



İNSANSIZ HAVA ARACI İNİŞ TAKIMI TASARIMI VE ANALİZİ

Müberra Rüveyda KOÇAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Müberra Rûveyda KOÇAK

04/07/2022

İNSANSIZ HAVA ARACI İNİŞ TAKIMI TASARIMI VE ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Müberra Rüveyda KOÇAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2022

ÖZET

Bu tez çalışmasında bir insansız hava aracı için burun ve ana iniş takımlarının yapısal tasarımları yapılmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Literatür araştırmaları sonucu iniş takımlarıyla ilgili hesaplamalar temel alınarak burun ve ana iniş takımları için tasarımlar yapılmıştır. İniş takımları hava aracının iniş, kalkış ve zemin üzerinde taksi yapmasını sağlayan, hava aracının inişi sırasında oluşan statik ve dinamik yükleri sönmlemeye yarayan mekanik sistemlerdir. İniş takımı, aerodinamik, hidrolik, elektrik ve elektronik gibi mühendislik bilimleri de göz önüne alınarak tasarlanmaktadır. Dikkat edilmesi gereken başka bir konu ise iniş takımının konumudur. İniş takımına etkiyen yükler, hava aracının iniş yapacağı pistin özellikleri, dalış hızı, ön ve arka ağırlık merkezi konumları, tekerlek boyutları gibi parametreler tasarım aşamasında kontrol edilmelidir. Tasarım parametrelerine göre burun ve ana iniş takımları alt bileşenleri boyutlandırılmıştır. Burun iniş takımı ve ana iniş takımları için lastik, jant, iniş takımı çatalı ve aks boyutları belirlenmiştir. Boyutlandırma ile birlikte, alt ve üst kol, amortisör, alt ve üst silindir, alt ve üst destek parça tasarımları yapılmıştır. Üç boyutlu tasarımlar SolidWorks programında gerçekleştirilmiştir. Alt bileşenlerin tasarımları gerçekleştirildikten sonra burun iniş takımı ve ana iniş takımlarının montajları gerçekleştirilmiştir. Analizlerde ANSYS programı kullanılmıştır. Analizler sonucunda, Von-Mises gerilmeleri ve deformasyon değerleri tespit edilerek, akma dayanımına göre emniyet katsayısı belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda tasarlanan iniş takımı parçalarının en olumsuz şartlarda istenilen durumları karşıladığı görülmüştür. Tasarımı yapılan parçaların 1,25-3 emniyet katsayısına göre emniyetli olduğu görülmüş ve literatür doğrulanmıştır.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : İnsansız hava aracı, iniş takımı, CAD, sonlu elemanlar yöntemi
Sayfa Adedi : 96
Danışman : Prof. Dr. İhsan KORKUT

LANDING GEAR DESIGN AND ANALYSIS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE

(M. Sc. Thesis)

Müberra Rüveyda KOÇAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2022

ABSTRACT

In this thesis, the structural designs and analyzes of the nose and main landing gear for an unmanned aerial vehicle were made. Based on the calculations related to the landing gear as a result of the literature research, designs for the nose and main landing gear were made. Landing gear is a mechanical system that allows the aircraft to land, take off and taxi on the ground, and to absorb static and dynamic loads that occur during the landing of the aircraft. The landing gear is designed taking into account engineering sciences such as aerodynamics, hydraulics, electricity and electronics. Another issue that should be paid attention to is the position of the landing gear. Parameters such as the loads acting on the landing gear, the characteristics of the runway where the aircraft will land, the diving speed, the front and rear center of gravity positions, wheel dimensions should be checked at the design stage. According to the design parameters, the nose and the main landing gear subcomponents are sized. The dimensions of the tire, rim, landing gear fork and axle for the nose landing gear and the main landing gear were determined. Along with the sizing, the designs of the lower and upper arms, shock absorbers, lower and upper cylinders, lower and upper support parts were made. Three-dimensional designs were performed in the SolidWorks program. After the designs of the lower components were carried out, the nose landing gear and the main landing gear were assembled. The ANSYS program was used in the analyses. As a result of the analyzes. Von-Mises stresses and deformation values were determined and the safety coefficient was determined according to the yield strength. As a result of the studies carried out, it has been seen that the landing gear parts designed meet the desired conditions in the most adverse conditions. The designed parts were found to be safe according to the 1,25-3 safety coefficient and the literature was confirmed.

Science Code : 91438

Key Words : Unmanned aerial vehicle, landing gear, CAD, finite element method

Page Number : 96

Supervisor : Prof. Dr. İhsan KORKUT

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında desteğini esirgemeyen ve bilgisini benimle paylaşan, olumlu tavırları ile cesaretlendiren ve öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyduğum değerli danışman hocam Prof. Dr. İhsan KORKUT'a, teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca bana vaktini ayırıp bilgilerini paylaşan ve yönlendiren Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül ÇAKIR ŞENCAN'a teşekkür ederim.

Bana olan sevgilerini, sabırlarını ve desteklerini esirgemeyen eğitim hayatım boyunca hep yanımda olan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. İNİŞ TAKIMLARI	3
2.1. İniş Takımı Tasarım Parametreleri.....	4
2.1.1. İniş takımı düzenekleri.....	6
2.1.2. Sabit, geri çekilebilir veya ayrılabilir.....	9
2.1.3. İniş takımı yüksekliği.....	12
2.1.4. Tekerlek mesafesi.....	12
2.1.5. Tekerlek izi.....	13
2.1.6. İniş takımlarına gelecek yük hesabı	13
3. İNİŞ TAKIMI MEKANİK ALT SİSTEMLERİ	17
3.1. Teker Boyutlandırma	17
3.2. Lastik Yüzey Temas Alanı.....	19
3.3. İniş Takımlarında Kullanılacak Tekerlek Sayısı.....	19
3.4. Şok Sönümleyici Tipleri	20
3.4.1. Katı yaylı amortisör.....	21
3.4.2. Elastik halat tipi amortisör	21

	Sayfa
3.4.3. Oleo-pnömatik amortisör	22
3.5. Strok Belirleme	23
3.6. Amortisör hesaplamaları	25
3.6.1. Silindir uzunluğu.....	26
4. BURUN İNİŞ TAKIMI TASARIMI.....	27
4.1. Burun İniş Takımı ve Alt Sistemleri	27
4.1.1. Burun iniş takımı için jant tasarımı	27
4.1.2. Burun iniş takımı için lastik tasarımı	28
4.1.3. Burun iniş takımı için aks tasarımı	28
4.1.4. Burun çatalı tasarımı	29
4.1.5. Amortisör tasarımı	30
4.1.6. Dört kollu mekanizma tasarımı	30
4.1.7. Burun iniş takımı montajı	31
5. ANA İNİŞ TAKIMI TASARIMI.....	33
5.1. Ana İniş Takımı ve Alt Sistemleri	33
5.1.1. Ana iniş takımı için jant tasarımı	33
5.1.2. Ana iniş takımı lastik tasarımı	34
5.1.3. Ana iniş takımı çatalı	34
5.1.4. Ana iniş takımı kolları.....	35
5.1.5. Ana iniş takımı için üst silindir tasarımı	36
5.1.6. Ana iniş takımı için alt silindir tasarımı.....	36
5.1.7. Kaliper tasarımı.....	37
5.1.8. Fren diski tasarımı.....	37
5.1.9. Fren desteği tasarımı	38

	Sayfa
5.1.10. Ana iniş takımı montajı.....	38
6. İNiŞ TAKIMLARI İÇİN MALZEME SEÇİMİ	41
6.1. İniş Takımlarında Kullanılan Malzeme Özellikleri	42
6.1.1. Çelik.....	42
6.1.2. Alüminyum alaşımları.....	42
6.2. Burun İniş Takımı Malzeme Özellikleri	42
6.2.1. Aks, dört kollu mekanizma ve amortisör malzeme özellikleri	43
6.2.2. Jant ve çatal malzeme özellikleri	44
6.3. Ana İniş Takımları İçin Malzeme Özellikleri	44
7. BURUN İNiŞ TAKIMI YAPISAL ANALİZİ	47
7.1. Burun İniş Takımı Yapısal Analiz Sonuçları	47
7.1.1. Burun iniş takımı jantı analiz sonuçları	47
7.1.2. Burun iniş takımı aksı için yapısal analiz sonuçları.....	51
7.1.3. Burun iniş takımı mekanizması alt kol için yapısal analiz sonuçları	53
7.1.4. Burun iniş takımı mekanizması üst kol için yapısal analiz sonuçları	56
7.1.5. Burun iniş takımı çatal yapısal analiz sonuçları.....	59
7.1.6. Burun iniş takımı mekanizma alt desteği yapısal analiz sonuçları	61
7.1.7. Burun iniş takımı mekanizma üst desteği yapısal analiz sonuçları.....	64
7.1.8. Burun iniş takımı amortisör parçası yapısal analiz sonuçları.....	67
8. ANA İNiŞ TAKIMI YAPISAL ANALİZ SONUÇLARI	71
8.1.Ana İniş Takımı Yapısal Analiz Sonuçları	71
8.1.1. Ana iniş takımı jantı yapısal analiz sonuçları	71
8.1.2. Ana iniş takımı aks parçası yapısal analiz sonuçları.....	74
8.1.3. Ana iniş takımı çatalı yapısal analiz sonuçları.....	77

	Sayfa
8.1.4. Ana iniş takımı alt kol için yapısal analiz sonuçları	80
8.1.5. Ana iniş takımı üst kol için yapısal analiz sonuçları.....	83
8.1.6 Ana iniş takımı alt silindir için yapısal analiz sonuçları	86
8.1.7. Ana iniş takımı üst silindir için yapısal analiz sonuçları.....	89
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	96

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İniş takımının tasarlanacağı hava aracının özellikleri	6
Çizelge 2.2. Sabit ve geri çekilebilir sistemin karşılaştırılması	11
Çizelge 2.3. İniş takımı arasındaki mesafeler	14
Çizelge 3.1. Teker boyutlandırma.....	17
Çizelge 3.2. Burun iniş takımı teker boyutları	18
Çizelge 3.3. Ana iniş takımları için teker boyutları	18
Çizelge 3.4. Teker parametreleri.....	18
Çizelge 3.5. Amortisör verimliliği	23
Çizelge 3.6. İniş yük faktörü.....	24
Çizelge 4.1. Burun iniş takımı için jant ölçüleri	27
Çizelge 4.2. Burun iniş takımı için lastik ölçüleri.....	28
Çizelge 4.3. Tasarım boşlukları	29
Çizelge 5.1. Ana iniş takımı için jant verileri	33
Çizelge 5.2. Ana iniş takımı lastik verileri.....	34
Çizelge 6.1. Burun iniş takımı malzeme bilgileri	43
Çizelge 6.2. Paslanmaz çelik S13800 (PH13-8Mo) H1000 özellikleri.....	44
Çizelge 6.3. Alüminyum 7075-T6; 7075 -T651 özellikleri	44
Çizelge 6.4. Ana iniş takımı malzeme bilgileri.....	45
Çizelge 7.1. Jant parçası için yakınsama verileri	48
Çizelge 7.2. Burun aks parçası için yakınsama verileri	51
Çizelge 7.3. Burun alt kol parçası için yakınsama verileri	54
Çizelge 7.4. Burun üst kol parçası için yakınsama verileri.....	56
Çizelge 7.5. Burun çatal parçası için yakınsama verileri	59

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.6. Burun alt destek parçası için yakınsama verileri	62
Çizelge 7.7. Burun üst destek parçası için yakınsama verileri.....	65
Çizelge 7.8. Burun amortisör parçası için yakınsama verileri	68
Çizelge 8.1. Ana iniş jant parçası için yakınsama verileri	72
Çizelge 8.2. Ana iniş aks parçası için yakınsama verileri.....	75
Çizelge 8.3. Ana iniş çatal parçası için yakınsama verileri	77
Çizelge 8.4. Ana iniş alt kol parçası için yakınsama verileri.....	81
Çizelge 8.5. Ana iniş üst kol parçası için yakınsama verileri	83
Çizelge 8.6. Ana iniş alt silindir parçası için yakınsama verileri.....	86
Çizelge 8.7. Ana iniş üst silindir parçası için yakınsama verileri	89

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İniş takımı yüksekliği	3
Şekil 2.2. İniş takımı yüksekliği ve tekerlek izi	4
Şekil 2.3. İniş takımı tasarımı için akış şeması	5
Şekil 2.4. İniş takımı düzenekleri	6
Şekil 2.5. İniş takımı serbest kalması durumu	10
Şekil 2.6. İniş takımı katlanma bölümleri	10
Şekil 2.7. a. Sabit ve b. geri çekilebilir iniş takımına sahip olan uçaklar	11
Şekil 2.8. Farklı iniş takımı yükseklikleri	12
Şekil 2.9. Tekerlek mesafesi	13
Şekil 2.10. Teker izi ve devrilme açısı	13
Şekil 2.11. İniş takımına gelecek yükler	14
Şekil 3.1. Lastik yüzey temas alanı	19
Şekil 3.2. Tekerlek ve amortisör düzenleri	20
Şekil 3.3. Katı yaylı amortisör tipi	21
Şekil 3.4. Halat tipi amortisör	22
Şekil 3.5. Oleo-pnömatik amortisör	22
Şekil 3.6. Silindir yataklaması	26
Şekil 4.1. Burun iniş takımı jantı	27
Şekil 4.2. Burun iniş takımı lastiği	28
Şekil 4.3. Aks parçası	28
Şekil 4.4. Burun çatallı	29
Şekil 4.5. Amortisör	30
Şekil 4.6-a. Statik konum	30

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6-b. Uzatılmış konum	31
Şekil 4.7. Burun iniş takımı montajı	31
Şekil 5.1. Ana iniş takımı jantı.....	33
Şekil 5.2. Ana iniş takımı lastiği.....	34
Şekil 5.3. Ana iniş takımı çatalı	35
Şekil 5.4-a. Ana iniş takımı alt kol	35
Şekil 5.4-b. Ana iniş takımı üst kol.....	36
Şekil 5.5. Ana dikme.....	36
Şekil 5.6. Ana iniş takımı alt silindir parçası	37
Şekil 5.7. Kaliper	37
Şekil 5.8. Fren diski	38
Şekil 5.9. Fren desteği.....	38
Şekil 5.10. Ana iniş takımı montajı	39
Şekil 7.1. Burun jant parçası yakınsama grafiği	48
Şekil 7.2. Jant yapısı ağ modeli	49
Şekil 7.3. Sınır şartları verilen jant parçası	49
Şekil 7.4. Burun iniş takımı jant parçası gerilme dağılımı	50
Şekil 7.5. Jant yapısının maksimum toplam deformasyonu	50
Şekil 7.6. Burun aks parçası için mesh yakınsama grafiği	51
Şekil 7.7. Ağ yapısı oluşturulan aks parçası	52
Şekil 7.8. Sınır şartları verilen aks parçası.....	52
Şekil 7.9. Aks parçasının maksimum gerilme dağılımı	52
Şekil 7.10. Aks parçasının maksimum toplam deformasyonu.....	53
Şekil 7.11. Burun alt kol parçası için mesh yakınsama grafiği.....	54
Şekil 7.12. Ağ yapısı oluşturan alt kol parçası.....	54

Şekil	Sayfa
Şekil 7.13. Sınır şartları verilen alt kol parçası	55
Şekil 7.14. Alt kol parçasının maksimum gerilme dağılımı	55
Şekil 7.15. Alt kol parçasının maksimum toplam deformasyonu	56
Şekil 7.16. Burun üst kol parçası için mesh yakınsama grafiği	57
Şekil 7.17. Ağ yapısı oluşturan üst kol parçası	57
Şekil 7.18. Sınır şartları verilen üst kol parçası	57
Şekil 7.19. Üst kol parçasının maksimum gerilme dağılımı	58
Şekil 7.20. Üst kol parçasının maksimum toplam deformasyonu	58
Şekil 7.21. Burun çatal parçası için mesh yakınsama grafiği	59
Şekil 7.22. Ağ yapısı oluşturulan burun çatalı parçası.....	60
Şekil 7.23. Sınır şartları verilen burun çatalı parçası	60
Şekil 7.24. Burun çatal parçasının maksimum gerilme dağılımı	61
Şekil 7.25. Burun çatal parçasının toplam deformasyonu	61
Şekil 7.26. Burun alt destek parçası için mesh yakınsama grafiği.....	62
Şekil 7.27. Ağ modeli oluşturulan alt destek parçası.....	63
Şekil 7.28. Sınır şartları verilen alt destek parçası	63
Şekil 7.29. Alt destek parçasının maksimum gerilme dağılımı	64
Şekil 7.30. Alt destek parçasının toplam deformasyonu.....	64
Şekil 7.31. Burun üst destek parçası için mesh yakınsama grafiği.....	65
Şekil 7.32. Ağ yapısı oluşturulan üst destek parçası.....	66
Şekil 7.33. Sınır şartları verilen üst destek parçası	66
Şekil 7.34. Üst destek parçasının maksimum gerilme dağılımı.....	67
Şekil 7.35. Üst destek parçasının toplam deformasyonu	67
Şekil 7.36. Burun amortisör parçası için mesh yakınsama grafiği	68
Şekil 7.37. Ağ modeli oluşturulan amortisör parçası.....	69

Şekil	Sayfa
Şekil 7.38. Sınır şartları verilen amortisör parçası.....	69
Şekil 7.39. Amortisör parçasının maksimum gerilme dağılımı	69
Şekil 7.40. Amortisör parçasının toplam deformasyonu	70
Şekil 7.41. Burun iniş takımı alt parçalarının emniyet katsayısı değerleri	70
Şekil 8.1. Ana iniş takımı jant parçası için mesh yakınsama grafiği	72
Şekil 8.2. Ağ modeli oluşturulan ana iniş takımı jantı.....	72
Şekil 8.3. Sınır şartları verilen ana iniş takımı jantı.....	73
Şekil 8.4. Ana iniş takımı jantında oluşan maksimum gerilme dağılımı	73
Şekil 8.5. Ana iniş takımı jant parçasında oluşan toplam deformasyon	74
Şekil 8.6. Ana iniş takımı aks parçası için mesh yakınsama grafiği.....	75
Şekil 8.7. Ağ modeli oluşturulan ana iniş takımı aks parçası	75
Şekil 8.8. Sınır şartları verilen ana iniş takımı aks parçası	76
Şekil 8.9. Ana iniş takımı aks parçasında oluşan maksimum gerilme dağılımı	76
Şekil 8.10. Ana iniş takımı aks parçasında oluşan toplam deformasyon.....	77
Şekil 8.11. Ana iniş takımı çatal parçası için mesh yakınsama grafiği.....	78
Şekil 8.12. Ağ modeli oluşturulan ana iniş takımı çatal parçası	78
Şekil 8.13. Sınır şartları verilen ana iniş takımı çatal parçası.....	79
Şekil 8.14. Ana iniş takımı çatal parçasında oluşan maksimum gerilme dağılımı	79
Şekil 8.15. Ana iniş takımı çatal parçasında oluşan toplam deformasyon.....	80
Şekil 8.16. Ana iniş takımı alt kol parçası için mesh yakınsama grafiği.....	81
Şekil 8.17. Ağ modeli oluşturulan alt kol parçası	81
Şekil 8.18. Sınır şartları verilen alt kol parçası.....	82
Şekil 8.19. Alt kol parçasının maksimum gerilme dağılımı	82
Şekil 8.20. Alt kol parçasında oluşan toplam deformasyon.....	83
Şekil 8.21. Ana iniş takımı üst kol parçası için mesh yakınsama grafiği	84

Şekil	Sayfa
Şekil 8.22. Ağ modeli oluşturulan üst kol parçası	84
Şekil 8.23. Sınır şartları verilen üst kol parçası	85
Şekil 8.24. Üst kol parçasında oluşan maksimum gerilme dağılımı.....	85
Şekil 8.25. Üst kol parçasında oluşan toplam deformasyon	86
Şekil 8.26. Ana iniş takımı alt silindir parçası için mesh yakınsama grafiği.....	87
Şekil 8.27. Ağ modeli oluşturulan alt silindir parçası.....	87
Şekil 8.28. Sınır şartları verilen alt silindir parçası.....	87
Şekil 8.29. Alt silindir parçasında oluşan maksimum gerilme dağılımı	88
Şekil 8.30. Alt silindir parçasında oluşan toplam deformasyon	88
Şekil 8.31. Ana iniş takımı üst silindir parçası için mesh yakınsama grafiği	89
Şekil 8.32. Ağ modeli oluşturulan üst silindir parçası	90
Şekil 8.33. Sınır şartları verilen üst silindir parçası	90
Şekil 8.34. Üst silindir parçasında oluşan maksimum gerilme dağılımı.....	91
Şekil 8.35. Üst silindir parçasında oluşan toplam deformasyon.....	91
Şekil 8.36. Ana iniş takımı alt parçalarının emniyet katsayısı değerleri	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
W	Uçak kalkış ağırlığı
F	Burun ve ana iniş takımları arasındaki mesafe
$H=H_{LG}$	İniş takımının yerden yüksekliği
T	Ana iniş takımları arasındaki mesafe
F_m	Ana iniş takımına gelecek yük
F_n	Burun iniş takımına gelecek yük
B	Tekerlek mesafesi
B_m	Ağırlık merkezi ile ana iniş takımı arasındaki mesafe
B_n	Ağırlık merkezi ile burun iniş takımı arasındaki mesafe
L	Burun iniş takımı ile ön ağırlık merkezi arasındaki mesafe
S	Strok değeri
S_T	Lastik sönümleme mesafesi
H_{CG}	Ağırlık merkezinin yerden yüksekliği
D_t	Lastik dış çapı
W_t	Lastik genişliği
W_w	Lastiğin taşıdığı ağırlık
A_p	Lastik temas alanı
R_r	Lastiğin yuvarlanma çapı
$KE_{absorbed}$	Sönümlenen kinetik enerji
$KE_{vertical}$	Dikey kinetik enerji
$V_{vertical}$	Konma anındaki dikey hız
$W_{vertical}$	Uçağın konma anındaki yükü
$W_{landing}$	Uçağın iniş yükü
$N_{iniş}$ yük faktörü	İniş yük faktörü
Y_{OT}	Burun iniş takımı ile ana iniş takımı arasındaki yatay mesafe

Simgeler**Açıklamalar****w**

Lastik genişliği

d

Lastik çapı

g

Yerçekimi ivmesi

P

Lastiğin iç basıncı

cg

Ağırlık merkezi

 η

Lastik verimliliği

 η_T

Amortisör verimliliği

 Φ_{ot}

Devrilme açısı

F ana net dikey yük

Ana iniş takımına gelecek dikey yük

F burun net dikey yük

Burun iniş takımına gelecek dikey yük

Kısaltmalar**Açıklamalar****FAR**

Federal Havacılık Düzenlemesi

1. GİRİŞ

İnsansız hava araçları için iniş takımları, standart bir uçağın iniş takımları ile aynı görevi görmektedirler. İniş takımları temel olarak uçağın inişi sırasında meydana gelecek olan yükleri karşılamak ve hava aracı zemindeyken taksi yapmasını sağlamaktır. İniş takımı düzenlemeleri, burun ve ana iniş takımı olmak üzere ikiye ayrılır. Ana iniş takımları yerine yardımcı eleman olarak kuyruktan tekerlekli olan iniş takımı düzenekleri de bulunmaktadır. İniş takımı tasarımı yapılırken birçok faktör göz önüne alınmalıdır. Dikkat edilmesi gereken faktörler tez çalışmasında aktarılmıştır. Literatür çalışması sonucunda ulaşılan veriler ve hesaplamalara göre hem burun hem de ana iniş takımının alt bileşenleri SolidWorks programında tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan alt bileşenlerin analizi ANSYS programında gerçekleştirilmiştir. Her iki iniş takımının alt bileşenlerine yapısal statik analiz, ANSYS programı ile gerçekleştirilmiştir.

Problem durumu / Konunun tanımı

Hava araçları için tasarlanan iniş takımları genel olarak üç tekerlekli bisiklet tipi iniş takımı düzeneği olmuştur. Üç tekerlekli bisiklet tipinin seçilmesinin nedeni iniş takımı düzeneğinin ağırlık merkezi, ana tekerleklerin önündedir bu nedenle uçak yerde sabittir. Ayrıca üç tekerlekli bisiklet tipi iniş takımı zeminde ileriye dönük görüşü iyileştirir. Bu tez çalışmasında da üç tekerlekli bisiklet tipi iniş takımı düzeneği kullanılmıştır. Burun iniş takımı tasarımı statik sapma oranı yüksektir. İniş takımı ana dikmesinin boyu uzadıkça statik sapmanın fazla olduğu literatür araştırmaları sonucu görülmüştür. Dört kollu mekanizma ve yaylı tip amortisör bu sapma azaltılmıştır.

Araştırmanın amacı

Yapılan literatür araştırmalarına göre burun iniş takımı için en çok oleo-pnömatik amortisör kullanılmıştır. Oleo-pnömatik amortisör tipinde sıkıştırılmış hava veya gaz ile birlikte oleo dikmesinin üzerinde yağ bulunmaktadır. Yağ uygun görülen bir miktar kadar sıkıştırılır ve sönümlenme gerçekleşmiş olur. Bu tez çalışmasında burun iniş takımında en çok kullanılan oleo-pnömatik amortisör tipinin aksine yaylı tip amortisör ve amortisörün montajlandığı dört kollu bir mekanizma tasarlanmıştır. Genel tip amortisörün aksine yapılan araştırmalara göre iniş takımının sönümlenme mesafesini artırmıştır.

Araştırmanın önemi

Günümüzde insansız hava araçlarının kullanımı oldukça artmıştır. Modern savaş teknolojilerinde önemli bir yere sahip olan insansız hava araçları keşif ve saldırı görevlerinde kullanılmaktadır. İnsansız hava araçları zor ve tehlikeli görevlerde kullanılabilir. Aynı zamanda son yıllarda, Türkiye'deki orman yangınlarının söndürülmesinde de insansız hava araçları kullanılmaktadır. İnsan ihtiyacı olmaması en büyük avantajlarından ve bir insansız hava aracı için iniş takımları, tasarımın önemli bir kısmını kapsamaktadır.

Varsayımlar

İniş takımı tasarımlarında genellikle, oleo-pnömatik sönümleyici kullanılmaktadır. Bu çalışmada yeni bir bakış açısı ile tasarlanan dört kollu mekanizma ve yaylı amortisör kullanılmıştır. Burun iniş takımı ana dikme uzunluğunun strok değerinin yaklaşık 2,5 kat olduğu literatür araştırmaları sonucu bulunmuştur [4]. Bu tez çalışmasında burun iniş takımı için tasarlanan alt ve üst kol parçalarının montajlanmış yüksekliği yani uzunluğu strok değerinin 2,5 katı olarak alınmıştır. Amortisör hesapları ise bu montaj ilişkisine göre hesaplanmış ve tasarlanmıştır.

Sınırlılıklar

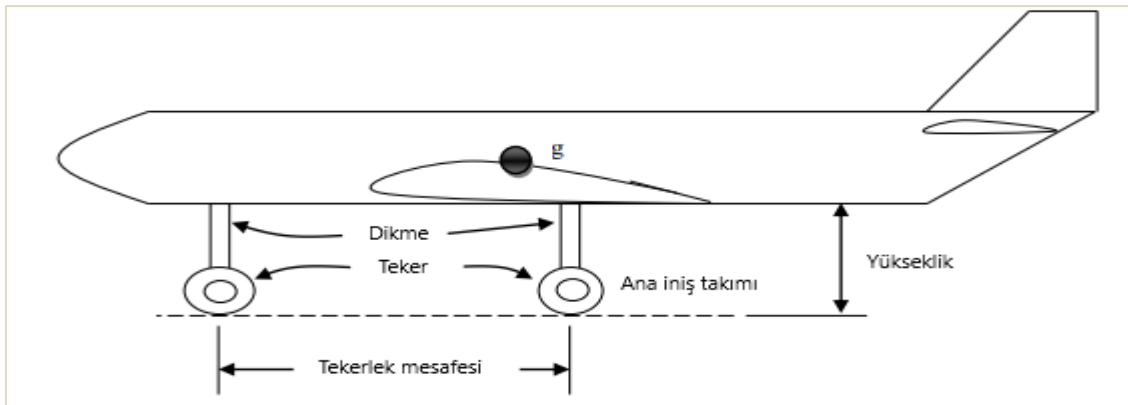
Bu çalışmada tasarımı etkileyen durumlardan biri burun iniş takımı tasarımıdır. Burun iniş takımı alt parçaları olan alt kol ve üst kol parçaları ile yaylı amortisör parçasının hesaplamaları, oleo-pnömatik amortisör için yapılan hesaplamalara göre gerçekleştirilmiştir.

2. İNİŞ TAKIMLARI

İnsansız hava araçları için en büyük bileşenlerden biri iniş takımlarıdır. İniş takımı, hava aracı zemindeyken taksi yapmaya, iniş ve kalkış yapmaya destek olur. İniş takımları tasarlanırken dikkat edilmesi gerekenler maddeler halinde verilmiştir.

1. Tip (üç tekerlekli bisiklet tipi iniş takımı, kuyruk iniş takımı, bisiklet tipi iniş takımı)
2. Sabit, geri çekilebilir veya kısmen geri çekilebilir
3. Yükseklik
4. Teker izi
5. Tekerlek yüzeyi
6. Tekerlek izi
7. Ana iniş takımı ve ağırlık merkezi arasındaki mesafe
8. Dikme çapı
9. Lastik boyutu (genişlik, çap)
10. Geri çekilebilir ise iniş takımı bölmesi
11. Her dikmedeki yük

İniş takımı yüksekliği, iniş takımının en alt noktası (lastiğin altı) ile hava aracına bağlandığı nokta arasındaki mesafedir. İniş takımları gövdeye veya kanada takılabileceğinden yükseklik teriminin farklı anlamları vardır. Ayrıca iniş takımı yüksekliği amortisörün ve iniş takımı sapmasının bir fonksiyonudur. Yükseklik genellikle hava aracı yerdeyken ölçülür [1]. İniş takımı yüksekliği Şekil 2.1 'de gösterilmiştir.

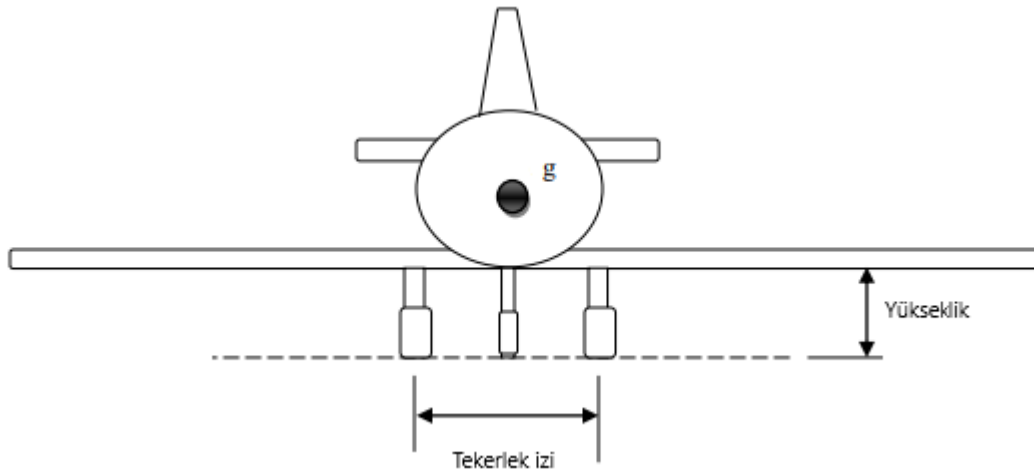


Şekil 2.1. İniş takımı yüksekliği [1]

Hava aracının ağırlık merkezi ile iniş takımının en alt noktası arasındaki mesafe büyük önem taşımaktadır ve hesaplamalarda kullanılmıştır.

Tekerlek mesafesi (Wheel base) ana iniş takımı ve burun iniş takımı arasındaki mesafedir. Hava aracının yan görünüşü olan Şekil 2.1’de gösterilmiştir. İniş takımları ikiye ayrılır: 1. Ana iniş takımı 2. Burun iniş takımıdır. Ana iniş takımı hava aracının ağırlık merkezine en yakın mesafededir. İniş sırasında zemine ilk olarak ana iniş lastikleri temas eder. Kalkış sırasında ise zeminden en son ana iniş takımı tekerlekleri ayrılır. Diğer taraftan ana iniş takımları hava aracının zemindeki yüklemesinin büyük bir kısmını taşır [1].

Tekerlek izi (Wheel track), iki ana iniş takımı (sağ ve sol) arasındaki mesafedir ve Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. İniş takımı yüksekliği ve tekerlek izi [1]

Bir iniş takımının fazla bir yük taşıması bekleniyorsa, birden fazla tekerlek kullanılabilir. Genelde iniş takımı ağırlığı hava aracının kalkış ağırlığının %3 ile %5’ i arasındadır [1].

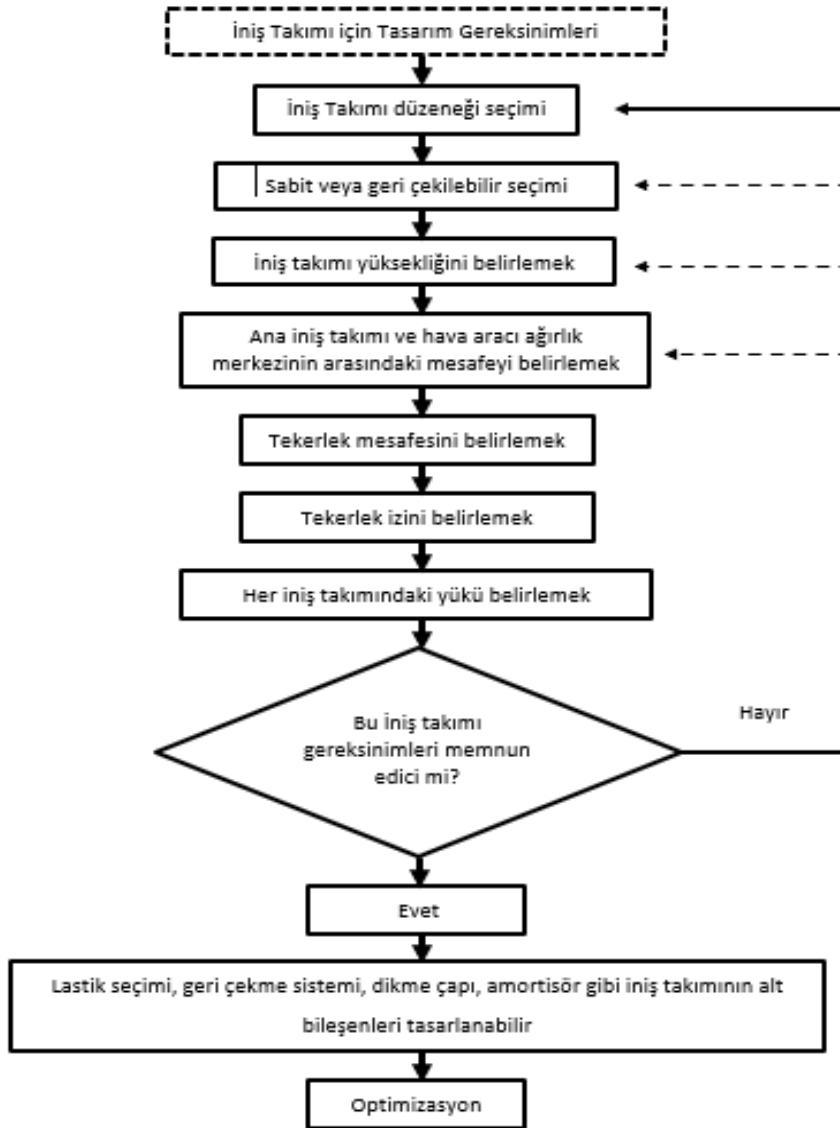
2.1. İniş Takımı Tasarım Parametreleri

Tasarım prosedürü açısından, iniş takımı hava aracının en son tasarlanmış ana bileşenidir. Başka bir deyişle tüm ana bileşenler (kanat, kuyruk, gövde ve tahrik sistemi gibi) iniş takımlarının tasarımından önce tasarlanmalıdır. Ayrıca hava aracının en arka ve en ön ağırlık merkezi iniş takımı tasarımı yapılmadan önce verilmelidir.

İniş takımının görevleri:

1. İniş sırasında ve zeminde hava aracını kalkış, iniş ve taksi sırasında sabit tutmak,
2. Hava aracı zeminde taksi yapıyorken serbestçe hareket etmesini ve manevra yapabilmesini sağlamak,
3. İniş sırasında iniş şoklarını sönümlemek,
4. En düşük sürtünme ile hava aracının hızlanmasına ve dönmesine izin vererek kalkışı kolaylaştırmaktır [1].

İniş takımı tasarımı için izlenecek akış şeması Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. İniş takımı tasarımı için akış şeması [1]

İniş takımının tasarlanacağı hava aracının özellikleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. İniş takımının tasarlanacağı hava aracının özellikleri

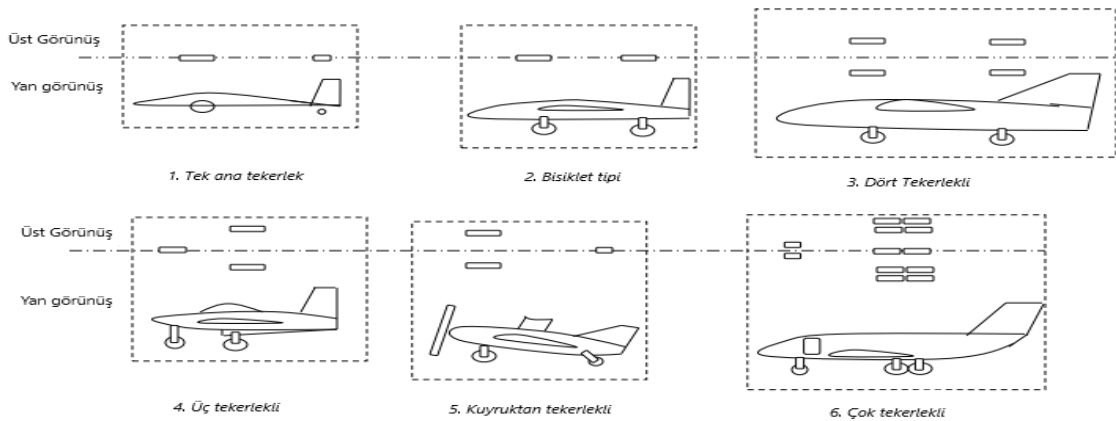
Uçak ağırlığı (kg)	Kanat Alanı (m ²)	Ortalama veter uzunluğu (m)	Uç veter uzunluğu (m)	Kök veter uzunluğu (m)
1600	16	0,9345	0,5535	1,23

2.1.1. İniş takımı düzenekleri

İnsansız hava aracı tasarım gereksinimleri için yapılması gereken ilk iş iniş takımının düzenine karar vermektir. İniş takımı düzeneği için birçok çeşit bulunmaktadır. Maliyet, uçak performansı, uçak stabilitesi, sürdürülebilirlik, üretilebilirlik ve operasyonel hususlar hava aracının tasarım gereksinimleridir. Genel olarak iniş takımı düzenlemeleri aşağıdaki gibidir:

1. Tek tekerlekli ana iniş takımı,
2. Bisiklet tipi iniş takımı,
3. Kuyruktan tekerlekli iniş takımı,
4. Üç tekerlekli iniş takımı veya burun iniş takımı,
5. Dört tekerlekli bisiklet tipi iniş takımı,
6. Çok tekerlekli tip iniş takımıdır [1].

İniş takımı için genel düzenlemeler Şekil 2.4’te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. İniş takımı düzenekleri [1]

Tek tekerlekli ana iniş takımı

İniş takımının en basit konfigürasyonu tek tekerlekli ana iniş takımıdır (Şekil 2.4-1’de gösterilmiştir). Hava aracının ağırlığının ve yükünün büyük bir kısmını taşıyan büyük bir ana iniş takımına sahiptir. Bununla beraber kuyruğun altında çok küçük bir takıma da sahiptir. Boyut açısından kuyruk altındaki iniş takımından hem tekerlek hem de dikme olarak büyüktür. Bu iniş takımlarının her ikisi de hava aracının simetrik düzlemindedir. Ana iniş takımı hava aracının ağırlık merkezine yakın diğeri ise uzaktır. Çoğu durumda ana iniş takımı ağırlık merkezinin önünde ve diğeri ağırlık merkezinin arkasında (kuyruk bölümünün altında) bulunur [1].

Tek tekerlekli ana iniş takımı genellikle geri çekilemez, bu yüzden yüksekliği çok kısadır. Tek bir ana iniş takımı hava aracını zeminde tutmak için tek başına yetersizdir, bu yüzden hava aracı kalkarken bir taraf üzerine (genellikle kanat üzerine) devrilecektir. Yana devrilmeyi önlemek için bazı hava araçlarında kanat bölümünde iki adet yardımcı iniş takımı bulunur.

Bu iniş takımı düzeneğinin avantajı hafif ve basit tasarımıdır. Diğer yandan bu konfigürasyonun kalkış dönüşü sınırlı olduğu için daha uzun bir kalkış sürüşüne ihtiyaç duyar [1].

Bisiklet tipi iniş takımı

Bisiklet tipi iniş takımı adından da anlaşılacağı gibi biri ağırlık merkezinin önünde ve diğeri ağırlık merkezinin arkasında olmak üzere iki takıma sahiptir (Şekil 2.4-2) ve her iki tekerlekte aynı boyutlara sahiptir. Hava aracının devrilmemesi için kanatlarda iki yardımcı tekerlek kullanılır. İki tekerleğin ağırlık merkezine olan mesafesi iki teker içinde aynıdır ve her iki tekerlekte benzer yükler taşır. Bisiklet iniş takımı, tek tekerlekli ana iniş takımıyla benzer özelliklere sahiptir. Bu düzenleme hava aracının zemindeki istikrarsızlığından dolayı tasarımcılar tarafından seçilmemektedir. Temel avantajları, düşük ağırlığa ve tasarım basitliğine sahip olmasıdır [1].

Kuyruktan tekerlekli iniş takımı

Kuyruktan tekerlekli iniş takımı düzeninde, hava aracının ağırlık merkezinin önünde iki ana tekerlek ve kuyruğun altında küçük bir tekerleğe sahiptir. Şekil 2.4-5'te gösterilmiştir. Ağırlık merkezinin önündeki tekerler uçağın ağırlığının ve yükünün çoğunu taşır bu yüzden ana tekerlek olarak adlandırılırlar. İki ana tekerlek x ve y ekseninde ağırlık merkezinden aynı mesafede olduğu için iki tekerlekte aynı yükü taşımaktadır. Arka tekerlek ağırlık merkezinden (ana iniş takımıyla karşılaştırıldığında) uzaktır, bu yüzden çok daha küçük yük taşır ve yardımcı takım olarak adlandırılır. Ana takım toplam yükün yaklaşık %80-90'ını taşıyorken yardımcı takım yaklaşık %10-20 arası bir yük taşır. Bu iniş takımı konfigürasyonu geleneksel iniş takımı olarak adlandırılır, çünkü havacılık tarihinin ilk 50 yılında birincil iniş takımı olarak kullanılmıştır. Ama şu an üretilen hava araçlarının yaklaşık %10'unda kuyruktan tekerlekli iniş takımı kullanılmaktadır [1].

Hava aracı üç tekerleğe sahip olduğu için hava aracının zemindeki durumu dengelidir. Ancak yer manevrası sırasında tasarım gereği yönsel olarak dengesizdir. Bunun nedeni kuyruktan tekerlekli iniş takımına sahip olan hava aracında ana iniş takımları zemin üzerinde dönmeye başladığında ana iniş takımının önündeki ağırlık merkezinde merkezkaç kuvveti oluşur. Eğer uçağın yer hızı fazlaysa merkezkaç kuvveti kuyruk takımdaki sürtünme kuvveti momentinden daha büyük olacaktır, bu yüzden uçağın ana iniş takımı etrafında yalpalamasına sebep olacaktır [1].

Üç tekerlekli bisiklet tipi iniş takımı

Üç tekerlekli iniş takımı tipi en çok kullanılan iniş takımı düzeneğidir. Şekil 2.4-4'te gösterilmiştir. Hava aracının arkasındaki tekerler ağırlık merkezine çok yakındır ve hava aracının ağırlığını ve yükünün çoğunu taşır bu yüzden ana iniş takımı olarak ifade edilir. İki ana iniş takımı x ve y eksenine aynı mesafe uzaklıktadır ve ikisi de aynı yükleri taşır. Ön iniş takımı ağırlık merkezinden uzaktır (ana iniş takımı ile karşılaştırıldığında) bu yüzden daha küçük yükleri taşır. Toplam yükün yaklaşık %80-90'ını ana iniş takımı taşıyorken burun iniş takımı yaklaşık %10-20 arası bir yükü taşımaktadır. Bu iniş takımı düzenine burun iniş takımı düzeni de denilmektedir [1].

Dört tekerlekli iniş takımı

Dört tekerlekli iniş takımı sistemi geleneksel araba teker sistemine benzemektedir. Şekil 2.4-3'te gösterilmiştir. Ağırlık merkezinin ön kısmında iki tekerlek ve ağırlık merkezinin arkasında iki tekerlek ile her iki tarafta da iki tekerlek bulunmaktadır. Her iniş takımına gelecek yük ağırlık merkezine olan uzaklıklarına bağlıdır. Eğer arka ve ön tekerler ağırlık merkezine eşit mesafede ise bunlar aynı yükü taşıyacaklardır. Bu durumda kalkış ve iniş sırasında hava aracını döndürmek çok zordur böylece hava aracı sadece dikey iniş kalkış gerçekleştirecektir. Üç tekerlekli bisiklet tipi iniş takımı ile karşılaştırıldığında daha uzun kalkış sürüşüne neden olacaktır. Dört tekerlekli iniş takımı sistemi genellikle çok ağır kargo uçaklarında veya savaş uçaklarında kullanılır [1].

Çok tekerlekli iniş takımı

Uçak ağırlaştıkça iniş takımı sistemi artmaktadır. Dörtten daha fazla iniş takımına sahip olan bir iniş takımı konfigürasyonu, kalkış ve iniş güvenliğini de artırır. Şekil 2.4-6' da gösterilmiştir. Birden fazla teker birlikte kullanıldığında her dikmenin sonuna bağlanan “bogey” denilen yapısal elemana bağlanırlar. Çok tekerli iniş takımı düzeneğine sahip bir uçak zeminde ve zemindeki taksi sırasında dengelidir. Çeşitli iniş takımı düzenlemeleri arasında çok tekerli iniş takımı düzeneği en pahalı ve üretimi en karmaşık olan iniş takımı düzenidir [1].

2.1.2. Sabit, geri çekilebilir veya ayrılabilir

Bir diğer iniş takımı tasarım gereksinimi kalkıştan sonra iniş takımına ne yapılacağıdır. Genelde bu durum için dört alternatif vardır:

1. Kalkıştan sonra iniş takımını serbest bırakmak,
2. İniş takımlarını uçağın altında asılı bırakmak (sabit),
3. İniş takımını uçağın içine tamamen geri çekmek (gövdeye veya kanadın içine),
4. İniş takımını uçağın içine kısmen geri çekmektir.

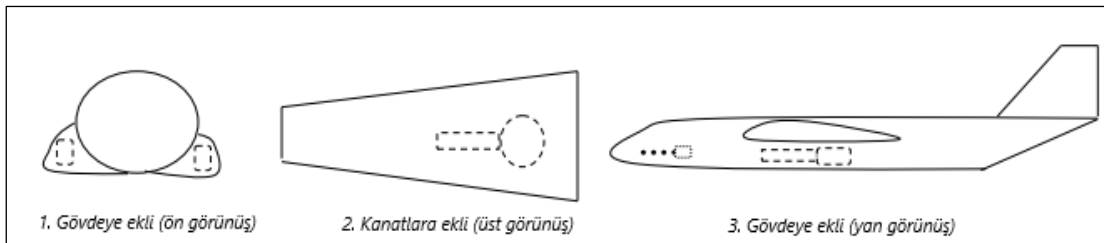
Dört alternatifi her biri için karar verilmeden önce değerlendirileceği avantajları ve dezavantajları vardır. İlk durumda iniş takımı kalkıştan sonra serbest bırakılırsa uçak uçuş

görevi sırasında onu taşımak zorunda olmaz (Şekil 2.5'te gösterilmiştir). Bu yüzden kalkıştan sonra uçak ağırlığı azaltılmış olacaktır ve bu bir avantaj olarak görülebilir. Ancak bu durum iniş için aynı görülmez. Uçağın iniş yapmayacağı anlamına gelir veya uçak güvenli bir iniş yapmak için başka bir iniş takımı kullanmalıdır [1].



Şekil 2.5. İniş takımı serbest kalması durumu [1]

Geri çekilebilir bir iniş takımı durumunda, uçak kalktıktan sonra iniş takımı gövde içine katlanır. Geri çekilebilir bir iniş takımı için, geri çekme sistemi tasarımı ve geri çekildikten sonra iniş takımı için yeterli alan tasarımının sağlanması gerekmektedir. İniş takımı geri çekme sistemi için çoğu mekanizma, pimlerle birbirine bağlanan ve üç eleman kullanılan dört çubuklu bir bağlantıya dayanmaktadır. Dördüncü çubuk uçak yapısıdır. Bir geri çekme mekanizması uçak ağırlığını, tasarım karmaşıklığını, bakımı artırırken iç yakıt hacmini azaltır [1]. Ana iniş takımı için geri çekme mekanizmasının konumlanacağı kısımlar 1. gövde bölmesi, 2.kanat içi ve 3.gövde içinedir ve Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. İniş takımı katlanma bölümleri [1]

Bölmeli bir bölge yapılandırması ek aerodinamik sürüklemeye neden olacağı için uçağın ön alanını artırma eğilimindedir. İniş takımının sabit veya geri çekilebilir mekanizması karşılaştırılması Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Sabit ve geri çekilebilir sistemin karşılaştırılması [1]

No	Madde	Sabit (geri çekilmeyen) İniş Takımı	Geri Çekilebilir İniş Takımı
1	Maliyet	Ucuz	Pahalı
2	Ağırlık	Hafif	Ağır
3	Tasarım	Tasarım daha kolay	Tasarım daha zor
4	Üretim	Üretim daha kolay	Üretim daha zor
5	Bakım-onarım	Bakımı daha kolay	Bakımı daha zor
6	Sürüklenme	Daha fazla sürüklenme	Daha az sürüklenme
7	Uçak performansı	Maksimum hızda daha düşük uçak performansı	Maksimum hızda daha yüksek uçak performansı
8	Boyuna denge	Daha dengeli	Daha dengesiz
9	Depolama alanı	Depolamaya ihtiyaç yok	Depolamaya ihtiyaç var
10	Geri çekme sistemi	Geri çekme sistemine gerek yok	Geri çekme sistemi gerekli
11	Yakıt hacmi	Daha fazla kullanılabilir iç hacim	Daha az kullanılabilir iç hacim
12	Uçak yapısı	Bölüntüsüz yapı	Yapı elemanlarının bölünmesi nedeniyle takviye ihtiyacı

Sabit ve geri çekilebilir iniş takımına sahip uçaklar Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



a. Geri Çekilebilir İniş takımı sistemine sahip Mooney M20 uçağı

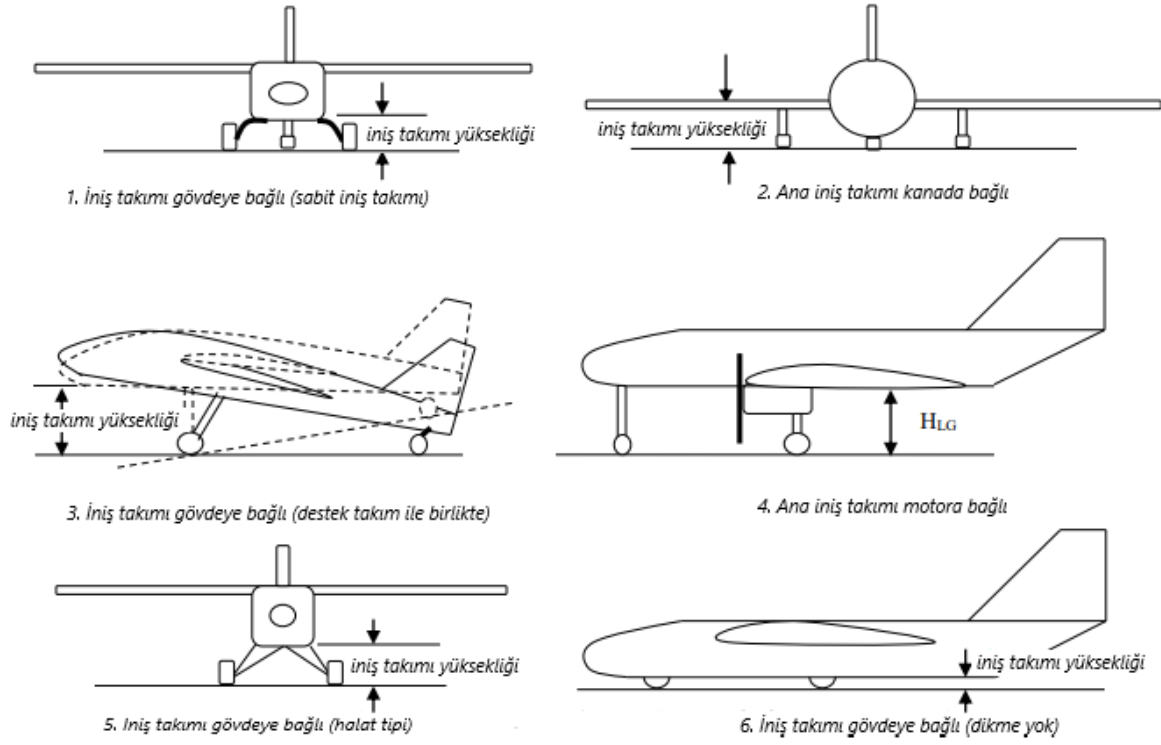


b. Sabit İniş Takımına sahip 3Xtrim 3x55 Trener uçağı

Şekil 2.7.a. Sabit ve b. geri çekilebilir iniş takımına sahip olan uçaklar [2]

2.1.3. İniş takımı yüksekliği

İniş takımı yüksekliği, ana iniş takımı dikmesi ile uçak yapısı arasındaki mesafe olarak tanımlanır. Şekil 2.8, farklı iniş takımı yüksekliklerini göstermektedir.



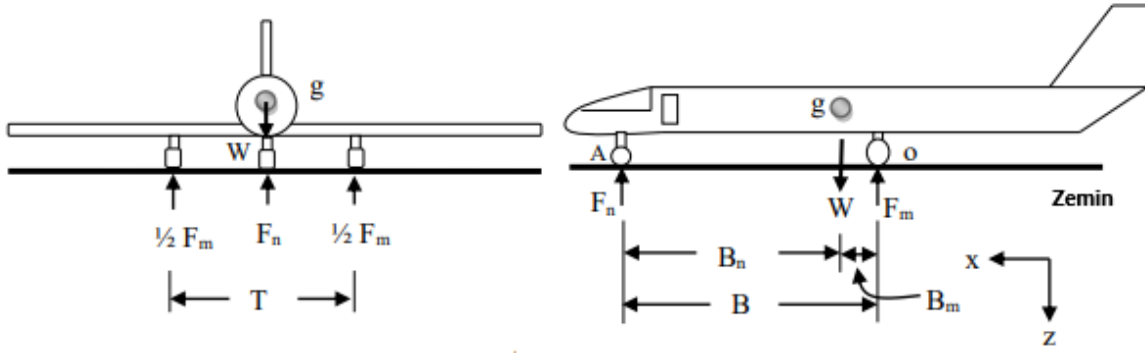
Şekil 2.8. Farklı iniş takımı yükseklikleri [1]

Şekil 2.8-1’de ana iniş takımı gövdeye, Şekil 2.8-2’de ana iniş takımı kanada bağlı, Şekil 2.8-4’te motora bağlıdır. İniş takımı yüksekliğinin önemli olduğu durumlar vardır. Bunlar:

1. Taksi sırasında uçak açıklığı sağlar.
2. İniş takımı yüksekliği, kalkış dönüşü sırasında arka gövde açıklığı sağlar.
3. İniş takımı yüksekliği devrilmeyi önlemeye yardımcı olur.

2.1.4. Tekerlek mesafesi

Tekerlek mesafesi burun iniş takımı ile ana iniş takımı arasındaki yük dağılımı için önemli bir rol oynar. Bu parametre aynı zamanda zemin dengesini ve zemin kontrol edilebilirliğini etkiler. Bu nedenle tekerlek izi dikkatli bir şekilde belirlenmelidir [1].

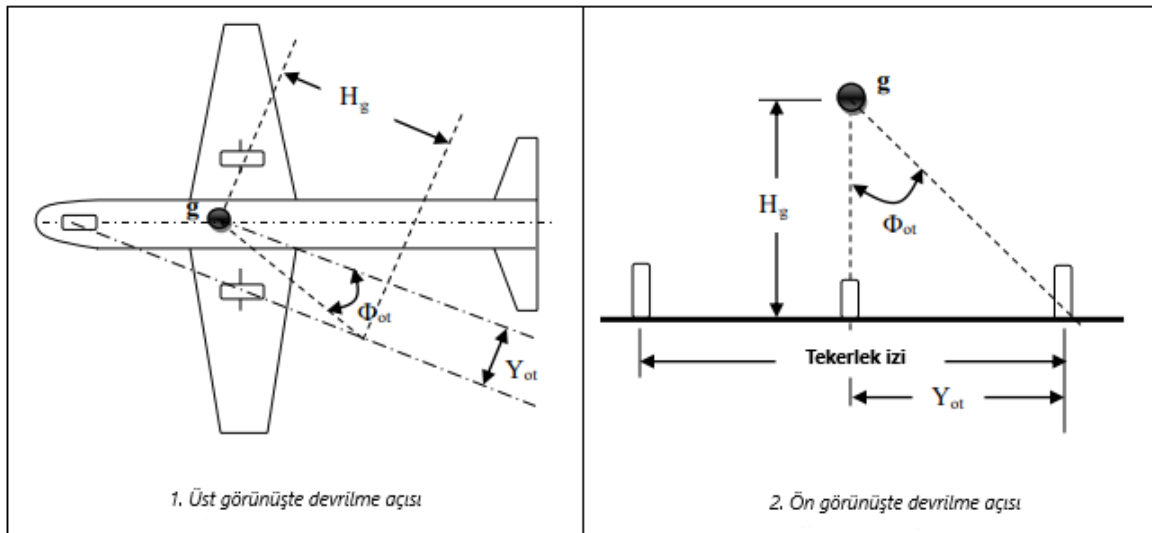


Şekil 2.9. Tekerlek mesafesi [1]

Şekil 2.9’da “B” olarak gösterilen mesafe tekerlek izidir. “T”, ana iniş takımları arasındaki mesafedir. Şekildeki örnek uçak resmi üç tekerlekli iniş takımı sistemine sahiptir.

2.1.5. Tekerlek izi

Tekerlek izi en sağ ve en sol tekerler arasındaki mesafe (önden görünüşe göre) olarak tanımlanır ve yerdeyken ölçülür. Şekil 2.10’da gösterilmiştir.



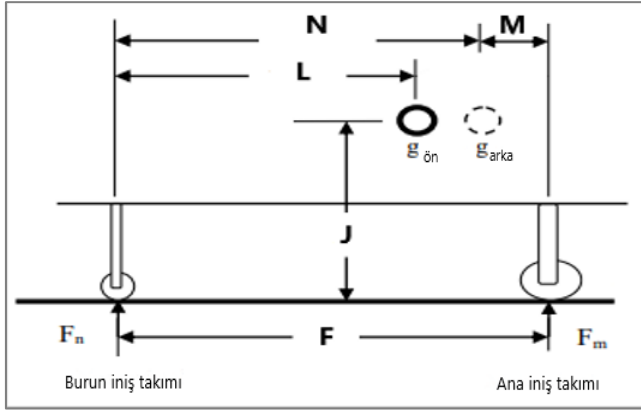
Şekil 2.10. Teker izi ve devrilme açısı [1]

2.1.6. İniş takımlarına gelecek yük hesabı

İniş takımları tekerleği üzerinde meydana gelecek statik, dinamik ve sürtünme yükleri bu başlık altında hesaplanmıştır.

Statik durumda burun iniş takımı tekerleği toplam yükün %6-20'si arasında bir yükü taşımaktadır ancak bu durum fazla kabul edilmektedir. Kabul edilen ağırlık arka ağırlık merkezinin %8'i ön ağırlık merkezinin %15'idir [3].

Burun iniş takımı bu hesaplara göre 128-240 kg arası bir yükü karşılamalıdır. Burun iniş takımına gelecek yükleri hesaplayabilmek için uçağın ana iniş takımlarının uçak ana eksen takımından uzaklıkları bilinmelidir [4]. Burun iniş takımına gelecek olan yükler Şekil 2.11'de gösterilmiştir. İniş takımlarına gelecek yükleri hesaplayabilmek için aynı zamanda hava aracının iniş takımlarının birbirlerine olan uzaklıkları bilinmelidir. İniş takımları arasındaki mesafeler Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.11. İniş takımına gelecek yükler [1]

Çizelge 2.3. İniş takımı arasındaki mesafeler

Burun iniş takımı ile ana iniş takımı arasındaki mesafe (F)	Burun iniş takımı ile arka ağırlık merkezi arasındaki mesafe (N)	Burun iniş takımı ile ön ağırlık merkezi arasındaki mesafe (L)	Ana iniş takımı ile arka ağırlık merkezi arasındaki mesafe (M)	İniş takımlarının uçak gövdesi ile arasındaki mesafe (J)
0,979 m	0,89 m	0,84 m	0,25 m	0,15 m

Burada W , maksimum uçak ağırlığıdır. Maksimum uçak ağırlığı 15690,64 Newton'dur.

Ana iniş takımına gelecek maksimum statik yük (Her Dikme için) = $W(F - M)/2F$ (2.1)

Eş. 2.1'e göre ana iniş takımı için her dikmeye gelecek olan yük 5841,92 Newton'dur.

$$\text{Burun iniş takımına gelecek maksimum statik yük} = W(F - L)/F \quad (2.2)$$

Eş. 2.2'ye göre ana iniş takımına gelecek olan maksimum statik yük 2227,78 Newton olmaktadır.

$$\text{Burun iniş takımına gelecek minimum statik yük} = W(F - N)/F \quad (2.3)$$

Eş. 2.3'e göre burun iniş takımına gelecek minimum yük 1426,42 Newton olmaktadır.

$$F_{\text{dinamik}} = \frac{10.J.W}{(32.2)(F)} \quad (2.4)$$

Eş. 2.4'e göre F_{dinamik} yükü 746,61 Newton'dur.

$$F_{\text{burun net dikey yük}} = F_{\text{statik}} + F_{\text{dinamik}} \quad (2.5)$$

Eş. 2.5'e göre $F_{\text{burun net dikey yük}}$, 2974,39 Newton'dur.

Tasarım gereksinimi olarak $F_{\text{burun net dikey yük}}$ değeri 1,07 katsayısı ile çarpılmalıdır [3]. Böylece burun iniş takımının karşılayacağı yük 3182,5973 Newton olmaktadır. Ana iniş takımının bir dikmesine gelecek olan statik yük 5841,92 Newton'dur.

$$F_{\text{ana net dikey yük}} = F_{\text{statik}} + F_{\text{dinamik}} \quad (2.6)$$

Eş.2.6'ya göre ana iniş takımına gelecek net dikey yük 6588,53 Newton'dur. Tasarım gereksinimi olarak 1,07 katsayısı ile çarpıldığında ana iniş takımının her dikmesinin karşılayacağı yük 7049,73 Newton olmaktadır.

3. İNİŞ TAKIMI MEKANİK ALT SİSTEMLERİ

İniş takımının tasarımı için amortisör, fren alt sistemi, teker boyutlandırma ve dikme boyutlandırma gibi alt sistemler bu başlık altında aktarılmıştır.

3.1. Teker Boyutlandırma

Teknik olarak, tekerlek terimi kauçuk lastik takılmış dairesel bir metal/plastik nesneyi ifade eder. Ancak çoğu durumda tüm tekerlek, lastik ve fren sistemi de tekerlek olarak adlandırılmaktadır. Bir lastik, yükü neredeyse tamamen iç basıncıyla taşır. Lastik boyutlandırma: lastik dış çapı (D_t), lastik genişliği (W_t) hesaplamaları ve ardından üretici kataloğundan en yakın lastik seçimini içermektedir. Lastik seçimi istenilen statik ve dinamik yükleri taşıyacak en küçük çapta olmalıdır [1]. Tekerlek çap ve genişlik hesapları Çizelge 3.1'e göre hesaplanmaktadır.

Tekerler uçağın ağırlığını taşıyacak şekilde boyutlandırılır. Genel olarak ana iniş takımı tekerleri uçağın toplam ağırlığının %90'ını taşır. Burun iniş takımları ise sadece %10'unu taşır ancak iniş sırasında daha fazla dinamik yük ile karşılaşır [1].

Eğer uçak asfaltsız kaba yüzeyde çalışacaksa, çap ve genişlik için hesaplanan bu değerler yaklaşık olarak %30 artırılmalıdır. Burun iniş takımı tekerlerinin, ana iniş takımlarının yaklaşık %60-100'ü olduğu varsayılır. Bisiklet veya dört tekerlekli bisiklet tipi iniş takımlarının ön tekerleri genellikle ana iniş takımı tekerleriyle aynı boyuttadır. Tasarımın yerleşimi için, gerçek tekerler üretici kataloglarından seçilerek kullanılmalıdır. Bu seçim genellikle hesaplanan statik ve dinamik yükleri taşıyabilecek en küçük lastik olmalıdır [3]

Çizelge 3.1. Teker boyutlandırma [4]

Tekerlek çap ve genişlikleri (in.) = $AW^B W$				
	Çap		Genişlik	
	A	B	A	B
Genel Havacılık	1,51	0,349	0,7150	0,312
İkiz Motorlu İş Uçağı	2,69	0,251	1,170	0,216
Ulaşım/Saldırı Uçağı	1,63	0,315	0,1043	0,480
Savaş/ Eğitim Uçağı	1,59	0,302	0,0980	0,467

W_w = Teker üzerindeki ağırlık

Burun iniş takımı için hesaplanan teker boyutları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Burun iniş takımı teker boyutları

	Teker Boyutu	Lastik Genişliği
Maksimum	14,89 in	5,53 in
Minimum	11,69 in	4,45 in

Ana iniş takımı için hesaplanan teker boyutları Çizelge 3.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Ana iniş takımları için teker boyutları

	Teker Boyutu	Lastik Genişliği
Maksimum	19,77 in	7,13 in
Minimum	18,97 in	4,87 in

Good Year havacılık için kullanılan teker kataloğu, çap, genişlik ve ağırlık hesaplarına göre burun iniş takımı için 15x6-6 teker ölçüleri ve ana iniş takımı için ise 17,5x5.75-8 teker ölçüleri seçimi yapılmıştır. Tekerlere ait detaylı bilgiler Good Year havacılık kataloğundan çekilmiştir. Çizelge 3.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Teker parametreleri [5]

Jant ve Lastik parametreleri	Ana İniş Takımı	Birim	Burun İniş Takımı	Birim
Jant Genişliği	5,5	inç	6	inç
Jant Yarıçapı	4	inç	3	inç
Kulaklar arası genişlik	4,25	inç	5	inç
Tekerleğin janta oturma mesafesi	1,4	inç	0,85	inç
Kulak Yüksekliği	0,88	inç	0,75	inç
Lastik Çapı	17,5	inç	15,2	inç
Lastik genişliği	5,75	inç	6	inç
Yanak açıklığı	5,1	inç	5,55	inç
Yanak çapı	15,8	inç	13,55	inç

Tabloda belirtilen değerlere göre ana iniş takımı ve burun iniş takımı tekerleri için üç boyutlu modellemeler gerçekleştirilecektir.

3.2. Lastik Yüzey Temas Alanı

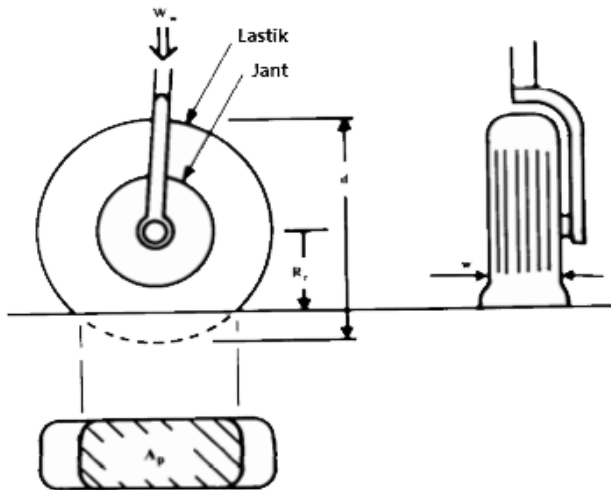
Bir lastik bir yükü neredeyse tamamen iç basıncıyla destekler. Yan duvarların ve sırtın yük taşıma kabiliyeti göz ardı edilebilir. Lastiğin taşıdığı ağırlık W_w , basitçe şişirme basıncı (P) ile lastiğin temas alanının çarpımıdır (A_p ayrıca taban alanı olarak da adlandırılır.) [4].

Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

$$W_w = P \cdot A_p \quad (3.1)$$

$$A_p = 2.3 \sqrt{wd \left(\frac{d}{2} - R_r \right)} \quad (3.2)$$

Eş. 3.2, yüzey temas alanı (A_p), lastik genişliği (w), çapı (d) ve yuvarlanma yarıçapı (R_r) ile ilişkilidir [4]. W_w , iniş takımına gelen maksimum yüküdür ve 15690,64 Newton’dur. P lastiğin iç basıncıdır ve 112 psi’dir. A_p , lastiğin yer ile temas yüzey alanıdır [4]. Eş. 3.1’de veriler yerine konulduğunda lastiğin taşıdığı yük 3748,25 Newton olur ve Eş. 3.2’ye göre yüzey temas alanı (A_p), 0,00485 m² ve yuvarlanma yarıçapı (R_r), 0,1812 m bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Lastik yüzey temas alanı [4]

3.3. İniş Takımlarında Kullanılacak Tekerlek Sayısı

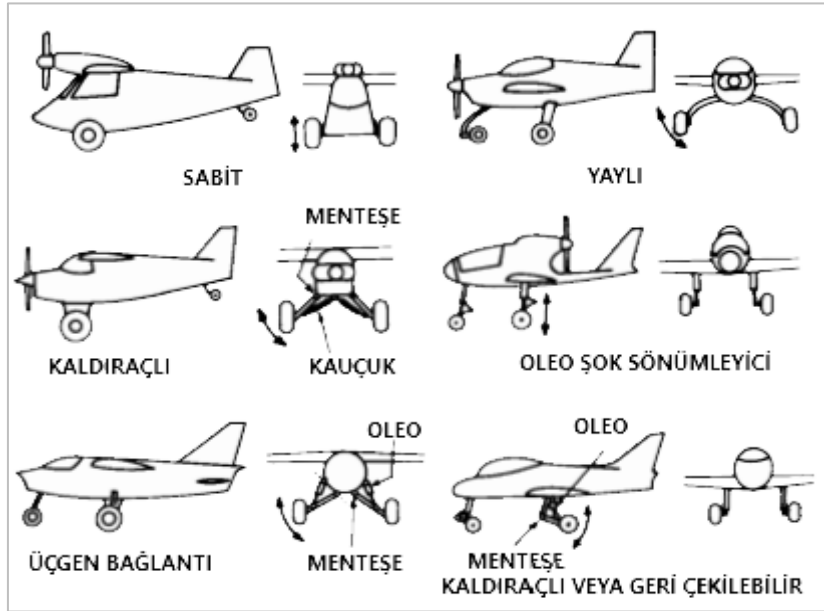
Burun ve ana iniş takımları için kullanılacak tekerlek sayısı uçağın ağırlığına göre

belirlenecektir. Uçak ağırlığı 1600 kg ve bu ağırlık 3527 lb'dir. Tipik olarak yaklaşık 50 000 lb'nin altındaki bir uçak için tek bir dikme başına bir ana tekerlek kullanılır ancak patlak bir tekerlek olması durumunda her dikme için iki ana tekerlek kullanılır. 50 000 ile 150 000 lb arasında dikme başına iki tekerlek kullanılır. 250 000 lb'ye kadar olan uçaklar için dikme başına bazen iki tekerlek kullanılır. Yaklaşık 200 000 ile 400 000 lb ağırlığa sahip uçaklar için genellikle dört tekerlekli iniş takımı kullanılır. 400 000 lb'nin üstündeki uçaklar için toplam uçak yükünün pist boyunca yaymak için her birinde dört veya altı tekerlek bulunan çok tekerlekli iniş takımı kullanılır [4].

İnsansız hava aracının ağırlığı 50 000 lb'den düşük olduğu için burun ve ana iniş takımlarının her birinde tek tekerlek kullanılacaktır.

3.4. Şok Sönümleyici Tipleri

İniş takımı, iniş sırasında yapıya uygulanan şokları sönümleyebilmelidir [4]. Amortisörün yaygın biçimleri aşağıdaki Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Tekerlek ve amortisör düzenleri [4]

3.4.1. Katı yaylı amortisör

Lastikler, bir tümsek ile karşılaştığında yön değiştirerek bir miktar şok emme yeteneği sağlar. Bazı uçaklar sadece darbeyi sönümlemek için tekerlere bağlı sert akslarla üretilmiştir. Aks, uçağa, aks yukarı doğru hareket ettikçe gerilen güçlü kauçuk kirişlerle (“bungees”) bağlanır. Bu durum bugün nadiren görülür [4].

Katı yaylı amortisör mümkün olduğunda basittir, ancak diğer tiplerden biraz daha ağırdır (Şekil 3.3’te gösterilmiştir). Katı yaylı dikmenin düz yukarı ve aşağı sapmanın yerine yanal sapma yaptığı unutulmamalıdır. Bu yanal hareket, lastikleri piste sürterek yıpratma eğilimindedir. Katı yayın bu sürtme işleminde sönümlemesi yoktur. Uçak kötü bir amortisöre sahip araba gibi zıplama eğilimindedir [4].



Şekil 3.3. Katı yaylı amortisör tipi [6]

3.4.2. Elastik halat tipi amortisör

Bu amortisör versiyonu, katı yaylı amortisör modeline göre daha gelişmiş bir modeldir. Şekil 3.4’te gösterilmiştir. Tekerin ayakları uçağın gövdesine bağlanmıştır. İniş takımı dışarı ve yukarı doğru saptıkça lastik halat gerilir. Bu iniş takımı hafiftir, ancak sürtünme yüksektir ve lastiklerin yanal sürtünmesine sebep olur.

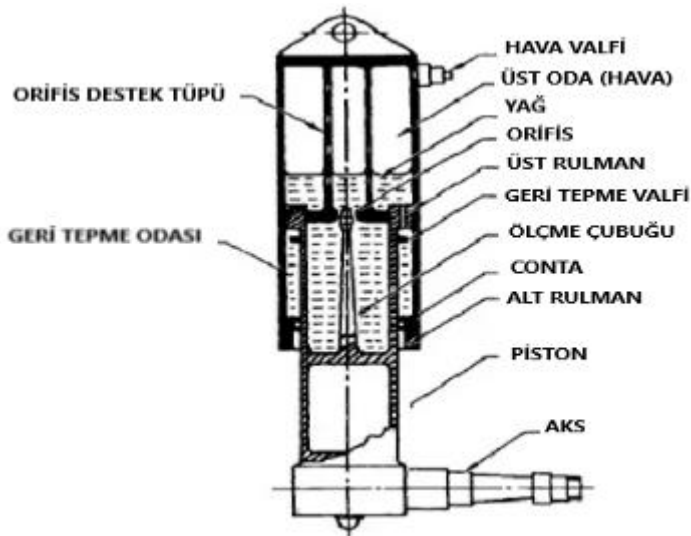


Şekil 3.4. Halat tipi amortisör [7]

3.4.3. Oleo-pnömatik amortisör

Oleo-pnömatik amortisör bugün en çok kullanılan amortisör tiplerindendir. Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Yağı küçük bir delikten geçmeye zorlayan piston ile sönümleme etkisine sahip basınçlı hava kullanılarak yay etkisi oluşturulur.

Bu çalışmada ana iniş takımları için oleo-pnömatik amortisör tipi seçildiğinden bir sonraki başlıkta oleo-pnömatik amortisör için hesaplamalar verilecektir [4].



Şekil 3.5. Oleo-pnömatik amortisör [4]

3.5. Strok Belirleme

Şok sönümleyici sistemin gerekli sapması (strok) yere inme anındaki dikey hıza bağlıdır. Genel bir kural olarak dikey iniş hızı ft/s cinsindendir. Konma anındaki dikey hız (veya batma hızı) farklı uçak türleri için çeşitli özellikler belirlenmiştir. Çoğu uçak için 10 ft/s dikey inme hızı kapasitesi gerekir [4].

FAR-23 uçakları için ayrıntılı amortisör hesaplamalarında, uçağın ağırlığının sadece üçte ikisinin iniş sırasında kanat tarafından desteklendiği varsayılmalıdır. Ancak ilk iniş için bu hesaplamalar göz ardı edilebilir [4]. İniş sırasında uçağın dikey enerjisi tarafından sönümlenen enerji Eş. 3.3'te gösterilmiştir.

$$KE_{dikey} = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{W_{dikey}}{g}\right) V_{dikey}^2 \quad (3.3)$$

W: Uçağın ağırlığı

g: 32.2 ft/s²

Amortisör mükemmel bir şekilde verimli olsaydı sapma tarafından emilen enerji basitçe yük çarpı sapma olacaktı. Amortisörün gerçek verimlilik aralığı 0.5 – 0.9 arasındadır ve Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Amortisör verimliliği [4]

Lastik	Verimlilik η
Çelik yaprak yay	0,50
Çelik helezon yay	0,62
Hava yayı	0,45
Kauçuk blok	0,60
Oleo-pnömatik	
- Sabit orifis	0,65-0,80
- Ölçülü orifis	0,75-0,90
Lastik	0,47

Sapma tarafından sönümlenen gerçek enerji Eş. 3.4'te tanımlanmıştır.

$$KE_{sönümlenen} = \eta \cdot L \cdot S \quad (3.4)$$

Burada;

η = Amortisör verimliliği

L = Sapma sırasında ortalama toplam yük

S = Strok

Lastikler için, lastiğin yalnızca kendi yuvarlanma hızına göre saptığı varsayılır, böylece bir lastiğin “strok” u çapın yarısı eksi (S_T) yuvarlanma yarıçapıdır. Amortisör ve tekerin her ikisi de birleştirildiğinde (Eş. 3.3 ve Eş. 3.4) Eş. 3.5 elde edilir.

$$\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{W_{iniş}}{g}\right) V_{dikey}^2 = (\eta \cdot L \cdot S)_{şok\ sönümleyici} + (\eta \cdot L \cdot S)_{lastik} \quad (3.5)$$

Denklemdaki amortisörün sayısı eşitliğe dâhil edilmez. ‘L’nin sapma sırasında amortisörler üzerindeki ortalama toplam yük olduğu unutulmamalıdır. Amortisörün gerekli stroku, iniş yük faktörü ‘ $N_{iniş}$ yük faktörü’ olarak adlandırılır. İniş yük faktörü, iniş ağırlığı tarafından amortisörlerin tümü için toplanan ortalama toplam yüküdür ve konma sırasında sabit olduğu varsayılır. $N_{iniş}$ yük faktörü Eş. 3.6’da tanımlanmıştır ve genellikle 3’e eşittir.

$$N_{iniş\ yük\ faktörü} = L/W_{iniş} \quad (3.6)$$

Çizelge 3.6 değişik tipte uçaklar için izin verilen iniş yük faktörünü verir.

$$S = \frac{V_{dikey}^2}{2g\eta N_{iniş\ yük\ faktörü}} - \frac{\eta T}{\eta} S_T \quad (3.7)$$

Çizelge 3.6. İniş yük faktörü [4]

Uçak tipi	N iniş yük faktörü
Büyük bombardıman uçağı	2,0-3
Ticari uçak	2,7-3
Genel havacılık uçağı	3
Hava kuvvetleri savaşçı uçağı	3,0-4
Donanma savaşçı uçağı	5,0-6

Eş. 3.7’den hesaplanan stroka güvenlik mesafesi için yaklaşık 1 inç eklenmelidir. Ayrıca 8 inçlik bir strok minimum kabul edilir ve çoğu uçak için en az 10-12 inç istenilir [4]. Burun tekerleği stroku, taksi yaparken daha yumuşak bir sürüş sağlamak için genellikle ana teker strokuna eşit veya biraz daha büyük olarak ayarlanır. Eş. 3.7’nin dikey mesafe olarak hesaplanan strok olduğuna dikkat edilmelidir [3].

Yukarıda verilen bilgiler ile iniş takımı için dikey hız (batma hızı) 10 ft/s alınmıştır. Amortisör verimliliği çelik helezon yay seçildiği için Çizelge 3.5’ten, 0,62 olarak alınmıştır. Genel havacılık uçakları için kullanılan iniş takımı yük faktörü Çizelge 3.6’dan, 3 olarak seçilmiştir. Bu değerler Eş. 3.7’de yerine konulduğunda strok değeri 0,81 ft, o da 246,888 mm olmaktadır. Güvenlik gereksinimi olarak 0,7-1 inç strok değerine eklenmelidir [3]. 0,7 inç eklenerek 265,938 mm bulunur.

3.6. Amortisör hesaplamaları

Oleo-pnömatik amortisör alt (piston) ve üst silindir olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Alt silindirin çapı uçak tarafından taşınacak yük ile belirlenir. Ana iniş takımının taşıyacağı yük, iniş takımına gelecek olan yükler başlığı altında hesaplanmıştır. Buradan ana iniş takımlarının her birine gelecek olan yükün 7049,73 Newton olduğu bulunmuştur. Ana iniş takımına gelecek olan yüke göre alt silindir çapı hesaplanır. Eş. 3.8 ile alt silindir çapı hesaplanmaktadır.

$$D_{oleo} = 1,3 \sqrt{\frac{4L_{oleo}}{P\pi}} \quad (3.8)$$

Buradan D_{oleo} , 26,9 mm çıkmaktadır. Alt silindirin iç çapı 26,9 mm’dir ve dış çap genellikle %30 büyüktür [4]. Buna göre alt silindirin dış çapı 34,97 mm olmaktadır.

Oleo-pnömatik amortisör tipinde gaz olarak nitrojen gazı kullanılmaktadır. Öncelikle sıkıştırma oranına karar verilmelidir. Tamamen sıkıştırılmış hal ve tamamen uzatılmış hal için farklı oranlar vardır. Küçük uçaklar için tamamen uzatılmış hal 2,1/1. Tamamen sıkıştırılmış hal için ise bu oran 1,9/1’dir [3].

Tamamen uzatılmış durumda iniş takımı üzerinde herhangi bir yük olmadığı için gaz odasında 8 bar basınç bulunmaktadır. Statik durumda gaz basıncı değeri gaz odasında bulunan 8 bar basınç ile 2,1 değerinin çarpılması ile bulunur ve bu değer 16,8 bar gaz basıncı olarak bulunur. Sıkıştırılmış durumdaki gaz basıncı değeri ise statik durumdaki gaz basıncı ile 1,9 değerinin çarpılması ile bulunur ve bu değer 31,92 bar gaz basıncı olarak bulunur [8].

3.6.1. Silindir uzunluğu

İç silindir uzunluğu, piston dış çapından en az 2,75 kat daha fazla olmalıdır [3]. Eş. 3.9’da verilmiştir.

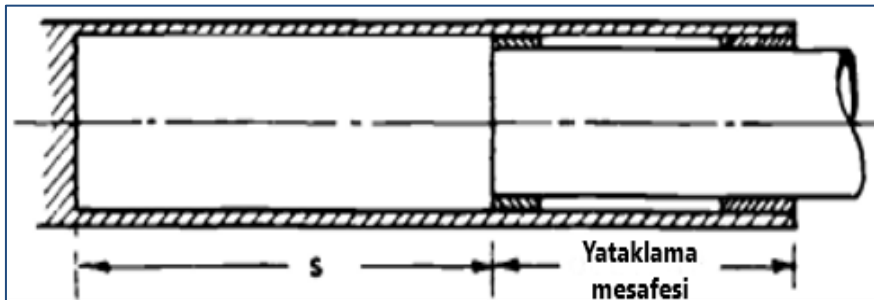
$$\text{Minimum izin verilen yataklama} = 2,75 \times \text{Piston dış çapı} \quad (3.9)$$

Eş. 3.9’a göre izin verilen aşma değeri 14,9 mm olmaktadır.

Minimum silindir uzunluğu Eş. 3.10’da verilmiştir.

$$\text{Silindir Uzunluğu} = \text{Strok} + \text{Yataklama} \quad (3.10)$$

Eş. 3.10’a göre silindir uzunluğu 280,84 mm olmaktadır. Şekil 3.6’da silindirlerin yataklaması verilmiştir.



Şekil 3.6. Silindir yataklaması [3]

4. BURUN İNİŞ TAKIMI TASARIMI

Bu bölümde analizi yapılacak olan burun iniş takımı alt sistemleri ile birlikte montajları, bilgisayar destekli üç boyutlu tasarım programı olan SolidWorks programında gerçekleştirilmiştir.

4.1. Burun İniş Takımı ve Alt Sistemleri

Burun iniş takımı kısaca jant, lastik, amortisör, burun iniş takımı çatalı ve ana dikmeden oluşmaktadır. Genel havacılıkta kullanılan oleo-pnömatik tip amortisörün yerine yaylı tip bir amortisör ve ana dikme yerine dört kollu bir mekanizma tasarlanarak amortisör sistemi bu kollara monte edilmiştir.

4.1.1. Burun iniş takımı için jant tasarımı

Jant tasarımı için veriler Good Year Havacılık kataloğundan çekilmiştir. Katalog verileri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Burun iniş takımı için jant ölçüleri [5]

BOYUT	JANT			
	Jant Boyutu	Kulaklar Arası Genişlik	Jant Çapı	Kulak Yüksekliği
15x6,0-6	6,00- 6	5,00 inç	6 inç	0,75 inç

Verilere göre tasarlanan jant Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Burun iniş takımı jantı

4.1.2. Burun iniş takımı için lastik tasarımı

Lastik tasarımı için veriler Good Year Havacılık kataloğundan çekilmiştir. Katalog verileri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Burun iniş takımı için lastik ölçüleri [5]

BOYUT	LASTİK					
	Dış Çap		Kesit Genişliği		Yanak	
	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum Çap	Maksimum Genişlik
15x6,0-6	15,2 inç	14,55 inç	6,55 inç	5,9 inç	13,55 inç	5,75 inç

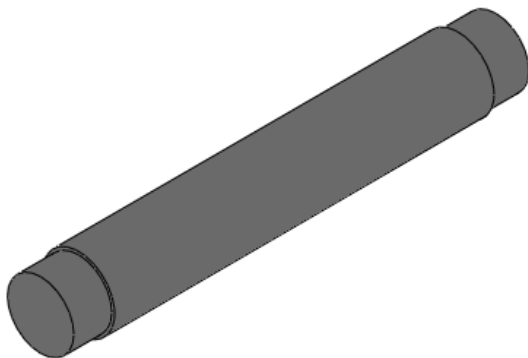
Verilere göre tasarlanan lastik Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Burun iniş takımı lastiği

4.1.3. Burun iniş takımı için aks tasarımı

Aks parçası, jant ve çatal parçasına montaj olan ara parçadır. İniş takımına gelen yükü tekerleğe iletir. Tasarımı yapılan çatal parçası Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.3. Aks parçası

$$R_{aks} = \frac{w}{4} \quad (4.1)$$

w, jant parçasının genişliğidir. R_{aks} , aks parçasının yarıçapıdır [8]. Çizelge 3.4’te verilen değerlere göre jant genişliği değeri yerine konulduğunda R_{aks} , 38,1 milimetre çıkmaktadır. Tasarım Eş. 4.1’ e göre hesaplanarak yapılmıştır.

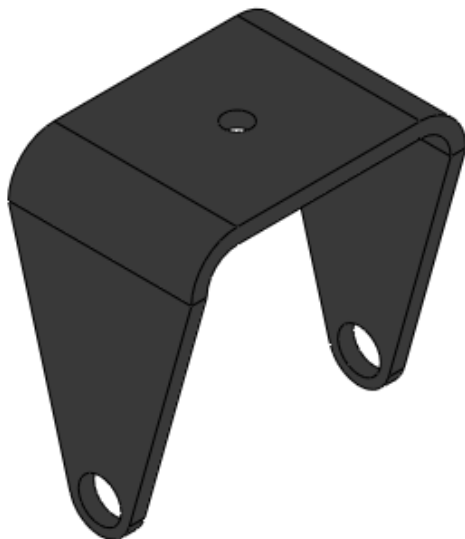
4.1.4. Burun çatalı tasarımı

Burun iniş takımı çatalı ile tekerlek arasında güvenlik önlemlerinden dolayı iki tür boşluk bulunması gerekmektedir. Bunlardan biri radyal tasarım boşluğu diğeri ise kenar tasarım boşluğudur. Kenar tasarım boşluğu jant genişliğinin en az %5’i olması gerekirken, radyal tasarım boşluğu en az jant genişliğinin %7’si olması gerekmektedir [9]. Verilmesi gereken minimum boşluklar Çizelge 4.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Tasarım boşlukları

	Jant Genişliği	Minimum verilecek tasarım boşluğu
Kenar tasarım boşluğu	5,5 inç (%5’i)	6,985 mm
Radyal tasarım boşluğu	5,5 inç (%7’si)	9.779 mm

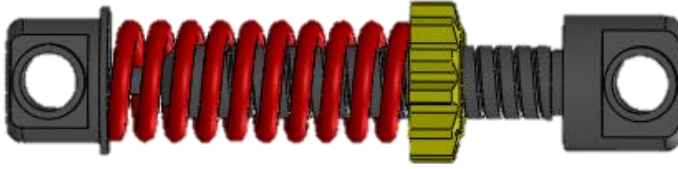
Tasarım boşlukları verilerek yapılan tasarım Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Burun çatalı

4.1.5. Amortisör tasarımı

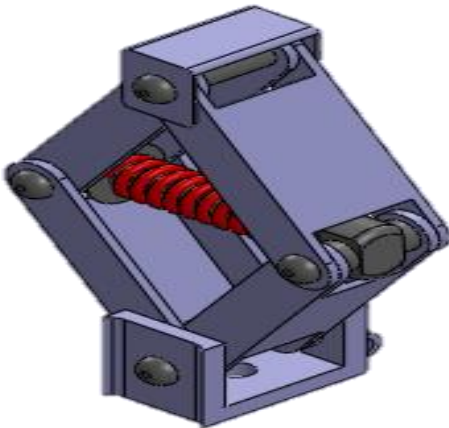
Yaylı tip amortisör alt kol ve üst kola parçalarına montaj yapılmıştır. Alt ve üst kol parçalarının açılmış konumunun ölçüsü, ana iniş takımının üst silindir parçasının ölçüsüne eşit alınarak tasarlanmıştır. Yaylı amortisör parçasının açılmış konumu ise ana iniş takımının alt silindir parçasının ölçüsüne eşit alınarak tasarlanmıştır. Genel havacılık uçakları için statik konum genel olarak uzatılmış konumun üzerindeki strokun yaklaşık olarak %60'ıdır [4]. Önceki bölümlerde strok mesafesi 265,938 mm olarak hesaplanmıştı. Bu ölçü yaylı amortisörün açılmış konumunun ölçüsüdür. Kapalı konumunun ölçüsü ise 159,56 mm'dir. Genel havacılık uçakları için kullanılan genelleme kabul edilerek yapılan tasarım Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Amortisör

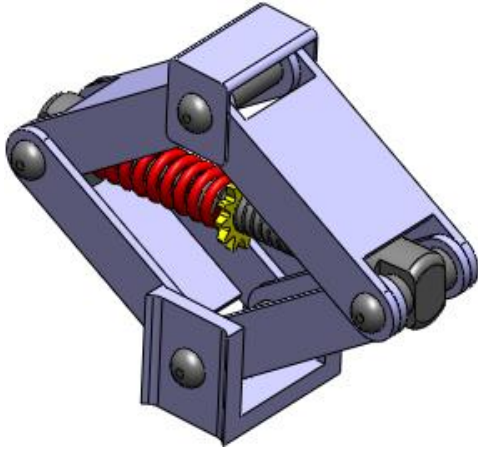
4.1.6. Dört kollu mekanizma tasarımı

Strok mesafesi ve sabit mesafe dahil olmak üzere kolların toplam alt ve üst bağlantı noktaları arasındaki dikey mesafe strokun yaklaşık 2,5 katı alınarak 664,845 mm olarak tasarlanmıştır. Bu mesafe kolların açık konumudur. Hesaplanan verilere göre amortisörün statik konumu Şekil 4.6-a'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6-a. Statik konum

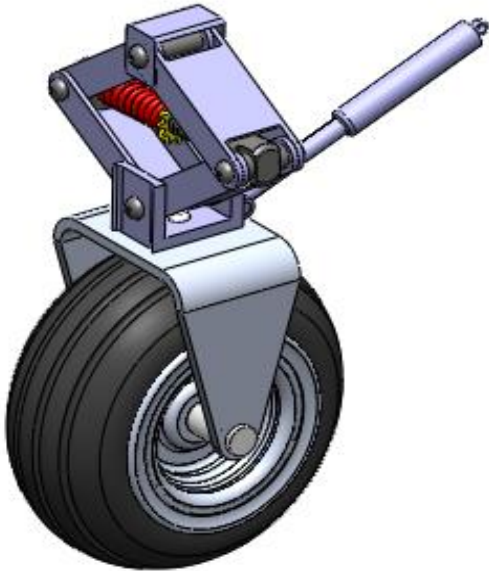
Amortisörün uzatılmış konumu Şekil 4.6-b’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6-b. Uzatılmış konum

4.1.7. Burun iniş takımı montajı

Bu bölümde tasarımları gerçekleştirilen parçaların montajı gerçekleştirilmiştir. Montajı tamamlanan iniş takımı Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Burun iniş takımı montajı

5. ANA İNİŞ TAKIMI TASARIMI

Bu bölümde analizi yapılacak olan ana iniş takımı alt sistemleri ile birlikte montajları bilgisayar destekli üç boyutlu tasarım programı olan SolidWorks programında tasarlanmıştır.

5.1. Ana İniş Takımı ve Alt Sistemleri

Ana iniş takımının alt parçaları jant, lastik, ana dikme, kollar ve fren sisteminden oluşmaktadır.

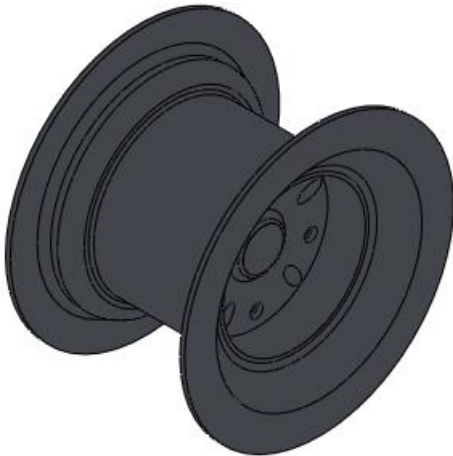
5.1.1. Ana iniş takımı için jant tasarımı

Jant tasarımı için veriler Good Year Havacılık kataloğundan çekilmiştir. Katalog verileri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Ana iniş takımı için jant verileri [5]

BOYUT	JANT			
	Jant Boyutu	Kulaklar Arası Genişlik	Jant Çapı	Kulak Yüksekliği
17,5x5,75-8	18x5,5	4,25 inç	8 inç	0,88 inç

Tasarımı yapılan jant Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Ana iniş takımı jantı

5.1.2. Ana iniş takımı lastik tasarımı

Lastik tasarımı için veriler Good Year Havacılık kataloğundan çekilmiştir. Katalog verileri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Ana iniş takımı lastik verileri [5]

BOYUT	LASTİK					
	Dış Çap		Kesit Genişliği		Yanak	
	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum Çap	Maksimum Genişlik
17,5x5,75-8	17,5 inç	16,95 inç	5,75 inç	5,4 inç	15,8 inç	5,1 inç

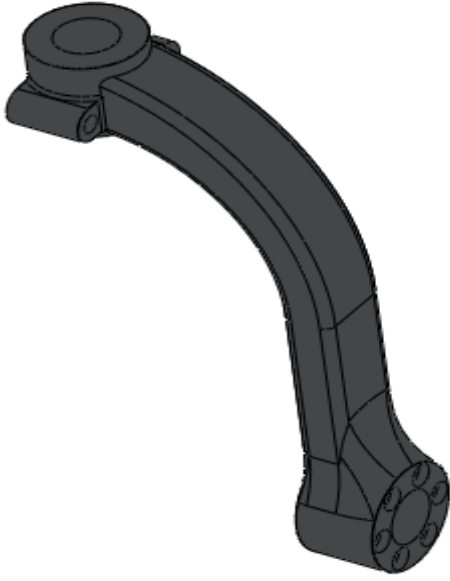
Verilere göre tasarlanan lastik Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Ana iniş takımı lastiği

5.1.3. Ana iniş takımı çatalı

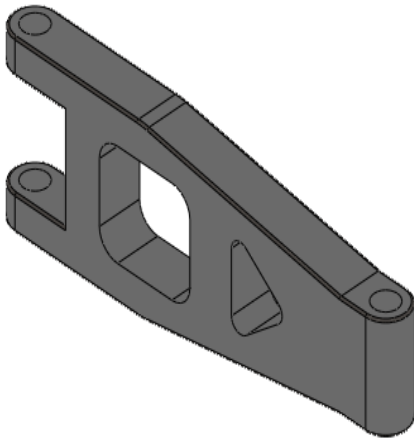
Ana iniş takımı için çatal tasarımı aks çapına ve ana iniş takımı alt silindir parçasının ölçülerine göre üç boyutlu tasarım programında gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan parça Şekil 5.3’te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Ana iniş takımı çatalı

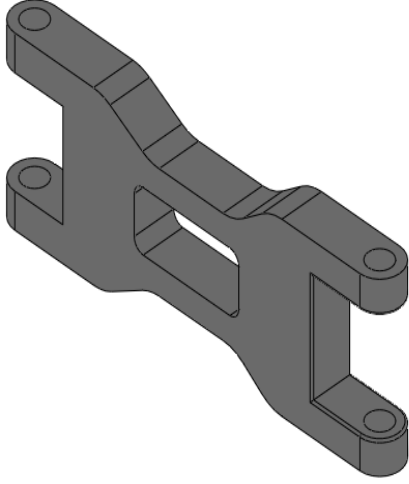
5.1.4. Ana iniş takımı kolları

Ana iniş takımı için iki tane kol tasarlanmıştır. Tasarlanan birinci kol Şekil 5.4-a'da gösterilmiştir.



Şekil 5.4-a. Ana iniş takımı alt kol

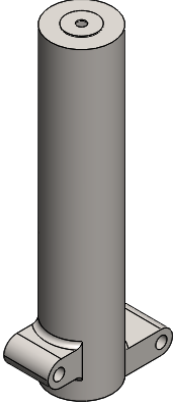
Ana iniş takımı ikinci kol Şekil 5.4-b'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4-b. Ana iniş takımı üst kol

5.1.5. Ana iniş takımı için üst silindir tasarımı

Üst silindir parçasının uzunluğu strok değerinin yaklaşık olarak 2,5 katıdır [4]. Strok değeri önceki başlıklarda hesaplanmıştı. 265,938 olan strok değeri 2,5 ile çarpıldığında üst silindir uzunluğu 664,845 mm bulunmaktadır. Yapılan hesaplara göre tasarlanan üst silindir parçası Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Ana dikme

5.1.6. Ana iniş takımı için alt silindir tasarımı

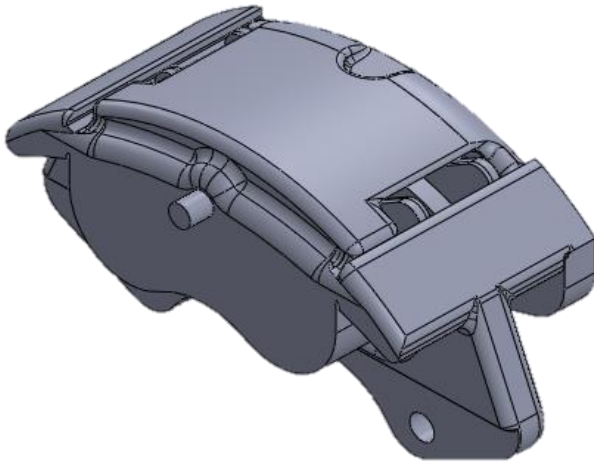
Önceki bölümlerde hesabı yapılan alt silindir parçasının dış çapı 26,9 m ve dış çapı 34,97 mm olarak bulunmuştu. Bu hesaplara göre tasarımı yapılan alt silindir parçası Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Ana iniş takımı alt silindir parçası

5.1.7. Kaliper tasarımı

Tasarımı yapılan kaliper Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Kaliper

5.1.8. Fren diski tasarımı

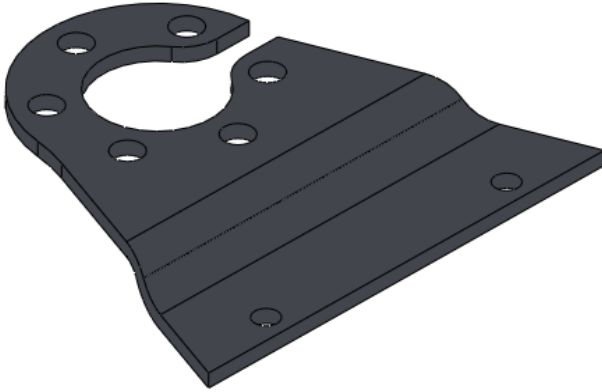
Tasarımı yapılan fren diski Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Fren diski

5.1.9. Fren desteği tasarımı

Tasarımı yapılan fren desteği Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Fren desteği

5.1.10. Ana iniş takımı montajı

Ana iniş takımı için jant, lastik, çatal, kollar, ana dikme, bağlantı pimi, fren diski, kaliper ve aks tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen parçaların montajı Şekil 5.10’ da gösterilmiştir.

6. İNİŞ TAKIMLARI İÇİN MALZEME SEÇİMİ

Havacılık uygulamaları için malzeme seçimi yapılırken bazı önemli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu malzemeler nem, sıcaklık ve farklı mekanik istemler altında eğilme, sürünme, burulma gibi çeşitli ortam koşullarına sunulur. Havacılık uygulamalarında malzeme çevre koşulları altında kararlı olduğunda, malzeme seçiminde hafifliğe bağlı güç en önemlisidir [1].

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı malzeme özellikleri yapısal uygulama için şu şekilde planlanmalıdır [1]:

- Kopma gerilmesi
- Akma gerilmesi
- Sertlik (Elastisite Modülü)
- Sıcaklık sınırlamaları
- Korozyon direnci
- Yorulma direnci
- Kırılma tokluğu
- Düşük sıcaklıklarda gevreklik
- Çatlak büyüme direnci
- Süneklik
- Üretilebilirlik

Havacılık uygulamalarında kullanılan ana malzeme grubu;

- Çelik
- Alüminyum alaşımları
- Titanyum alaşımları
- Karbon elyafli kompozitler kullanılmaktadır [1].

Tasarımda çelik ve alüminyum alaşımları kullanılmıştır. Sonraki alt başlıkta alüminyum alaşımları ve çelikler incelenmiştir. Burun iniş takımı alt yapıları ve ana iniş takımı alt yapılarında kullanılan malzemelerin özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

6.1. İniş Takımlarında Kullanılan Malzeme Özellikleri

6.1.1. Çelik

Paslanmaz çelik S13800, bir uçakta çeşitli bileşenlere uygulanabilir. Yüksek özgül ağırlığı nedeniyle çelikler, uçak yapımında yaygın kullanımı engellemiştir. Ancak paslanmaz çelik S13800, uçak iniş takımı dişlilerinde, şaft mili parçalarında, cıvata gibi bağlantı elemanlarında, kanat ve gövdeye ekli kuyruk gibi yüksek gerilim oluşan yerlerde kullanılır.

6.1.2. Alüminyum alaşımları

1920'den beri alüminyum alaşımları uçak gövdesinde en çok kullanılan malzemelerdendir. Günümüzde benzer özelliklere sahip çok fazla alüminyum alaşımları vardır. 2024 alaşımı yaşlandırılmış koşullardaki 7075 alaşımı ile karşılaştırıldığında daha düşük kopma gerilmesine sahip ama daha iyi yorulma özelliklerine sahiptir. Havacılıkta en çok 2000, 6000 ve 7000 serisi alüminyum alaşımları kullanılmaktadır.

2XXX: Al-Cu Alaşımları: Bakır elementi asıl alaşımdır. Havacılık sektöründe yüksek mukavemet istendiği için yaygın bir şekilde kullanılır [10].

6XXX: Al-Mg-Si Alaşımları: Asıl alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Korozyon direncinin ve mukavemetinin yüksek olması sebebiyle havacılık sektöründe tercih edilmektedir [10].

7XXX: Al-Zn Alaşımlar: Asıl element bakır olup ilave alaşım olarak magnezyum, krom ve zirkonyum elementleri kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları arasında en yüksek mukavemete sahip olan seridir. Uçak parçaları yapımı ve yüksek dayanım istenen diğer yerlerde kullanılır [10].

6.2. Burun İniş Takımı Malzeme Özellikleri

Bu başlık altında burun iniş takımını oluşturan alt bileşenlerin malzeme özellikleri verilecektir. Tasarım aşamasında önemli adımlardan biri de tasarlanan parça için malzeme belirlemektir. Malzemelerin nem, sıcaklık, eğilme, sürünme ve burulma gibi özelliklere

dayanıklı olması gerekmektedir. Aynı zamanda havacılıkta kullanılan malzemelerin ağırlığının da az olması beklenir. Burun iniş takımı için çelik ve alüminyum alaşımları kullanılmıştır. Çizelge 6.1’de burun iniş takımını oluşturan alt bileşenlerin malzeme bilgileri verilmiştir.

Çizelge 6.1. Burun iniş takımı malzeme bilgileri [11,12]

Alt bileşen	Malzeme
Aks	Paslanmaz Çelik S13800(PH 13-8MO)
Kol 1	Paslanmaz Çelik S13800(PH 13-8MO)
Kol 2	Paslanmaz Çelik S13800(PH 13-8MO)
Amortisör	Paslanmaz Çelik S13800(PH 13-8MO)
Jant	Alüminyum 7075-T6(SN)
Çatal	Alüminyum 7075-T6(SN)
Alt destek	Alüminyum 7075-T6(SN)
Üst destek	Alüminyum 7075-T6(SN)

Belirlenen malzemeler analiz programında tanımlanmıştır.

6.2.1. Aks, dört kollu mekanizma ve amortisör malzeme özellikleri

Aks, alt ve üst kol parçaları ve amortisör yayı için Paslanmaz çelik S13800 (PH13-8Mo) malzemesi seçimi yapılmıştır. “PH 13-8 Mo veya 13-8 Mo olarak bilinen bu paslanmaz kalitesi, ... havacılık için üretilmiş ... bir paslanmaz çelik kalitesidir. ... PH 13-8 Mo kalite paslanmaz çelik, oldukça yaygın olarak uçak parçalarında ve havacılıkta kullanılmaktadır. Özellikle uçak iniş takım parçalarında, uçak iniş takım dişlilerinde, yüksek mekanik dayanım gerektiren parçalarda ... tercih edilmektedir.” [14]. Paslanmaz çelik S13800 (PH13-8Mo) malzemesinin mekanik özellikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Paslanmaz çelik S13800 (PH13-8Mo) H1000 özellikleri [11]

Özellikler	Değerler
Kopma mukavemeti	1480 MPa
Akma mukavemeti	1415 MPa
Elastisite modülü	221 GPa
Poisson oranı	0,272
Yoğunluk	7,80 g/cm ³

6.2.2. Jant ve çatal malzeme özellikleri

Jant ve çatal parçaları için Alüminyum 7075-T6 malzemesi kullanılmıştır. Havacılık başta olmak üzere çok sayıda endüstride sıklıkla kullanılan ve ısıtıl işlem uygulanabilen 7XXX serisi alüminyum alaşımları, yüksek mekanik özelliklere ve oda sıcaklığında düşük şekillendirilebilirlik özelliklerine sahiptirler. Alüminyum 7075-T6 malzemesine ait mekanik özellikler Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Alüminyum 7075-T6; 7075 -T651 özellikleri [12]

Özellikler	Değerler
Kopma mukavemeti	572 MPa
Akma mukavemeti	503 MPa
Elastisite modülü	71,7 GPa
Poisson oranı	0,33
Yoğunluk	2,81 g/cm ³

6.3. Ana İniş Takımları İçin Malzeme Özellikleri

Bu bölümde ana iniş takımı alt parçalarına ve ana iniş takımı alt parçalarına malzeme seçimi yapılacaktır. Burun iniş takımında kullanılan malzemeler ana iniş takımlarında da çelik ve alüminyum malzeme kullanılacaktır. Çizelge 6.4'te ana iniş takımlarını oluşturan alt bileşenlerin malzeme özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6.4. Ana iniş takımı malzeme bilgileri

Alt bileşen	Malzeme
Aks	Paslanmaz Çelik S13800(PH 13-8MO)
Çatal	Alüminyum 7075-T6(SN)
Jant	Alüminyum 7075-T6(SN)
Alt kol	Paslanmaz Çelik S13800(PH 13-8MO)
Üst kol	Paslanmaz Çelik S13800(PH 13-8MO)
Alt silindir	Paslanmaz Çelik S13800(PH 13-8MO)
Üst silindir	Paslanmaz Çelik S13800(PH 13-8MO)

Ana iniş takımları için kullanılacak malzemeler burun iniş takımında da kullanılmıştır. Malzeme özellikleri burun iniş takımı malzeme özellikleri alt başlıklarında verilmiştir. (Bkz Çizelge 6.2) (Bkz Çizelge 6.3)

7. BURUN İNİŞ TAKIMI YAPISAL ANALİZİ

Burun iniş takımı yapısal analizinde, tasarımı yapılan alt bileşenlerin maksimum gerilme ve toplam deformasyon değerleri belirlenmiştir.

7.1. Burun İniş Takımı Yapısal Analiz Sonuçları

Burun iniş takımını oluşturan alt bileşenlere malzeme özellikleri, mesh atama, sınır koşulları belirleme ve yük uygulama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Analiz işlemleri ANSYS programında yapılmıştır. Analizi gerçekleştirebilmek için öncelikle malzeme özellikleri ANSYS programına yüklenmiştir. Programın giriş bölümündeki “Analysis Systems” başlığından “Static Structural” seçilerek proje oluşturulmuştur. Proje kısmında “Engineering Data” bölümünden ise malzeme bilgileri girilmiştir. SolidWorks programında tasarımı yapılan parçaların ANSYS programına aktarılması için dosya “sat” uzantısı şeklinde kayıt edilmiştir. Uzantısı değiştirilen parça dosyaları ANSYS programı proje sayfasındaki “Geometry” bölümüne aktarılmıştır. Parça dosyaları açıldıktan sonra mesh, gerilim ve gerinimler ve toplam deformasyonlar program tarafından hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere göre İzin verilen gerilme, uygulamaya ve malzemeye bağlı olarak uçaklar için 1,25 ile 3 arasında değişen emniyet faktörüne bağlıdır [8,13].

Burun iniş takımı alt parçaları için ağ modelleri mesh kalitesi değerlendirme kriterlerinden olan element kalitesi kriteri ve Aspect Ratio kriterine göre incelenmiştir. Element kalitesi değerlendirme kriterine göre, mesh kalitesinin 1 değerine yaklaşması kalitesinin arttığını göstermektedir. Aspect Ratio kriterine göre ise 1 değeri mesh yapısının çok iyi olduğunu, 5-10 değer aralığı kabul edilebilir bir mesh kalitesi olduğunu ve 20 değeri ise mesh kalitesinin çok kötü olduğunu ifade etmektedir.

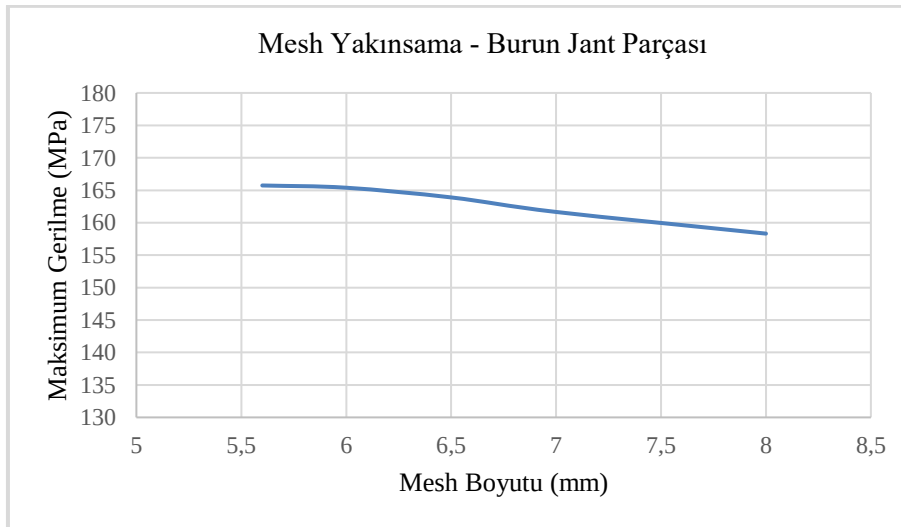
7.1.1. Burun iniş takımı jantı analiz sonuçları

Jant yapısı için öncelikle ağ modeli oluşturulmuştur. Yükün uygulanacağı bölge için ağ yapısı modeli küçültülmüş ve ağ yapısı artırılmıştır. Toplam 387723 düğüm noktası ve 247586 eleman kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot seçilmiştir. Mesh yapısı, analiz sonuçları için önemli noktalardan biridir. Analiz sonuçları mesh yapısına bağlıdır. Eğer yeterince iyi bir mesh yapısı yoksa analiz sonucu oluşan tasarım

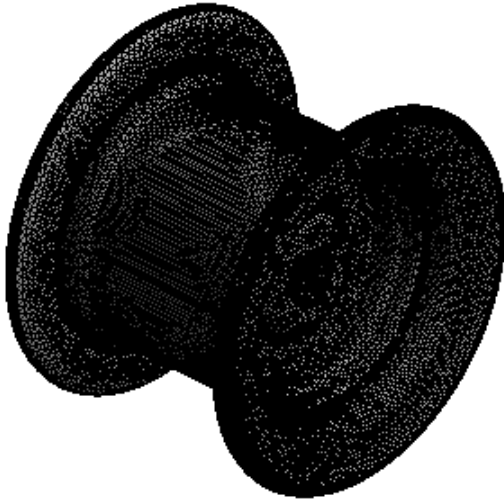
uygun olmayabilir. Bu nedenle jant parçasının mesh yapısı, Element kalitesi ve Aspect Ratio oranlarına göre değerlendirilmiştir. Element kalitesi değerlendirme kriterine göre mesh dağılımı 1 sayısına yaklaştıkça mesh kalitesi artmaktadır. Aspect Ratio oranına göre ise 1 mesh kalitesinin çok iyi olduğunu, 5-10 kabul edilebilir mesh kalitesi olduğunu ve 20 ise çok kötü bir mesh kalitesi olduğunu ifade etmektedir. Burun iniş takımı jant parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,69288'dir. Aspect Ratio oranına göre ise 2,8512 değerindedir. Jant parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Mesh hassasiyeti arttıkça sonuçlar yakınsamakta ve doğru bir analiz sonucuna ulaşılmaktadır. Mesh yakınsaması çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 7.1'de görüldüğü gibi eğri 5,6 mm ve 6 mm arasında paralel olmuştur. Optimum mesh boyutu 5,6 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 7.1'de ve eleman boyutları Çizelge 7.1'de verilmiştir. Ağ yapısı oluşturulan jant parçası Şekil 7.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Jant parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	8	176014	158,32	0,30261
2.	7	187318	161,66	0,30365
3.	6,5	198698	163,9	0,30296
4.	6	228515	165,39	0,30413
5.	5,6	247586	165,74	0,30458

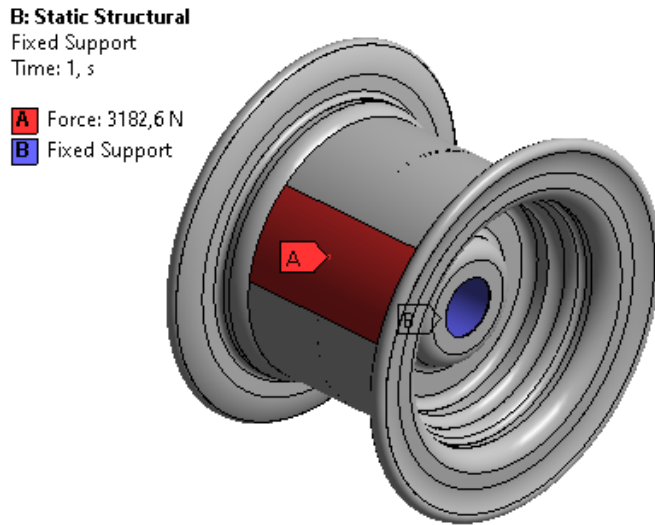


Şekil 7.1. Burun jant parçası yakınsama grafiği



Şekil 7.2. Jant yapısı ağ modeli

Ağ yapısı oluşturulduktan sonra sınır şartları verilmiştir. Sınır şartları verilen jant yapısı Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet bölgesini ifade ederken kırmızı renkli kısım ise yükün uygulanacağı yeri ifade etmektedir.



Şekil 7.3. Sınır şartları verilen jant parçası

Sınır şartları ve ağ yapısı gerçekleştirilen geometride oluşan gerilimler Şekil 7.4'te gösterilmiştir.

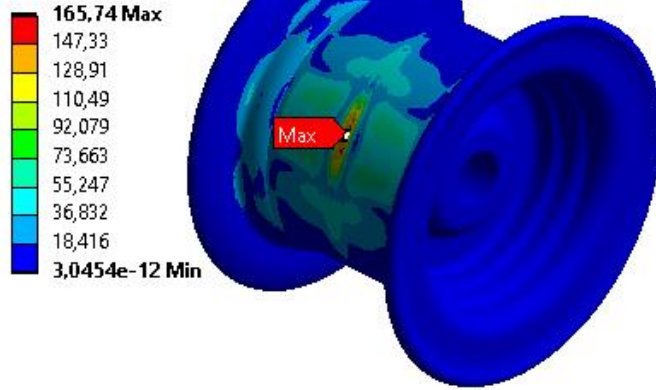
B: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1



Şekil 7.4. Burun iniş takımı jant parçası gerilme dağılımı

Uygulanan yük doğrultusunda oluşan maksimum 165,74 MPa çıkmıştır. Malzemenin akma dayanımı 503 MPa verilmiştir (Bkz Çizelge 6.3).

$$Emniyet\ katsayısı = \frac{Akma\ Dayanımı}{Maksimum\ Gerilim} \quad (7.1)$$

Havacılık için emniyet katsayısı 1,25-3 arasındadır. Eş. 7.1'e göre emniyet katsayısı 3,03 çıkmaktadır. Tasarımı ve analizi yapılan jant parçasının toplam deformasyonu ve Şekil 7.5'te gösterilmiştir.

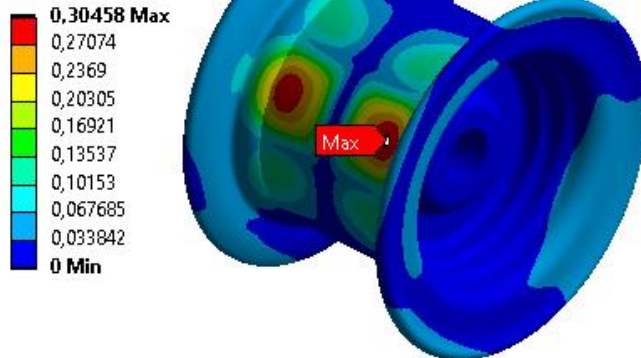
B: Static Structural

Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1



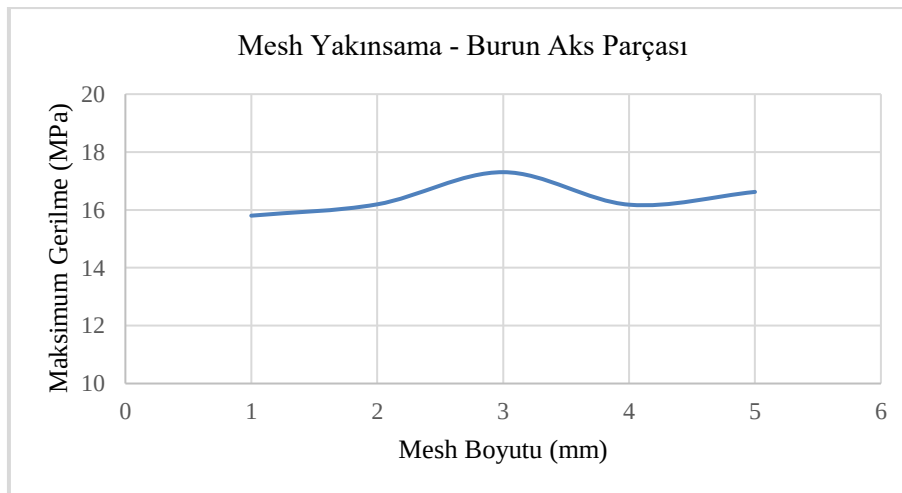
Şekil 7.5. Jant yapısının maksimum toplam deformasyonu

7.1.2. Burun iniş takımı aksı için yapısal analiz sonuçları

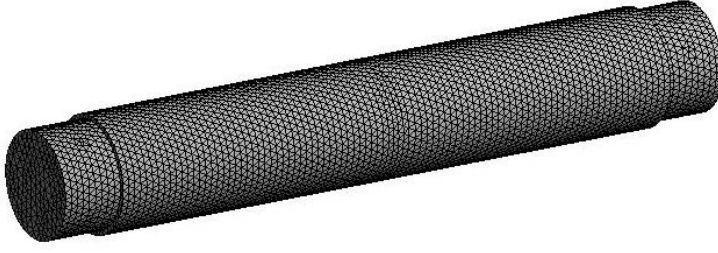
Burun iniş takımı aksı için ağ yapısı modeli oluşturulmuştur. Ağ modeli oluşturulurken 122430 düğüm noktası ve 83272 eleman kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot seçilmiştir. Oluşturulan ağ modeli, mesh değerlendirme kriterlerine göre incelenmiştir. Aks parçasının element kalitesi kriterine göre mesh yoğunluğu ortalama 0,84497 değerindedir. Aspect Ratio kriterine göre ise ortalama 1,8346 değerindedir. Bu değerlere göre aks parçası mesh kalitesinin çok iyi olduğu görülmektedir. Ağ modelinin boyutu için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsama çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 7.6'da görüldüğü gibi eğri 3 milimetreden sonra paralel olmuştur. Dördüncü ve beşinci deneme arasında yüzde 2,66 gerilme farkı oluşmuştur ve mesh boyutu 2,5 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 7.6'da ve eleman boyutları Çizelge 7.2'de verilmiştir. Ağ yapısı oluşturulan aks parçası Şekil 7.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Burun aks parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	5,5	57076	15,8	0,004227
2.	5	61310	16,192	0,0042378
3.	4	54917	17,304	0,0042553
4.	3	54096	16,18	0,0042254
5.	2,5	83272	16,622	0,0042395

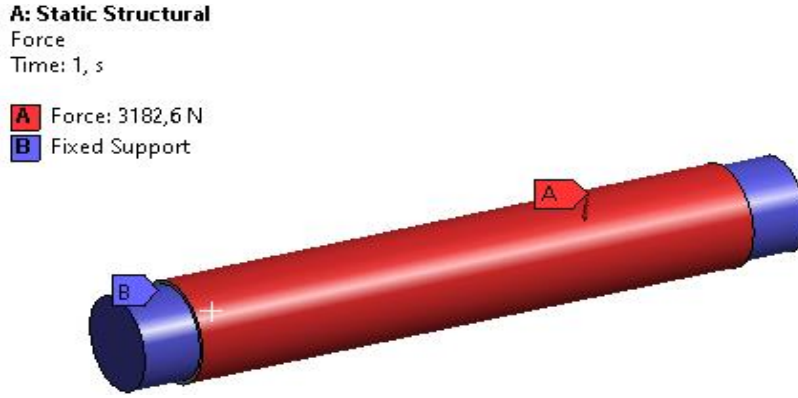


Şekil 7.6. Burun aks parçası için mesh yakınsama grafiği



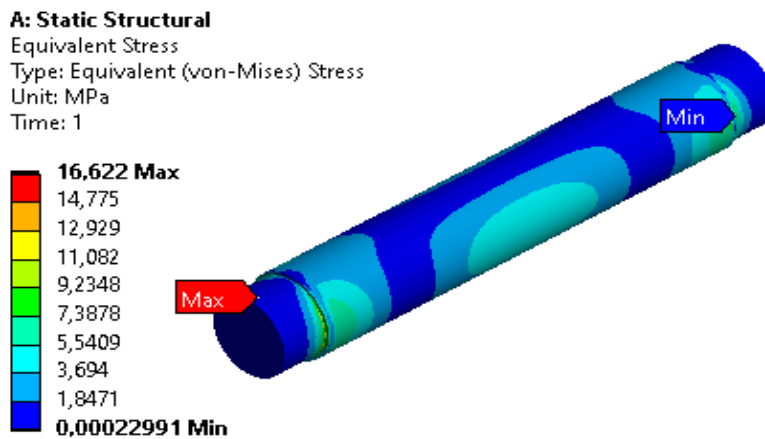
Şekil 7.7. Ağ yapısı oluşturulan aks parçası

Ağ yapısı oluşturulan aks parçasına sınır şartları verilmiştir. Şekil 7.8’de sınır şartları verilen aks parçası gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet bölgesini, kırmızı renkli kısım ise yükün uygulanacağı yeri ifade etmektedir.



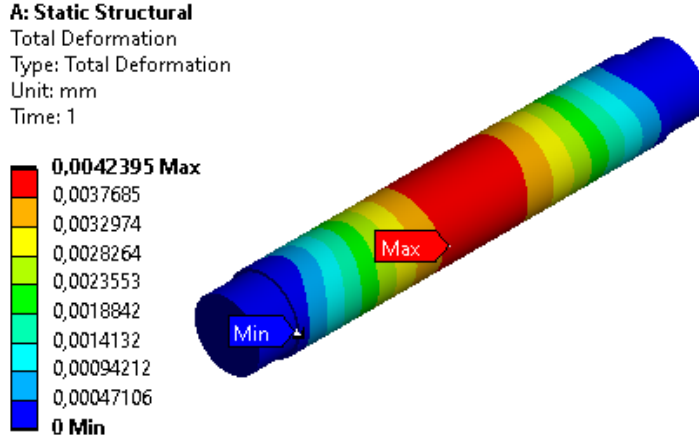
Şekil 7.8. Sınır şartları verilen aks parçası

Ağ modeli ve sınır şartları verilen aks parçasının gerilme değerleri Şekil 7.9’da gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Aks parçasının maksimum gerilme dağılımı

Aks parçasına uygulanan yük sonucu maksimum gerilme 16,622 MPa gelmektedir. Malzemenin akma dayanımı 1415 MPa verilmiştir (Bkz Çizelge 6.2). Emniyet faktörü 85,13 gelmektedir ve bu değer parçanın tasarımının uygun ve emniyetli olduğunu göstermektedir. Aks parçasının toplam deformasyon değeri maksimum 0,0042395 mm'dir ve Şekil 7.10'da gösterilmiştir.



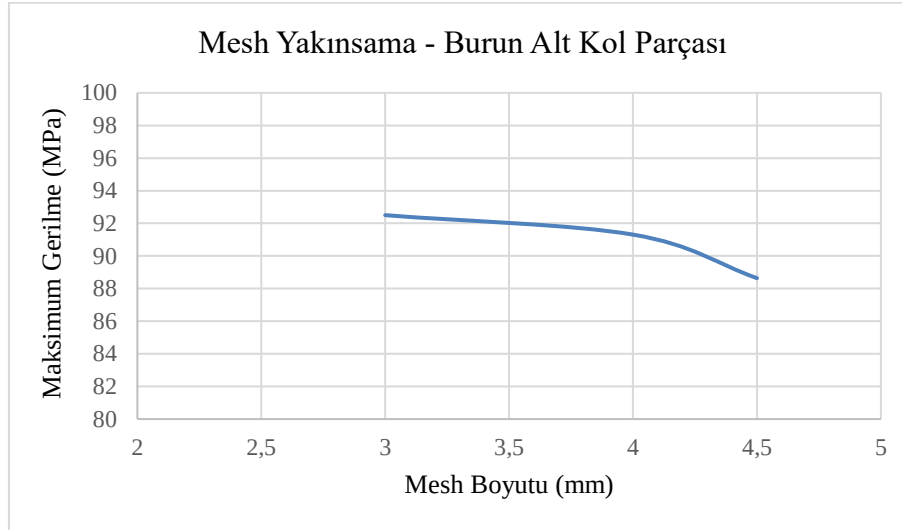
Şekil 7.10. Aks parçasının maksimum toplam deformasyonu

7.1.3. Burun iniş takımı mekanizması alt kol için yapısal analiz sonuçları

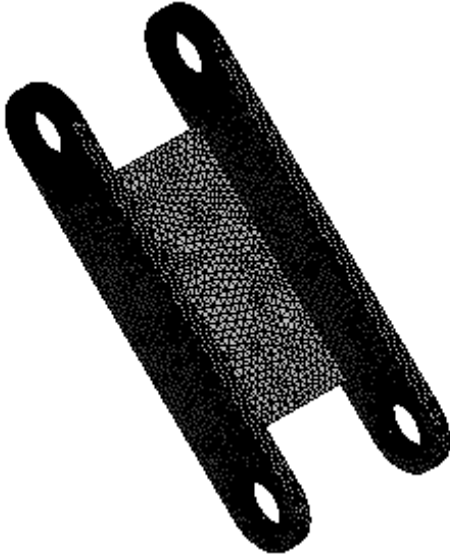
Burun iniş takımı için tasarlanan mekanizmada iki farklı kol tasarımı yapılmıştır. Birinci kol için analiz sonuçlarında öncelikle ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ modeli oluşturulurken 233033 düğüm noktası ve 153600 eleman kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot seçilmiştir. Burun iniş takımı alt kol parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,8241'dir. Aspect Ratio değerlendirme kriterine göre ise 1,8974 değerindedir. Alt kol parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Ağ modelinin eleman boyutu için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsama çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 7.11'de görüldüğü gibi eğri 4 mm ve 3 mm arasında paralel olmuştur. İkinci ve üçüncü deneme sonucunda yüzde 1,3 gerilme farkı oluşmuştur. Bu nedenle üçüncü denemenin doğrulaması kabul edilmiştir ve mesh boyutu 3 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 7.11'de ve eleman boyutları Çizelge 7.3'te verilmiştir. Ağ yapısı oluşturulan kol parçası Şekil 7.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. Burun alt kol parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	4,5	124355	88,64	0,16599
2.	4	130961	91,307	0,16604
3.	3	153600	92,502	0,16615



Şekil 7.11. Burun alt kol parçası için mesh yakınsama grafiği

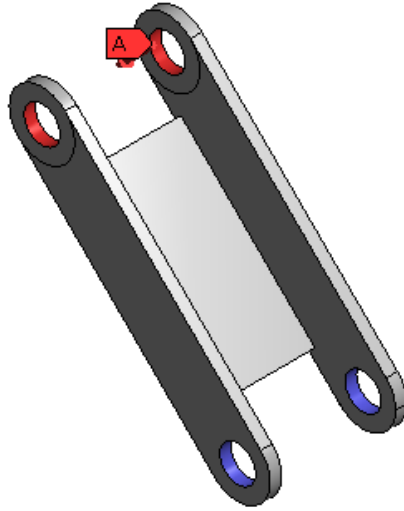


Şekil 7.12. Ağ yapısı oluşturan alt kol parçası

Ağ yapısı oluşturulan kol parçasının sınır şartları verilmiştir ve Şekil 7.13'te gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet bölgesini kırmızı kısım yük uygulanan bölgeyi göstermektedir.

B: Static Structural
Fixed Support
Time: 1, s

A Force: 1591,3 N
B Fixed Support

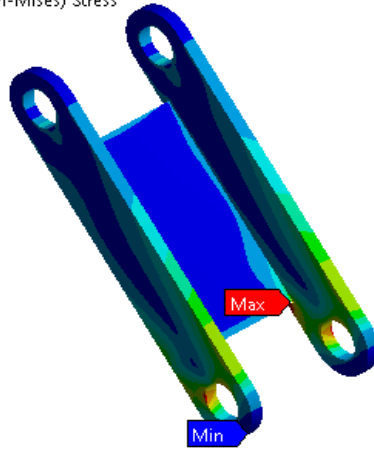


Şekil 7.13. Sınır şartları verilen alt kol parçası

Ağ modeli ve sınır şartları verilen kol parçasına yük uygulandıktan sonra oluşan gerilmeler Şekil 7.14'te gösterilmiştir.

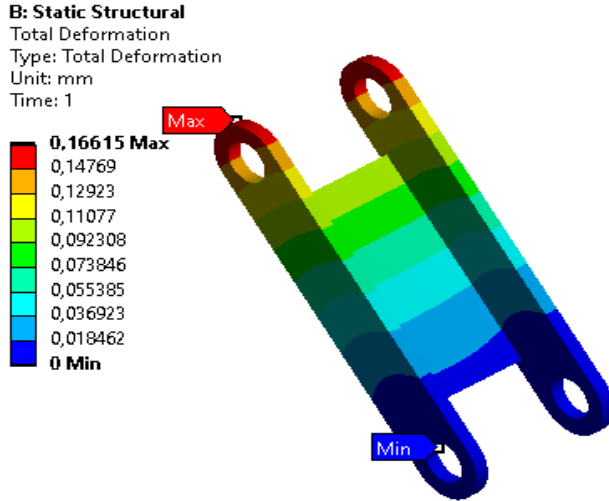
B: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1

92,502 Max
82,228
71,954
61,68
51,406
41,132
30,858
20,584
10,31
0,03585 Min



Şekil 7.14. Alt kol parçasının maksimum gerilme dağılımı

Yük uygulanan kol parçasında oluşan maksimum gerilme 92,502 MPa'dır. Kol parçasında paslanmaz çelik S13800 kullanılmıştır ve malzemenin akma dayanımı 1415 MPa'dır. Emniyet katsayısına bakıldığında 15,3 çıkmıştır. Bu değerlere göre parça emniyetli sayılmaktadır. Kol parçasının maksimum toplam deformasyon değeri 0,16615 mm'dir ve Şekil 7.15'te gösterilmiştir.



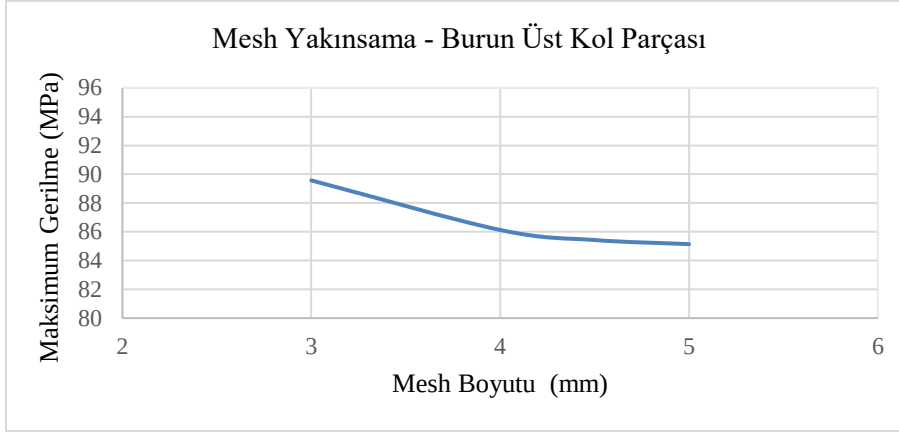
Şekil 7.15. Alt kol parçasının maksimum toplam deformasyonu

7.1.4. Burun iniş takımı mekanizması üst kol için yapısal analiz sonuçları

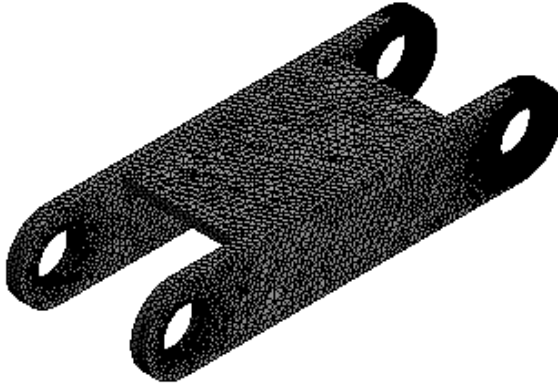
Burun iniş takımı mekanizmasının ikinci kolu için analiz sonuçlarında öncelikle ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ modeli için 158054 düğüm noktası ve 104580 eleman kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot seçilmiştir. Oluşturulan mesh modeli, mesh değerlendirme kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Burun iniş takımı üst kol parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,81114'tür. Aspect Ratio değerlendirme kriterine göre ise 1,9286 değerindedir. Üst kol parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Üst kol parçası için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsaması çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 7.16'da görüldüğü gibi eğri 4 mm ve 5 mm arasında paralel olmuştur. Üçüncü ve dördüncü deneme sonucunda yüzde 0,335 gerilme farkı oluşmuştur. Bu nedenle üçüncü denemenin doğrulaması kabul edilmiştir ve mesh boyutu 4,5 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 7.16'da ve eleman boyutları Çizelge 7.4'te verilmiştir. Ağ yapısı oluşturulan kol parçası Şekil 7.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Burun üst kol parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	3	132059	89,573	0,17053
2.	4	110495	86,127	0,17046
3.	4,5	104580	85,427	0,17042
4.	5	104610	85,141	0,1704



Şekil 7.16. Burun üst kol parçası için mesh yakınsama grafiği

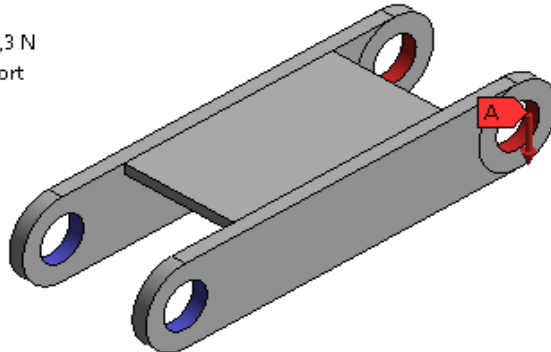


Şekil 7.17. Ağ yapısı oluşturan üst kol parçası

Ağ yapısı oluşturulan üst kol parçasının sınır şartları verilmiştir ve Şekil 7.18’de gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet bölgesini kırmızı kısım yük uygulanan bölgeyi göstermektedir.

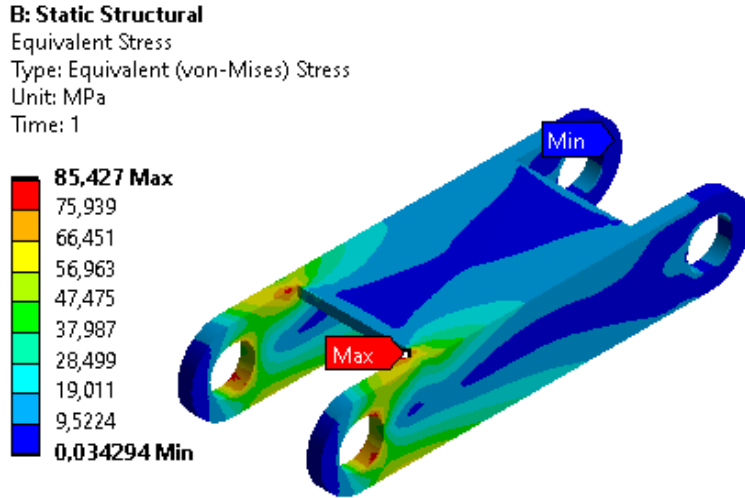
B: Static Structural
Force
Time: 1, s

A Force: 1591,3 N
B Fixed Support



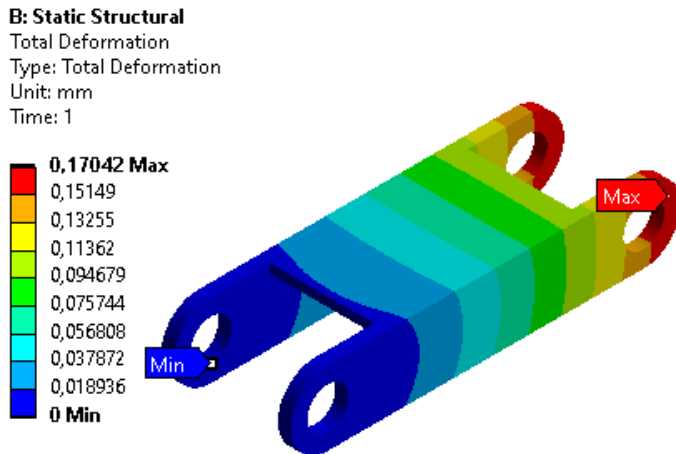
Şekil 7.18. Sınır şartları verilen üst kol parçası

Ağ modeli ve sınır şartları verilen kol parçasına yük uygulandıktan sonra oluşan gerilmeler Şekil 7.19’da gösterilmiştir.



Şekil 7.19. Üst kol parçasının maksimum gerilme dağılımı

Yük uygulanan üst kol parçasında oluşan maksimum gerilme değeri 85,427 MPa’dır. Malzemenin akma dayanımı 1415 MPa’dır. Emniyet katsayısına bakıldığında 16,56 çıkmaktadır. Bu değere göre parçanın emniyetli olduğu sayılmaktadır. Parçanın toplam deformasyon değeri 0,17042 mm’dir ve Şekil 7.20’de gösterilmiştir.



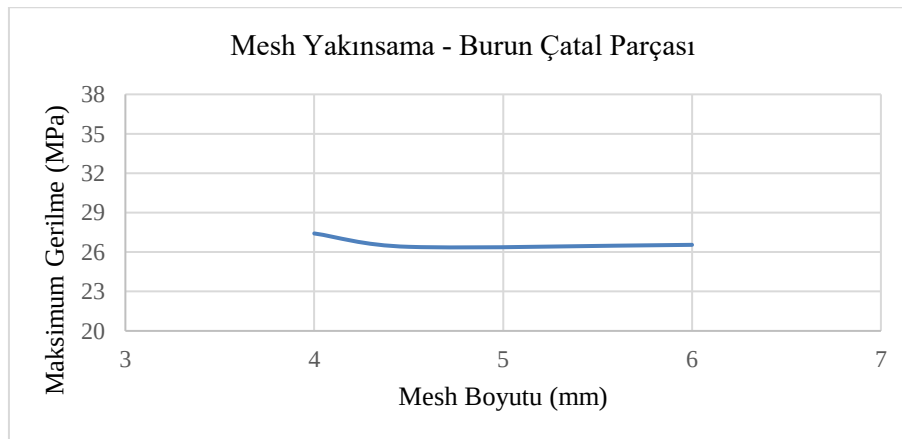
Şekil 7.20. Üst kol parçasının maksimum toplam deformasyonu

7.1.5. Burun iniş takımı çatal yapısal analiz sonuçları

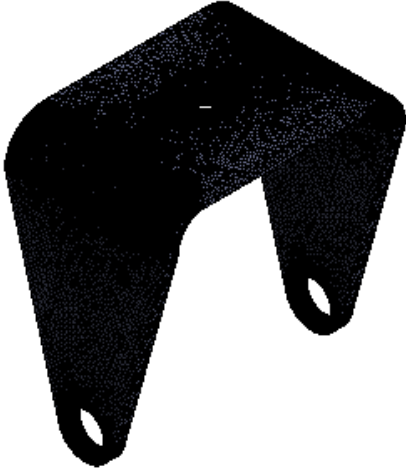
Burun iniş takımı çatalı için ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ yapısı için 411575 düğüm noktası ve 272576 eleman kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot seçilmiştir. Çatal parçası için oluşturulan ağ yapısı, mesh kalitesi değerlendirme kriterlerine göre incelenmiştir. Burun iniş takımı çatal parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,82694'tür. Aspect Ratio değerlendirme kriterine göre ise 1,881 değerindedir. Çatal parçası mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Oluşturulan ağ yapısı için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsaması çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 7.21'de görüldüğü gibi eğri 6 mm ve 4 mm arasında paralel olmuştur. İkinci ve üçüncü deneme sonucunda yüzde 3,71 gerilme farkı oluşmuştur. Bu nedenle üçüncü denemenin doğrulaması kabul edilmiştir ve mesh boyutu 4 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 7.21'de ve eleman boyutları Çizelge 7.5'te verilmiştir. Ağ yapısı oluşturulan çatal parçası Şekil 7.22'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. Burun çatal parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	6	243287	26,549	0,014325
2.	4,5	249027	26,398	0,014331
3.	4	272536	27,416	0,014323



Şekil 7.21. Burun çatal parçası için mesh yakınsama grafiği



Şekil 7.22. Ağ yapısı oluşturulan burun çatalı parçası

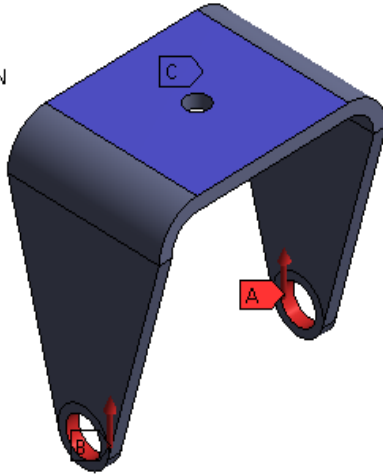
Ağ yapısı oluşturulan burun iniş takımı çatalının sınır şartları verilmiştir ve Şekil 7.23'te gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet bölgesini, kırmızı renkli kısım ise yük bölgesini ifade etmektedir.

B: Static Structural

Force 2

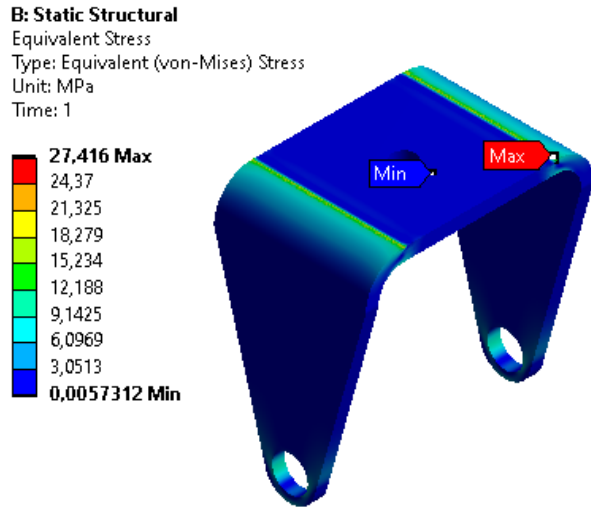
Time: 1, s

- A** Force: 1591,3 N
- B** Force 2: 1591,3 N
- C** Fixed Support



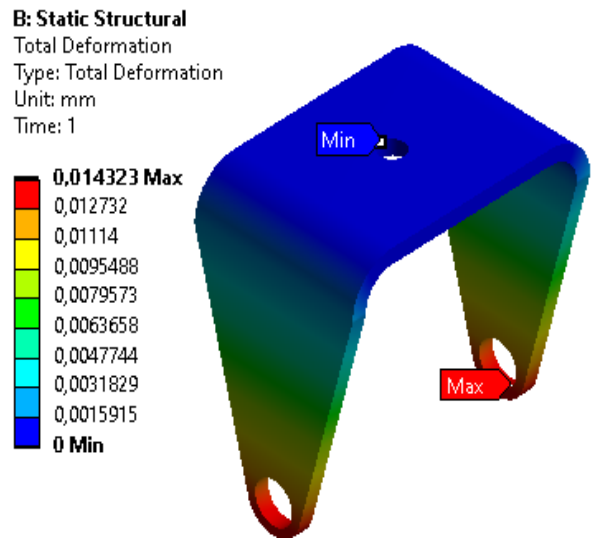
Şekil 7.23. Sınır şartları verilen burun çatalı parçası

Ağ modeli ve sınır şartları verilen burun çatalı parçasına yük uygulandıktan sonra oluşan gerilmeler Şekil 7.24'te gösterilmiştir.



Şekil 7.24. Burun çatal parçasının maksimum gerilme dağılımı

Yük uygulanan burun çatalı parçasının maksimum gerilme değeri 27,416 MPa'dır. Malzemenin akma dayanımı 503 MPa'dır. Emniyet katsayısına bakılırsa 18,35 çıkmaktadır ve bu değere göre parça emniyetlidir. Toplam deformasyon değeri 0,014323'tür. Şekil 7.25'te gösterilmiştir.



Şekil 7.25. Burun çatal parçasının toplam deformasyonu

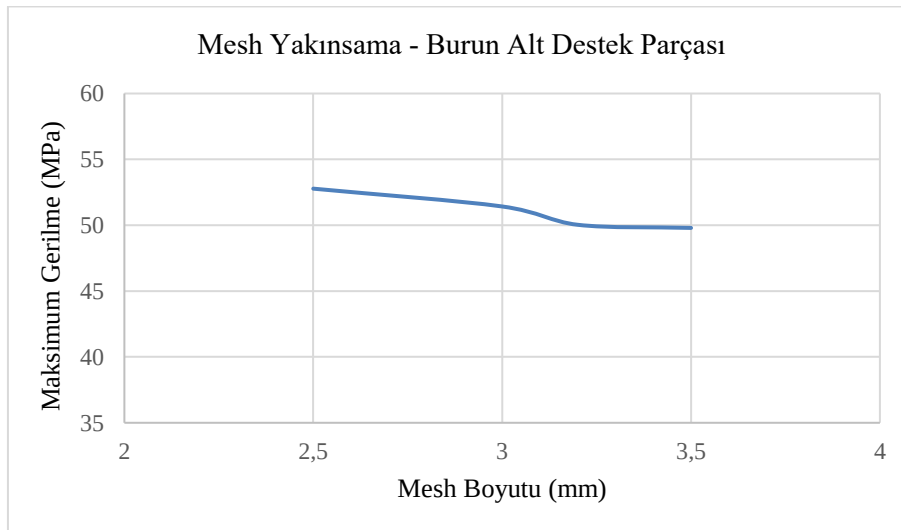
7.1.6. Burun iniş takımı mekanizma alt desteği yapısal analiz sonuçları

Dört kollu mekanizmayı destekleyen iki tane destek tasarlanmıştır. Bunlardan biri alt destek ve diğeri üst destek parçasıdır. Tasarlanan alt destek için ağ yapısı modeli için

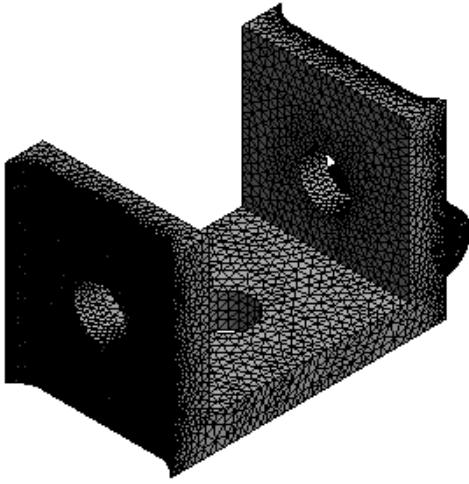
371650 düğüm noktası ve 249457 element kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot seçilmiştir. Alt destek parçasının ağ yapısı, mesh kalitesi değerlendirme kriterlerine göre incelenmiştir. Burun iniş takımı alt destek parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,83505'tir. Aspect Ratio değerlendirme kriterine göre ise 1,8432 değerindedir. Alt destek parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Ağ yapısı eleman boyutu için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsaması çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 7.26'da görüldüğü gibi eğri 3 mm ve 3,5 mm arasında paralel olmuştur. Birinci ve ikinci deneme arasında yüzde 0,472 gerilme farkı vardır. Bu nedenle mesh boyutu 3,2 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 7.26'da ve eleman boyutları Çizelge 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.6. Burun alt destek parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	3,5	245068	49,796	0,096632
2.	3,2	249457	50,032	0,09668
3.	3	254497	51,423	0,096721
4.	2,5	264028	52,776	0,096757



Şekil 7.26. Burun alt destek parçası için mesh yakınsama grafiği



Şekil 7.27. Ağ modeli oluşturulan alt destek parçası

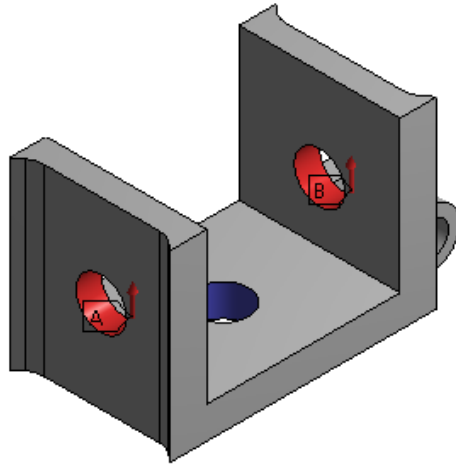
Ağ modeli oluşturulan modele sınır şartları verilmiştir ve Şekil 7.28’de gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet noktasını, kırmızı renkli kısım ise yük uygulanan bölgeyi ifade etmektedir.

A: Static Structural

Force

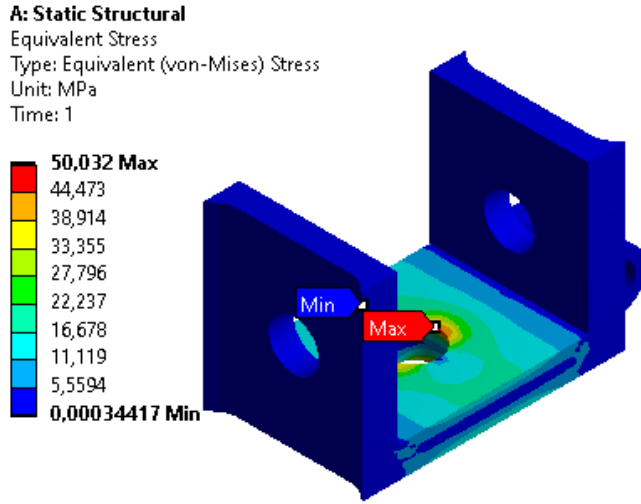
Time: 1, s

- A** Force: 1591,3 N
- B** Force 2: 1591,3 N
- C** Fixed Support



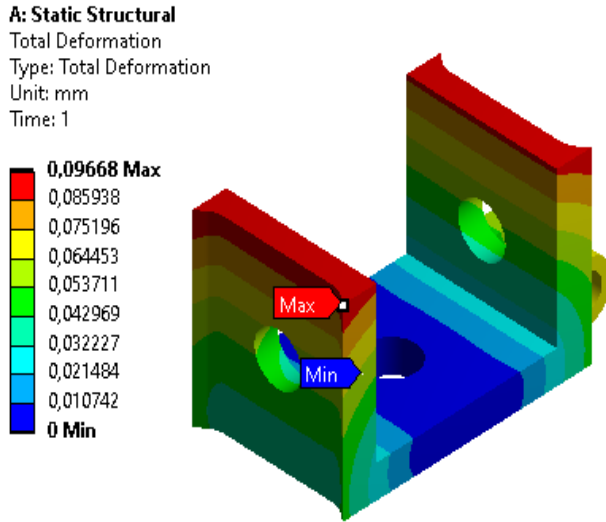
Şekil 7.28. Sınır şartları verilen alt destek parçası

Sınır şartları verilen ve yük uygulanan alt destek parçasında oluşan maksimum gerilme 50,032MPa’dır ve Şekil 7.29’da gösterilmiştir.



Şekil 7.29. Alt destek parçasının maksimum gerilme dağılımı

Malzeme akma dayanımı 503 MPa'dır. Emniyet katsayısı 10,05 çıkmaktadır. Parçanın emniyet katsayısı havacılık için kullanılan 1,25 katsayısından yüksek olduğu için emniyetli sayılmaktadır. Parçanın toplam deformasyonu 0,09668 mm çıkmıştır. Şekil 7.30'da gösterilmiştir.



Şekil 7.30. Alt destek parçasının toplam deformasyonu

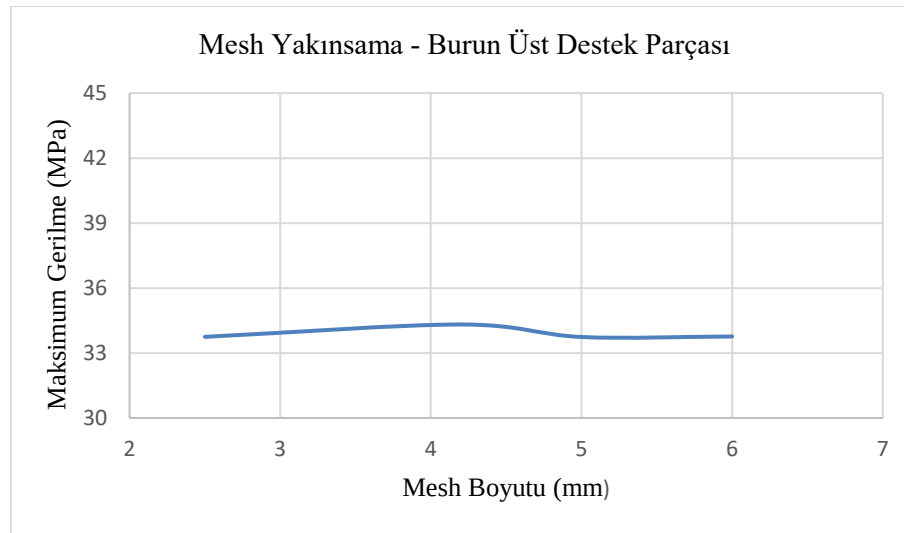
7.1.7. Burun iniş takımı mekanizma üst desteği yapısal analiz sonuçları

Dört kollu mekanizmayı destekleyen ikinci destek olan üst desteğin ağ yapısı modeli oluşturulmuştur ve Şekil 7.32'de gösterilmiştir. Ağ yapısı modelinde 175418 düğüm noktası ve 112343 element kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot

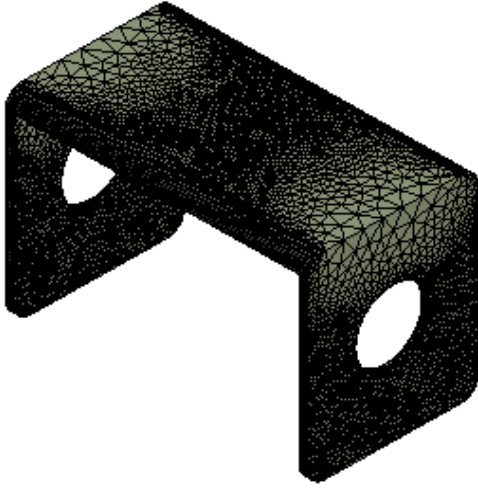
seçilmiştir. Ağ yapısı, element kalitesi değerlendirme kriterlerine göre incelenmiştir. Burun iniş takımı üst destek parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,82173'tür. Aspect Ratio değerlendirme kriterine göre ise 1,9015 değerindedir. Üst destek parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Üst destek parçası element boyutu için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsama çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 7.31'de görüldüğü gibi eğri 5 mm ve 6 mm arasında paralel olmuştur. Birinci ve ikinci deneme arasında yüzde 0,071 gerilme farkı oluşmuştur ve mesh boyutu 6 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 7.31'de ve eleman boyutları Çizelge 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.7. Burun üst destek parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	6	112343	33,763	0,0016608
2.	5	114356	33,739	0,0016753
3.	4,2	118890	34,317	0,0016792
4.	2,5	264028	33,747	0,001659



Şekil 7.31. Burun üst destek parçası için mesh yakınsama grafiği



Şekil 7.32. Ağ yapısı oluşturulan üst destek parçası

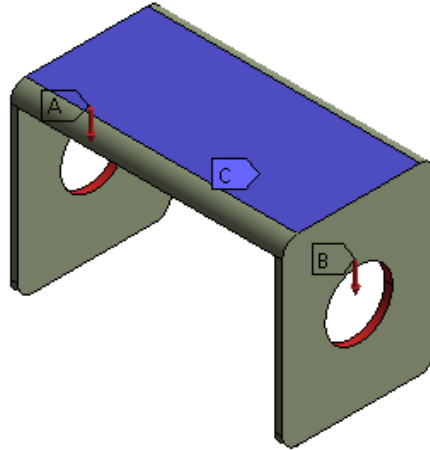
Ağ yapısı oluşturulan alt destek parçasının analizini yapabilmek için sınır şartları verilmiştir. Sınır şartları verilen üst destek parçası Şekil 7.33'te gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet bölgesini ve kırmızı kısım yük uygulanacak bölgeyi ifade etmektedir.

B: Static Structural

Force

Time: 1, s

- A Force: 1591,3 N
- B Force 2: 1591,3 N
- C Fixed Support



Şekil 7.33. Sınır şartları verilen üst destek parçası

Sınır şartları verilen üst destek parçasına yük uygulandıktan sonra oluşan maksimum gerilme 33,763 MPa'dır ve Şekil 7.34'te gösterilmiştir.

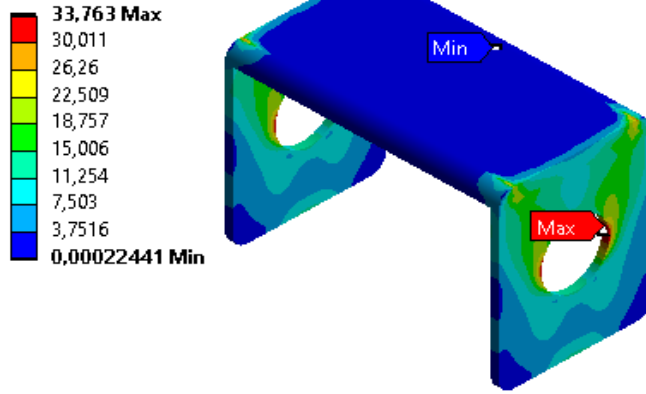
B: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1



Şekil 7.34. Üst destek parçasının maksimum gerilme dağılımı

Malzemenin akma dayanımı 503 MPa'dır ve parçanın emniyet katsayısı 14,9 çıkmaktadır. Havacılık katsayısı 1,25'tir ve bu değere göre parça emniyetli sayılmaktadır. Parçanın toplam deformasyon değeri 0,0016608 mm'dir ve Şekil 7.35'te gösterilmiştir.

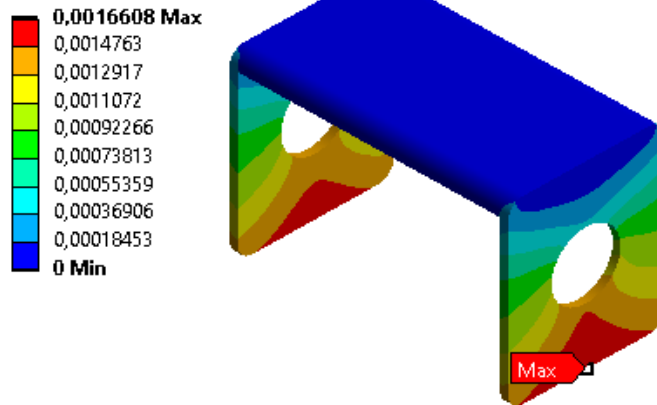
B: Static Structural

Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1



Şekil 7.35. Üst destek parçasının toplam deformasyonu

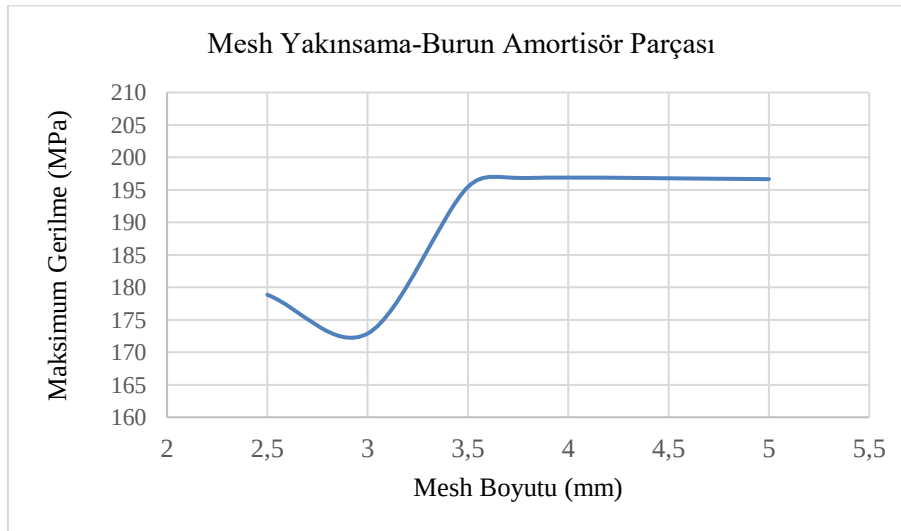
7.1.8. Burun iniş takımı amortisör parçası yapısal analiz sonuçları

Dört kollu mekanizmaya montajlanan ve sönümlemeyi sağlayan amortisör parçasının ANSYS programında analiz yapabilmek için ağ modeli oluşturulmuştur. Ağ modeli

oluşturulan amortisör parçası Şekil 7.37’de gösterilmiştir. Ağ modeli için 263023 düğüm noktası ve 169296 eleman kullanılmıştır. Amortisör parçasının ağ modeli, mesh değerlendirme kriterlerine göre incelenmiştir. Burun iniş takımı amortisör parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,78619’dur. Aspect Ratio değerlendirme kriterine göre ise 2,1762 değerindedir. Amortisör parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Ağ modeli element boyutu için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsama çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 7.36’da görüldüğü gibi eğri 3,5 mm ve 5 mm arasında paralel olmuştur. Dördüncü ve beşinci deneme arasında yüzde 0,0914 gerilme farkı vardır ve mesh boyutu 5 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 7.36’da ve eleman boyutları Çizelge 7.8’de verilmiştir.

Çizelge 7.8. Burun amortisör parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	2,5	217212	178,86	0,053973
2.	3	194640	172,89	0,052694
3.	3,5	183227	195,47	0,052644
4.	3,8	198819	196,84	0,053856
5.	5	169296	196,66	0,052861



Şekil 7.36. Burun amortisör parçası için mesh yakınsama grafiği



Şekil 7.37. Ağ modeli oluşturulan amortisör parçası

Ağ modeli oluşturulan amortisör parçasına sınır şartları verilmiştir. Verilen sınır şartları Şekil 7.38’de gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet bölgesini ve kırmızı kısım yük uygulanacak bölgeyi ifade etmektedir.

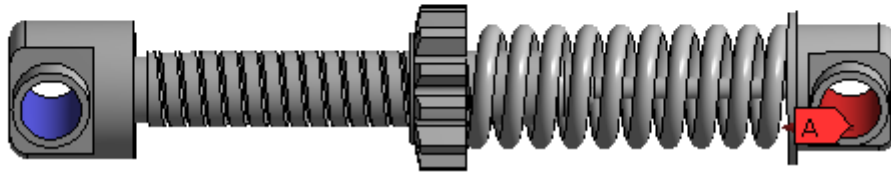
A: Static Structural

Force

Time: 1, s

A Force: 3182,6 N

B Fixed Support



Şekil 7.38. Sınır şartları verilen amortisör parçası

Sınır şartları verilen amortisör parçasına yük uygulandıktan sonra oluşan maksimum gerilme 196,66 MPa’dır ve Şekil 7.39’da gösterilmiştir.

A: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

196,66 Max

174,81

152,96

131,11

109,26

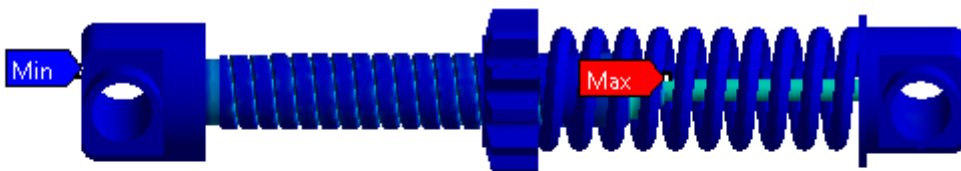
87,405

65,554

43,703

21,853

0,0023665 Min



Şekil 7.39. Amortisör parçasının maksimum gerilme dağılımı

Malzemenin akma dayanımı 503 MPa'dır ve parçanın emniyet katsayısı 2,55 çıkmaktadır. Havacılık katsayısı 1,25'tir ve bu değere göre parça emniyetli sayılmaktadır. Parçanın toplam deformasyon değeri 0,052861 mm'dir ve Şekil 7.40'da gösterilmiştir.

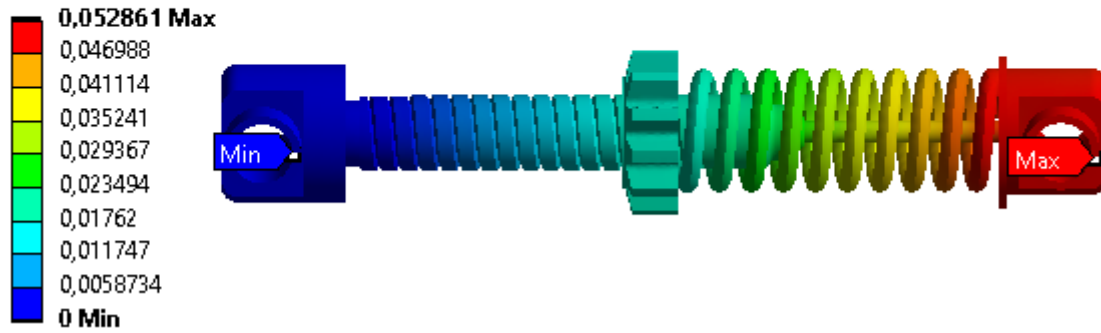
A: Static Structural

Total Deformation

Type: Total Deformation

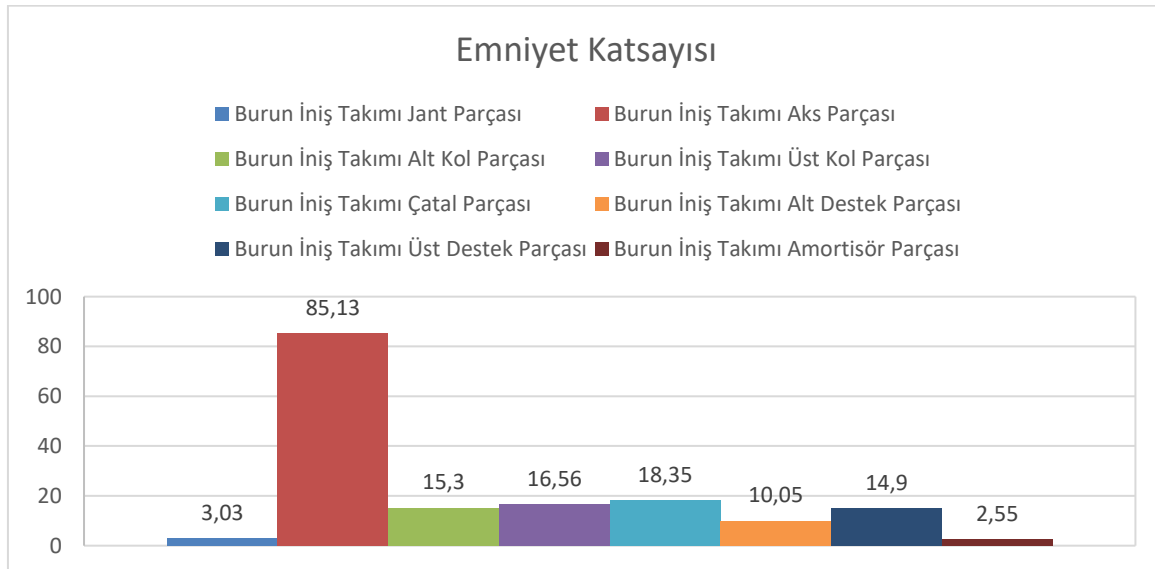
Unit: mm

Time: 1



Şekil 7.40. Amortisör parçasının toplam deformasyonu

Burun iniş takımı için tasarlanan parçaların emniyet katsayıları grafiği Şekil 7.41'de gösterilmiştir.



Şekil 7.41. Burun iniş takımı alt parçalarının emniyet katsayısı değerleri

8. ANA İNİŞ TAKIMI YAPISAL ANALİZ SONUÇLARI

8.1. Ana İnış Takımı Yapısal Analiz Sonuçları

Tasarlanan parçaların emniyetli olup olmadığına emniyet katsayısı formülüne göre değerlendirilmiştir. Ana iniş takımı yapıları için emniyet katsayısı genellikle 1,25'tir [13].

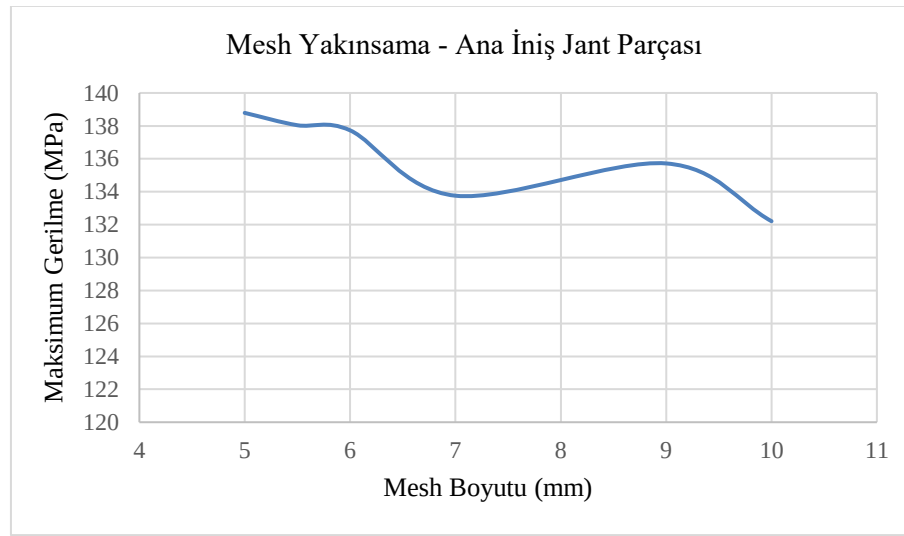
Ana iniş takımı alt parçaları için ağ modelleri mesh kalitesi değerlendirme kriterlerinden olan element kalitesi kriteri ve Aspect Ratio kriterine göre incelenmiştir. Element kalitesi değerlendirme kriterine göre, mesh kalitesinin 1 değerine yaklaşması kalitesinin arttığını göstermektedir. Aspect Ratio kriterine göre ise 1 değeri mesh yapısının çok iyi olduğunu, 5-10 değer aralığı kabul edilebilir bir mesh kalitesi olduğunu ve 20 değeri ise mesh kalitesinin çok kötü olduğunu ifade etmektedir.

8.1.1. Ana iniş takımı jantı yapısal analiz sonuçları

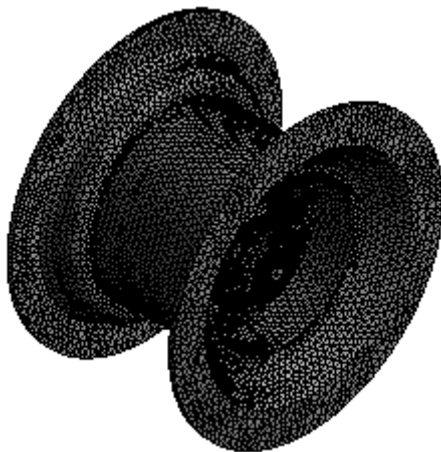
Üç boyutlu tasarım programlarından biri olan ve önceki bölümlerde hesaplamaları yapılmış olan jant parçasının tasarımı yapılmış ve ANSYS programına aktarılmıştır. Öncelikle jant parçası için bir ağ modeli oluşturulmuştur. Ağ modeli oluşturulan jant parçası Şekil 8.2'de gösterilmiştir. Düğüm noktası modeli için otomatik metot seçilmiştir. 134282 düğüm noktası ve 77166 element kullanılmıştır. Jant parçasının ağ modeli, mesh değerlendirme kriterlerine göre incelenmiştir. Ana iniş takımı jant parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,71775'tir. Aspect Ratio değerlendirme kriterine göre ise 2,8794 değerindedir. Jant parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Ağ modelinin element boyutu için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsaması çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 8.1'de görüldüğü gibi eğri 5 mm ve 6 mm arasında paralel olmuştur. Dördüncü ve beşinci deneme arasında yüzde 0,225 gerilme farkı oluşmuştur ve mesh boyutu 5,5 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 8.1'de ve eleman boyutları Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Ana iniş jant parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	10	40387	132,21	0,055539
2.	9	36058	135,72	0,055174
3.	7	52784	133,76	0,055572
4.	6	71188	137,73	0,055541
5.	5,5	77166	138,04	0,055892
6.	5	96463	138,79	0,055923



Şekil 8.1. Ana iniş takımı jant parçası için mesh yakınsama grafiği

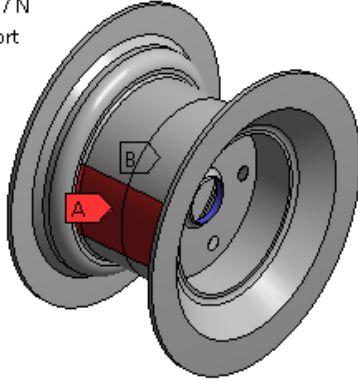


Şekil 8.2. Ağ modeli oluşturulan ana iniş takımı jantı

Ağ modeli oluşturulan jant parçasına sınır şartları verilerek yük uygulanmıştır ve Şekil 8.3'te gösterilmiştir. Mavi kısım mesnet bölgesini ve kırmızı kısım yük bölgesini göstermektedir.

A: Static Structural
Fixed Support
Time: 1, s

A Force: 7049,7 N
B Fixed Support

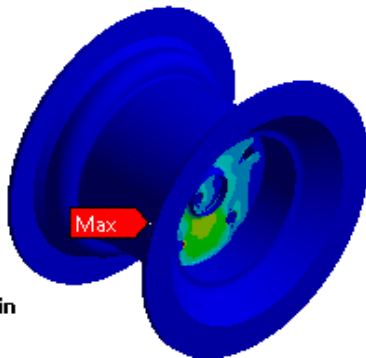


Şekil 8.3. Sınır şartları verilen ana iniş takımı jantı

Sınır şartı verilen jant parçasına yük uygulandıktan sonra maksimum gerilmeler oluşmuştur. Maksimum gerilme 138,04 MPa'dır ve Şekil 8.4'te gösterilmiştir.

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1

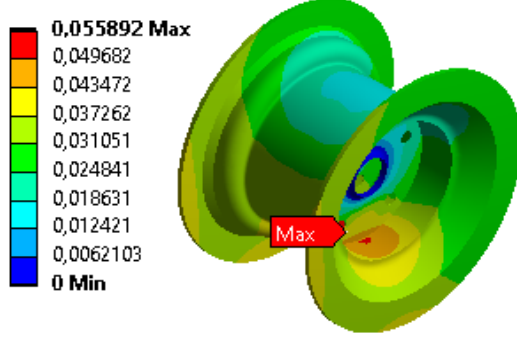
138,04 Max
122,71
107,38
92,043
76,709
61,376
46,042
30,708
15,375
0,040889 Min



Şekil 8.4. Ana iniş takımı jantında oluşan maksimum gerilme dağılımı

Ana iniş takımı jantı için seçilen malzeme Alüminyum 7075-T6'dır. Malzemenin akma dayanımı 503 MPa'dır. Parçanın emniyet katsayısı 3,64'tür. Havacılık için belirlenmiş 1,25 katsayısına göre parça emniyetli sayılmaktadır. Parçada oluşan toplam deformasyon miktarı 0,055892 mm'dir ve Şekil 8.5'te gösterilmiştir.

A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1



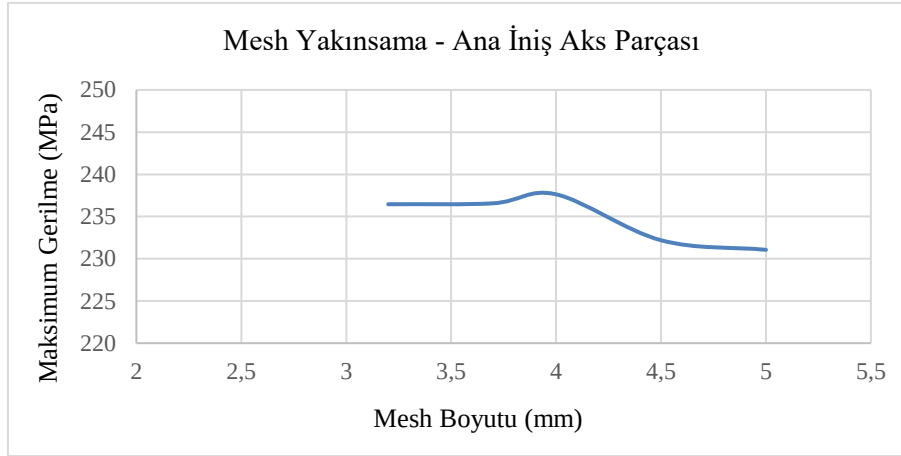
Şekil 8.5. Ana iniş takımı jant parçasında oluşan toplam deformasyon

8.1.2. Ana iniş takımı aks parçası yapısal analiz sonuçları

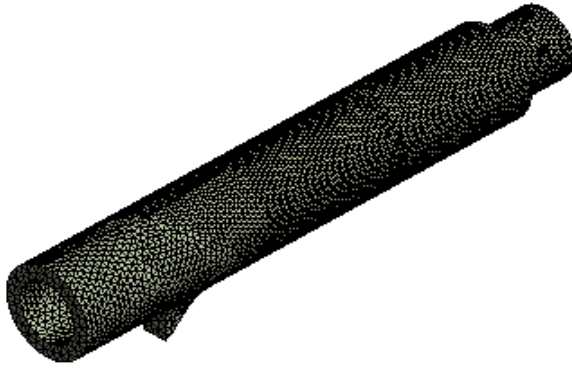
Tasarımı yapılan aks parçasını ANSYS programına aktararak gerekli analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz yapmadan önce parçalara ağ modeli oluşturulmuştur. Ağ modeli oluşturulan aks parçası Şekil 8.7’de gösterilmiştir. Ağ modeli oluşturulurken 139858 düğüm noktası ve 87670 element kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot seçilmiştir. Oluşturulan ağ modeli, element değerlendirme kriterlerine göre incelenmiştir. Ana takımı üst kol parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,81682’dir. Aspect Ratio oranına göre ise 1,9156 değerindedir. Aks parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Aks parçasının element boyutu için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsama çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 8.6’da görüldüğü gibi eğri 3,7 milimetreden sonra paralel olmuştur. Dördüncü ve beşinci deneme arasında yüzde 0,0465 gerilme farkı oluşmuştur ve mesh boyutu 3,2 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 8.6’da ve eleman boyutları Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.2. Ana iniş aks parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	5	81502	231,06	0,18324
2.	4,5	85450	232,19	0,18331
3.	4	81737	237,63	0,18333
4.	3,7	83171	236,57	0,18335
5.	3,2	87670	236,46	0,18332

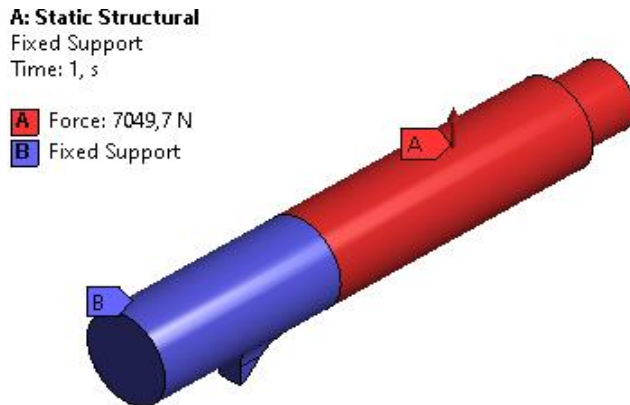


Şekil 8.6. Ana iniş takımı aks parçası için mesh yakınsama grafiği



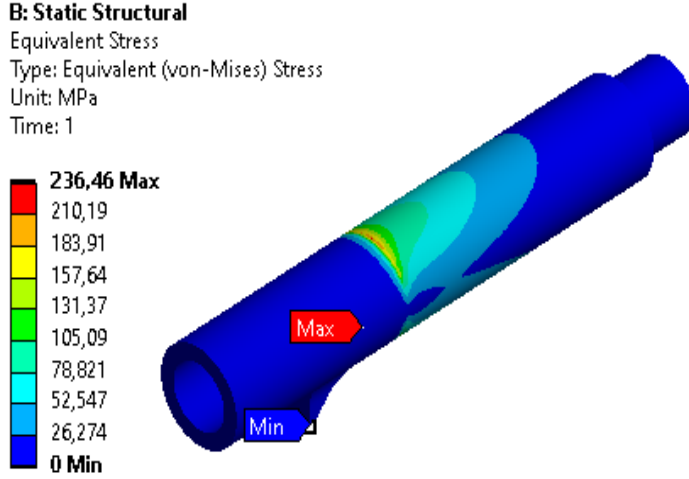
Şekil 8.7. Ağ modeli oluşturulan ana iniş takımı aks parçası

Ağ modeli oluşturulan aks parçasına sınır şartları belirlenmiştir. Sınır şartları oluşturulan aks parçası Şekil 8.8’de gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet bölgesini ve kırmızı renkli kısım yük bölgesini ifade etmektedir. Mavi renkli bölge jant ile aksın bağlantı olduğu kısımdır ve bu kısımdan sabitlenmiştir.



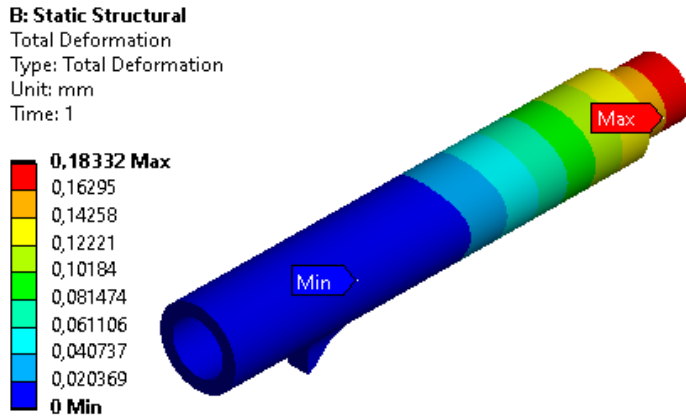
Şekil 8.8. Sınır şartları verilen ana iniş takımı aks parçası

Sınır şartları verilen aks parçasına yük uygulandıktan sonra 236,46 MPa maksimum gerilme oluşmuştur ve Şekil 8.9’da gösterilmiştir.



Şekil 8.9. Ana iniş takımı aks parçasında oluşan maksimum gerilme dağılımı

Aks parçasında paslanmaz çelik S13800(PH 13-8MO) malzemesi kullanılmıştır. Malzemenin akma dayanımı 1415 MPa’dır. Parçanın emniyet katsayısı bu değerlere göre 5,98 çıkmaktadır ve havacılık emniyet katsayısına göre emniyetli çıkmaktadır. Parçada oluşan toplam deformasyon değeri 0,18332 mm’dir ve Şekil 8.10’da gösterilmiştir.



Şekil 8.10. Ana iniş takımı aks parçasında oluşan toplam deformasyon

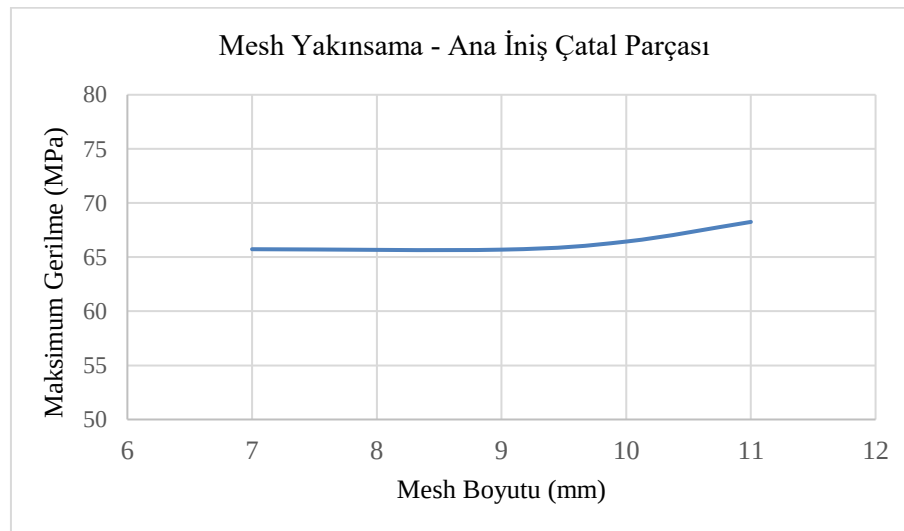
8.1.3. Ana iniş takımı çatalı yapısal analiz sonuçları

Tasarımı yapılan ana iniş takımı çatal parçası için ANSYS programında ağ modeli oluşturulmuştur ve oluşturulan ağ modeli Şekil 8.12’de gösterilmiştir. Ağ modeli

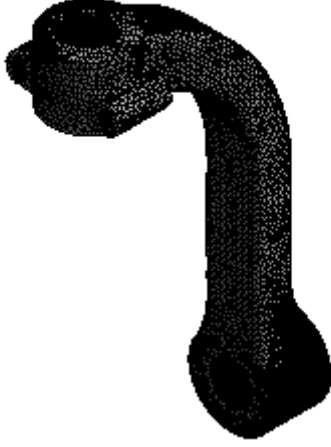
oluşturulurken 1114012 düğüm noktası ve 764527 element kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot seçilmiştir. Oluşturulan ağ modeli, element değerlendirme kriterlerine göre incelenmiştir. Ana iniş takımı üst kol parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,81707'dir. Aspect Ratio değerlendirme kriterine göre ise 1,9071 değerindedir. Çatal parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Çatal parçası ağ modelinin element boyutu için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsama çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 8.11'de görüldüğü gibi eğri 9 mm ve 7 mm arasında paralel olmuştur. Üçüncü ve dördüncü deneme arasında yüzde 0,0623 gerilme farkı oluşmuştur ve mesh boyutu 7 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 8.11'de ve eleman boyutları Çizelge 8.3'de verilmiştir.

Çizelge 8.3. Ana iniş çatal parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	11	275475	68,253	0,15179
2.	10	343094	66,44	0,15053
3.	9	549175	65,693	0,14968
4.	7	764527	65,734	0,14881



Şekil 8.11. Ana iniş takımı çatal parçası için mesh yakınsama grafiği



Şekil 8.12. Ağ modeli oluşturulan ana iniş takımı çatal parçası

Ağ modeli oluşturulan çatal parçasına sınır şartları verilmiştir. Şekil 8.12’de gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet bölgesini ve kırmızı renkli kısım yük uygulanacak bölgeyi göstermektedir. Mavi renkli bölge şok sönümlerle dikmesiyle montaj olan yeri göstermektedir ve bu bölgeye sabit mesnet atanmıştır.

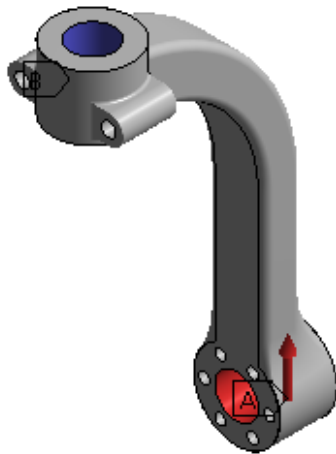
B: Static Structural

Force

Time: 1, s

A Force: 7049,7 N

B Fixed Support



Şekil 8.13. Sınır şartları verilen ana iniş takımı çatal parçası

Sınır şartları verilen çatal parçasının kırmızı bölgesine yük uygulanmıştır. Yük uygulanan bölgede maksimum gerilme 65,734 MPa oluşmuştur ve Şekil 8.14’te gösterilmiştir.

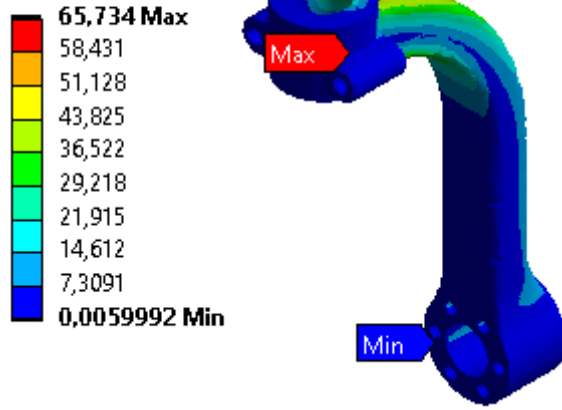
B: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1



Şekil 8.14. Ana iniş takımı çatal parçasında oluşan maksimum gerilme dağılımı

Çatal parçası için Alüminyum 7075-T6 malzemesi kullanılmıştır ve malzemenin akma dayanımı 503 MPa'dır. Parçanın emniyet katsayısı 7,652 çıkmaktadır. Hesaplanan değerlere göre parça emniyetlidir. Parçada oluşan toplam deformasyon 0,14881'dir ve Şekil 8.15'te gösterilmiştir.

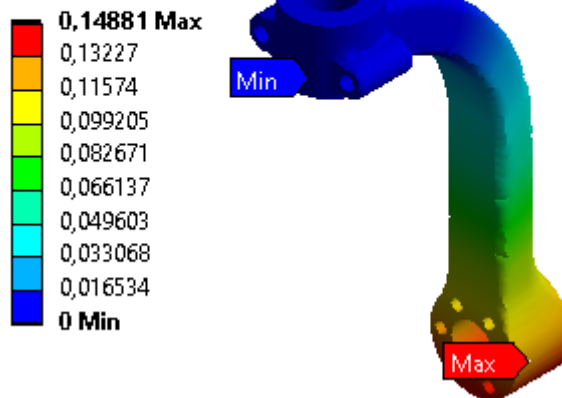
B: Static Structural

Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1



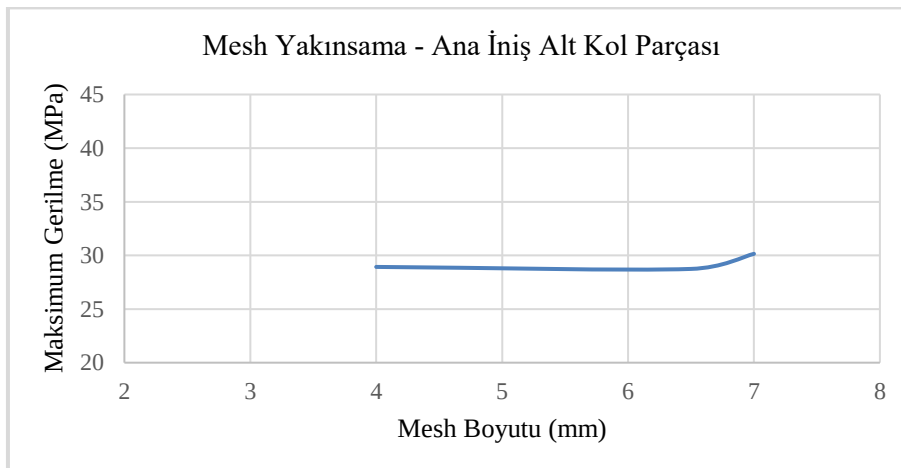
Şekil 8.15. Ana iniş takımı çatal parçasında oluşan toplam deformasyon

8.1.4. Ana iniş takımı alt kol için yapısal analiz sonuçları

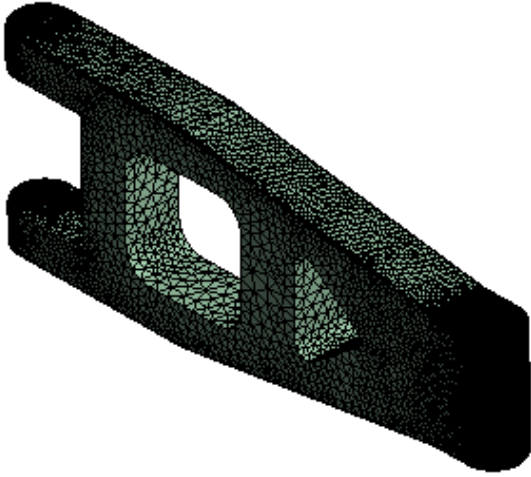
Ana iniş takımı için alt ve üst olmak üzere iki kol SolidWorks programında tasarlanmıştır. Bu başlık altında alt kol için analizler yapılmıştır. Analiz yapılmadan önce parça için ağ modeli oluşturulmuştur ve oluşturulan ağ modeli Şekil 8.17’de gösterilmiştir. Ağ modeli oluşturulurken 248876 düğüm noktası ve 164025 element kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot seçilmiştir. Alt kol parçasının ağ modeli, element değerlendirme kriterlerine göre incelenmiştir. Ana iniş takımı üst kol parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,72111’dir. Aspect Ratio değerlendirme kriterine göre ise 2,3414 değerindedir. Alt kol parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Oluşturulan ağ modeli element boyutu için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsaması çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 8.16’da görüldüğü gibi eğri 4 mm ve 6 mm arasında paralel olmuştur. İkinci ve üçüncü deneme arasında yüzde 0,65 gerilme farkı oluşmuştur ve mesh boyutu 4 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 8.16’da ve eleman boyutları Çizelge 8.4’te verilmiştir.

Çizelge 8.4. Ana iniş alt kol parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	7	133435	30,148	0,009571
2.	6,5	138040	28,739	0,0095725
3.	4	164025	28,927	0,0095756



Şekil 8.16. Ana iniş takımı alt kol parçası için mesh yakınsama grafiği

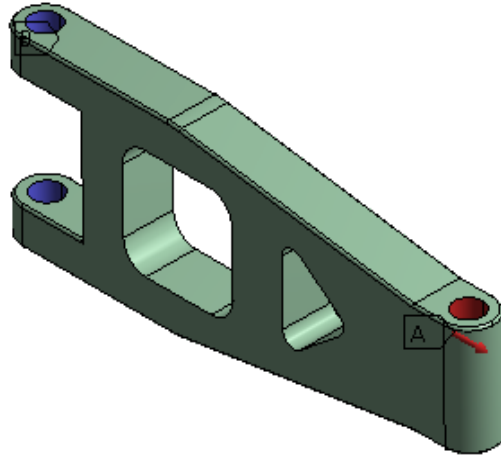


Şekil 8.17. Ağ modeli oluşturulan alt kol parçası

Ağ modeli oluşturulan alt kol parçasına sınır şartları verilmiştir. Sınır şartları verilen alt kol parçası Şekil 8.18’de gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet bölgesini, kırmızı renkli kısım yük uygulanacak bölgeyi göstermektedir.

B: Static Structural
Fixed Support
Time: 1, s

A Force: 7049,7 N
B Fixed Support



Şekil 8.18. Sınır şartları verilen alt kol parçası

Sınır şartları verilen alt kol parçasının kırmızı bölgesine yük uygulanmıştır. Maksimum gerilme değeri 28,927 MPa çıkmıştır ve Şekil 8.19’da gösterilmiştir. Alt kol parçası için paslanmaz çelik S13800 malzemesi kullanılmıştır.

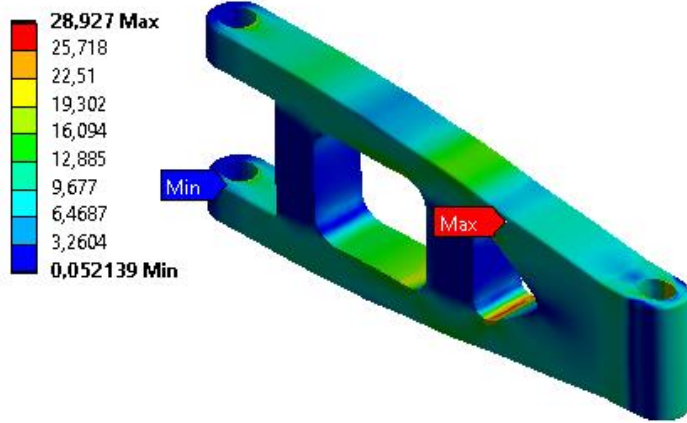
B: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1



Şekil 8.19. Alt kol parçasının maksimum gerilme dağılımı

Malzemenin akma dayanımı 1415 MPa'dır. Parçanın emniyet katsayısı çıkan sonuçlara göre 48,92 mm'dir. Havacılık standartlarında kullanılan emniyet katsayısı 1,25'e göre tasarımı yapılan parçanın emniyetli olduğu anlaşılmaktadır. Parçada oluşan toplam deformasyon değeri 0,0095756 mm'dir ve Şekil 8.20'de gösterilmiştir.

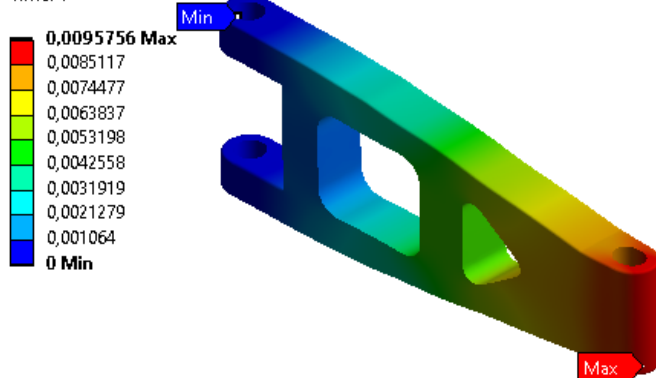
B: Static Structural

Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1



Şekil 8.20. Alt kol parçasında oluşan toplam deformasyon

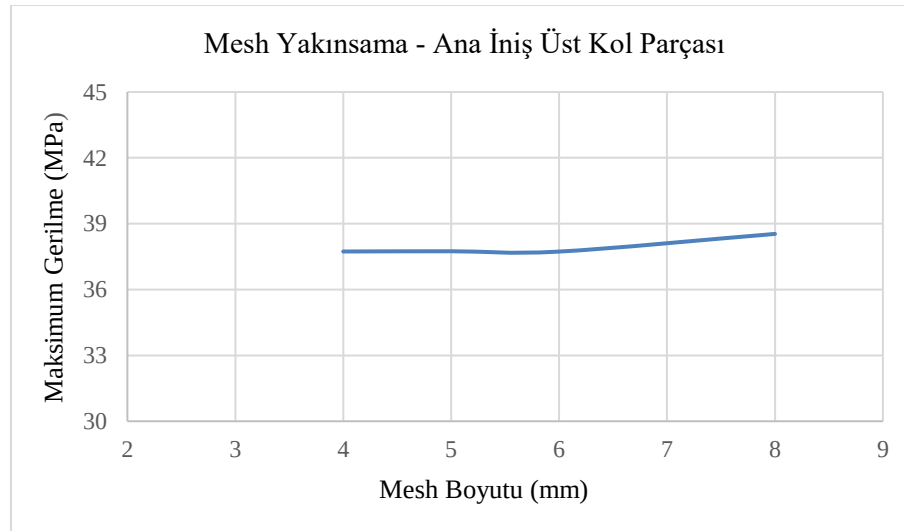
8.1.5. Ana iniş takımı üst kol için yapısal analiz sonuçları

Ana iniş takımı için tasarlanan ikinci kol tasarımı üst koldur. Üst kol parçası için ağ modeli oluşturulmuştur ve Şekil 8.22'de gösterilmiştir. Ağ modeli oluşturulurken 201064 düğüm noktası ve 133315 element kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot

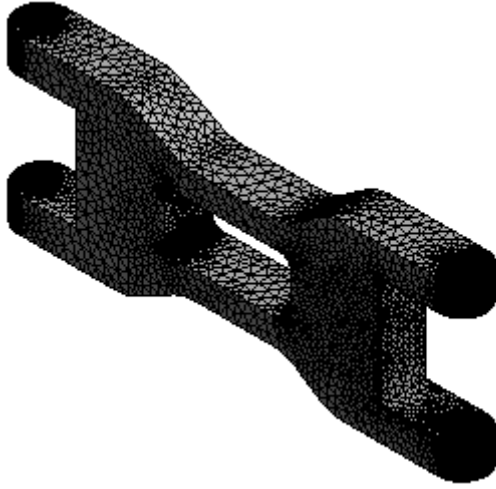
seçilmiştir. Üst kol parçası ağ modeli, element değerlendirme kriterlerine göre incelenmiştir. Ana iniş takımı üst kol parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,75049'dur. Aspect Ratio değerlendirme kriterine göre ise 2,191 değerindedir. Üst kol parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Oluşturulan ağ modelinin element boyutu için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsama çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 8.21'de görüldüğü gibi eğri 4 mm ve 6 mm arasında paralel olmuştur. Üçüncü ve dördüncü deneme arasında yüzde 0,032 gerilme farkı oluşmuştur ve mesh boyutu 4 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 8.21'de ve eleman boyutları Çizelge 8.5'te verilmiştir.

Çizelge 8.5. Ana iniş üst kol parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	8	110143	38,534	0,012564
2.	6	115869	37,73	0,012567
3.	5	123167	37,745	0,012569
4.	4	133315	37,733	0,01257



Şekil 8.21. Ana iniş takımı üst kol parçası için mesh yakınsama grafiği

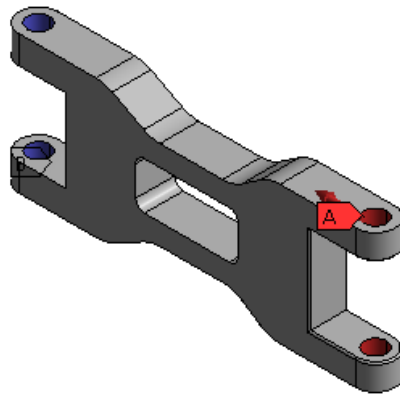


Şekil 8.22. Ağ modeli oluşturulan üst kol parçası

Üst kol parçasına ağ modeli oluşturulduktan sonra sınır şartları verilmiştir ve Şekil 8.23'te gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet bölgesini, kırmızı renkli kısım yük uygulanacak bölgeyi ifade edilmektedir. Üst kol parçası mavi renkli bölgeden alt kol parçasına montaj olmaktadır.

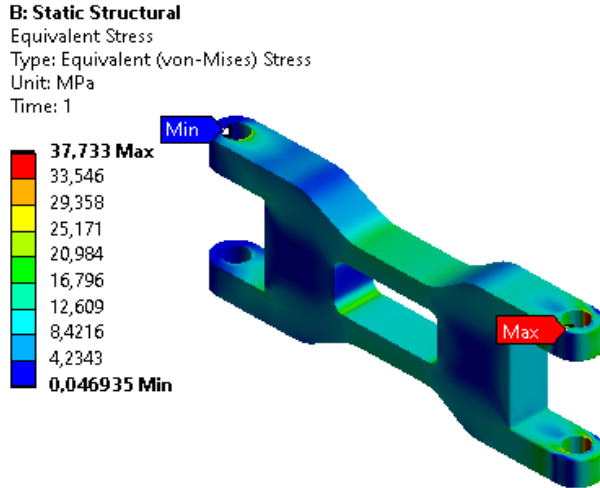
B: Static Structural
Fixed Support
Time: 1, s

A Force: 7049,7 N
B Fixed Support



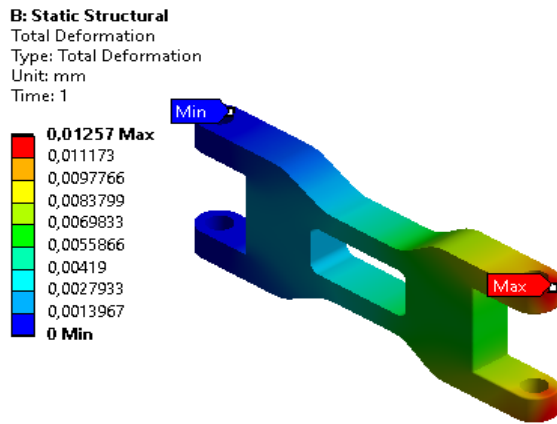
Şekil 8.23. Sınır şartları verilen üst kol parçası

Sınır şartları verilen üst kol parçasına 7049,7 Newton'luk yük uygulanmıştır. Uygulanan yük sonucu oluşan maksimum gerilme değeri 37,733 MPa olmuştur ve Şekil 8.24'te gösterilmiştir.



Şekil 8.24. Üst kol parçasında oluşan maksimum gerilme dağılımı

Üst kol parçası için paslanmaz çelik S13800 malzemesi kullanılmıştır ve malzemenin akma dayanımı 1415 MPa'dır. Parçanın emniyet katsayısı 37,5 çıkmaktadır. Bu değerlere göre parça emniyetli sayılmaktadır. Parçada oluşan toplam deformasyon değeri 0,01257 mm'dir ve Şekil 8.25'te gösterilmiştir.



Şekil 8.25. Üst kol parçasında oluşan toplam deformasyon

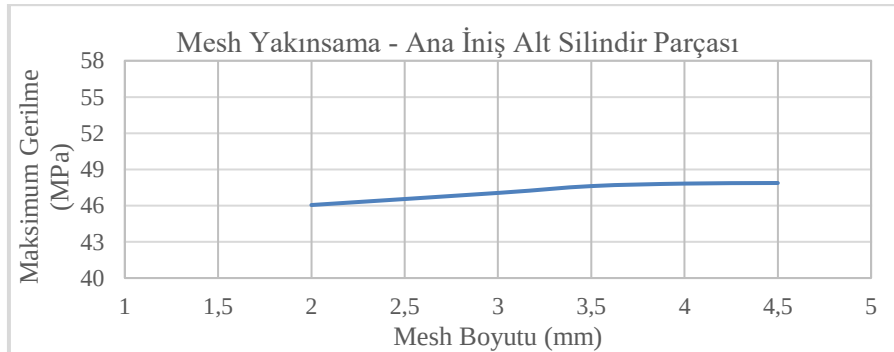
8.1.6. Ana iniş takımı alt silindir için yapısal analiz sonuçları

Tasarımı yapılan alt silindir parçasının analizlerini gerçekleştirebilmek için öncelikle ağ modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan ağ modeli Şekil 8.27'de gösterilmiştir. Ağ modeli için 19959 düğüm noktası ve 9512 element kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot seçilmiştir. Alt silindir parçasının ağ modeli, element değerlendirme kriterlerine göre incelenmiştir. Ana iniş takımı alt silindir parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,7644'tür. Aspect Ratio değerlendirme kriterine göre

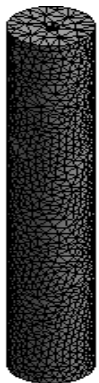
ise 2,0947 değerindedir. Alt silindir parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Oluşturulan ağ modeli element boyutu için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsama çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 8.26'da görüldüğü gibi eğri 3,5 mm ve 4,5 mm arasında paralel olmuştur. Dördüncü ve beşinci deneme arasında yüzde 0,1 gerilme farkı oluşmuştur ve mesh boyutu 4,5 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 8.26'da ve eleman boyutları Çizelge 8.6'da verilmiştir.

Çizelge 8.6. Ana iniş alt silindir parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	2	44161	46,05	0,01138
2.	3	19851	47,052	0,011412
3.	3,5	14662	47,618	0,01145
4.	4	11568	47,825	0,011503
5.	4,5	9512	47,875	0,011482

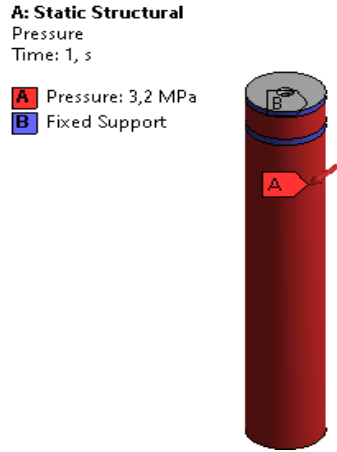


Şekil 8.26. Ana iniş takımı alt silindir parçası için mesh yakınsama grafiği



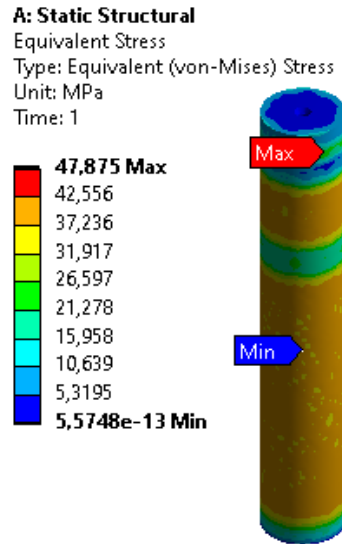
Şekil 8.27. Ağ modeli oluşturulan alt silindir parçası

Alt silindir parçasına ağ modeli oluşturulduktan sonra sınır şartları verilmiştir ve Şekil 8.28’de gösterilmiştir. Mavi renkli kısım mesnet bölgesini, kırmızı renkli kısım yük uygulanacak bölgeyi ifade etmektedir.



Şekil 8.28. Sınır şartları verilen alt silindir parçası

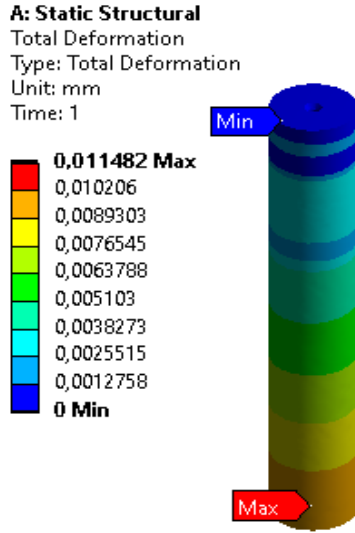
Alt silindir parçasına 7049,73 Newton’luk yük uygulanmıştır. Yük uygulanan alt silindir parçasında 47,485 MPa değerinde maksimum gerilme oluşmuştur ve Şekil 8.29’da gösterilmiştir.



Şekil 8.29. Alt silindir parçasında oluşan maksimum gerilme dağılımı

Alt silindir parçasının malzemesi paslanmaz çelik S13800 seçilmiştir. Malzemenin akma dayanımı 1415 MPa’dır. Bu değerlere göre alt silindir parçasının emniyet katsayısı 29,55

çıkmaktadır. Parça emniyetli kabul edilmektedir. Parça emniyetli kabul edilmektedir. Oluşan maksimum deformasyon değeri 0,011482 mm'dir ve Şekil 8.30'da gösterilmiştir.



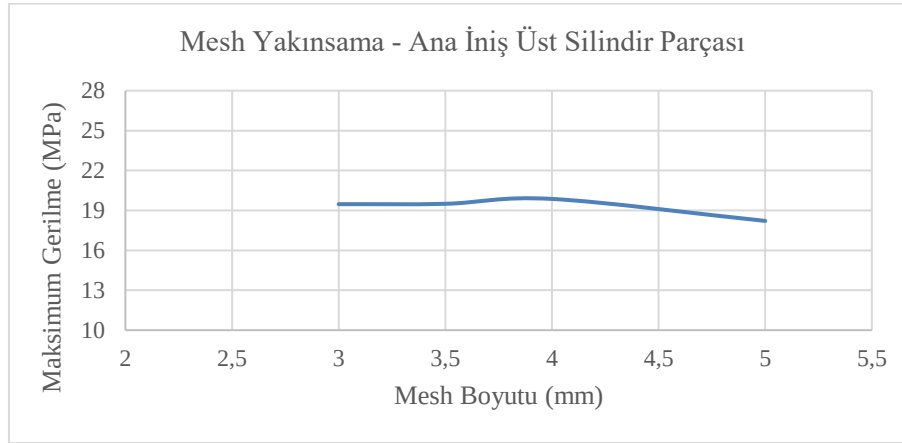
Şekil 8.30. Alt silindir parçasında oluşan toplam deformasyon

8.1.7. Ana iniş takımı üst silindir için yapısal analiz sonuçları

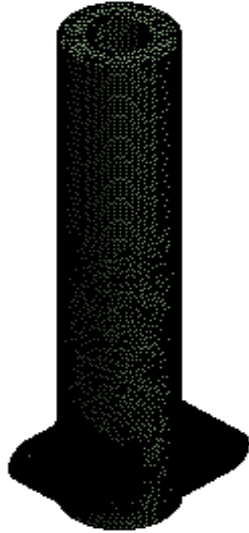
Tasarımı yapılan üst silindir parçasının analizlerini gerçekleştirebilmek için öncelikle ağ modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan ağ modeli Şekil 8.32'de gösterilmiştir. Ağ modeli için 356653 düğüm noktası ve 239132 element kullanılmıştır. Düğüm noktası modeli için otomatik metot seçilmiştir. Üst silindir parçası ağ modeli, element değerlendirme kriterlerine göre incelenmiştir. Ana iniş takımı üst silindir parçasının element kalitesi değerlendirme kriterine göre ortalama mesh kalitesi 0,83643'tür. Aspect Ratio değerlendirme kriterine göre ise 1,8464 değerindedir. Üst silindir parçasının mesh element kalitesinin bu değerlere göre iyi olduğu görülmektedir. Ağ modeli oluşturulan üst silindir parçasının element boyutu için mesh yakınsama çalışması yapılmıştır. Mesh yakınsama çalışmasında oluşan eğri paralel olmaya başladığında mesh boyutu için optimum sonuç elde edilmiş olur. Şekil 8.31'de görüldüğü gibi eğri 3 mm ve 4 mm arasında paralel olmuştur. Üçüncü ve dördüncü deneme arasında 0,144 gerilme farkı oluşmuştur ve mesh boyutu 3,5 mm olarak seçilmiştir. Mesh eleman boyutu için yapılan yakınsama grafiği Şekil 8.31'de ve eleman boyutları Çizelge 8.7'de verilmiştir.

Çizelge 8.7. Ana iniş üst silindir parçası için yakınsama verileri

Deneme	Mesh Boyutu (mm)	Element	Maksimum Gerilme (MPa)	Toplam Deformasyon (mm)
1.	5	177176	18,213	0,0038616
2.	4	206555	19,865	0,0038613
3.	3,5	239132	19,499	0,0038617
4.	3	286105	19,471	0,0038614
5.	5	177176	18,213	0,0038616

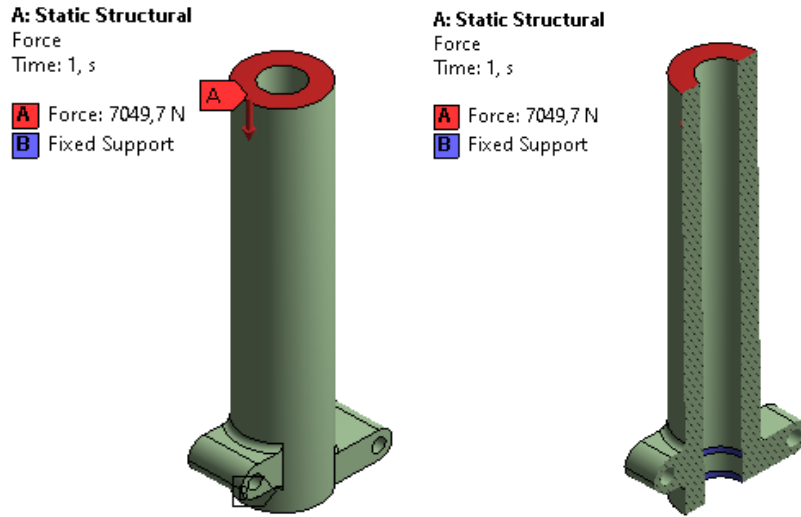


Şekil 8.31. Ana iniş takımı üst silindir parçası için mesh yakınsama grafiği



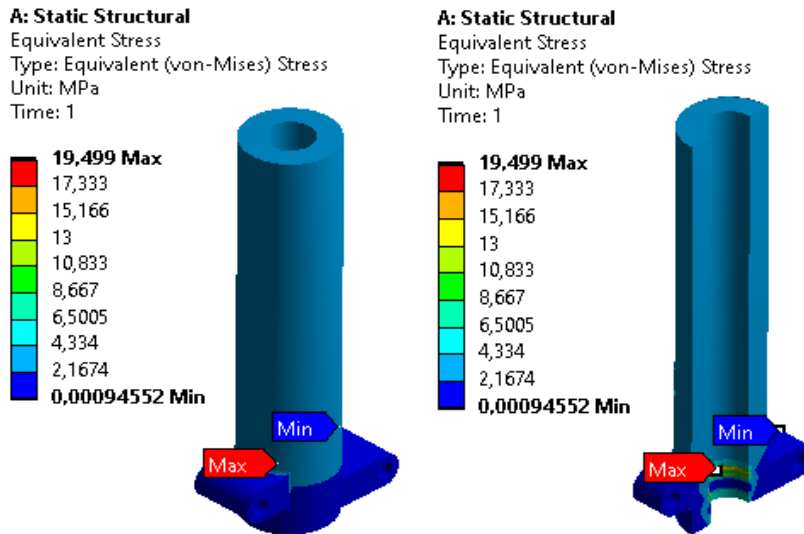
Şekil 8.32. Ağ modeli oluşturulan üst silindir parçası

Üst silindir parçasına ağ modeli oluşturulduktan sonra sınır şartları verilmiştir ve Şekil 8.33'te gösterilmiştir. Mavi renkli kısım (B) mesnet bölgesini ve kırmızı renkli kısım yük (A) uygulanacak bölgeyi ifade etmektedir.



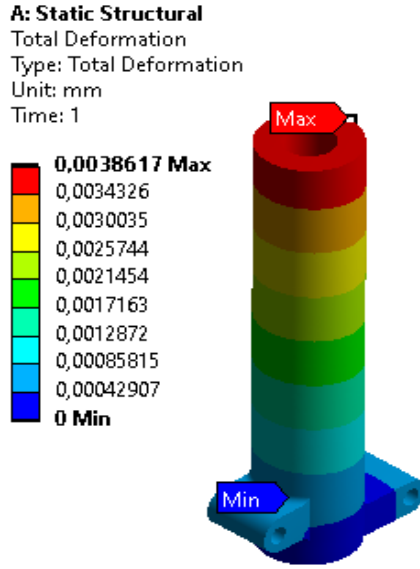
Şekil 8.33. Sınır şartları verilen üst silindir parçası

Alt silindir parçasına 7049,73 Newton'luk yük uygulanmıştır. Yük uygulanan üst silindir parçasında 19,499 MPa değerinde maksimum gerilme oluşmuştur ve Şekil 8.34'te gösterilmiştir.



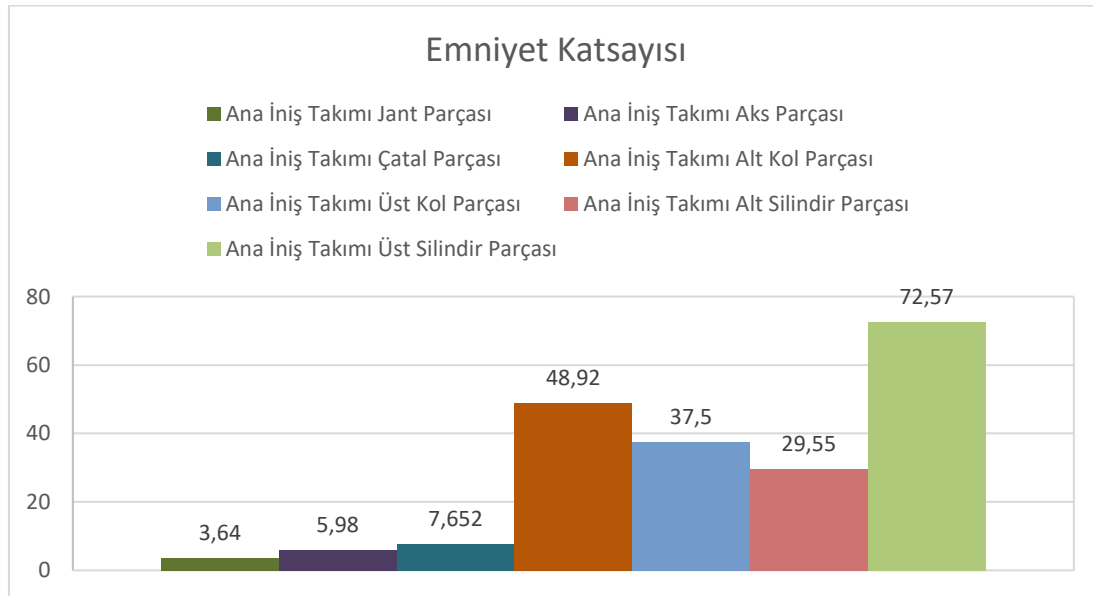
Şekil 8.34. Üst silindir parçasında oluşan maksimum gerilme dağılımı

Üst silindir parçasının malzemesi paslanmaz çelik S13800 seçilmiştir. Malzemenin akma dayanımı 1415 MPa'dır. Bu değerlere göre üst silindir parçasının emniyet katsayısı 72,57 çıkmaktadır. Parça emniyetli kabul edilmektedir. Oluşan maksimum deformasyon değeri 0,0038617 mm'dir ve Şekil 8.35'te gösterilmiştir.



Şekil 8.35. Üst silindir parçasında oluşan toplam deformasyon

Ana iniş takımı için tasarımı yapılan alt parçaların emniyet katsayıları Şekil 8.36’da gösterilmiştir.



Şekil 8.36. Ana iniş takımı alt parçalarının emniyet katsayısı değerleri

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında insansız hava araçları için kullanılan iniş takımı tipleri tanıtılmıştır. Daha sonra iniş takımı tipine karar verilerek tasarımlar yapılmıştır. 1600 kg kalkış yüküne sahip olan bir hava aracı için iniş takımı tasarım gerçekleştirilmiştir. Literatür araştırmaları sonucu bulunan hesaplamalara göre iniş takımını oluşturacak alt elemanların tasarımı için gerekli parametreler bulunmuştur. Bu hesaplamalara öncelikle iniş takımı düzeneğine karar verilerek başlanmıştır. Daha sonra iniş takımının sabit veya geri çekilebilir olup olmadığına karar verilmiştir. İniş takımı yüksekliği, ana iniş takımı ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe, her bir iniş takımına gelecek yük, lastik ve jant seçimleri yapılmıştır. Lastik ve jant ölçüleri Good Year havacılık uygulamaları kataloğundan çekilmiştir. Katalog verilerine göre lastik ve jant tasarımları gerçekleştirilmiştir. Jant parçasının yarıçap ölçüsüne göre ise diğer alt elemanlar (aks, çatal, alt ve üst silindir, alt ve üst kol) tasarlanmıştır. İniş takımına ait tüm parçaların tasarımı SolidWorks programında gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan parçaların gerçek çevre koşullarında nasıl çalışacağını görebilmek için analizler gerçekleştirilmiştir. Gerekli yük ve sınır şartları verilerek gerçekleştirilecek analizler için ANSYS Workbench programı kullanılmıştır. Çalışmaya ait veriler aşağıda belirtilmiştir.

- Literatür araştırmalarına göre iniş takımları 80 kg altında olan insansız hava araçları için tasarlanmıştır. Büyük boyutta insansız hava araçları için yapılan çalışmaların eksikliği hissedildiği için böyle bir çalışmaya ihtiyaç duyulmuştur.
- Literatürde yapılan diğer çalışmalarda farklı ağırlıklara sahip insansız hava araçları için aynı hesaplamalar kullanılmıştır. Bu durum tez çalışmasının doğruluğunu kanıtlamıştır.
- Burun iniş takımı için kullanılan dört kollu mekanizma ve yaylı amortisör, oleo-pnömatik amortisöre göre daha düşük sapma değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar çalışmanın beklentilerini karşılamıştır.
- Mesh yakınsama çalışması ile mesh element ve düğüm noktaları sayısı artmıştır. Yakınsama grafiğinde eğimin paralel olmaya başladığı değer element boyutu için uygun görülmüştür.
- Mesh yakınsaması yapılırken element sayısı ve düğüm noktalarının artması ile gerilme değerinin arttığı görülmüştür. Deformasyon değerlerinde çok büyük değişiklikler olmamıştır.

- Parçaların et kalınlıkları ve genel ağırlıkları arttığında maksimum gerilme değerlerinin azaldığı görülmüştür.
- Burun ve ana iniş takımı alt bileşenler için gerçekleştirilen tasarım ve analizler sonucunda maksimum akma gerilmesi değerini aşmadıkları ve emniyetli oldukları görülmüştür.

Bu çalışmanın devamı niteliğinde yapılabilecek çalışmalar aşağıdaki gibidir:

- Gerilme değeri yüksek çıkan parçalar için optimizasyon çalışmaları yapılabilir.
- Parçanın kırılmasına sebep olan etkenlerden biri olan yorulma için analizler gerçekleştirilebilir.
- İniş takımlarında en çok alüminyum malzemeler kullanıldığı için, malzeme optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Sadraey, M. H. (2012). *Aircraft Design: A Systems Engineering Approach*, New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd., 479-543
2. İnternet: Vikipedi (Aralık, 2020). *Üç tekerli iniş takımı*, Web: https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%9C%C3%A7_tekerli_ini%C5%9F_tak%C4%B1m%C4%B1 Erişim Tarihi: 08.05.2022.
3. Currey, N. S. (1988). *Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practices*, Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 25-173.
4. Raymer, D. P. (1992). *Aircraft Design: A Conceptual Approach* (2. Baskı). Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 229-252.
5. İnternet: Good Year (Aralık, 2021). *Good year aviation tires*, Web: <https://www.goodyearaviation.com> Erişim Tarihi: 26.11.2021.
6. İnternet: Cutler, C. (Mayıs, 2016). *4 Tip İniş Takımı Desteği Nasıl Çalışır?*, Web: <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/systems/how-the-4-types-of-landing-gear-struts-work/> Erişim Tarihi: 06.11.2021.
7. İnternet: Turgut, İ. (t.y.). *Şok emici ve şok emmeyen iniş takımları*, Web: <https://sites.google.com/site/ucakinistakimlariladingears/endangeredspecies/%C5%9Fok-emici-ve-%C5%9Fok-emmeyen-ini%C5%9F-takimlari> Erişim Tarihi: 28.11.2021.
8. Türkmen, H. (2020). *Hafif Saldırı Uçağı için Burun İniş Takımı Yapısal Tasarımı ve Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 15-16
9. Conway, H. G. (1958). *Landing Gear Design*, London: Chapman & Hall Ltd, 28-55.
10. İnternet: Cansan Alüminyum (t.y.). *Alüminyum alaşımları*, Web: <https://www.cansan.com.tr/TR/About/Aluminium/Alasimlari/63/> Erişim Tarihi: 11.05.2022.
11. İnternet: MatWeb Material Property Data (t.y.). *T S10000 serisi paslanmaz çelik*, Web: <https://www.matweb.com/search/PropertySearch.aspx> Erişim Tarihi: 24.11.2021.
12. İnternet: MatWeb Material Property Data (t.y.). *7000 Serisi alüminyum alaşım*, Web: <https://www.matweb.com/search/PropertySearch.aspx> Erişim Tarihi: 24.11.2021.
13. Burr A.H. and Cheatham J.B. (1995), *Mechanical Analysis and Design*. (2. Baskı), New Jersey, United States: Prentice Hall,
14. İnternet: Birçelik (t.y.). *Paslanmaz Çelik*, Web: <https://bircelik.com/tr/kategori/ph-138mo#:~:text=Kulan%C4%B1m%20alan,%C4%B1%20limitli%20olan%20bu,5%20PH%20malzemelerden%20daha%20dayan%C4%B1kl%C4%B1d%C4%B1r> Erişim Tarihi: 28.11.2021.



GAZİ GELECEKTİR..