler tabu ise bu hareketlerden tabu suresinin bitmesine en yakın olan bir tabu hareketine izin verilir.

2.3.7 Durdurma koşulu

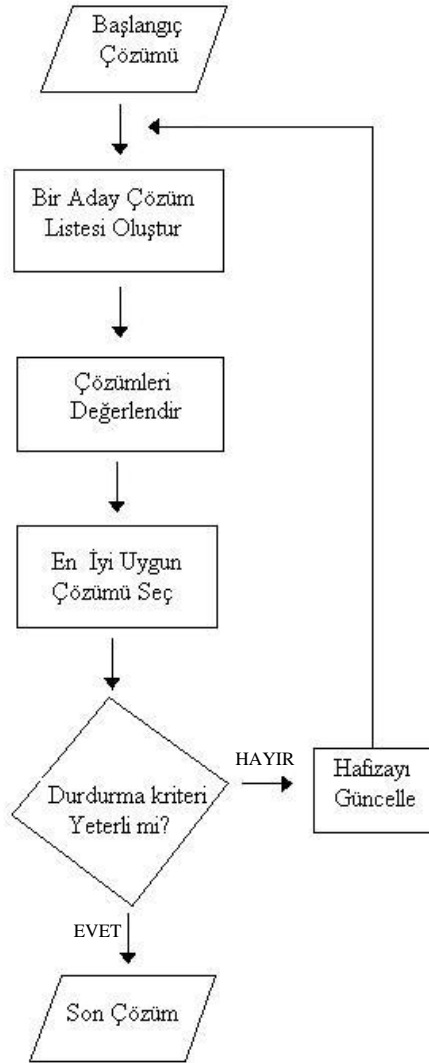
Tabu Arama algoritması, bir veya birden fazla durdurma koşulunu sağlayıncaya kadar aramasını sürdürmektedir. Bu koşullardan bazıları aşağıda verilmiştir.

- Seçilen bir komşu çözümun komşusunun olmaması,
- Belirli bir iterasyon sayısına ulaşılması,
- Belirli bir çözümun değerine ulaşılması,
- Algoritmanın bir yerde tıkanması ve daha iyi sonuç uretememesi.

2.3.8 Tabu arama algoritması akış diyagramı

Tabu Arama algoritması, bir başlangıç çözümu ile aramaya başlar. Algoritmanın her iterasyonunda tabu olmayan bir hareket ile mevcut çözümun komşuları içerisinden bir tanesi seçilerek değerlendirilir. Eğer amaç fonksiyonunun değerinde bir iyileştirme sağlanmışsa komşu çözümun, mevcut çözümun olarak dikkate alınır. Seçilen bir hareket tabu olmasına rağmen tabu yıkma kriterlerini sağlıyorsa, mevcut çözümu oluşturmak için uygulanabilir. Geriye donuşleri onlemek için, bir takım hareketler tabu listesine kaydedilerek tekrar yapılması belirli bir süre için yasaklanır. Belirlenen

bir durdurma koşuluna göre algoritmanın çalışması sonlanmaktadır. Tabu Arama akış diyagramı genel hatlarıyla Şekil 2-1’de verilmiştir.



Şekil 2-1: Tabu Arama Genel Akış Diyagramı

3. MATEMATİKSEL MODEL VE SEZGİSEL YÖNTEM

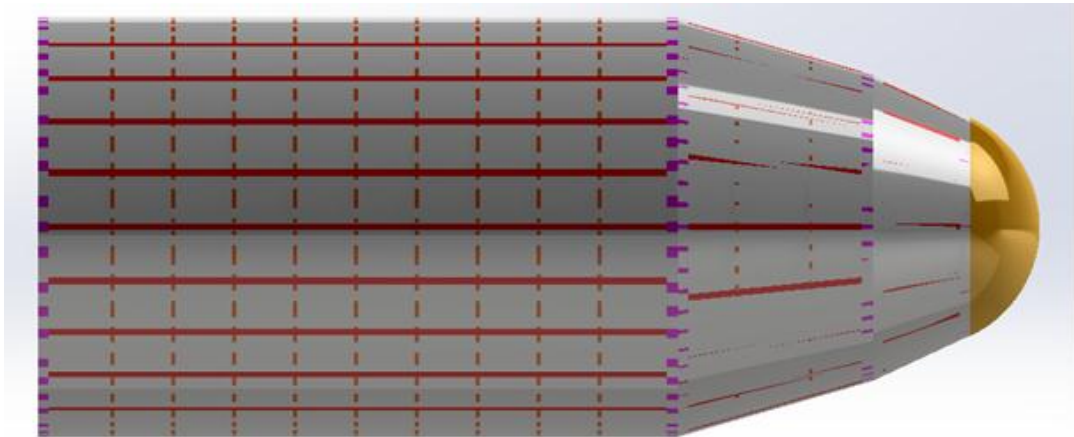
3.1 Matematiksel Model

3.1.1 Amaç

Faydalı Yük Kapsülü yapısal tasarım eniyilemesi çalışmasında Faydalı Yük Kapsülü karar değişkenleri, parametreleri, kısıtları ve amaç fonksiyonu değeri belirlenmelidir. Matematiksel model, geliştirilecek eniyileme sisteminin temellerinin belirlenmesi açısından yön gösterici olması amacıyla oluşturulmuştur. Matematiksel model doğrultusunda Eniyileme Altsistemi yapısı oluşturulmuş ve Eniyileme Sistemi çözümlenmiştir.

3.1.2 Karar değişkenleri ve parametreler

Mevcut Faydalı Yük Kapsülü tasarımı Şekil 3-1’de verilmiştir. Mevcut tasarım 2500 mm çapındadır. Faydalı Yük Kapsülü silindirik kısımdan, konik kısımlardan ve küresel kısımdan oluşmaktadır. Yapısında enine ve boyuna kirişler içermektedir. Faydalı Yük Kapsülü silindirik kısımda enine 20 adet kiriş ve boyuna 10 adet kiriş içermektedir. Konik kısımda ise enine 20 adet kiriş ve boyuna 4 adet kiriş içermektedir. Faydalı Yük Kapsülü burnu ise konik yapıdadır. Faydalı Yük Kapsülü malzemesi alüminyumdur. Faydalı Yük Kapsülünün kabuk kalınlığı 2 mm’dir. İçinde barındırdığı kirişler ise I kiriştir.



Şekil 3-1: Mevcut Faydalı Yük Kapsülü

Faydalı Yük Kapsülü yapısal tasarımının eniyilenmesinde kullanılan matematiksel modele ait karar değişkenleri ve tanımları Çizelge 3-1’de verilmiştir.

Çizelge 3-1: FY Kapsülü Yapısal Tasarımı Karar Değişkenleri

| No | Değişken Adı | Değişken Tanımı |
|----|----------------|--|
| 1 | a | Faydalı Yük Kapsülünün silindirik kısmında yer alan enine kiriş sayısı |
| 2 | c | Faydalı Yük Kapsülünün konik kısmında yer alan enine kiriş sayısı |
| 3 | malzemeTip | Faydalı Yük Kapsülünde kullanılan malzeme tipi |
| 4 | kabukKalinligi | Faydalı Yük Kapsülü kabuk kalınlığı |
| 5 | kirisTip | Faydalı Yük Kapsülünde kullanılan kiriş tipi |
| 6 | kirisUzunlugu | Faydalı Yük Kapsülü kiriş uzunluğu |

Faydalı Yük Kapsülü yapısal tasarımının eniyilenmesinde kullanılan matematiksel modele ait parametreler ise Çizelge 3-2’de verilmiştir.

Çizelge 3-2: Faydalı Yük Kapsülü Yapısal Tasarımı Matematiksel Model Parametreleri

| No | Parametre Adı | Parametre Tanımı |
|----|------------------|---|
| 1 | $kirisAlani_i$ | Faydalı Yük Kapsülü tasarımında kullanılan i. tip kirişin alanı |
| 2 | $kirisBoy_u_a$ | Faydalı Yük Kapsülü tasarımında silindirik kısımda kullanılan kirişlerin boyu |
| 3 | $kirisBoy_u_c_i$ | Faydalı Yük Kapsülü tasarımında konik kısımda kullanılan i. kirişin boyu |
| 4 | $kabukAlani_j$ | Faydalı Yük Kapsülündeki j. kabuk parçasının alanı |
| 5 | S_{max_m} | Faydalı Yük Kapsülünde kullanılan m. tip malzemenin kırılma gerilmesi |
| 6 | T_{max} | Faydalı Yük Kapsülünde taşınan Faydalı Yüke zarar vermeyecek azami yer değiştirme miktarı |
| 7 | $yogunluk_m$ | Faydalı Yük Kapsülünde kullanılan m. tip malzemenin yoğunluğu |

3.1.3 Amaç fonksiyonu ve kısıtlar

Faydalı Yük Kapsülü yapısal tasarımına ait matematiksel model aşağıda verilmiştir.

Amaç Fonksiyonu

$$\begin{aligned}
 \min \sum_m malzemeTip_m * yogunluk_m \\
 * \left(\sum_i kirisAlani_i * kirisBoy_u_a * a * kirisTip_i \right. \\
 + \sum_i \sum_l kirisAlani_i * kirisBoy_u_c_l * c * kirisTip_i \\
 \left. + \sum_j kabukAlani_j * kabukKalinligi \right)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Kısıtlar

$$S < \sum_m Smax_m * malzemeTip_m \quad \forall m \quad (2)$$

$$T < \sum_m Tmax * malzemeTip_m \quad \forall m \quad (3)$$

$$a > 1 \quad (4)$$

$$c > 1 \quad (5)$$

$$kabukKalinligi \geq 1 \text{ mm} \quad (6)$$

$$\sum_m malzemeTip_m = 1 \quad \forall m \quad (7)$$

$$\sum_i kirisTip_i = 1 \quad \forall m \quad (8)$$

$$a, c \text{ tamsayı} \quad (9)$$

Matematiksel modelde, (1) numaralı terim matematiksel modelin amaç fonksiyonudur. Faydalı Yük Kapsülünde yapısal tasarım eniyileme probleminin amacı, enküçüklenmiş ağırlığa sahip olmaktır. Bu amaç fonksiyonunda ise kirişler ve kabuğun ağırlıkları toplanarak toplam ağırlığa ulaşılmaktadır. (1) numaralı terimde ilk olarak seçilen malzemenin yoğunluğu hesaplamaya dahil edilmektedir. Ardından ağırlıkları hesaplanması gereken bileşenler olan Faydalı Yük Kapsülü silindirik bölgesindeki kirişler, Faydalı Yük Kapsülü konik kısmındaki kirişler ve Faydalı Yük Kapsülü kabuk parçaları hesaplamaya sırasıyla dahil edilmektedir.

(2), (3), (4), (5), (6), (7) ve (8) numaralı terimler matematiksel modelin kısıtlarıdır.

(2) numaralı kısıt ile Uydu Fırlatma Aracı'nda istenen ağırlıkta bir Faydalı Yük fırlatılması sonucunda oluşacak gerilmelere Faydalı Yük Kapsülü tasarımının dayanması şartı koşulmaktadır. Bu kısıtta tanımlanan S değeri Faydalı Yük Kapsülü tasarımının yapısal analizi sonucunda elde edilen maksimum von Mises değeridir. S değeri malzeme tipine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Faydalı Yük Kapsülü tasarımında alüminyum, magnezyum ve çelik malzeme tipleri sanayiye uygulanabilirliği göz önünde bulundurularak değerlendirmeye alınmıştır. Emniyet katsayısı olarak 1,5 alınmış ve Smax değerleri maksimum akma gerilmeleri üzerinden hesaplanarak Çizelge 3-3'te verilmiştir.

Çizelge 3-3: Malzeme Tipleri için Smax Değerleri

| Malzeme Tip | Smax(MPa) |
|-------------|-----------|
| Alüminyum | 47 |
| Çelik | 133 |
| Magnezyum | 30 |

(3) numaralı kısıt ile Uydu Fırlatma Aracı'nda istenen ağırlıkta bir Faydalı Yük fırlatılması sonucunda oluşacak yer değiştirmelerintaşınan Faydalı Yüke zarar vermemesişartını koşan kısıttır. Bu kısıtta tanımlanan T değeri Faydalı Yük Kapsülü tasarımının yapısal analizi sonucunda elde edilen maksimum yer değiştirme değeridir. Faydalı Yük Kapsülü tasarımında Faydalı Yüke zarar vermeyecek maksimum T değeri 10 mm'dir. 10 mm üzeri T (yer değiştirme) değeri Faydalı Yük ile temasa sebep olacak ve Uydu Fırlatma Aracı Faydalı Yük'ün istenen yörüngeye yerleştirilmesini engelleyecek teknik bir hataya sebep olacak ve görev başarısız sonuçlanacaktır.

(4) numaralı kısıt ise Faydalı Yük Kapsülünün silindirik kısmında bulunan enine kiriş sayısını kısıtlamaktadır. Bu kısıt ile silindirik kısımda en az bir adet kiriş kullanılması sağlanmaktadır.

(5) numaralı kısıt ise Faydalı Yük Kapsülünün konik kısmında bulunan enine kiriş sayısını kısıtlamaktadır. Bu kısıt ile konik kısımda en az bir adet kiriş kullanılması sağlanmaktadır.

(6) numaralı kısıt ise Faydalı Yük Kapsülü kabuk kalınlığını kısıtlamaktadır. Bu kabuk kalınlığı için asgari değer olarak 1 mm belirlenmiştir. Bu kısıt bir üretilebilirlik kısıttır.

(7) numaralı kısıt ise Faydalı Yük Kapsülü tasarımında malzeme tipinin belirlenmesi için tanımlanan bir kısıttır. Bu kısıt ile belirlenen malzeme tiplerinden birinin seçilmesi sağlanmaktadır. Faydalı Yük Kapsülü tasarımında üç alternatif değerlendirilmiştir. Faydalı Yük Kapsülü tasarımında değerlendirmeye alınan malzemeler ise alüminyum, magnezyum ve çeliktir.

(8) numaralı kısıt ise Faydalı Yük Kapsülü tasarımında kiriş tipinin belirlenmesi için tanımlanan bir kısıttır. Bu kısıt ile belirlenen kiriş tiplerinden birinin seçilmesi sağlanmaktadır. Faydalı Yük Kapsülü tasarımlarında değerlendirilen kiriş çeşitleri; Z kiriş, C kiriş, T kiriş, L kiriş, W kiriş, I kiriş ve R kiriştir.

(9) numaralı kısıt ise karar değişkenleri olan a ve c 'nin sadece tamsayı değerler alması sağlanmaktadır.

Yukarıda detayları açıklanan matematiksel model incelendiğinde özellikle S ve T değerlerinin elde edilebilmesi için yapısal analiz programı ile entegre halde çalışan bir eniyileme yöntemi kullanmanın zorunlu olduğu görülmektedir. Bu amaçla bir Eniyileme Sistemi geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

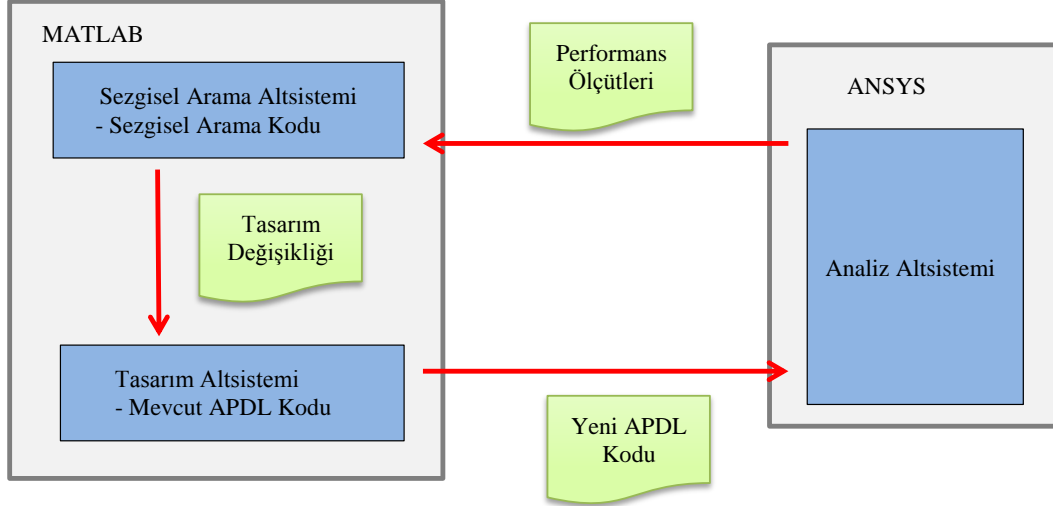
3.2 Eniyileme Sistemi Mimari Tasarımı

Faydalı Yük Kapsülü'nün yapısal olarak eniyilenmesi çalışması çok yönlü bir mühendislik yaklaşımı içermektedir. Bu kapsamda Faydalı Yük Kapsülü yapısal tasarımı için geliştirilmiş Eniyileme Sistemi birden fazla mühendislik dalına ait alt sistemler barındırmaktadır.

Eniyileme Sistemi temel olarak üç alt sistemden oluşmaktadır. Bu alt sistemler;

- Eniyileme Alt sistemi,
- Tasarım Alt sistemi,
- Analiz Alt sistemidir.

Bu alt sistemlerin çalışma presibini ortaya koyan akış şeması **Şekil 3-2**'de görülmektedir. Sistemi oluşturan alt sistemler olarak tanımlayabileceğimiz Tasarım, Analiz ve Sezgiel Arama Alt sistemleri bir bütün halinde çalışmaktadır. Bir alt sisteme girdi gelmekte, girdi üzerinde çalışılarak çıktı oluşturulmakta ve oluşturulan çıktı ise bir başka alt sisteme girdi olarak verilerek o alt sistemin çalışması sağlanmaktadır. Aşağıda başlıklar halinde her bir alt sistemin tanımı, girdileri ve çıktıları belirtilmiştir.



Şekil 3-2: Eniyileme Sistemi Akış Şeması

3.2.1 Tasarım altsistemi

Sezgisel Arama Altsisteminin adımları içerisinde Faydalı Yük Kapsülü'nün yapısal tasarımında değişiklikler yapılmaktadır. Faydalı Yük Kapsülünün mekanik bileşeninin boyutlarını değiştirmek, mekanik bileşende kullanılan malzemeyi değiştirmek, mekanik bileşenin temel yapısını değiştirmek yapılacak eniyileme adımları olarak sayılabilir. Yapılan bu değişikliklerin tasarıma yansıtılması amacıyla ANSYS Parametric Design Language (APDL) kullanılmaktadır. Faydalı Yük Kapsülü tasarımı APDL ile parametrik olarak tanımlanmakta olup, APDL'de yer alan parametreler değiştirilerek tasarımda yapılan değişikliklerin tasarıma yansıtılması sağlanmaktadır[10].

3.2.2 Analiz altsistemi

Mevcut tasarımın veya tasarımı değiştirilmiş Faydalı Yük Kapsülü'nün performans ölçütlerini belirlemek amacıyla Faydalı Yük Kapsülü'nün yapısal analizi gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştirilen analiz ile Faydalı Yük Kapsülü tasarımına dair önemli performans ölçütleri elde edilmektedir. Alınan performans ölçütleri mevcut Faydalı Yük Kapsülü tasarımının olurlu bir çözüm olması durumunu ve önceki tasarımlara göre performansını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır.

Faydalı Yük Kapsülü'nün yapısal analizlerini gerçekleştirmek amacıyla ANSYS analiz programı kullanılmaktadır. Bu altsistem kapsamında ANSYS analiz programına yeni Faydalı Yük Kapsülü tasarımına ait APDL kodu Tasarım Altsistemi tarafından girdi olarak verilirken; Faydalı Yük Kapsülü'ne ait gerekli performans

ölçütleri çıktı olarak alınmaktadır. Bu çıktı Eniyileme Altsistemine girdi olarak verilerek döngüye devam edilmektedir.

3.2.3 Sezgisel arama altsistemi

Sezgisel Arama Altsistemi'nin girdisi mevcut Faydalı Yük Kapsülü tasarımı ve bu tasarıma ait performans ölçütleri iken; çıktısı ise Faydalı Yük Kapsülü tasarımını iyilemeye yönelik yapılması gereken tasarım değişikliğidir. Bu tasarım değişikliği çıktısı Tasarım Altsistemi'ne girdi olarak verilerek Faydalı Yük Kapsülü tasarımı güncellenmektedir. Eniyileme çalışmaları kapsamında sezgisel arama yöntemi kullanılmaktadır. Sezgisel arama yöntemi yapısında yapılan tanımlamalar ile Faydalı Yük Kapsülü'nü tanımlayan her değişkenin bir karar değişkeni olarak ele alınması sağlanmakta ve sezgisel arama koşturumu içerisinde Faydalı Yük Kapsülü üzerinde iyileştirme adımları atılarak yapısal modelin daha iyi bir amaç fonksiyonuna sahip olması sağlanmaktadır.

Kullanılan sezgisel arama yöntemi MATLAB yazılımında kodlanarak MATLAB üzerinden gerekli işlemlerin yapılması sağlanmıştır. Sezgisel arama yöntemine ait tüm mantık ve tarama işlemleri MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Eniyileme Sisteminde sezgisel arama yöntemi olarak Tabu Arama sezgisel yönteminin uygun olacağı değerlendirilmiştir. Tabu Arama'yı sisteme entegre etmek için MATLAB'da kodlama yapılmıştır. Tabu Arama'da kullanılan tasarım (karar) değişkenlerine ait başlangıç değerleri, komşuluklar ve alt-üst sınır bilgileri Çizelge 3-4'te verilmiştir.

Çizelge 3-4: Tabu Arama Karar Değişkenleri

| Değişken | Birim | Başlangıç Değeri | Adım | Komşular | Alt Sınır | Üst Sınır |
|----------------|-------|------------------|-----------------------------------|--|-----------|-----------|
| a | adet | 10 | 1 artırıp, 1 azaltmak | a+1, a-1 | 1 | 15 |
| c | adet | 4 | 1 artırıp, 1 azaltmak | c+1, c-1 | 1 | 6 |
| malzemeTip | UD | Al | Diğer tüm malzemelerin seçimi | | UD | UD |
| kabukKalinligi | mm | 2,0 | 0.1 artırıp, 0.1 azaltmak | kabukKalinligi+0.1, kabukKalinligi-0.1 | 1,0 mm | 2.5 mm |
| kirisTip | UD | I | Diğer tüm kiris tiplerinin seçimi | | UD | UD |
| kirisBoy | mm | 20 | 1 artırıp, 1 azaltmak | kirisBoy+1, kirisBoy-1 | 10 | 25 |

Al: Alüminyum

UD: Uygulanabilir Değil

Eniyileme Sistemi'nin Tabu Arama ile çalışma şeklini inceleyecek olursak ilk aşamada mevcut Faydalı Yük Kapsülü tasarımı (başlangıç değeri) üzerinde tasarım değişkenlerinde Çizelge 3-4'te tanımlanan adımlar gerçekleştirilerek yeni Faydalı Yük Kapsülü tasarımları elde edilir.

Mevcut Faydalı Yük Kapsülüne komşu tasarımların elde edilmesinin ardından tasarımlara ait APDL kodları metin dosyasına yazdırılır. Tüm komşuluklar için elde edilen metin dosyaları ANSYS analiz programına girdi olarak verilir. Çözümün gerçekleşmesinin ardından metin dosyası içinde performans ölçütleri alınır ve değerlendirilir.

Komşu Faydalı Yük Kapsülü tasarımının olurluğunu değerlendirmek için tasarım üzerinde oluşan maksimum gerilme ve maksimum yer değiştirme değerlerine bakılır. Bu kriterlere sistemin kısıtları da denmektedir. Eğer istenen değerlerden küçükse tasarım olurlu olarak değerlendirilir ve gerçekleştirilebilecek bir adım olarak ele alınır. Tüm komşular için bu değerlendirme aşaması gerçekleştirilir.

Olurlu olduğu değerlendirilen komşuların amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. En iyi amaç fonksiyonuna sahip komşu seçilmiş komşu olarak belirlenir.

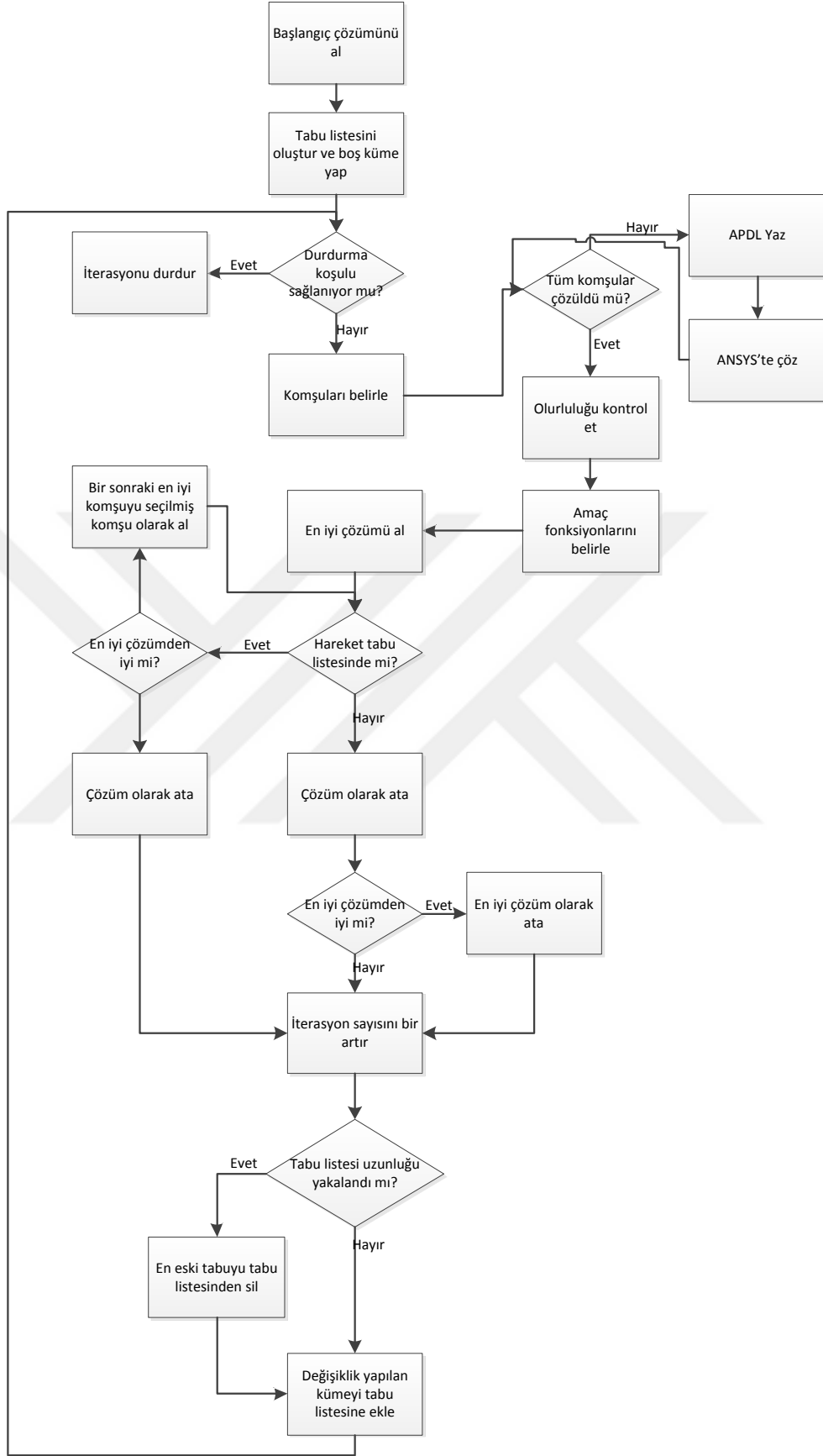
Bir sonraki aşamada seçilmiş komşunun hareketinin tabu listesinde olup olmadığı kontrol edilir.

Bu aşamanın devamında ise;

- Eğer seçilmiş komşu tabu listesinde ise en iyi çözümden daha iyi olup olmadığı kontrol edilir.
 - Seçilmiş komşu en iyi çözümden daha iyi bir çözüme sahipse; seçilmiş komşu, çözüm ve en iyi çözüm olarak atanır ve iterasyon sayısı bir artırılır.
 - Seçilmiş komşu en iyi çözümden daha iyi bir çözüme sahip değilse bir sonraki en iyi komşu seçilmiş komşu olarak seçilir ve bu aşama tekrarlanır.
- Eğer seçilmiş komşu tabu listesinde değilse en iyi çözümden iyi olup olmadığı kontrol edilir.
 - Seçilmiş komşu en iyi çözümden daha iyi bir çözüme sahipse çözüm ve en iyi çözüm olarak atanır ve iterasyon sayısı bir artırılır.
 - Seçilmiş komşu en iyi çözümden daha iyi bir çözüme sahip değilse çözüm olarak atanır ve iterasyon sayısı bir artırılır.

Bir sonraki aşamada ise tabu listesi güncellenir. Tabu listesine yeni hareket eklenir ve en eski hareket tabu listesinden silinir. Tabu listesinde hareket bilgileri tutularak aynı hareketin peşi sıra yapılması engellenir. Bu sayede çözüm kümesini daha farklı noktalarının taranması ve değerlendirilmesi sağlanır. Bu problem üzerinde farklılaşma (*diversification*) sağlar. Bir hareket tabu olmasına rağmen en iyi çözümden daha iyi olması durumunda kabul edilmesi ise tutku (*aspiration*) kriteridir. Bu yaklaşım ise problemin çözüm kümesi üzerinde yoğunlaşmayı (*intensification*) sağlamaktadır.

Yukarıda anlatılan işlemlere ait akış şeması Şekil 3-3'te gösterilmektedir.



Şekil 3-3: Tabu Arama İşlevsel Akışı

3.3 Tabu Arama Entegre Eniyileme Sistemi Detay Tasarımı

Eniyileme Sistemi'nde Tasarım ve Sezgisel Arama Altsistemleri kapsamında yürütülen işlemler Matlab üzerinde yürütülmektedir. Sezgisel Arama Altsisteminin adımları içerisinde Faydalı Yük Kapsülü'nün yapısal tasarımında değişiklikler yapılmaktadır. Faydalı Yük Kapsülü tasarımı APDL ile parametrik olarak tanımlanmakta olup APDL'de yer alan parametreler değiştirilerek tasarımda yapılan değişikliklerin tasarıma yansıtılması sağlanmaktadır [26-30]. Devamında tasarımı değiştirilmiş Faydalı Yük Kapsülü'nün yapısal analizi ile performans ölçütleri belirlenmektedir. Bunun için Matlab kodu ile Analiz Altsistemi'ne tasarıma ait APDL kodu girdi olarak verilerek arayüz sağlanmakta ve performans ölçütleri belirlenmektedir. Matlab kodu ile performans ölçütleri alınmakta ve Sezgisel Arama Altsistemi Tabu Arama Algoritması kapsamında değerlendirmeye alınmakta ve yapılacak harekete karar verilmektedir. Bu değerlendirme bir iterasyondaki tüm adımlar için çözümlerin alınmasının ardından gerçekleştirilmekte, böylece tüm mümkün tasarım değişiklikleri kapsanabilmektedir. Bu işlemlerin iteratif bir şekilde ve istenen iterasyon sayısı kadar gerçekleştirilmesi maksadıyla hazırlanan tasarımın detayına dair ilgili bölümler aşağıda verilmiştir.

Tasarım değişkenleri olan Faydalı Yük Kapsülü silindirik kısımda bulunan enine kiriş sayısı (a sayısı), Faydalı Yük Kapsülü konik kısımda bulunan enine kiriş sayısı (c sayısı), Faydalı Yük Kapsülü malzeme tipi (malzemeTip), Faydalı Yük Kapsülü kabuk yapısının kalınlığı (kabukKalinligi), Faydalı Yük Kapsülü kiriş tipi (kirisTip), Faydalı Yük Kapsülü kiriş tipinin adı (kirisTipAdi) ve Faydalı Yük Kapsülü kiriş boyunun (kirisBoy) başlangıç değerleri Çizelge 3-5'te yer alan kod ile tanımlanmaktadır. Ayrıca Ansys analiz programında tasarımın parametrik olarak tanımlanabilmesi amacıyla APDL'de kullanılan Faydalı Yük Kapsülünde bulunan toplam kiriş sayısının altıya göre modu (l sayısı) ve Faydalı Yük Kapsülünde bulunan toplam kiriş sayısının altıya bölümü ile elde edilen tamsayı (k) başlangıç değerleri de Çizelge 3-5'te tanımlanmaktadır. Buna ek olarak tasarım değişkeni olarak belirlenmemiş Faydalı Yük Kapsülünde dikine kiriş sayısı (b sayısı) ve bu dikine kiriş sayısının dörde bölünmesi ile elde edilen tamsayı (m) başlangıç değerleri APDL ile tasarımın yansıtılabilmesi için Çizelge 3-5'teki gibi tanımlanmaktadır.

Çizelge 3-5: Tasarım Değişkenlerinin Matlab Kodu ile Tanımlanması

```
%GİRDİLER
a_base=10;
b_base=20;
c_base=4;
l_base=mod(a_base+c_base,6);
k_base=(a_base+c_base-l_base)/6;
m_base=b_base/4;
malzemeTip_base=1;
kabukKalinligi_base=2;
kirisTip_base=1;
kirisTipAdi_base='Ibeam';
kirisBoy_base=20;
```

Tabu arama sezgisel yönteminin gerçekleştirileceği iterasyon sayısı (maxIterationNum), içerisinde bulunduğumuz iterasyon sayısı (iteration), tabu listesinin kaç adet tabu adımı tutacağı (tabuListUzunluk), tabu listesine eklenen tasarım değişkenlerinin kaydedildiği liste (tabuList), her iterasyonda değerlendirme altına alınacak tüm adımları içeren komşuluk miktarı ve tüm sonuçlara (solutionTum) dair tasarım değişkenlerinin sahip olduğu mevcut değerleri, hangi tasarım değişkenin değişikliğe uğradığının ve çözümün ortaya koyduğu Faydalı Yük Kapsülünün ağırlığı (amaç fonksiyonu değeri) Çizelge 3-6 ile tanımlanmaktadır.

Çizelge 3-6: Tabu Arama Yöntemi Girdileri

```
%Tabu Girdileri
maxIterNum=20;
iteration=0;
tabuListUzunluk=2;
tabuList=cell(tabuListUzunluk);
tumKomsulukMiktari=16;
solutionTum=cell(maxIterNum,9);
```

Mevcut ve değerlendirme altındaki Faydalı Yük Kapsülü tasarımlarının ağırlığının hesaplanması için tanımlanan kod Çizelge 3-7'de verilmektedir. Bu kabuk ve kiris ağırlıklarının ayrı ayrı hesaplanmasıyla oluşturulmaktadır. Bu işlemde her birimin hacmi hesaplanmaktadır. Bu cisimlerin hacimleri toplanarak Faydalı Yük Kapsülünün tüm hacmi hesaplanmakta ve bu hacim malzeme yoğunluğu ile çarpılarak ağırlık elde edilmektedir.

Çizelge 3-7: Faydalı Yük Kapsülü Tasarımı Ağırlığının Hesaplanması

```
%Amaç Fonksiyonunu hesaplama
agirlik_beam=(b_base*3810+(a_base+1)*2*1250*pi+b_base*1206+2*pi*917*(c_base-
1)*pi+2*pi*647+396*b_base)*((kirisBoy_base*3-
2*kabukKalinligi_base)*kabukKalinligi_base)*2850*10^(-9);
for j=1:c_base-2
    agirlik_beam=agirlik_beam+2*pi*((1250-917)/(c_base-1))*j*((kirisBoy_base*3-
2*kabukKalinligi_base)*kabukKalinligi_base)*2850*10^(-9);
end
agirlik_shell=((2*pi*1250*3810+pi*1250*4530-pi*917*3324+pi*459*674-
pi*189*278+2*pi*410*323.5)*2850*10^(-9))*2;
```

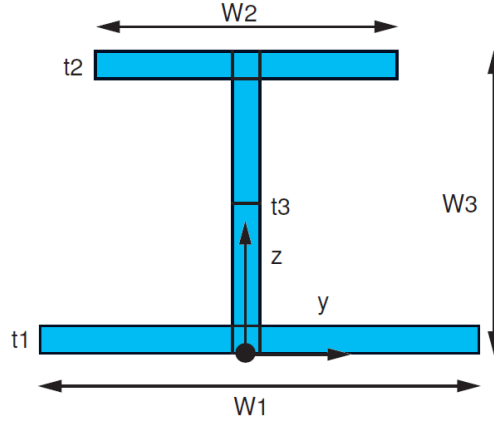
Her itarasyonda değerlendirme altına alınacak mevcut tasarımın komşulukları Çizelge 3-8'de verilen kod ile belirlenmektedir. Eğer mevcut tasarıma ait karar değişkeni kısıtlar ile belirlenen sınır değerlerinde olup olmadığı kontrol edilmektedir. Eğer sınır değerlerinde değilse gerekli ekleme, çıkarma ve değişiklik ile tasarım değişkeninin komşuluğu oluşturulmaktadır. Ayrıca bu komşuluğun hangi tasarım değişikliği ile oluştuğu belirtilmekte ve bu girdi tabu listesinin oluşturulmasında ve tabu hareketinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Çizelge 3-8'de a sayısı, c sayısı ve kiriş boyunun bir eksiği bir fazlası ile komşuluk oluşturulduğu, kabuk kalınlığının 0,1 eksiği ve 0,1 fazlası ile komşuluk oluşturulduğu ve malzeme tipi ile kiriş tipinin diğer tüm seçenekleri ile komşuluk oluşturulduğu görülebilir.

Çizelge 3-8: Tabu Arama ile Değerlendirilecek Komşulukları Belirlenmesi için Matlab Kodu

| | |
|--|---|
| <pre> %--Komşuluklar-- %a sayısı; 1 artır 1 azalt^ %2 tane %1 ile 15 arası if solutionG{1,1}<15 solutionG{1,1}=solution{1}+1; solutionG{1,8}=1; end if solutionG{2,1}>1 solutionG{2,1}=solution{1}-1; solutionG{2,8}=1; end %c sayısı; 1 artır 1 azalt %2 tane %1 ile 6 arası if solutionG{5,3}<6 solutionG{5,3}=solution{3}+1; solutionG{5,8}=3; end if solutionG{6,3}>1 solutionG{6,3}=solution{3}-1; solutionG{6,8}=3; end %malzeme tipi; malzeme tipini değiştir %2 tane sayac=0; for i=1:3 if solutionG{7+sayac,4}~=i solutionG{7+sayac,4}=i; solutionG{7+sayac,8}=4; sayac=sayac+1; end end </pre> | <pre> %kabuk kalınlığı; 1 mm ile 2,5 mm arasında; 0,1 mm artır azalt %2 tane if solutionG{9,5}<2.5 solutionG{9,5}=solution{5}+0.1; solutionG{9,8}=5; end if solutionG{10,5}>1 solutionG{10,5}=solution{5}-0.1; solutionG{10,8}=5; end %kiriş tipi; kiriş tiplerini değiştir %6 tane sayac=0; for i=1:6 if solutionG{11+sayac,6}~=i solutionG{11+sayac,6}=i; solutionG{11+sayac,8}=6; sayac=sayac+1; end end %kiriş boyu; 10 mm ile 20 mm arasında; 1 mm artır azalt %2 tane if solutionG{17,7}<20 solutionG{17,7}=solution{7}+1; solutionG{17,8}=7; end if solutionG{18,7}>10 solutionG{18,7}=solution{7}-1; solutionG{18,8}=7; end end </pre> |
|--|---|

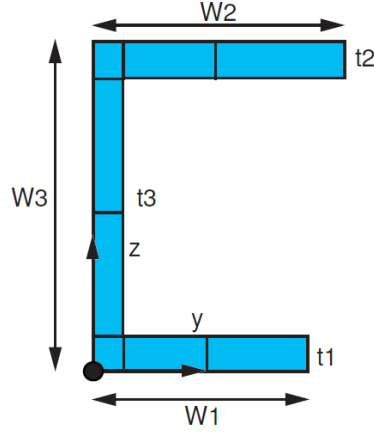
Tasarım değişkenlerinden biri olan kiriş tipi için altı çeşit kiriş tipi değerlendirmeye dahil edilmiştir. Bu kiriş tipleri ‘I’ kiriş, ‘Z’ kiriş, ‘C’ kiriş, ‘L’ kiriş, ‘T’ kiriş ve ‘HATS (W)’ kiriştir. Kiriş tiplerinin tasarlanabilmesi için tanımlanması gereken değişkenleri bulunmaktadır. Bu değişkenler her kiriş tipinde bulunan bileşenlerini genişlikleri ve boylarıdır.

‘I’ kiriş görünümü ve ‘I’ kirişi tanımlamak için kullanılan ölçüler Şekil 3-4’te verilmektedir. ‘t1’, ‘t2’ ve ‘t3’ kiriş bileşenlerinin boylarını, ‘W1’, ‘W2’ ve ‘W3’ kiriş bileşenlerinin genişliklerini ifade etmektedir.



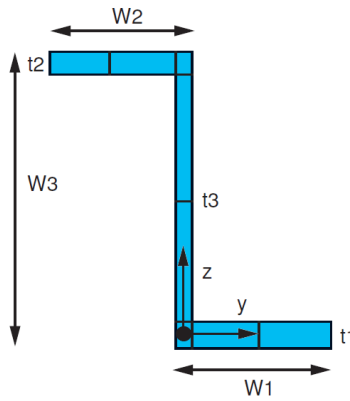
Şekil 3-4: 'I' Kiriş Görünümü ve Kirişi Tanımlayan Ölçüler

'C' kiriş görünümü ve 'C' kirişi tanımlamak için kullanılan ölçüler Şekil 3-5'te verilmektedir. 't1', 't2' ve 't3' kiriş bileşenlerinin boylarını, 'W1', 'W2' ve 'W3' kiriş bileşenlerinin genişliklerini ifade etmektedir.



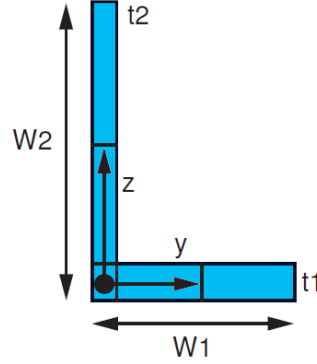
Şekil 3-5: 'C' Kiriş Görünümü ve Kirişi Tanımlayan Ölçüler

'Z' kiriş görünümü ve 'Z' kirişi tanımlamak için kullanılan ölçüler Şekil 3-6'da verilmektedir. 't1', 't2' ve 't3' kiriş bileşenlerinin boylarını, 'W1', 'W2' ve 'W3' kiriş bileşenlerinin genişliklerini ifade etmektedir.



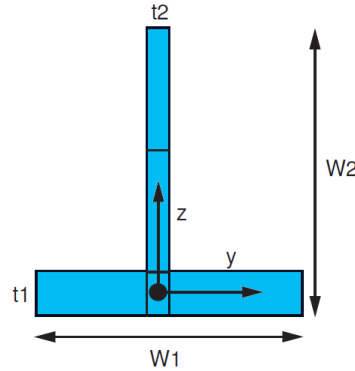
Şekil 3-6: 'Z' Kiriş Görünümü ve Kirişi Tanımlayan Ölçüler

'L' kiriş görünümü ve 'L' kirişi tanımlamak için kullanılan ölçüler Şekil 3-7'de verilmektedir. 't1' ve 't2' kiriş bileşenlerinin boylarını, 'W1' ve 'W2' kiriş bileşenlerinin genişliklerini ifade etmektedir.



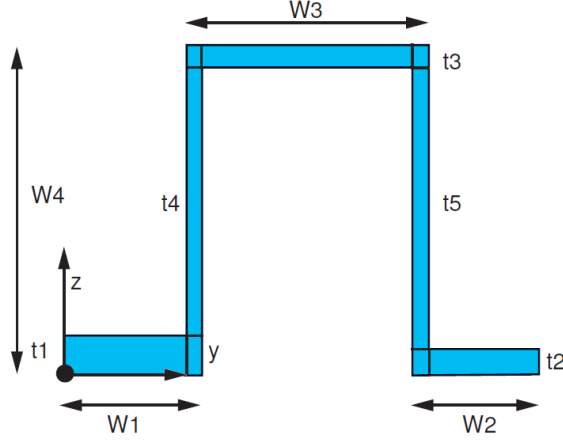
Şekil 3-7: 'L' Kiriş Görünümü ve Kirişi Tanımlayan Ölçüler

'T' kiriş görünümü ve 'T' kirişi tanımlamak için kullanılan ölçüler Şekil 3-8'de verilmektedir. 't1' ve 't2' kiriş bileşenlerinin boylarını, 'W1' ve 'W2' kiriş bileşenlerinin genişliklerini ifade etmektedir.



Şekil 3-8: 'T' Kiriş Görünümü ve Kirişi Tanımlayan Ölçüler

'W' kiriş görünümü ve 'W' kirişi tanımlamak için kullanılan ölçüler Şekil 3-9'da verilmektedir. Kiriş bileşenlerinin boylarını 't1', 't2', 't3', 't4' ve 't5' ile, kiriş bileşenlerinin genişlikleri 'W1', 'W2', 'W3' ve 'W4' ile ifade edilmektedir.



Şekil 3-9: 'W' Kiriş Görünümü ve Kirişi Tanımlayan Ölçüler

Tanımlanan altı çeşit kiriş tipi için kiriş ölçüleri tasarım değişkenleri olan kabuk kalınlığına ve kiriş boylarına bağlanmıştır. Kirişlerin karakteristik özellikleri gözönünde bulundurularak alınan tasarım kararında tüm kiriş çeşitlerinin boyları kabuk kalınlığına eşit olacak şekilde kirişler tasarlanmıştır.

Altı çeşit kiriş tipinin sahip olduğu kiriş bileşenlerinin genişliklerinin ölçüleri ise kiriş boyu ile orantılı olacak şekilde tanımlanmış olup, 'I' kiriş ve 'T' kirişte tüm genişlikler kiriş boyu karar değişkenine eşit olması yönünde tasarım kararı alınmıştır. 'Z' ve 'C' kiriş tiplerinde 'y' eksenini doğrultusunda yer alan kiriş bileşenlerinin genişlikleri kiriş boyunu yarısı olacak şekilde, 'z' eksenini doğrultusundaki kiriş bileşenlerinin genişlikleri ise kiriş boyuna eşit olacak şekilde tasarlanmıştır. 'L' ve 'W' kiriş tiplerinde de aynı şekilde 'y' eksenini doğrultusundaki kiriş bileşenlerinin genişlikleri kiriş boyu karar değişkeninin sahip olduğu değerin yarısı olacak şekilde tasarlanmasına karar verilmiştir. 'L' ve 'W' kiriş tiplerinin 'z' eksenini doğrultusundaki kiriş bileşenlerinin genişlikleri kiriş boyuna eşit olması yönünde tasarım kararı alınmıştır. Kiriş tiplerinin ve boyutlarının tanımlandığı Matlab kodu Çizelge: 3-9'da verilmektedir. 'I' kiriş bir nolu kiriş tipi, 'Z' kiriş iki nolu kiriş tipi, 'C' kiriş üç nolu kiriş tipi, 'L' kiriş dört nolu kiriş tipi, 'T' kiriş beş nolu kiriş tipi ve 'HATS (W)' kiriş altı nolu kiriş tipidir ve Matlab bu numaralandırma ile tanımlanmaktadır.

Çizelge: 3-9 Kiriş Tiplerinin ve Boyutlarının Tanımlanması için Matlab Kodu

| | |
|---|--|
| <pre> %I kiriş=1 w1_I=kirisBoy; w2_I=kirisBoy; w3_I=kirisBoy; t1_I=kabukKalinligi; t2_I=kabukKalinligi; t3_I=kabukKalinligi; %Z kiriş=2 w1_z=kirisBoy/2; w2_z=kirisBoy/2; w3_z=kirisBoy; t1_z=kabukKalinligi; t2_z=kabukKalinligi; t3_z=kabukKalinligi; %C kiriş=3 w1_c=kirisBoy/2; w2_c=kirisBoy/2; w3_c=kirisBoy; t1_c=kabukKalinligi; t2_c=kabukKalinligi; t3_c=kabukKalinligi; </pre> | <pre> %L kiriş=4 w1_l=kirisBoy/2; w2_l=kirisBoy; t1_l=kabukKalinligi; t2_l=kabukKalinligi; %T kiriş=5 w1_t=kirisBoy; w2_t=kirisBoy; t1_t=kabukKalinligi; t2_t=kabukKalinligi; %W kiriş=6 w1_w=kirisBoy/2; w2_w=kirisBoy/2; w3_w=kirisBoy/2; w4_w=kirisBoy; t1_w=kabukKalinligi; t2_w=kabukKalinligi; t3_w=kabukKalinligi; t4_w=kabukKalinligi; t5_w=kabukKalinligi; </pre> |
|---|--|

Tasarım Altsistemi çalışmaları kapsamında Matlab kodu ile değerlendirilecek olan tasarımın APDL kodunun metin dosyasında oluşturulması Çizelge 3-10'da yer alan kod ile başlanmaktadır. İlk satırda yer alan kod ile metin dosyası oluşturulmakta ve ardından Ansys için gerekli hataların nasıl ele alınacağı (sadece “error” tipinde hataların gösterileceği ve 100 milyonuncu hataya kadar analizin durdurulmayacağı ve devam edileceği), analiz çeşidi ve son satır ile de tasarımın oluşturulacağı sekmeye giriş yapılacağı gibi bilgiler sağlanmaktadır.

Çizelge 3-10: APDL ile Analiz Modelinin Oluşturulması için Gerekli Girdilerin Metin Dosyasında Oluşturulduğu Matlab Kodu

| |
|--|
| <pre> %APDL Yazma fid = fopen('FYK_APDL.txt', 'w'); fprintf(fid, '%nerr,0,999999999,0,0\n'); fprintf(fid, '%uis,msgpop,3 \n'); fprintf(fid, '%KEYW,PR_SET,1\n'); fprintf(fid, '%KEYW,PR_STRUC,1\n'); fprintf(fid, '%KEYW,PR_THERM,0\n'); fprintf(fid, '%KEYW,PR_FLUID,0\n'); fprintf(fid, '%KEYW,PR_ELMAG,0\n'); fprintf(fid, '%KEYW,MAGNOD,0 \n'); fprintf(fid, '%KEYW,MAGEDG,0 \n'); fprintf(fid, '%KEYW,MAGHFE,0 \n'); fprintf(fid, '%KEYW,MAGELC,0 \n'); fprintf(fid, '%KEYW,PR_MULTI,0 \n'); fprintf(fid, '%KEYW,PR_CFD,0 \n'); fprintf(fid, '%PREP7 \n'); </pre> |
|--|

Malzeme tipi karar değişkeni için üç alternatif bulunmaktadır. Bu alternatifler alüminyum, magnezyum ve çelik olup, Çizelge 3-11’de verilen matlab kodu ile özellikleri tanımlanmaktadır. Çizelge 3-11’den de görülebileceği üzere her malzemenin yoğunluğu, elastik modülü ve poisson değeri tanımlanmaktadır. Bir nolu malzeme alüminyum, iki nolu malzeme çelik ve üç nolu malzeme magnezyum olarak tanımlanmış ve bu şekilde tüm kod boyunca kullanılmıştır.

Çizelge 3-11: Malzeme Tiplerinin ve Özelliklerinin Tanımlanması için Matlab Kodu

```
%Malzeme Tanımlama
%Alüminyum
fprintf(fid,'MPTEMP,,,,,,,, \n');
fprintf(fid,'MPTEMP,1,0 \n');
fprintf(fid,'MPDATA,EX,1,,70000 \n');
fprintf(fid,'MPDATA,PRXY,1,,0.33 \n');
fprintf(fid,'MPTEMP,,,,,,,, \n');
fprintf(fid,'MPTEMP,1,0 \n');
fprintf(fid,'MPDATA,DENS,1,,2850e-12 \n');

%Çelik
fprintf(fid,'MPTEMP,2,0 \n');
fprintf(fid,'MPDATA,EX,2,,200000 \n');
fprintf(fid,'MPDATA,PRXY,2,,0.30 \n');
fprintf(fid,'MPTEMP,2,0 \n');
fprintf(fid,'MPDATA,DENS,2,,7850e-12 \n');

%Magnezyum
fprintf(fid,'MPTEMP,3,0 \n');
fprintf(fid,'MPDATA,EX,3,,45000 \n');
fprintf(fid,'MPDATA,PRXY,3,,0.29 \n');
fprintf(fid,'MPTEMP,3,0 \n');
fprintf(fid,'MPDATA,DENS,3,,1738e-12 \n');
```

Ansys analiz programında yapıyı oluştururken tanımlanması gereken bir başka girdi ise eleman tipleridir. Faydalı Yük Kapsülünde iki farklı yapı bulunmaktadır. Bunlar kabuk yapı ve kiriştir. Kabuk yapı için ‘SHELL181’ tipi eleman tanımı, kiriş içinse ‘BEAM188’ tipi eleman tanımı kullanılmıştır. EK-1’de SHELL181 ve BEAM188 eleman tipleri için detay bilgiler verilmiştir. EK-1’de de belirtildiği gibi bu eleman tipleri birbirleri altı serbestlik dereceli oldukları için birbirleri ile uyumlulardır ve analizin gerçekleştirileceği tasarımda kullanılabileceklerdir. Kabuk yapı bir nolu eleman tipi, kiriş yapı ise iki nolu eleman tipi olarak tanımlanmış ve kullanılmıştır. Kabuk yapının APDL ile tanımlanmasına yönelik Matlab kodu Çizelge 3-12’de, kiriş yapısının tanımlanmasına yönelik Matlab kodu ise Çizelge 3-13’te verilmektedir. Seçilen kiriş tipi doğrultusunda kiriş elemanı tanımlaması yapıldığı için kiriş tipi de kiriş eleman yapısının tanımlanmasına dahil edilmektedir. Seçilen kiriş tipi bu yapıda

kiriş yapısına dahil edilmekte ve Çizelge 3-14'te yer alan Matlab kodu ile giriş bileşenlerinin boyutları APDL kodunda tanımlanması sağlanmaktadır.

Çizelge 3-12: Kabuk Eleman Tipinin APDL ile Tanımlanması için Matlab Kodu

```
% İlk Eleman tipi kabuk yapı: Eleman numarası 1
fprintf(fid,'ET,1,SHELL181 \n');
% İlk section tipi shell: section number: 1
fprintf(fid,'SECTYPE,1,shell, \n');
%kabuk kalınlığı:2
fprintf(fid,'SECDATA,');
fprintf(fid,'%d',kabukKalinligi);
fprintf(fid,'1,0,0,3 \n');
fprintf(fid,'SECOFFSET,MID \n');
```

Çizelge 3-13: Kiriş Eleman Tipinin APDL ile Tanımlanması için Matlab Kodu

```
%İkinci eleman tipi: giriş
fprintf(fid,'ET,2,BEAM188 \n');
%İkinci section tipi I Beam: section number 2
fprintf(fid,'SECTYPE, 2, BEAM,');

if kirisTip==1 %I beam
    fprintf(fid,'I');
    fprintf(fid,'Ibeam');

elseif kirisTip==2 %z beam
    fprintf(fid,'Z');
    fprintf(fid,'Zbeam');

elseif kirisTip==3 %c beam
    fprintf(fid,'CHAN');
    fprintf(fid,'Cbeam');

elseif kirisTip==4 %l beam
    fprintf(fid,'L');
    fprintf(fid,'Lbeam');

elseif kirisTip==5 %t beam
    fprintf(fid,'T');
    fprintf(fid,'Tbeam');

elseif kirisTip==6 %w beam
    fprintf(fid,'HATS');
    fprintf(fid,'Wbeam');

end
end
end
end
end
end
```

Çizelge 3-14: Kiriş Tipi Boyutlarının APDL’de Tanımlanması için Matlab Kodu

| | |
|---|--|
| <pre> fprintf(fid,' 2 \n'); fprintf(fid,'SECOFFSET, CENT\n'); if kirisTip==1 fprintf(fid,'SECDATA,'); fprintf(fid,'%d',w1_I); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',w2_I); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',w3_I); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t1_I); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t2_I); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t3_I); fprintf(fid,'\n'); elseif kirisTip==2 fprintf(fid,'SECDATA,'); fprintf(fid,'%d',w1_z); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',w2_z); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',w3_z); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t1_z); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t2_z); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t3_z); fprintf(fid,'\n'); elseif kirisTip==3 fprintf(fid,'SECDATA,'); fprintf(fid,'%d',w1_c); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',w2_c); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',w3_c); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t1_c); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t2_c); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t3_c); fprintf(fid,'\n'); </pre> | <pre> elseif kirisTip==4 fprintf(fid,'SECDATA,'); fprintf(fid,'%d',w1_I); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',w2_I); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t1_I); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t2_I); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'\n'); elseif kirisTip==5 fprintf(fid,'SECDATA,'); fprintf(fid,'%d',w1_t); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',w2_t); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t1_t); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t2_t); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'\n'); elseif kirisTip==6 fprintf(fid,'SECDATA,'); fprintf(fid,'%d',w1_w); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',w2_w); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',w3_w); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',w4_w); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t1_w); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t2_w); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t3_w); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t4_w); fprintf(fid,');); fprintf(fid,'%d',t5_w); fprintf(fid,'\n'); end end end end end end </pre> |
|---|--|

Ansysis analiz programında analiz gerçekleştirilecek olan Faydalı Yük Kapsülü'nün yapısal tasarımının oluşturulması için tasarım parametrelerinin sırasıyla tanımlanması gerekmektedir. APDL aracılığıyla Faydalı Yük Kapsülü tasarımının oluşturulmasına ilk olarak tasarıma ait noktaların tanımlanması ile başlanmaktadır. Faydalı Yük Kapsülü noktaları Çizelge 3-15'te verilen matlab kodu ile tanımlanmaktadır.

Çizelge 3-15: Faydalı Yük Kapsülü Tasarımına Ait Noktaların APDL’de Tanımlanması için Matlab Kodu

```
fprintf(fid,'K,1,0,0,0 \n');

for j=2:a+2
    fprintf(fid,'K,');
    fprintf(fid,'%d',j);
    fprintf(fid,',');
    fprintf(fid,'%d',(j-2)*(3810/a));
    fprintf(fid,',1250,0\n');
end

for j=0:c-2
    fprintf(fid,'K,');
    fprintf(fid,'%d',a+3+j);
    fprintf(fid,',');
    fprintf(fid,'%d',3810+(4970-3810)/(c-1)*(j+1));
    fprintf(fid,',');
    fprintf(fid,'%d',1250-(1250-917)/(c-1)*(j+1));
    fprintf(fid,',0\n');
end

fprintf(fid,'K,');
fprintf(fid,'%d',a+c+2);
fprintf(fid,',5550,647,0 \n');
fprintf(fid,'K,');
fprintf(fid,'%d',a+c+3);
fprintf(fid,',5850,400,0 \n');
fprintf(fid,'K,');
fprintf(fid,'%d',a+c+4);
fprintf(fid,',5960,0,0 \n');

for j=0:a+c-1
    fprintf(fid,'LSTR,');
    fprintf(fid,'%d',j+2);
    fprintf(fid,',');
    fprintf(fid,'%d',j+3);
    fprintf(fid,'\n');
end

fprintf(fid,'SPLINE, ');
fprintf(fid,'%d',a+c+2);
fprintf(fid,',');
fprintf(fid,'%d',a+c+3);
fprintf(fid,',');
fprintf(fid,'%d',a+c+4);
fprintf(fid,'\n');
```

Faydalı Yük Kapsülü tasarımına ait noktaların tanımlanmasının ardından silindirik yapıyı oluşturmak amacıyla tanımlanmış olan noktalar belirli bir eksen etrafında 360° döndürülebileceği değerlendirilmiştir. APDL ile noktaları eksen etrafında 360° döndürerek silindirik yapıyı elde etmek amacıyla Çizelge 3-16’da verilen matlab kodu kullanılmıştır.

Çizelge 3-16: Faydalı Yük Kapsülü Silindirik Yapısının Oluşturulması için Matlab Kodu

| | |
|---|--|
| <pre> if k==1 fprintf(fid,'AROTAT,1,2,3,4,5,6,1,'); fprintf(fid,'%d',a+c+4); fprintf(fid,',360,'); fprintf(fid,'%d',b); fprintf(fid,'\n'); end if k==2 fprintf(fid,'AROTAT,1,2,3,4,5,6,1,'); fprintf(fid,'%d',a+c+4); fprintf(fid,',360,'); fprintf(fid,'%d',b); fprintf(fid,'\n'); fprintf(fid,'AROTAT,7,8,9,10,11,12,1,'); fprintf(fid,'%d',a+c+4); fprintf(fid,',360,'); fprintf(fid,'%d',b); fprintf(fid,'\n'); end if k==3 fprintf(fid,'AROTAT,1,2,3,4,5,6,1,'); fprintf(fid,'%d',a+c+4); fprintf(fid,',360,'); fprintf(fid,'%d',b); fprintf(fid,'\n'); </pre> | <pre> fprintf(fid,'AROTAT,7,8,9,10,11,12,1,'); fprintf(fid,'%d',a+c+4); fprintf(fid,',360,'); fprintf(fid,'%d',b); fprintf(fid,'\n'); fprintf(fid,'AROTAT,13,14,15,16,17,18,1,'); fprintf(fid,'%d',a+c+4); fprintf(fid,',360,'); fprintf(fid,'%d',b); fprintf(fid,'\n'); end if l>0 fprintf(fid,'AROTAT,'); for j=1:l fprintf(fid,'%d',j+k*6); fprintf(fid,'); end for j=1:6-l fprintf(fid,'); end fprintf(fid,'); fprintf(fid,'%d',a+c+4); fprintf(fid,',360,'); fprintf(fid,'%d',b); fprintf(fid,'\n'); end </pre> |
|---|--|

Faydalı Yük Kapsülünün yapısal analizinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla ağ yapı oluşturulması gerekmektedir. Oluşturulan ağ yapı ile Ansys analiz sürecini yürütmekte ve gerilme/gerinim değerlerine oluşturulan bu ağ yapılar üzerinden ulaşmaktadır. Faydalı Yük Kapsülü yapısında bulunan hem çizgilere hem de yüzeyler de ağ yapısının oluşturulması gerekmektedir. Çizgilerde ağ yapıyı oluşturmak amacıyla Çizelge 3-17’de verilen Matlab kodu, yüzeylerde ağ yapı oluşturmak amacıyla Çizelge 3-18’de verilen Matlab kodu kullanılmıştır. Ağ yapı oluşturulmadan önce hem çizgi ağ yapısının hem de yüzey ağ yapısının boyutları Çizelge 3-17 ve Çizelge 3-18’in ilk satırlarında belirlenmiş ve devamında ağ yapı oluşturulmuştur. Kabukta oluşturulan örnek bir ağ yapı EK-2’de ve kirişte oluşturulan örnek bir ağ yapısı EK-3’te verilmektedir.

Çizelge 3-17: APDL ile Çizgi Üzerinde Ağ Yapı Oluşturmak için Matlab Kodu

| |
|---|
| <pre> fprintf(fid,'esize,30\n '); fprintf(fid,'TYPE,2\n '); fprintf(fid,'MAT,'); fprintf(fid,'%d',malzemeTip); fprintf(fid,'\n'); fprintf(fid,'REAL,\n '); fprintf(fid,'ESYS,0\n '); fprintf(fid,'SECNUM,2\n'); fprintf(fid,'LMESH, all\n'); </pre> |
|---|

Çizelge 3-18: APDL ile Yüzeylerde Ağ Yapı Oluşturmak için Matlab Kodu

```
fprintf(fid,'TYPE,1\n ');
fprintf(fid,'MAT,');
fprintf(fid,'%d',malzemeTip);
fprintf(fid,'\n');
fprintf(fid,'REAL,\n ');
fprintf(fid,'ESYS,0\n ');
fprintf(fid,'SECNUM,1\n');
fprintf(fid,'AMESH, all\n');
```

Ansys'te oluşturulan Faydalı Yük Kapsülü tasarımında analiz gerçekleştirmek amacıyla sınır koşullarının tanımlanması gerekmektedir. Bu aşamada sınır koşulu olarak serbestlik derecesi tanımlanmıştır. Faydalı Yük Kapsülünün uygun yerlerinden tutularak serbestlik derecesi tüm yönlerde kısıtlanmıştır. Bu amaçla hazırlanan Matlab kodu Çizelge 3-19'da verilmiştir.

Çizelge 3-19: APDL ile Sınır Koşulu Oluşturmak için Matlab Kodu

```
if k>0
for j=0:19
    fprintf(fid,'DL,');
    fprintf(fid,'%d',a+c+(b-1)*6+7*j+1);
    fprintf(fid,',,ALL\n');
end
elseif k==0
for j=0:19
    fprintf(fid,'DL,');
    fprintf(fid,'%d',a+c+(b-1)*1+7*j+1);
    fprintf(fid,',,ALL\n');
end
end
end
```

Faydalı Yük Kapsülünün uçuş esnasında maruz kaldığı çevresel şartlardan birisi de yüzeylerinde oluşan yüklerdir. Bu yükleri temsil etmesi amacıyla Faydalı Yük Kapsülü yüzeylerinde Çizelge 3-20'de verilen Matlab kodu ile basınç elemanları oluşturulmuştur.

Çizelge 3-20: APDL ile Faydalı Yük Kapsülü Üzerinde Uçuşta Maruz Kalınan Basıncı Oluşturmak için Matlab Kodu

```
if k>0
for j=0:k-1
for x=1:6
for z=0:m-1
    fprintf(fid,'SFA,');
    fprintf(fid,'%d',x+b*6*j+6*z);
    fprintf(fid,',,PRES,');
    fprintf(fid,'%d',0.002*(z+1)*((5*6)/(m*(m+1))));
    fprintf(fid,'\n');
    fprintf(fid,'SFA,');
    fprintf(fid,'%d',x+ b*6*j+((b/2)-(z+1))*6);
    fprintf(fid,',,PRES,');
    fprintf(fid,'%d',0.002*(z+1)*((5*6)/(m*(m+1))));
    fprintf(fid,'\n');
end
end
end
end

for j=1:l
for z=0:m-1
    fprintf(fid,'SFA,');
    fprintf(fid,'%d',j+b*6*k+1*z);
    fprintf(fid,',,PRES,');
    fprintf(fid,'%d',0.002*(z+1)*((5*6)/(m*(m+1))));
    fprintf(fid,'\n');
    fprintf(fid,'SFA,');
    fprintf(fid,'%d',j+b*6*k+(b/2-(z+1))*1);
    fprintf(fid,',,PRES,');
    fprintf(fid,'%d',0.002*(z+1)*((5*6)/(m*(m+1))));
    fprintf(fid,'\n');
end
end

for j=1:2
for z=0:m-1
    fprintf(fid,'SFA,');
    fprintf(fid,'%d',j+(b*(a+c))+2*z);
    fprintf(fid,',,PRES,');
    fprintf(fid,'%d',0.002*(z+1)*((5*6)/(m*(m+1))));
    fprintf(fid,'\n');
    fprintf(fid,'SFA,');
    fprintf(fid,'%d',j+(b*(a+c)+2*(b/2-(z+1))));
    fprintf(fid,',,PRES,');
    fprintf(fid,'%d',0.002*(z+1)*((5*6)/(m*(m+1))));
    fprintf(fid,'\n');
end
end
```

Matlab kodu ile oluşturulan APDL aracılığıyla Ansys analiz programında Faydalı Yük Kapsülü yapısı oluşturulmuş ve uçuş kısıtları yansıtılmıştır. Bu kapsamda serbestlik derecesi kısıtlanmış, maruz kalacağı yükler yapı üzerine tayin edilmiştir. Tamamlanan Faydalı Yük Kapsülü yapısının bir soraki aşamada analizinin gerçekleştirilmesi ve performans ölçütleri olarak belirlenen analiz sonuçlarının

belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Çizelge 3-21’de yer alan Matlab kodu hazırlanmıştır. İlk satırda yer alan Matlab kodu ile analiz çözümünün alınması, diğer satırlarla ise sonuçlara erişilmesi ve kaydedilmesi sağlanmaktadır.

Çizelge 3-21: APDL ile ANSYS Analiz Sonuçlarına Almak için Matlab Kodu

```
fprintf(fid,'SOLVE \n');
fprintf(fid,'FINISH \n');
fprintf(fid,'/POST1 \n');
fprintf(fid,'/GRAPHICS,FULL \n');
fprintf(fid,'nset,all ! select all nodes \n');
fprintf(fid,'nsort,S,EQV \n');
fprintf(fid,'*get,Smax,sort,,max \n');
fprintf(fid,'nsort,U,SUM \n');
fprintf(fid,'*get,Umax,sort,,max \n');
fprintf(fid,'PARSAV,ALL,FYKSol.txt \n');
fprintf(fid,'*CFCLOSE \n');
```

Faydalı Yük Kapsülü yapısal analizi için gerekli olan tüm APDL kodu metin belgesi içinde oluşturulmuş ve Ansys analiz programına girdi olarak verilmesi sonucunda çözüm alınabilmesi için hazırdır. Bu aşamada Çizelge 3-22’de belirtilen Matlab kodu ile Ansys analiz programı APDL kodunu okumakta ve çözümü gerçekleştirmeye başlamaktadır. Sonuçları ise APDL’de belirtildiği üzere metin dosyasında çıktı olarak vermektedir.

Çizelge 3-22: Oluşturulan Metin Dosyasının Ansys’e Verilmesi ve Çözdürülmesi için Matlab Kodu

```
%APDL ile çözdürme
dos('C:\Program Files\ANSYS Inc\v150\ansys\bin\winx64\ANSYS150.exe" -b -i
"D:\Tez\FYK_APDL.txt');
```

Tasarımın sonucuna yönelik performans ölçütleri Matlab tarafından okunur ve tabu arama için olurlu bir tasarım olup olmadığı kontrol edilir. Olurlu olması durumunda Çizelge 3-23’te verilen Matlab kodu ile tabu değerlendirmesine tabi tutulur. Tabu Arama için belirlenen kriterler verilen kod sayesinde gerçekleştirilir ve hareketin belirlenmesi sağlanır, bir sonraki iterasyona geçilir. Şu ana kadar anlatılan süreç her iterasyonda tekrarlanır.

Çizelge 3-23: Tabu Arama Süreci için Matlab Kodu

```
%Tabu değerlendirmesi yap ve ardından adımı gerçekleştir
flag1=false;
sayac=1;
while (flag1==false)
    flag=false;
    if solutionG{sayac,8}==8 || solutionG{sayac,8}==0
        sayac=sayac+1;
    else
        for i=1:tabuListUzunluk
            if tabuList{i}==solutionG{sayac,8}
                flag=true;
            end
        end

        %Tabu ise
        if flag==true
            if solutionB{9}>solutionG{sayac,9}
                for z=1:11
                    solutionB{z}=solutionG{sayac,z};
                    solution{z}=solutionG{sayac,z};
                end

                tabuList{1}=tabuList{2};
                tabuList{2}=solutionG{sayac,8};
                iteration=iteration+1;
                flag1=true;
            else
                sayac=sayac+1;
            end

            else%tabu değilse
            if solutionB{9}>solutionG{sayac,9}
                for z=1:11
                    solutionB{z}=solutionG{sayac,z};
                end
            end
            for z=1:11
                solution{z}=solutionG{sayac,z};
            end

            tabuList{1}=tabuList{2};
            tabuList{2}=solutionG{sayac,8};
            iteration=iteration+1;
            flag1=true;
        end
    end
end
end
end
```

3.4 Bulgular

Geliştirilen Eniyileme Sistemi kullanılarak farklı iterasyon sayıları için koşuturmlar gerçekleştirilmiştir. Koşuturmlar Intel Core i7 64bit işletim sistemine ve 8GB RAM'e sahip bilgisayar ile tamamlanmıştır.

Yapılan koşturumlara ait sonuçlar Çizelge 3-24'te, Faydalı Yük Kapsülü ağırlığının farklı iterasyonlardaki durumları ise Şekil 3-10'da paylaşılmıştır. Temel Faydalı Yük Kapsülü tasarımının gerilme dağılımları EK-4'te, deformasyona uğramış hali ise 60 orantı katsayısı ile EK-5'te verilmiştir. Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü tasarımının gerilme dağılımları ise EK-6'da, deformasyona uğramış hali ise 60 orantı katsayısı ile EK-7'de verilmiştir.

Çizelge 3-24: Farklı İterasyon Sayılarında Koşturum Sonuçları

| İterasyon Sayısı | a sayısı | c sayısı | Malzeme Tipi | Kabuk kalınlığı (mm) | Kiriş Tipi | Kiriş Boyu (mm) | Amaç Fonk Değeri (kg) |
|------------------|----------|----------|--------------|----------------------|------------|-----------------|-----------------------|
| 0 | 10 | 4 | 1 (Al) | 2,0 | 1 (I) | 20 | 308,67 |
| 5 | 10 | 4 | 3 (Mg) | 1,6 | 1 (I) | 20 | 144,89 |
| 10 | 10 | 4 | 3 (Mg) | 1,1 | 1 (I) | 20 | 100,03 |
| 20 | 10 | 4 | 3 (Mg) | 1,0 | 1 (I) | 11 | 80,83 |
| 50 | 7 | 6 | 3(Mg) | 1,0 | 3(Z) | 10 | 75,58 |



Şekil 3-10: Faydalı Yük Kapsülü Ağırlığının İterasyon Sayısı ile Değışimi

Çizelge 3-24'te verilen değerler incelendiğinde mevcut Faydalı Yük Kapsülü ağırlığında %75,5'lik iyileştirme yapıldığı görülmektedir. Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü yapısal tasarımına ait görünüm EK-8'de verilmiştir. Faydalı Yük Kapsülü tasarımında kabuk kalınlığının üretim kabiliyetlerinin alt sınırı olan 1 mm'de tasarlanmasının uçuş yükleri açısından da kritik olmadığı ortaya çıkmaktadır. Faydalı Yük Kapsülü tasarımında görülen bir diğer değışiklik ise kullanılan malzeme seçimidir. Faydalı Yük Kapsülü tasarımında Alüminyum kullanmak yerine Magnezyum kullanılarak Faydalı Yük Kapsülü ağırlığında yaklaşık %42'lik bir

iyileştirme sağlanmıştır. Aynı zamanda mevcut Faydalı Yük Kapsülü tasarımında kiriş boyunun ise aşırı tasarım olduğu ve Faydalı Yük Kapsülünü ağırlaştırdığı da görülebilmektedir ve kabuk kalınlığının eniyilenmesiyle %52'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Faydalı Yük Kapsülü'nün uçuş yükleri açısından kritik unsurlarının a ve c sayıları ile tasarıma karar değişkeni olarak yansıtılan kiriş adetleri olduğu görülebilmektedir. Silindirik kısımdaki kiriş adetlerinin azaltılması ile Faydalı Yük Kapsülü tasarımında kritik gerilme ve yer değiştirme değerlerine yaklaşıldığı saptanmıştır. Bunu engellemek için eniyileme sürecinde alınan önlem ise gerilme yığılmalarının olduğu Faydalı Yük Kapsülü konik kısımdaki dikine kirişleri artırmak olmuştur. Bu değişkenlerin iyilenmesi ile birlikte Faydalı Yük Kapsülü tasarımının Tabu Arama entegre edilmiş Eniyileme Sistemi ile eniyilenmiş halini almıştır. Son tasarım değişkeni olan kiriş tipinin ise çok fazla belirleyici olmadığı saptanmıştır. Mevcut Faydalı Yük Kapsülü tasarımında kullanılan I kiriş tipine oranla Z kiriş ve C kiriş tipleriyle daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Geliştirilen Eniyileme Sistemi'nin performansını ölçmek için kullanılacak bir diğer kriter ise sistemin çalışma süresidir. Koşturumların sürelerine dair bilgiler Çizelge 3-25'te sunulmaktadır.

Çizelge 3-25: Farklı İterasyon Sayıları için Koşturum Süreleri

| İterasyon Sayısı | Çalışma Süresi (sn) |
|------------------|---------------------|
| 5 | 503 |
| 10 | 1086 |
| 20 | 3174 |
| 50 | 10573 |

Tabu Arama gibi sezgisel yöntemlerin iyi sonuçlar vermesinin yanında kısa zamanda iyi sonuçlar vermesi daha kritiktir. Sezgisel yöntemleri şu anki akademik çalışmalarda tercih edilme sebepleri polinom olmayan sürelerde optimal sonuca ulaşan veya optimal sonuca ulaşılamayan problemlerde zaman-verimli bir şekilde optimale yakın sonuçlar elde etmektir. Bu kapsamda Çizelge 3-25 değerlendirmeye alındığında zamanın üssel olarak arttığı görülmektedir. Bu nedenle iterasyon sayısını olduğunca az tutmak sistemin performansını artıracaktır. Şekil 3-10 bu gözle değerlendirildiğinde 30 iterasyonlu bir Tabu Arama entegre edilmiş Eniyileme Sistemi ile optimale yakın bir sonuca ulaşıldığı görülmüştür. Bu durumda da yaklaşık 5600 sn'lik bir koşturum ile bu değere ulaşılabilir.

4. DOĞRULAMA

4.1 Amaç

Uydu Fırlatma Aracı Fardalı Y¼k Kaps¼l¼ ağırlık optimizasyonu için geliştirilen tabu arama entegre Eniyileme Sistemi'nin performansını ¼lmek ve doğrulamak amacıyla benzer bir sistemle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Uydu Fırlatma Sistemi Faydalı Y¼k Kaps¼l¼ daha ¼nceden doğrulanmış, performansı kanıtlanmış ve birçok araştırmacı tarafından kullanılan Matlab Genetik Algoritma Aracı ile optimizasyonu yoluna gidilmiştir. Matlab Genetik Algoritma Aracı'ndan elde edilen sonuçlar ile tabu arama entegre Eniyileme Sistemi'nden elde edilen veriler karşılaştırılacak ve Eniyileme Sistemi'nin performansı ve doğruluğu değerlendirilecektir.

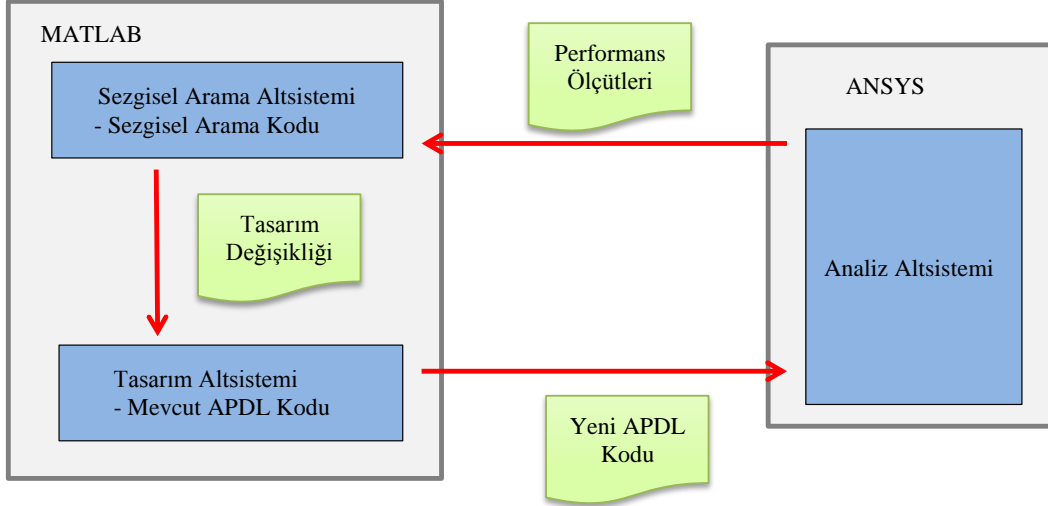
4.2 Genetik Algoritma ile Doğrulama

Eniyileme Sistemi'ni doğrulamak amacıyla mevcut Faydalı Y¼k Kaps¼l¼'n¼n Matlab Genetik Algoritma Aracı'yla ağırlık optimizasyonu ele alınmıştır. Bu amaçla Matlab Genetik Algoritma Aracı ile Ansys analiz programının birlikte çalıştığı Eniyileme Sistemi'ne benzer bir yapı oluşturulmuştur. Bu yapıya ise Genetik Algoritma Entegre Eniyileme Sistemi adı verilebilir. ¼nk¼ Eniyileme Sistemi yapısı aynı olmakla beraber Tabu Arama sezgisel arama metodu yerine performansı doğrulanmış Matlab Genetik Algoritma Aracı sisteme entegre edilmiştir.

Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi Tabu Arama entegre versiyonuna benzer bir şekilde ¼ altsistemden oluşmaktadır. Bu altsistemler;

- Eniyileme Altsistemi,
- Tasarım Altsistemi,
- Analiz Altsistemidir.

Bu altsistemlerin çalışma presibini ortaya koyan akış şeması şekil 4-1'de g¼r¼lmektedir.



Şekil 4-1: Eniyileme Sistemi Akış Şeması

Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi Sezgisel Arama Altsistemi'nde MATLAB Genetik Algoritma Aracı kullanılmıştır. Sezgisel Arama Altsistemi'nde MATLAB Genetik Algoritma Aracı'nı kullanabilmek için aşağıda yer alan iki adet MATLAB kodu oluşturulmuştur. İlk kod Matlab Genetik Algoritma Aracı'nın kullanılabilmesi için Genetik Algoritma yazılımı girdi ve parametreleri belirlenerek çağrılmakta ve kullanılması sağlanmaktadır. Genetik Algoritma Aracı'nın kullanılması için oluşturulan ikinci kod ise *fitness function* denilmekte ve Matlab Genetik Algoritma'sını çağırırken parametre olarak kullanılması gerekmektedir. *Fitness function* ile Genetik Algoritma Aracı'nın elde edilen çözümü değerlendirmesi için gerekli olan mantıksal ve matematiksel işlemleri içermektedir. Bu işlemler ile elde edilen çözümler değerlendirilebilir bir amaç fonksiyonu değeri oluşturulmasını sağlamaktadır. Elde edilen amaç fonksiyonu ile de mevcut çözümün değerlendirilmesi sağlanmaktadır.

Genetik Algoritma Aracının kullanımı için hazırlanan MATLAB kodu Çizelge 4-2'de verilmektedir. "FYK_GA" isimli bu fonksiyonda ilk olarak Genetik Algoritma için tanımlanabilecek seçeneklere yönelik kararlar verilmektedir. Matlab Genetik Algoritma Aracında karar verilebilecek seçenekler olarak karar değişkenlerinin başlangıç değerleri 'InitialPopulation' ile, değişkenlerin alt ve üst sınır değerleri 'PopInitRange' ile, Genetik Algoritmada aynı anda değerlendirilecek populasyon sayısı 'PopulationSize' ile, Genetik Algoritma adımlarının gerçekleştirilceği jenerasyon sayısı 'Generations' ile, bir sonraki jenerasyonda taşınacak çözüm miktarı 'EliteCount' ile, populasyonun uğrayacağı çaprazlama oranı

'CrossoverFraction' ile tanımlanmıştır. Bu seçenekler için uygulanan değerler Çizelge 4-1’de verilmektedir. Tabloda verilen değerler kullanılarak Matlab kodunda Genetik Algoritma seçenekleri yansıtılmaktadır. Genetik Algoritma için tanımlanan diğer seçenekler ise sonuçların yansıtılması için her jenerasyonda sonuçların şekil ile gösterilmesi ile ilgilidir. Tüm bu seçenekler Çizelge 4-2’de “gaoptimset” fonksiyonu ile tanımlanmaktadır ve bu fonksiyon “options” değişkenine atanmaktadır. Ardından kodda üst sınır (UB) ve alt sınır (LB) tanımlanmaktadır. Matlab kodunda Matlab Genetik Algoritma aracının çağrılmakta ve bu fonksiyon içinde girdiler verilmektedir. “ga” fonksiyonunun “fitnessfunction” tasarım değerlendirme fonksiyonu ile amaç fonksiyonunun belirleneceği, LB ve UB sınırları arasında tarama yapılacağı, 6 adet karar değişkeninin bulunduğu, girdilerde yer alan [1 2 3 4 5 6] ile 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu karar değişkenlerinin tamsayı değerler alabileceği ve “options” ile belirlenen seçenekler doğrultusunda Genetik Algoritma işlemlerini yürüteceğini belirtilmektedir. “ga” koddaki eşitliğin sağ tarafında yer alırken sol tarafında ise çıktılarının “x” ile karar değişkeni değerlerinin, “fval” ile amaç fonksiyonu değerinin, “exitflag” ile koşuturumun sonlanma sebebinin olacağı belirtilmiştir [22, 23].

Çizelge 4-1: Genetik Algoritma Seçenekleri için Uygulanan Değerler

| Genetik Algoritma Seçeneği | Değer |
|----------------------------|--|
| InitialPopulation | [10 4 1 20 1 15] |
| PopInitRange | [2, 3, 1, 10, 1, 11; 14, 5, 3, 25, 6, 19] |
| PopulationSize | 50 |
| Generations | 20 |
| EliteCount | 4 |
| CrossoverFraction | 0,8 |

Çizelge 4-2: Genetik Algoritma Aracının Kullanımı için Matlab GA Fonksiyonu Kodu

```
function FYK_GA
tic
options = gaoptimset('InitialPopulation', {[10 4 1 20 1 15]} , 'PopInitRange', [2, 3, 1, 10, 1, 11; 14,
5, 3, 25, 6, 19], 'PopulationSize', 50, 'Generations', 20, 'EliteCount', 4, 'CrossoverFraction', 0.8
, 'Display', 'iter', 'PlotFcns', { @gaplotbestf, @gaplotbestindiv, @gaplotscorediversity, @gaplotbestindiv
, @gaplotgenealogy });
LB=[2, 3, 1, 10, 1, 10];
UB=[14, 5, 3, 25, 7, 20];
[x,fval,exitflag,output, pop, scores] = ga(@fitnessfunction, 6, [],[],[],[],LB,UB,[],[1 2 3 4 5
6],options);
Toc
```

Uygunluk fonksiyonu (*fitness function*) ise Çizelge 4-3'te verilen “fitnessfunction” fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Çizelge 4-3'te sadece karar değişkenlerinin tanımlandığı kısım verilmiş olup, bu uygunluk fonksiyonu devamında Tabu Arama entegre Eniyileme Sistemi için oluşturulan Analiz Altsistemi ve Tasarım Altsistemi herhangi bir farklılık olmadan Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi kullanılabilmiştir.

Sezgisel Arama Altsisteminin (Genetik Algoritma) adımları içerisinde ortaya konan tasarım değişikliklerinin tasarıma yansıtılması amacıyla ANSYS Parametrik Tasarım Dili (APDL) kullanılmaktadır. Böylece Tasarım Altsistemi'nde tasarımda yapılan değişiklikler tasarıma yansıtılmakta ve yeni APDL kodu Analiz Altsistemi'ne ANSYS analiz programında analizi yapılabilmesi için Matlab aracılığıyla girdi olarak verilmektedir[10]. Analiz Altsistemi'nde ise ANSYS analiz prgramında FY Kapsülü'nün yapısal analizleri gerçekleştirilmekte ve analiz programı çıktıları olan performans ölçütleri Sezgisel Arama Altsistemi'ne girdi olarak verilmektedir. Genetik Algoritma ise performans ölçütlerini değerlendirerek tasarım değişikliklerine karar vermekte ve bir sonraki iterasyona geçilmektedir.

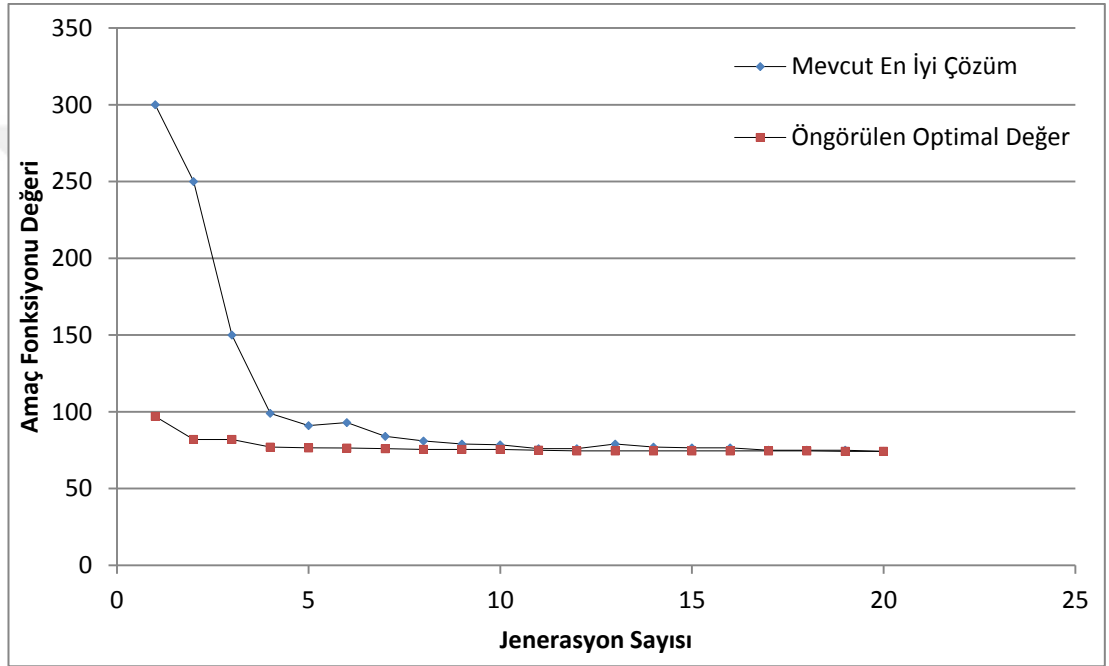
Çizelge 4-3: Genetik Algoritma Aracı “Fitness Function” için Karar Değişkenlerinin Girdileri

```
function agirlik = fitnessfunction(x)

a=abs(x(1));
c=abs(x(2));
malzemeTip=abs(x(3));
kabukKalinligi=abs(x(4))/10;
kirisTip=abs(x(5));
kirisBoy=abs(x(6));
```

4.3 Bulgular

Geliştirilen Eniyileme Sistemine Matlab Genetik Algoritma aracı entegre edilmiş ve Faydalı Yük Kapsülü mevcut tasarımının eniyilenmesi sürecine geçilmiştir. Koşturum Tabu Arama entegre Eniyileme Sistemi koşturumların gerçekleştirildiği bilgisayarda tamamlanmış olup Intel Core i7 64bit işletim sistemi ve 8GB RAM özelliklerindedir. Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi'nin Faydalı Yük Kapsülü tasarımına uygulanması ile elde edilen sonuçlar iteratif olarak Şekil 4-2'de görülebilmektedir.



Şekil 4-2: Genetik Algoritma Entegre Eniyileme Sistemi Sonuçları

Şekil 4-2'den de görülebileceği gibi yaklaşık 20. jenerasyonda problemin optimal değeri yakalanmış olup bu değer 74,27 kg'dır. Şekil 4-2'de mavi renk ile gösterilen değerler her jenerasyonda elde edilen en iyi sonucu göstermekle beraber, kahverengi renk ile gösterilen değerler ise Genetik Algoritmanın ulaşabileceğini değerlendirdiği en düşük değer yani optimal değerdir. 20. Jenerasyonda Genetik Algoritmanın ulaşabileceğini değerlendirdiği optimal değer sabitlenmiş olup daha sonradan herhangi bir değişiklik olmadığı görülmektedir. 20 jenerasyon ile koşturum gerçekleştirilmeden önce 10 jenerasyon ile koşturum gerçekleştirilmiştir. Ancak tahmin edilen optimal değer bu jenerasyon sayısında yakalanmadığı için jenerasyon sayısı arttırılarak koşturum tekrar gerçekleştirilmiştir. 20 jenerasyon ile

gerçekleştirilen koşturumun yeterli uzunlukta olduğu ve daha fazla jenerasyon ile koşturum gerçekleştirmenin gerekli olmadığını gözlemlenmektedir.

10 ve 20 jenerasyon ile gerçekleştirilen çalışmalarda ortaya çıkan karar değişkeni değerleri Çizelge 4-4'te verilmektedir.

Çizelge 4-4: 10 ve 20 Jenerasyon ile Gerçekleştirilen Genetik Algoritma Entegre Eniyileme Sistemi Karar Değişkenlerine ait Sonuçlar

| Jenerasyon Sayısı | a Sayısı | c Sayısı | Malzeme Tipi | Kabuk Kalınlığı (mm) | Kiriş Tipi | Kiriş Boyu (mm) | Amaç Fonk. (kg) |
|-------------------|----------|----------|--------------|----------------------|------------|-----------------|-----------------|
| 10 | 2 | 4 | 3 (Mg) | 1,0 | 3 (Z) | 11 | 74,49 |
| 20 | 2 | 3 | 3 (Mg) | 1,0 | 2 (C) | 11 | 74,27 |

10 ve 20 jenerasyonla gerçekleştirilen Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi koşturumlarının tamamlanma sürelerine dair bilgi Çizelge 4-5'te verilmiştir.

Çizelge 4-5: 10 ve 20 Jenerasyon ile Gerçekleştirilen Genetik Algoritma Entegre Eniyileme Sistemi Çalışma Süreleri

| Jenerasyon Sayısı | Çalışma Süresi (sn) |
|-------------------|---------------------|
| 10 | 6435 |
| 20 | 7412 |

10 ve 20 jenerasyon ile gerçekleştirilen Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi koşturumlarının çalışma süreleri incelendiğinde 10 jenerasyon için harcanmış sürenin üzerine çok fazla süre eklenmeden 20 jenerasyonlu koşturumun tamamlanabildiği gözlemlenmektedir. Bunun ise optimal sonuca yakın bir bölgede bulunulduğu ve kötü sonuçlar veren çözümlerin incelenmesine gerek kalmadan populasyon içinde sadece iyi sonuç vereceği bilinen çözümler ile devam edildiği için hızlı sonuçlar alındığı değerlendirilmektedir. Sonuç olarak Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi'nde 7412 sn gibi bir sürede optimal değere ulaşılmıştır.

Tabu Arama entegre Eniyileme Sistemi ile Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi performansı Çizelge 4-6'da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4-6: Tabu Arama ve Genetik Algoritma Performanslarının Karşılaştırılması

| Sezgisel Arama Yöntemi | Amaç Fonksiyonu Değeri (kg) | Önerilen Koşturum Sayısı | Yaklaşık Çalışma Süresi (sn) |
|------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Tabu Arama | 75,58 | 30 | 5600 |
| Genetik Algoritma | 74,27 | 17 | 7100 |

Tabu Arama entegre Eniyileme Sistemi ve Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi koşturumları sonucu elde edilen çözümlere ait karar değişkeni değerleri Çizelge 4-7’de verilmiştir.

Çizelge 4-7: Tabu Arama ve Genetik Algoritma İyileştirme Çalışmaları Sonucu Oluşan Karar Değişkeni Değerleri

| Sezgisel Arama Yöntemi | a Sayısı | c Sayısı | Malzeme Tipi | Kabuk Kalınlığı (mm) | Kiriş Tipi | Kiriş Boyu (mm) | Amaç Fonk. Değeri (kg) |
|--------------------------|----------|----------|--------------|----------------------|------------|-----------------|------------------------|
| Tabu Arama | 7 | 6 | 3 (Mg) | 1,0 | 3 (Z) | 10 | 75,58 |
| Genetik Algoritma | 2 | 3 | 3 (Mg) | 1,0 | 2 (C) | 11 | 74,27 |

Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi ile elde edilen optimal değer ile geliştirilen Tabu Arama entegre Eniyileme Sistemi amaç fonksiyonu değeri karşılaştırıldığında iki sonuç arasında %1,15 oranında daha kötü bir sonuç elde edildiği görülmektedir. Tabu Arama entegre Eniyileme Sistemi’nin çalışma süresi performansı Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi ile karşılaştırıldığında %21 oranında daha kısa bir sürede en iyi sonucun elde edildiği görülmektedir.

Her iki sisteme ait sonuçların karar değişkenleri değerlendirildiğinde a, c, kiriş tipi ve kiriş boyunda karar değişkenleri değerlerinde farklılıklar olduğu ve malzeme tipi ile kabuk kalınlığında ise karar değişkenlerinin aynı değerlere sahip oldukları görülebilmektedir. 2 ve 3 nolu kirişlerin ağırlık ve dayanım olarak benzer kirişler

olduğu için bu iki sonuç arasında bir fark olmadığı değerlendirilebilir. a ve c değişkenleri ile kiriş boyu değişkeni birlikte değerlendirildiğinde Tabu Arama'da a ve c karar değişkenlerinin değerleri Genetik Algoritma'ya oranla yüksek iken kiriş boyu kalınlığı karar değişkeni değeri düşüktür. Bu ise kiriş boyunun azalmasının kiriş sayısının artmasına sebep olduğunu göstermektedir. Tabu Arama entegre Eniyileme Sistemi bu kapsamda optimal değere ulaşamamış ancak optimal değere optimal değerin %1,15'i kadar kötü olan yerel optimal değeri 30. iterasyonda yakalamış ve bu iterasyondan sonra noktadan kurtulamamış, dolayısıyla optimal değere erişememiştir. Ancak buna rağmen optimale yakın bir değere erişebilmiş ve tasarım iyileştirilmiştir.

Tüm bu bulgularınışığında Tabu Arama entegre Eniyileme Sistemi performans olarak uygun olduğu gözlenmiş ve Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi'nden elde edilen optimal değer göz önüne alındığında performans olarak da doğrulanmıştır.

5. KARAR DEĞİŞKENLERİNİN ETKİLERİ

5.1 Amaç

Karar değişkenlerinin sistem performansı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla Eniyileme Sistemi'nde bazı karar değişkenleri aktif, bazı karar değişkenleri pasif tutulmuş ve duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Aktif olan karar değişkenleri üzerinden Eniyileme Sistemi ile iyileştirme adımlarının gerçekleştirilmesi sağlanırken, pasif olan karar değişkenleri mevcut Faydalı Yük Kapsülü tasarımında sahip oldukları değerlerde sabit kalmaları sağlanmış ve bu karar değişkenleri üzerinden herhangi bir iyileştirme adımı gerçekleştirilmemiştir.

5.2 Duyarlılık Analizi

Karar değişkenlerinin etkilerini incelemek amacıyla dört farklı duyarlılık analizi çalışması yapılmıştır. Dört farklı çalışmaya ait karar değişkeni konfigürasyonları Çizelge 5-1'de verilmiştir.

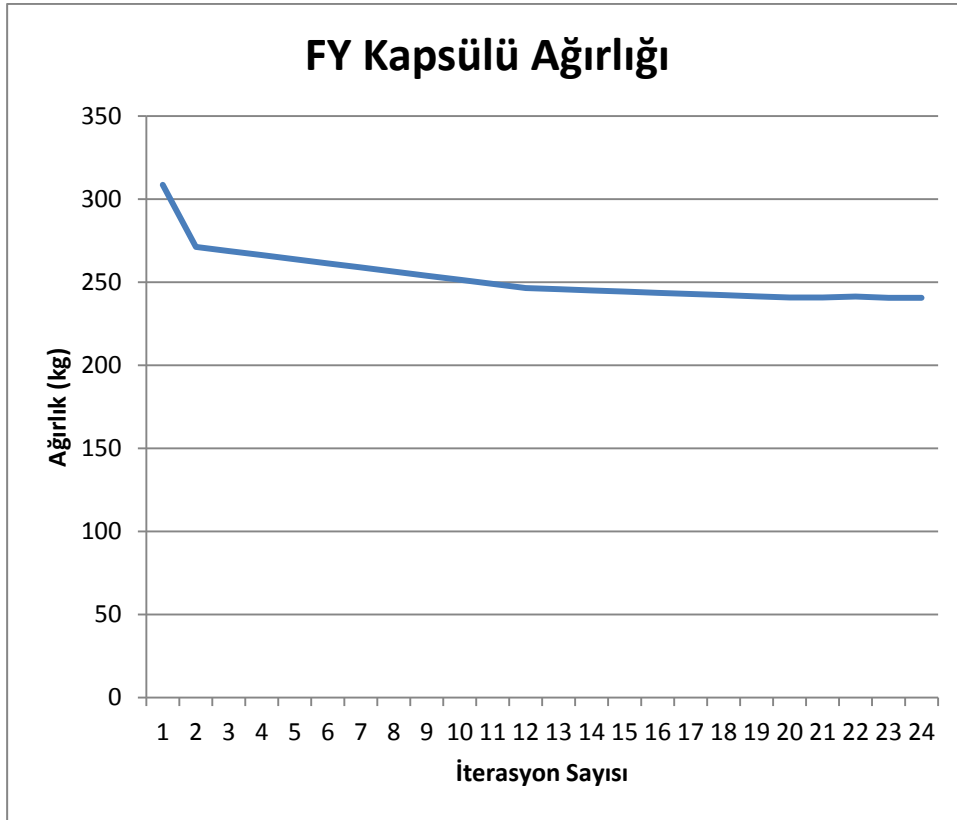
Çizelge 5-1: Duyarlılık Analizi Karar Değişkeni Konfigürasyonları

| Konfigürasyon No | a sayısı | c sayısı | Malzeme Tip | Kabuk Kalınlığı | Kiriş Tip | Kiriş Boyu |
|------------------|----------|----------|-------------|-----------------|-----------|------------|
| Temel | Aktif | Aktif | Aktif | Aktif | Aktif | Aktif |
| 1 | Aktif | Aktif | Pasif | Pasif | Aktif | Aktif |
| 2 | Pasif | Pasif | Aktif | Pasif | Pasif | Pasif |
| 3 | Aktif | Aktif | Pasif | Aktif | Aktif | Aktif |
| 4 | Pasif | Pasif | Pasif | Aktif | Pasif | Pasif |

Konfigürasyon 1'de malzeme tip ve kabul kalınlığı pasif bırakılmış ve diğer karar değişkenleri üzerinden iyileştirme yapılmıştır. Bu çalışma ile giriş tipi ve giriş boyunun yapı üzerindeki etkisini incelemek amaçlanmış ve duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen çözüme yönelik sonuçlar Çizelge 5-2'de ve Şekil 5-1'de verilmiştir.

Çizelge 5-2: Konfigürasyon 1 Çözümüne Ait Sonuçları

| İterasyon Sayısı | a sayısı | c sayısı | Malzeme Tipi | Kabuk kalınlığı (mm) | Kiriş Tipi | Kiriş Boyu (mm) | Amaç Fonk Değeri (kg) |
|------------------|----------|----------|--------------|----------------------|------------|-----------------|-----------------------|
| 0 | 10 | 4 | 1 (Al) | 2,0 | 1 (I) | 20 | 308,67 |
| 5 | 10 | 4 | 1 (Al) | 2,0 | 2 (C) | 16 | 261,37 |
| 10 | 10 | 4 | 1 (Al) | 2,0 | 2 (C) | 11 | 249,00 |
| 15 | 6 | 4 | 1 (Al) | 2,0 | 2 (C) | 10 | 243,66 |
| 20 | 2 | 4 | 1 (Al) | 2,0 | 3 (Z) | 10 | 240,79 |
| 23 | 1 | 5 | 1 (Al) | 2,0 | 2 (C) | 10 | 240,65 |
| Temel Optimal | 7 | 6 | 3 (Mg) | 1,0 | 3 (Z) | 10 | 75,58 |



Şekil 5-1: Konfigürasyon 1 Çözümünün İterasyon Sayısı ile Değişimi

Konfigürasyon 2’de malzeme tipi aktif karar değişkeni, diğer karar değişkenleri ise pasif karar değişkenleri olarak belirlenmiştir. Böylece sadece malzeme tip üzerinden iyileştirme sağlanmış ve malzeme tipinin duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen çözüme yönelik sonuçlar Çizelge 5-3’te verilmiştir.

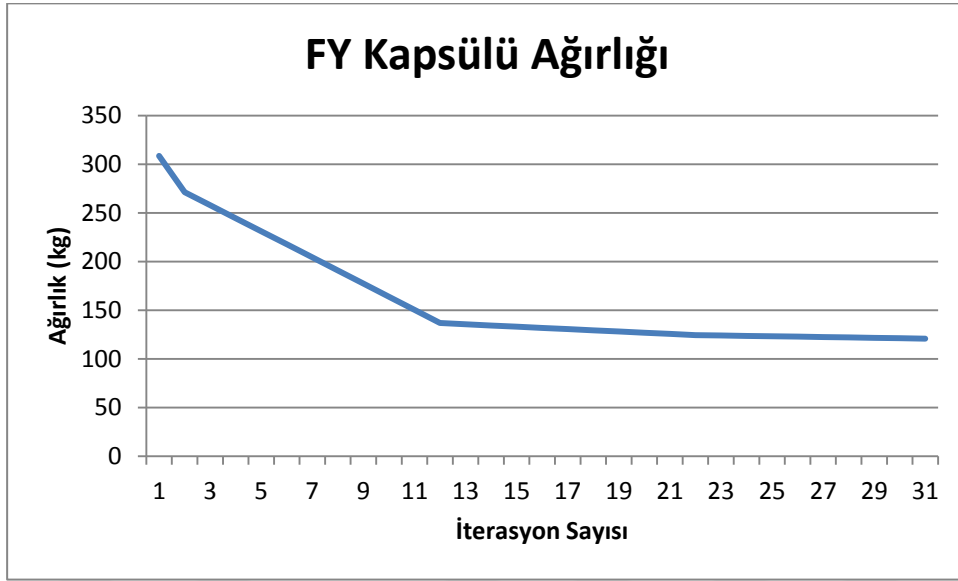
Çizelge 5-3 Konfigürasyon 2 Çözümüne Ait Sonuçlar

| İterasyon Sayısı | a sayısı | c sayısı | Malzeme Tipi | Kabuk kalınlığı (mm) | Kiriş Tipi | Kiriş Boyu (mm) | Amaç Fonk Değeri (kg) |
|------------------|----------|----------|--------------|----------------------|------------|-----------------|-----------------------|
| 0 | 10 | 4 | 1 (Al) | 2,0 | 1 (I) | 20 | 308,67 |
| 1 | 10 | 4 | 3 (Mg) | 2,0 | 1 (I) | 20 | 180,51 |
| Temel Optimal | 7 | 6 | 3 (Mg) | 1,0 | 3 (Z) | 10 | 75,58 |

Konfigürasyon 3'te malzeme tipi pasif, diğer karar değişkenleri ise aktif olarak belirlenmiştir. Bu duyarlılık analizi ile Konfigürasyon 2 duyarlılık analizi beraber değerlendirilerek malzeme tipinin etkisini incelemek amaçlanmıştır. Konfigürasyon 3'e ait sonuçlar Çizelge 5-4 ve Şekil 5-2'de verilmiştir.

Çizelge 5-4: Konfigürasyon 3 Çözümüne Ait Sonuçlar

| İterasyon Sayısı | a sayısı | c sayısı | Malzeme Tipi | Kabuk kalınlığı (mm) | Kiriş Tipi | Kiriş Boyu (mm) | Amaç Fonk Değeri (kg) |
|------------------|----------|----------|--------------|----------------------|------------|-----------------|-----------------------|
| 0 | 10 | 4 | 1 (Al) | 2,0 | 1 (I) | 20 | 308,67 |
| 5 | 10 | 4 | 1 (Al) | 1,6 | 2 (C) | 20 | 217,80 |
| 10 | 10 | 4 | 1 (Al) | 1,1 | 2 (C) | 20 | 150,42 |
| 20 | 10 | 4 | 1 (Al) | 1,0 | 2 (C) | 11 | 125,74 |
| 30 | 1 | 4 | 1 (Al) | 1,0 | 2 (C) | 10 | 120,87 |
| Temel Optimal | 7 | 6 | 3 (Mg) | 1,0 | 3 (Z) | 10 | 75,58 |

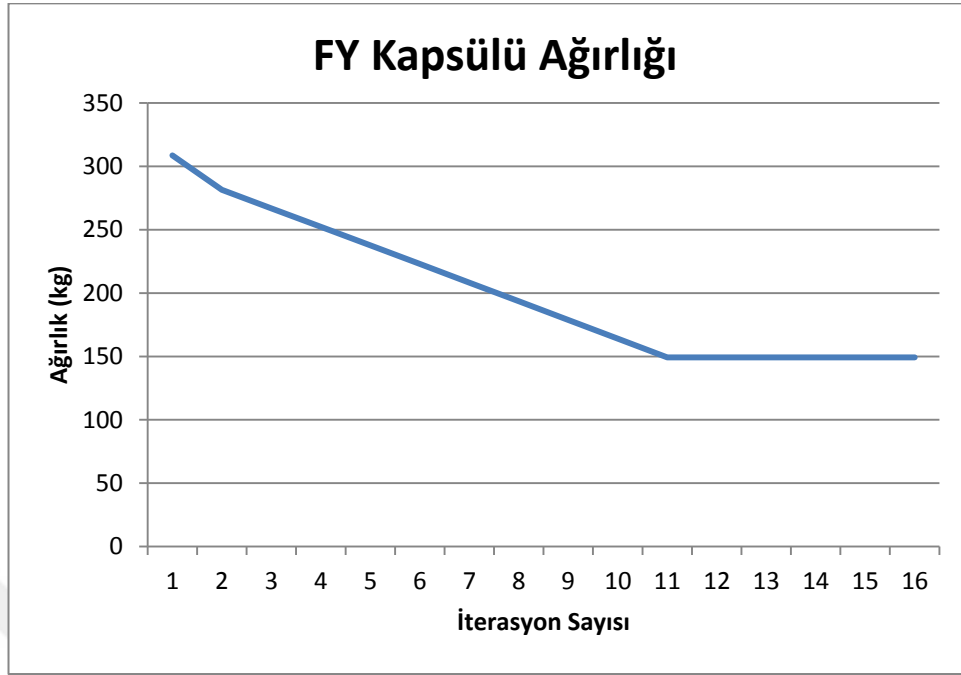


Şekil 5-2: Konfigürasyon 3 Çözümünün İterasyon Sayısı ile Değişimi

Konfigürasyon 4'te ise kabuk kalınlığı aktif, diğer karar değişkenleri pasif olarak belirlenmiştir. Bu sayede kabuk kalınlığının yapı üzerinde duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen çözüme ait sonuçlar Çizelge 5-5 ve Şekil 5-3'te verilmiştir.

Çizelge 5-5: Konfigürasyon 4 Çözümüne Ait Sonuçlar

| İterasyon Sayısı | a sayısı | c sayısı | Malzeme Tipi | Kabuk kalınlığı (mm) | Kiriş Tipi | Kiriş Boyu (mm) | Amaç Fonk Değeri (kg) |
|------------------|----------|----------|--------------|----------------------|------------|-----------------|-----------------------|
| 0 | 10 | 4 | 1 (Al) | 2,0 | 1 (I) | 20 | 308,67 |
| 5 | 10 | 4 | 1 (Al) | 1,5 | 1 (I) | 20 | 222,93 |
| 10 | 10 | 4 | 1 (Al) | 1,0 | 1 (I) | 20 | 149,24 |
| Temel Optimal | 7 | 6 | 3 (Mg) | 1,0 | 3 (Z) | 10 | 75,58 |



Şekil 5-3: Konfigürasyon 4 Çözümünün İterasyon Sayısı ile Değişimi

5.3 Değerlendirme

Konfigürasyon 1’de sadece kiriş yapısını etkileyen a sayısı, c sayısı, kiriş tipi ve kiriş boyu karar değişkenleri aktif tutularak eniyileme yapılmıştır. Çizelge 5-2 incelendiğinde 308,67 kg.lık Faydalı Yük Kapsülü yapısı 240,65 kg’a düşürüldüğü ve kiriş yapısının iyileştirilmesi ile 68,02 kg.lık hafifleme ve %22’lik bir iyileşme sağlanmıştır.

Konfigürasyon 2’de malzeme tipi aktif, diğer karar değişkenleri pasif tutularak eniyileme yapılmış ve malzeme tipinin tasarım üzerindeki etkisi görülmek istenmiştir. Çizelge 5-3 incelendiğinde 308,67 kg.lık Faydalı Yük Kapsülü 180,51 kg’a düşürülmüştür. Sadece malzeme tipinin iyileştirilmesi ile 128,16 kg hafifleme ve %42’lik bir iyileşme sağlanmıştır.

Konfigürasyon 3’te malzeme tipi pasif, diğer karar değişkenleri aktif tutulmuştur. Böylece malzeme tipi iyileştirilmeden tasarımın ne kadar iyileşeceği gözlemlenmek istenmiştir. Çizelge 5-4 incelendiğinde ise 308,67 kg.lık Faydalı Yük Kapsülü malzeme tipi dışındaki diğer karar değişkenlerinin iyileştirilmesi ile 120,87 kg’a

düşürülmüştür. Malzeme tipi dışındaki karar değişkenleri ile eniyileme yapıldığında 187,80 kg hafifleme ve %61'lik bir iyileştirme sağlanmıştır.

Konfigürasyon 4'te ise kabuk kalınlığı aktif, diğer karar değişkenleri pasif bırakılmış ve böylece kabuk kalınlığının etkisinin görülmese hedeflenmiştir. Çizelge 5-5'te yer alan bilgiler incelendiğinde Faydalı Yük Kapsülü ağırlığının kabuk kalınlığının azaltılması ile birlikte 308,67 kg'dan 149,24'e düşürülmüştür. Kabuk kalınlığının iyileştirilmesi ile 159,43 kg hafifleme ve %52'lik iyileştirme sağlanmıştır.

Duyarlılık analizi neticesinde karar değişkenlerinin etkileri bir bütün halinde değerlendirildiğinde; %52'lik bir iyileşme sağlaması nedeniyle en Faydalı Yük Kapsülü ağırlığı üzerinde en büyük etkiye sahip karar değişkenidir. Bir sonraki en büyük etkiye sahip karar değişkeni malzeme tipidir. Diğer karar değişkenleri malzeme tipi ve kabuk kalınlığına oranla çok daha küçük etkiye sahiplerdir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Sonuç

Çizelge 3-24'te verilen değerler incelendiğinde mevcut Faydalı Yük Kapsülü ağırlığında %75,5'lik iyileştirme yapıldığı görülmektedir. Faydalı Yük Kapsülü tasarımında kabuk kalınlığının 1 mm'de tasarlanmasının uçuş yükleri açısından da kritik olmadığı ortaya çıkmaktadır. Faydalı Yük Kapsülü tasarımında Alüminyum kullanmak yerine Magnezyum kullanılarak Faydalı Yük Kapsülü ağırlığında yaklaşık %42'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Aynı zamanda mevcut Faydalı Yük Kapsülü tasarımında eniyilenmesiyle %52'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Silindirik kısımdaki kiriş adetlerinin azaltılması ile Faydalı Yük Kapsülü tasarımında kritik gerilme ve yer değiştirme değerlerine yaklaşıldığı, bunu engellemek için konik kısımdaki dikine kiriş sayısı arttırılmıştır. Mevcut Faydalı Yük Kapsülü tasarımında kullanılan I kiriş tipine oranla Z kiriş ve C kiriş tipleriyle daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Geliştirilen Tabu Arama entegre Eniyileme Sistemi'nin çalışma süresi performansı değerlendirilmiştir. Çizelge 3-25 incelendiğinde zamanın üssel olarak arttığı, performansı arttırmak için iterasyon sayısını azaltmak seçeneği değerlendirilmiş ve Şekil 3-10 değerlendirildiğinde 30 iterasyonlu bir Tabu Arama entegre edilmiş Eniyileme Sistemi ile optimale yakın bir sonuca ulaştığı görülmüştür.

Geliştirilen Tabu Arama entegre Eniyileme Sistemi amaç fonksiyonu değeri Genetik Algoritma entegre Eniyileme Sistemi ile elde edilen optimal değer ile karşılaştırılmış ve optimal değerın %1,15'i kadar uzakta kalmıştır ancak buna rağmen optimale yakın bir değere erişebilmiş ve tasarıma ait eniyilenmiş çözüm doğrulanmıştır.

Bu çalışma ile mevcut Faydalı Yük Kapsülü tasarımı iyileştirilebileceği ortaya konulmuştur. Farklı kaynaklarda kullanılan yöntemlere ek olarak sezgisel yöntemlerin de Faydalı Yük Kapsülü tasarımını iyileştirmek için kullanılabileceği ve verimli bir şekilde sonuca ulaştıracağı görülmüştür. Bu çalışma ile ortaya konan Tabu Arama gibi sezgisel yöntemlerin tasarımlarda yapısal iyileştirme için uygun

yöntemler olduğudur. Sonuç olarak Faydalı Yük Kapsülü yapısal tasarımının eniyilenmesi amacıyla geliştirilen Tabu Arama Entegre Eniyileme Sistemi uygun bir eniyileme yöntemi olduğu ve kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

6.2 Gelecek Çalışmalar

Uydu Fırlatma Aracı Faydalı Yük Kapsülü yapısal tasarımının eniyilenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada Faydalı Yük Kapsülü ağırlık enküçüklenmesi amaç olarak belirlenmiş ve Faydalı Yük Kapsülü ağırlığı amaç fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Faydalı Yük Kapsülü maliyetinin amaç fonksiyonu olarak belirlenmesi çalışmanın başında değerlendirilmiş ancak Faydalı Yük Kapsülü ağırlığını azaltarak taşınacak Faydalı Yük ağırlığının artırılmasının daha önemli olduğu değerlendirilmiş ve çalışma bu yönde ilerlemiştir. Gelecek çalışma olarak Faydalı Yük Kapsülü maliyetinin amaç fonksiyonu olarak belirlenerek eniyileme çalışması gerçekleştirilmesi değerlendirilebilir.

Faydalı Yük Kapsülü eniyileme çalışması yürütülürken kullanılan malzemeler üzerinden eniyileme çalışması yürütülmüştür. Üretilebilirlik, teknoloji hazırlık seviyesi, tamir edilebilirlik, tasarım esnekliği, tahribatsız gözleme ve değerlendirme seviyesi ile üretim hatalarına karşı duyarlılık gibi konuların tasarım eniyilemesi çalışmasında değerlendirilerek devam çalışmaları yürütülebilir.

Bu çalışmada üretilebilirlik nedeniyle alüminyum, magnezyum ve çelik Faydalı Yük Kapsülü ham malzemeleri olarak değerlendirilmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı ham maddeler ve yapılar içeren kompozit malzemeler ile benzer bir çalışma yapılabilir.

Yürütülen çalışmada sezgisel algoritma kullanılarak bir eniyileme yöntemi oluşturulmuştur. Eniyileme sürecinin farklı aşamalarında farklı türden sezgisel yöntemlerin daha etkili kullanılabildiği bilinmektedir. Bu çalışmanın devamında ise birden fazla sezgisel yöntemin biraraya getirildiği bir hibrid yöntemin Faydalı Yük Kapsülü tasarımını eniyilemek amacıyla kullanılması durumu değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Wenger P. M., Higgins J. E., VanWest B. P.** (2002) Application of Advanced Grid-Stiffened Structures Technology to the Minotaur Payload Fairing, *AIAA 2002-1336*, 1061-1067
- [2] **Krivanek T. M., Yount B. C.** (2012), Composite Payload Fairing Structural Architecture Assessment and Selection, E-18094, NASA Glenn Research Center, Cleveland, ABD
- [3] **Altair Engineering, Inc, Yancey R. N.**, Optimization Driven Design of a Composite Underbelly Fairing with HyperWorks, *ftp.altair.de*, alındığı tarih: 10.10.2015
- [4] **Colonna M., Palacios F., Economon T. D., Lonkar A. K., Alonso J. J.**, An Adjoint-Based Aerodynamic Shape Optimization Methodology for Fairing Systems, *31st AIAA Applied Aerodynamics Conference, Fluid Dynamics and Co-located Conferences, (AIAA 2013-2649)*, DOI:10.2514/6.2013-2649
- [5] **Ochinero T., Deiters T., Higgins J., Arritt B., Blades E., Newman J.**, Design and Testing of a Large Composite Asymmetric Payload Fairing, *50th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*, DOI:10.2514/6.2009-2696
- [6] **Irish Angelin S., Senthilkumar S.** (2013), Aerodynamic Shaping of Payload Fairing for Launch Vehicle, *Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 50, No. 6, pp. 1299-1304*. doi: 10.2514/1.A32838
- [7] **Reisenthel P. H., Childs R. E., Higgins J. E.**, (2007) Surrogate-Based Design Optimization of a Large Asymmetric Launch Vehicle Payload Fairing, *46th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 2007-0361*, ISSN: 10877215
- [8] **Togan V., Seyhun M. O., Daloglu A.** (2015), A Comparative Study For The Optimum Design of Structures Using Genetic Algorithm, www.researchgate.net, alındığı tarih: 15 Haziran 2015.
- [9] **Gauchía A., Boada B.L., Boada M.J.L., Díaz V.** (2014), Integration of MATLAB and ANSYS for Advanced Analysis of Vehicle Structures, *MATLAB Applications for the Practical Engineer, Mr Kelly Bennett (Ed.)*, ISBN: 978-953-51-1719-3
- [10] **Kargahi M., Anderson J., Dessouky M.**, Structural Optimization with Tabu Search, *bcf.usc.edu*, alındığı tarih: 08.09.2015
- [11] **Hamza K., Mahmoud H., Saituo K.** (2003), Design optimization of N-shaped roof trusses using reactive taboo search, *Applied Soft Computing 3*, 221-235, ISSN: doi:10.1016/S1568-4946(03)00036-X

- [12] **Connor A.M., Seffen K.A., Clarkson P.J., Parks G.T.** (1999) Efficient Optimisation Of Structures Using Tabu Search, *Proceedings of the 1st ASMO/ISSMO Conference on Engineering Design Optimization*, 127-134
- [13] **Kargahi, M. and Anderson, J.** (2006) Structural Weight Optimization with Tabu Search, *Earth & Space 2006*: pp. 1-8. doi: 10.1061/40830(188)163
- [14] **Balesdent M., Berend N., Depince P.** (2011), MDO formulations and techniques adapted to multi-stage launch vehicle design, *9th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization Conference, June 13-17, 2011, Shizuoka, Japan*
- [15] **M. Balesdent, N. Bérend and Ph. Dépincé** (2011) New MDO approaches for Launch Vehicle Design. *4th European Conference for Aerospace Sciences, July 4 – 8, 2011, St Pétersbourg, Russia.*
- [16] **Zafar N., Linshu H.,** (2010) Multidisciplinary Design Optimization of Solid Launch Vehicle Using Hybrid Algorithm, *51st AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*, DOI: 10.2514/6.2010-3010
- [17] **Bayley D. J., Hartfield R J., Burkhalter J E., Jenkins R M.**(2008), Design Optimization of a Space Launch Vehicle Using a Genetic Algorithm, *Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 45, No. 4 , pp. 733-740*, doi: 10.2514/1.35318
- [18] **Voss S., Osman I.H., Martello S., Roucairol C.,**(1997), Meta-heuristics: Advances and trends in local search paradigms for optimization, *2nd Meta-heuristics International Conference, 21-24 July 1997*
- [19] **Dorigo M., Stützle T.,** *Ant Colony Optimization*, 1st Edition, Bradford Company Scituate, Massachusset, ABD, ISBN:0262042193(2004)
- [20] **Osman I.H., Laporte G.** (1996), *Metaheuristics: A bibliography*, Annals of Operations Research, Cilt 63, Sayı 5, Sayfa 511-623, doi: 10.1007/BF02125421
- [21] **Pham D.T., Karaboga D.,** *Intelligent Optimisation Techniques; Genetic Algorithm, Tabu Search, Simulated Annealing and Neural Network*, 1st Edition, New Jersey, ABD, 1998 ISBN:1852330287
- [22] **Rego C., Alidaee B.,** *Metaheuristic Optimization Via Memory and Evolution: Tabu Search and Scatter Search*, Springer Science & Business Media, Vol 30, 2005 doi: 10.1007/b102147
- [23] **Glover F., Laguna M.,** *Tabu Search*, Springer US, New York, ABD, 1997 doi:10.1007/978-1-4615-6089-0
- [24] **Chambers L.D.,** *Practical Handbook of Genetic Algorithms: Applications*, 2nd Edition, New York, ABD, 2000, ISBN 9781584882404
- [25] **Sivanandam S.N., Deepa S.N.,** *Introduction to Genetic Algorithm*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin Almanya, 2008, ISBN: 9780262133166

- [26] **Lawrance K.L.**, *Ansys Tutorial; Structural and Thermal Analysis Using the Ansys Mechanical APDL Release 14 Environment*, SDC Publications, 2012, ISBN: 9781585037612
- [27] **Inc. ANSYS**, *Programmer's Manual for Mechanical APDL Release 12*, Pensilvanya, ABD, 2009
- [28] **Inc. ANSYS**, *Command Reference Release 12.1*, Pensilvanya, ABD, 2009
- [29] **Inc. ANSYS**, *ANSYS Parametric Design Language Guide Release 14.0*, Pensilvanya, ABD, 2011
- [30] **Inc. PADT, Strain J. Miller E.**, *Introduction to the ANSYS Parametric Design Language (APDL): A Guide to the ANSYS Parametric Design*, CreateSpace Independent Publishing Platform; 1st Edition, 2013, ISSN: 146641135X
- [31] http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/5948/2/Anexo%20A_Elemento%20tipo%20Shell%20181%20de%20ANSYS.pdf, tarandığı tarih: 10.04.2016
- [32] http://www.ansys.stuba.sk/html/elem_55/chapter4/ES4-188.htm, tarandığı tarih: 10.04.2016



EKLER

EK-1: SHELL181 ve BEAM188 Uyumluluğu

EK-2: Faydalı Y¼k Kaps¼l¼ Kabuk Yapısı Çöz¼m Ağı Örneği

EK-3: Faydalı Y¼k Kaps¼l¼ Z ve C Kiriş Tipleri Çöz¼m Ağı Örneği

EK-4: Temel Faydalı Y¼k Kaps¼l¼ Tasarımında Oluşan Gerilme Dağılımı

EK-5: Temel Faydalı Y¼k Kaps¼l¼ Tasarımında Oluşan Deformasyonlar

EK-6: Eniyilenmiş Faydalı Y¼k Kaps¼l¼ Tasarımında Oluşan Gerilme Dağılımı

EK-7: Eniyilenmiş Faydalı Y¼k Kaps¼l¼ Tasarımında Oluşan Deformasyonlar

EK-8: Eniyilenmiş Faydalı Y¼k Kaps¼l¼ Tasarımının Yapısı



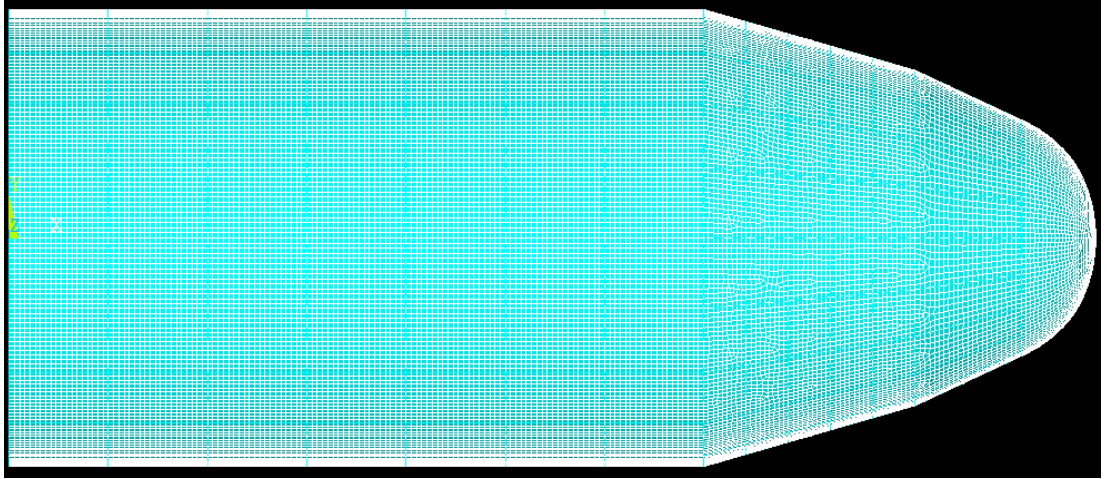
EK-1

SHELL181 ince bir kabuki yapısından orta kalınlıkta bir kabuk yapısına kadar analiz etmek amacıyla kullanılabilir. SHELL181 bir dört-nokta tipi elemandır. Altı serbestlik derecesine (x, y ve z yönlerinde yer değiştirme ile x, y ve z eksenleri etrafında dönme) sahiptir. Üçgen tipi SHELL181 elemanın sadece çözüm ağı oluşturulmasında bir dolgu olarak kullanılması önerilmektedir. SHELL181 eleman tipi doğrusal, yüksek dönme içeren ve/veya yüksek gerinim doğrusal olmayan uygulamalar için çok uygundur. Aynı zamanda SHELL181 çok katmanlı uygulamalarda kompozit kabuk yapılarını ve sandviç tipi yapıları temsil etmesi amacıyla kullanılabilir [31].

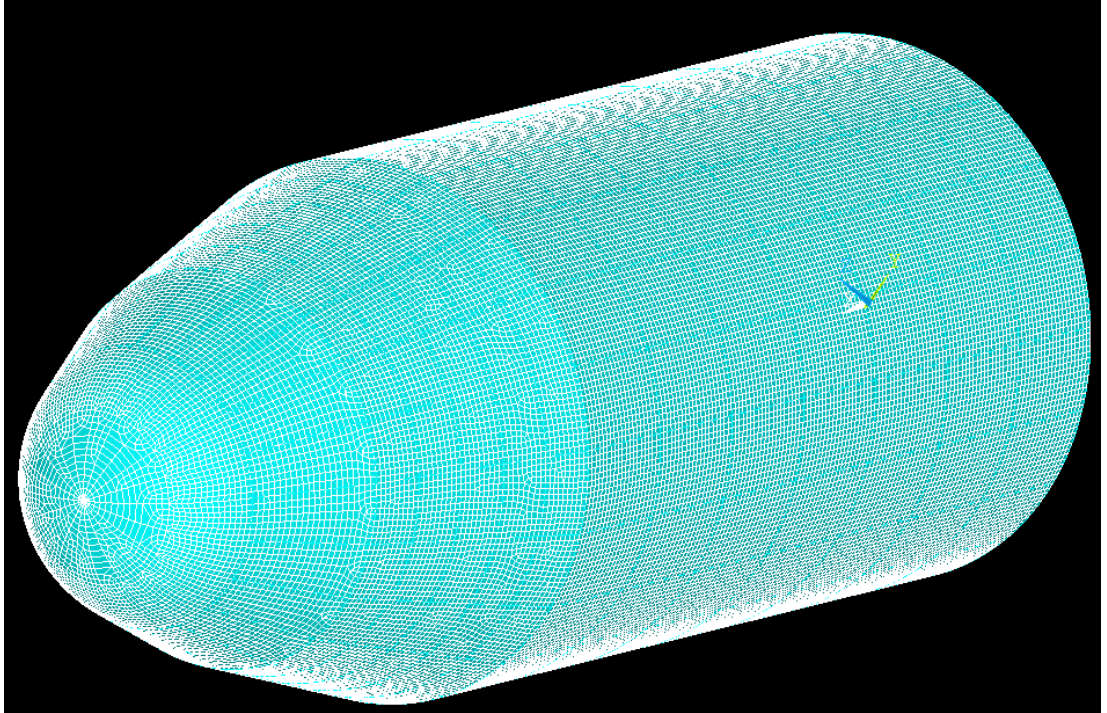
BEAM188 elemanı ince bir kiriş yapısından orta kalınlıkta bir kiriş yapısına kadar analiz etmek amacıyla uygundur. Bu eleman yapısı Timoshenko kiriş teorisine dayanılarak oluşturulmuştur. Bu eleman yapısına kesme yer değiştirme etkileri dahil edilmiştir. BEAM188 bir iki-nokta doğrusal bir kiriş elemanıdır. BEAM188 üç boyutlu bir kiriş elemanı olup her noktasında altı serbestlik derecesine sahiptir. Her noktadaki serbestlik derecesi x, y ve z yönlerinde yer değiştirme ile x, y ve z eksenleri etrafında dönme içermektedir. Kiriş elemanları doğrusal, yüksek dönme içeren ve/veya yüksek gerinim doğrusal olmayan uygulamalar için çok uygundur [32].

SHELL181 ve BEAM188 eleman tipleri incelendiğinde altı serbestlik derecelerine sahip olmaları nedeniyle uyumlulardır.

EK-2

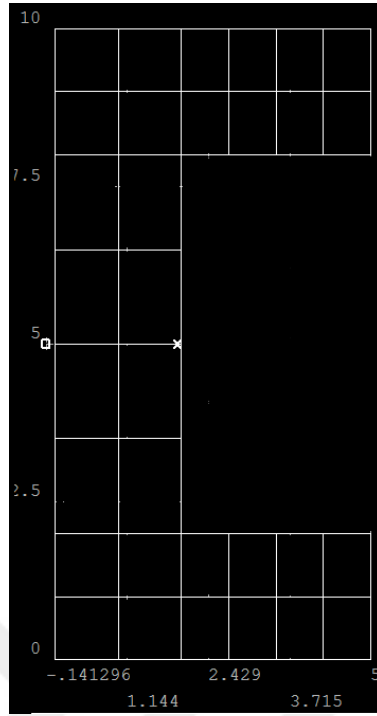


Şekil Ek.1: Faydalı Yük Kapsülü Kabuk Yapısı Çözüm Ağı Örneği Görünümü-1

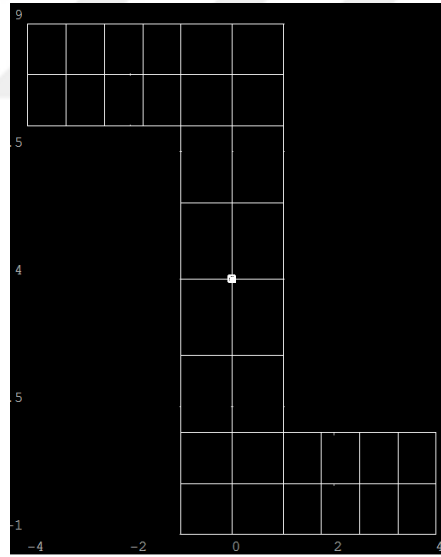


Şekil Ek.2: Faydalı Yük Kapsülü Kabuk Yapısı Çözüm Ağı Örneği Görünümü-2

EK-3

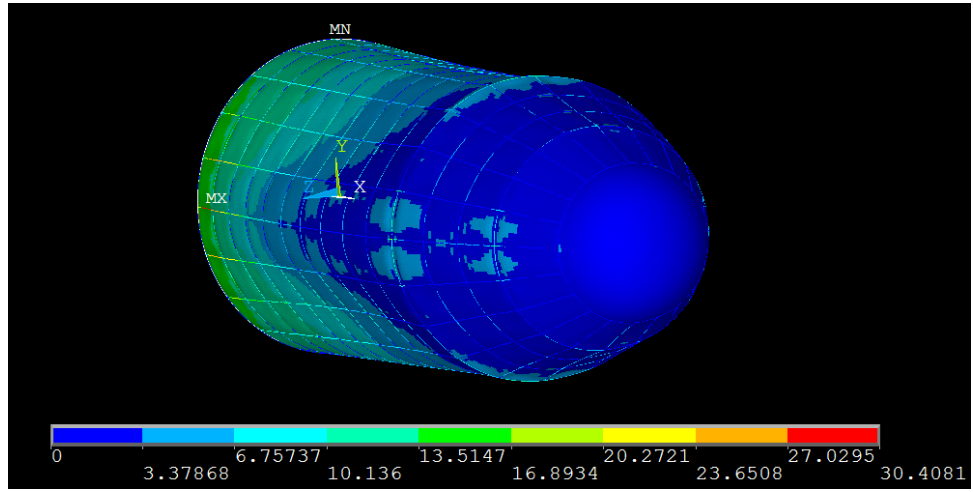


Şekil Ek.3: Faydalı Yük Kapsülü C Kiriş Tipi Çözüm Ağı

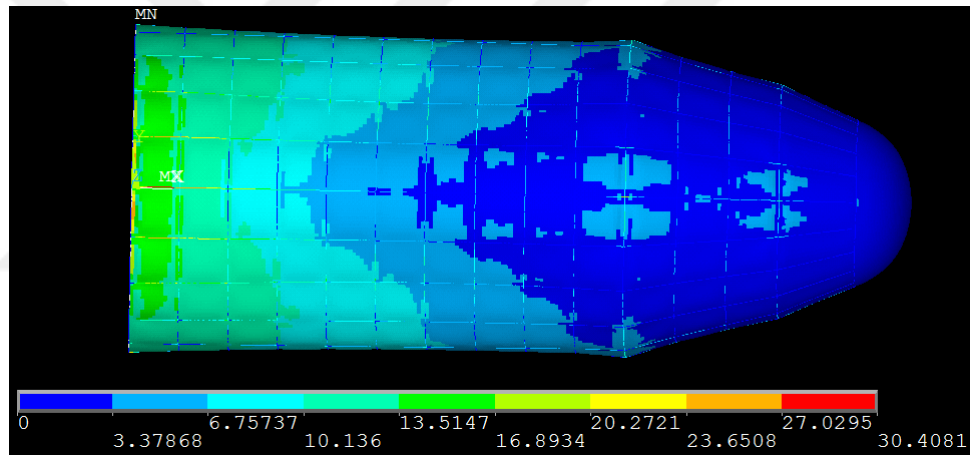


Şekil Ek.4: Faydalı Yük Kapsülü Z Kiriş Tipi Çözüm Ağı

EK-4

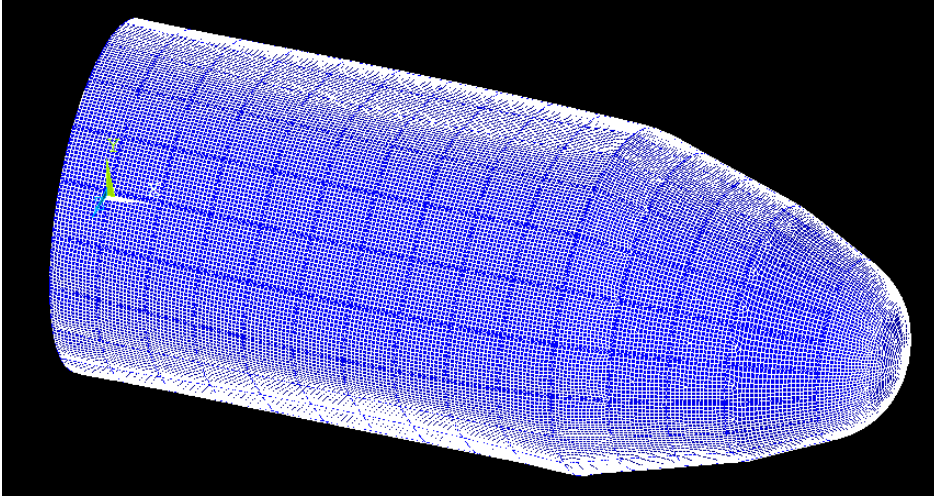


Şekil Ek.5: Temel Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Gerilme Dağılımı Gösterimi-1

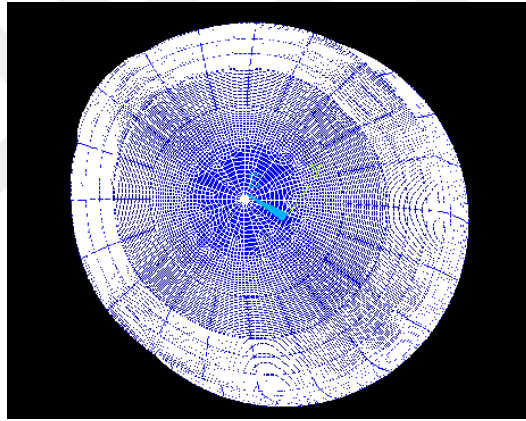


Şekil Ek.6: Temel Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Gerilme Dağılımı Gösterimi-2

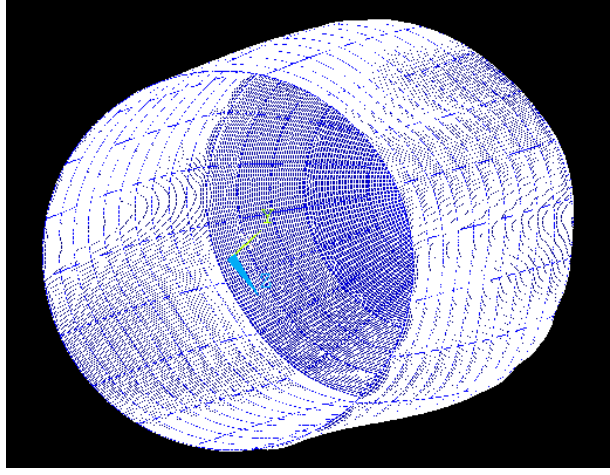
EK-5



Şekil Ek.7: Temel Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Deformasyonların Gösterimi-1



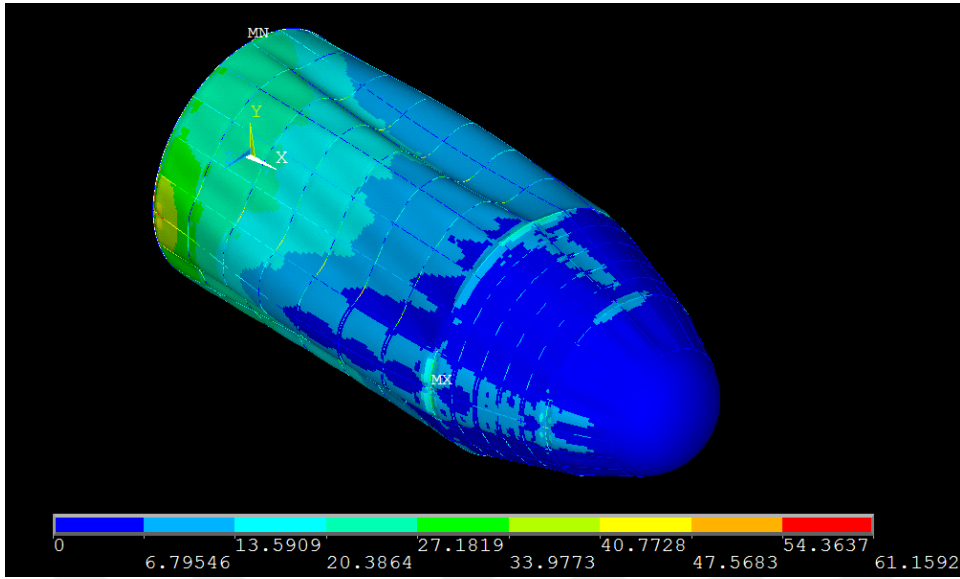
Şekil Ek.8: Temel Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Deformasyonların Gösterimi-2



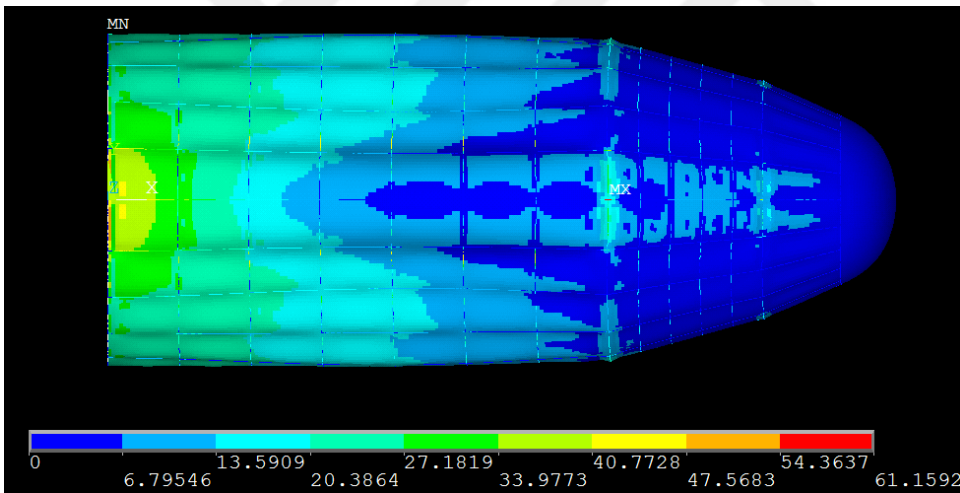
Şekil Ek.9: Temel Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Deformasyonların Gösterimi-3



EK-6

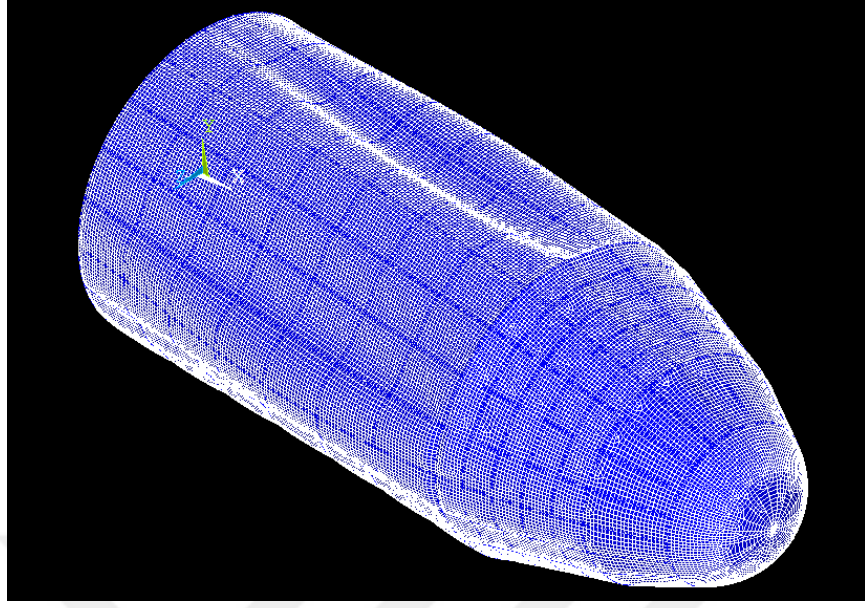


Şekil Ek.10: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Gerilme Dağılımı Gösterimi-1

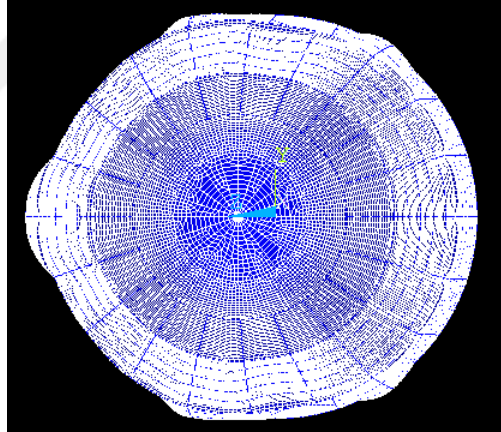


Şekil Ek.11: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Gerilme Dağılımı Gösterimi-2

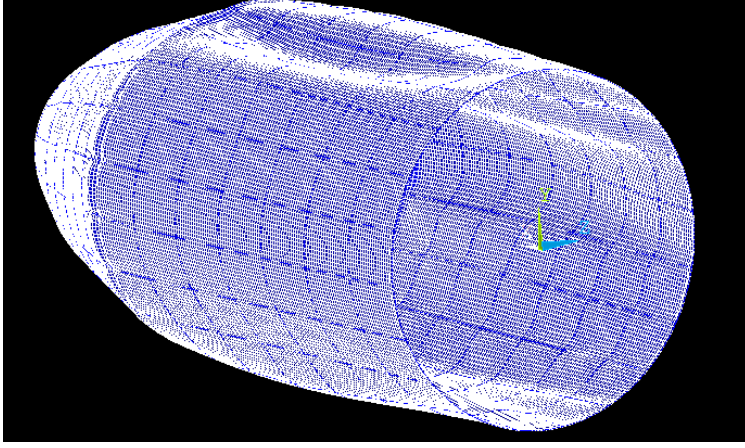
EK-7



Şekil Ek.12: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Deformasyonların Gösterimi-1



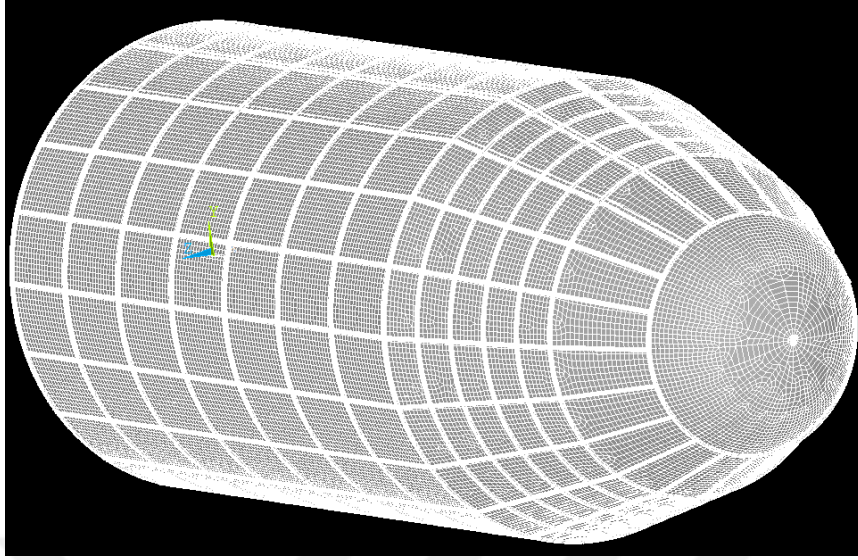
Şekil Ek.13: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Deformasyonların Gösterimi-2



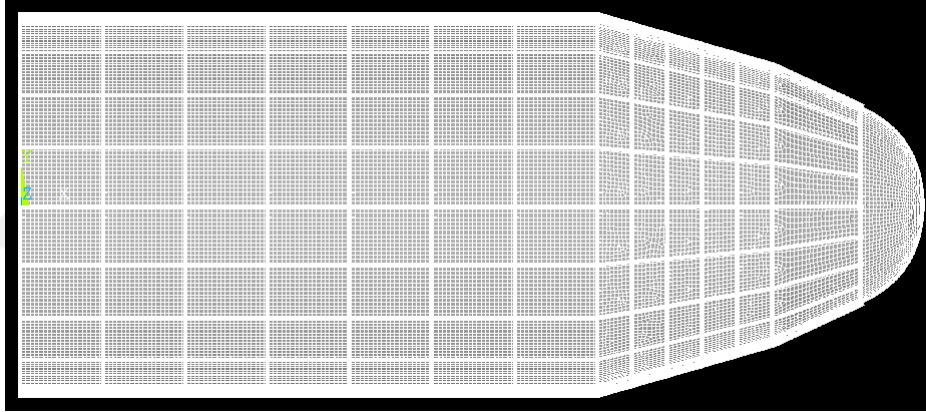
Şekil Ek.14: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımında Oluşan Deformasyonların Gösterimi-3



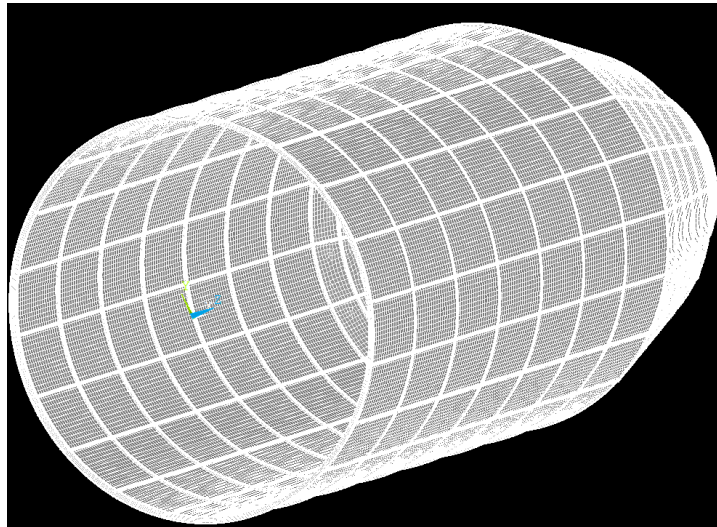
EK-8



Şekil Ek.15: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımı Gösterimi-1



Şekil Ek.16: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımı Gösterimi-2



Şekil Ek.17: Eniyilenmiş Faydalı Yük Kapsülü Tasarımı Gösterimi-3



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :HAKAN ATAR
Uyruğu : TÜRKİYE CUMHURİYETİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 27.04.1990 – NAZİLLİ/AYDIN
E-posta :hakan.atar@roketsan.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2013, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği & Makine Mühendisliği
- **Yükseklisans** :-

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

2013- ROKETSAN ROKET SANAYİİ Sistem Mühendisliği ve
ve TİC. A.Ş. Teknoloji Yönteimi

YABANCI DİL: İNGİLİZCE

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Atar H.,** Acar E., 2015. Uydu Fırlatma Araçlarında Kullanılan Faydalı Yük Kapsülünün Eniyilenmesi, UMAS 2015 Bildirisi: Ulusal Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu, 10-12 Eylül, Düzce, Türkiye.
- **Atar H.,** Acar E., 2015. Structural Optimization of Payload Fairing Used for Space Launch Vehicles, *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 3, No. 4, 2015, pp. 213-219.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Atar H.,** Genç Y.K., Keskin G., GÜRÜN A., Füze Kontrol Tahrik Sistemi Tasarımında Tamsayı Programlama Yaklaşımı. SAVTEK 2014: Savunma Teknolojileri Kongferansı 2014, 25-27 Haziran. Ankara, Türkiye.