

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**STANDART BİR SOMUN DİŞİ İLE ÜZERİNE YİV AÇILMIŞ BİR
SOMUN DİŞİNİN YÜK ALTINDAKİ DAYANIMLARININ TEORİK
VE DENEYSEL YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Şakir AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon Programı

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Boğoçlu

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**STANDART BİR SOMUN DIŐI İLE ÜZERİNE YİV AÇILMIŞ BİR SOMUN
DIŐİNİN YÜK ALTINDAKİ DAYANIMLARININ TEORİK VE DENEYSEL
YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Şakir AYDIN tarafından hazırlanan tez çalışması 17/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Boğoçlu

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Boğoçlu, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Berna Bolat, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Serpil Kurt, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Boğoçlu'nun sorumluluğunda tarafımda hazırlanan "Standart Bir Somun Dişİ İle Üzerine Yiv Açılmış Bir Somun Dişinin Yük Altındaki Dayanımlarının Teorik Ve Deneysel Yöntemlerle Karşılaştırılması" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Şakir AYDIN

İmza

Aileme
ve
biricik eşime

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi esnasında benden hiçbir desteğini esirgemeyen, her zaman ulaşılabilir olan, her fırsatta cesaretlendiren ve engin bilgisiyle takıldığım her noktada beni ileriye taşıyan danışman hocam; Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Boğoçlu'ya, bu uzun süreçte bana katlanan ve moral desteğini esirgemeyen Sevgili Eşim Derya Aydın'a, çalışmalar esnasında teknik bilgisi ile yardımcı olan Cüneyt Oflaş'a, analizler konusunda destek veren Ergün Güngörler'e, test numunelerinin üretilmesini sağlayan Metin Öztürk'e, test işlemlerinin yürütülmesini sağlayan Himmet Emre Aktaş'a, çalışma hayatım esnasında işlerimi düzenlememde yardımcı olarak tezim için vakit ayırmamı sağlayan liderim Melih Cihan Yenigün'e, şirket içi süreçlerde takıldığım yerlerde desteğiyle işlerin akıcılığını sağlayan ve bu tezi destekleyen müdürüm Serdar Aksoy'a ve gerek yazılım kullanımı, gerekse test sürecindeki maddi desteği ile şirketim Tusaş Motor Sanayi'ne teşekkür ederim.

Şakir AYDIN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	7
KISALTMA LİSTESİ.....	8
ŞEKİL LİSTESİ.....	9
TABLO LİSTESİ.....	10
ÖZET.....	11
ABSTRACT.....	13
1 Giriş.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
1.3 Hipotez.....	2
2 Gaz Türbinli Motorlar.....	3
2.1 Gaz Türbinli Motorlar ve Tarihçesi.....	3
2.2 Gaz Türbinli Motor Çeşitleri.....	5
2.2.1 Turbofan Motoru.....	5
2.2.2 Turbojet Motoru.....	6
2.2.3 Turboprop Motoru.....	7
2.2.4 Turboşaft Motoru.....	9
2.3 Bir Turboşaft Motorunun Bölümleri.....	10
3 Turboşaft Motorlarda Şaftlar.....	13
3.1 Turboşaft Motorlarda Şaft Çeşitleri.....	13
3.2 Şaft Üretim Yöntemleri.....	14
3.2.1 Tornalama Yöntemi.....	14

3.2.2	Bottle Boring Yöntemi.....	15
3.2.3	Flow Forming (Sıvama) Yöntemi.....	15
3.3	Örnek Bir Gergi Şaftı Parça Dizilimi.....	16
3.4	Şaft Kilitleme Mekanizması.....	18
4	Tasarım Problemi.....	20
4.1	Tasarım Probleminin Tanımı ve Çözümü.....	20
4.2	Yivli Somun Dışının Görünüşü.....	21
4.3	Yivli Somun Dışının İşlenmesi ve Standartları.....	22
5	Testler.....	23
5.1	Test Edilecek Parçaların Geometrileri.....	23
5.2	Test Prosedürü.....	24
5.3	Test Malzemeleri.....	26
5.4	Test Sonuçları Değerlendirmesi.....	27
6	Analiz Doğrulama.....	28
6.1	Genel Açıklama.....	28
6.2	Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	28
6.3	Test Sonuçları.....	36
6.4	Teorik ve Deneysel Karşılaştırma.....	37
7	Yiv Geometrisinin Oluşturduğu Zayıflatmanın Çapa Göre Korelasyonu.....	38
7.1	Genel Açıklama.....	38
7.2	Test Sonuçları.....	39
7.3	Değişen Çap'a Göre Oluşan Zayıflamanın Test Verisine Dayalı Tablosu.....	43
8	Sonuç ve Öneriler.....	44
	Kaynakça.....	46
	Tezden Üretilmiş Yayınlar.....	48

SİMGE LİSTESİ

ν	Poisson Oranı
σ_y	Akma Gerilmesi
σ_u	Kopma Gerilmesi

KISALTMA LİSTESİ

ADK Aksesuar Dişli Kutusu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 Turbojet Motoru ile Uçan İlk Uçak. Heinkel He 178[1].....	4
Şekil 2. 2 Endüstriyel Gaz Türbini Teknolojisine Katkıda Bulunanların Kronolojik Sıralaması[2]	4
Şekil 2. 3 Bir Turbofan Motorunun Genel Yapısı[3]	6
Şekil 2. 4 Bir Turbojet Motorunun Genel Yapısı[4]	7
Şekil 2. 5 Çeşitli Gaz Türbini Motorlarda İtki Verimliliği Karşılaştırması[5].....	8
Şekil 2. 6 Bir Turboprop Motorunun Genel Yapısı[6].....	9
Şekil 2. 7 Bir Turboşaft Motorunun Genel Yapısı[7]	10
Şekil 2. 8 GE T700 Motorunun Kesiti[8]	11
Şekil 2. 9 Bir Turboşaft Motorunun Kesiti[8]	11
Şekil 3. 1 MTR390 Motorunun Kesiti[9]	14
Şekil 4. 1 Tasarım Çözümü	21
Şekil 4. 2 Yivli Somun Dışının Görünüşü.....	22
Şekil 5. 1 Test Prosedürünü Temsil Eden Bir Çizim	25
Şekil 5. 2 Testin Gerçekleştiği Hidrolik Pres	26
Şekil 6. 1 Malzeme Modeli	29
Şekil 6. 2 Analiz Edilecek Numune 3 boyutlu Modeli.....	29
Şekil 6. 3 Analiz Doğrulama Testi Numune Fotoğrafı.....	30
Şekil 6. 4 “Cyclic Symmetric” Model Tanımlama	31
Şekil 6. 5 Sonlu Elemanlar Modeli	32
Şekil 6. 6 Kontak Tanımlama Durumu	33
Şekil 6. 7 Sınır Şartlarının Tanımlanma Durumu	34
Şekil 6. 8 Analiz Gerilme Sonuçları	35
Şekil 6. 9 Analiz Gerinme Sonuçları	36
Şekil 7. 1 Örnek Test Numunesi Çifti.....	39
Şekil 7. 2 Çapa Bağlı Zayıflama Oranları	43

TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1 Parça İsimleri	12
Tablo 3. 1 Ön Yatak Yapısı Parça İsimleri.....	17
Tablo 5. 1 Test Edilecek Parçaların Geometrileri.....	23
Tablo 6. 1 Test ve Analizlerde Kırılmaya Uğratan Yükler	37
Tablo 7. 1 Yivsiz Geometri Bir Tur Diş İçin Kırma Yükü.....	40
Tablo 7. 2 Yivli Geometri Bir Tur Diş İçin Kırma Yükü	41
Tablo 7. 3 Test Edilmiş Parçaların Zayıflama Oranları	42

Standart Bir Somun Dişi İle Üzerine Yiv Açılmış Bir Somun Dişinin Yük Altındaki Dayanımlarının Teorik Ve Deneysel Yöntemlerle Karşılaştırılması

Şakir AYDIN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Boğoçlu

Havacılıkta kullanılan gaz türbinli motorlar 1939 yılından bu yana göklerde varlığını sürdürmektedir. Kullanım tarihi boyunca ağırlık hep bir tasarım kısıtı olarak kalmışken maliyet ilk zamanlarda çok önemli değilken motorların kullanımın yaygınlaşması ile daha zorlayıcı bir kısıt haline gelmiştir. Bu yüzden günümüzde halen en hafif motorlar tasarlanmaya çalışılırken bu hedef artık en ucuz şekilde yakalanmaya çalışılmaktadır.

Bu tez çalışmasında bir turboşaft motorunun gergi şaftı tasarımı esnasında karşılaşılan maliyet probleminin, hafiflik gereksinimi de göz önünde bulundurularak, tasarım değişikliği ile çözümü esnasında karşılaşılan geometrisinin yük altındaki dayanımının deneysel ve teorik olarak bulunması hedeflenmiştir. Tasarım çözümü esnasında karşılaşılan geometri, şaft üstüne açılmış standart bir somun dişinin üstüne ekstenel olarak yiv açılmasıdır.

Literatürde standart bir somun dişinin yük altındaki dayanımı üzerine birçok yayın bulunurken üzerine yiv açılmış somun dişinin yük altındaki dayanımı hakkında maalesef bir kaynak bulunamamıştır. Bunun sebebinin daha önce denenmemiş bir tasarım olduğu düşünülmektedir.

Uygulanacak tasarımın doğrulanması açısından tasarımı yansıtan testler yapılmış ve test sonuçları teorik yöntemler ile kıyaslanmıştır. Ayrıca şaft üzerindeki somun dişinin üstüne açılan yiv geometrisinin farklı şaft çaplarında farklı etkiye sahip olacağı düşünülerek 5 adet ayrı çapta oluşan etkinin incelenmesi için 5 çift yiv geometrisine sahip olan ve olmayan numune, dayanımlarının belirlenmesi amacıyla eksenel yük altında test edilmiştir. Numunelerin malzemesi havacılıkta ve şaftlarda sıklıkla kullanılan INCO 718 malzemesidir. Teorik yöntemlerde kullanılmak üzere malzemenin fiziksel özellikleri "MIL-HDBK-5H, MILITARY HANDBOOK: METALLIC MATERIALS AND ELEMENTS FOR AEROSPACE VEHICLE STRUCTURES" adlı yayından elde edilmiştir[17].

Bu çalışma esnasında iki adet sonuç elde edilmiştir. Bunlardan ilki; şaftın üzerindeki somun dişlerinin üzerine eksenel yönde yiv açıldığında şaftın üzerindeki somun dişlerinin yük altındaki dayanımının ne mertebe olduğunu görmektir. Yapılan teorik hesaplama ile testlerden elde sonuçlar karşılaştırılmış ve yapılan teorik hesaplamaların gerçeğe ne kadar yakınsadığı görülmüştür. İkincisi ise; farklı şaft çapı ölçülerinde şaftın üzerindeki somun dişlerinin üzerine yiv açılmış ve açılmamış olarak test edilerek açılan yiv kanallarının farklı şaft çaplarında ne kadarlık bir zayıflamaya sebep olduğu belirlenmiştir. Bu sayede çap değişkenine göre açılan yiv kanalı geometrisinden dolayı oluşan zayıflama oranının tablosu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Turboşaft, Şaft, Somun Dişi, Yiv

A Strength Comparison Of Thread and Threaded Spline Geometry Under Loading Condition by Experimental and Theoretical Studies

Şakir AYDIN

Mechanical Engineering Department

Master Degree Thesis

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Boğoçlu

The gas turbine engines used in aviation have existed in the sky from 1939. While weight has always been a design constraint throughout its history of use, it has become a more compelling constraint with the widespread use of engines, while the cost is not very important in the early days. That's why, while trying to design the lightest engines, this target is now tried to be caught in the cheapest way today.

In this thesis, it is aimed to find experimental and theoretical strength of the geometry, which is encountered during the design solution of the tie shaft due to cost concern. The solution was made by a change in design of tie shaft by taking into consideration the need of light weight of the turboshaft engine. The geometry encountered during the design solution is a threaded spline. It is a combination of spline and thread geometry by opening spline grooves on threads, axially.

In literature there are many publications about strength of the threads of standard nut under loading, while unfortunately no source has been found on the threaded spline design. It is thought that this was due to an untried design.

In order to verify the design to be applied, tests which reflect the design were made and the test results were compared with the theoretical methods. In addition, in order to examine the effect of 5 different diameters on the threaded spline, it has been tested under axial load with these threaded spline and standart thread couples until the parts get broken in order to determine their strength. The material of the samples is INCO 718, which is frequently used in aviation and shafts. The materials physical properties are taken from "MIL-HDBK-5H, MILITARY HANDBOOK: METALLIC MATERIALS AND ELEMENTS FOR AEROSPACE VEHICLE STRUCTURES" to use theoretical studies.[17].

Two results were obtained during this study. The first of these; When the groove of spline in the axial direction is opened on the threads of the shaft, it is to see how much strength reduction of the threads on the shaft which is under load. The results obtained from the tests are compared with the theoretical calculation and it is seen that how much convergence obtained from the theoretical calculation and experiments. The second is; It was determined the threaded spline effect on standart thread on different shaft diameters by testing the same size shaft couples which have spline grooves and not. 5 different diameter shaft couples were tested until breaking the theads of the shafts. In this way, the table of the weakining rate due to the groove channels of spline geometry on threads according to the diameter variable is obtained.

Key Words: Turboshaft, Tie Shaft, Thread, Spline, Groove

1.1 Literatür Özeti

Literatürde bu tezde de çalışılacak olan; üzerine yiv açılmış bir dişli uygulamasına rastlanılamamıştır. Bu sebeple bu çalışmada bir test ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Literatürde dişli analizleri ve testleri ile ilgili sayısız kaynak bulunabilir. Yiv açılmış dişlerle ilgili olan testlerden bir analiz doğrulama çalışması yapılacak olup bu konuda direk olarak bir kaynak yoktur fakat internette bulunan 18 numaralı referans ile belirtilen adresteki kaynak yiv kanalsız cıvata somun analizleri için açıklayıcı bir kaynak olarak düşünülebilir[18]. Keza el hesapları ile ilgili literatürde birçok kaynak bulunmaktadır ama yiv kanallı somun dişinin el hesabına rastlanılamamıştır. Standart bir somun dişinin el hesapları ile ilgili Shigley'nin kitabının 8. bölümü [19] iyi ve sade bir referans iken Amerika merkezli "Savunma Teknik Bilgi Merkezi'nin" "Cıvata Dişlerinde Gerilme Konsantrasyonu" adlı çalışması[20] daha derin, kapsamlı ve açıklayıcı bir referans olarak kabul edilebilir. Savunma Teknik Bilgi Merkezi'nin çalışmasında temel olarak "heywood" yaklaşımı kullanılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında bir turboşaft motorunun gergi şaftı tasarımı esnasında karşılaşılan maliyet probleminin, hafiflik gereksinimi de göz önünde bulundurularak, tasarım değişikliği ile çözümü esnasında karşılaşılan geometrisinin yük altındaki dayanımının deneysel ve teorik olarak bulunması hedeflenmiştir. Tasarım çözümü esnasında karşılaşılan geometri, şaft üstüne açılmış standart bir somun dişinin üstüne aksel olarak yiv açılmasıdır.

Çalışmanın sonucunda iki adet çıktı amaçlanmaktadır. Birincisi 5 adet tamamen aynı ölçülerde yapılacak test ile belirli bir şaft - somun geometrisi ve malzemesi için bir analiz test doğrulaması sağlamaktır. Bu sayede ileride benzer bir durumlar için test

yapmak durumunda kalınmayacaktır. İkincisi 5 adet farklı çaplardaki, somun dişi üzerine yiv açılmış ve açılmamış olan çiftler için test yaparak 5 farklı çap değesinde yiv 'in somun dişini ne kadar zayıflattığını bulmak ve çap değışkenine göre bir zayıflatma katsayısı tablosu oluşturmaktır. Bu sayede oluşturulan çapa bağlı zayıflama katsayısı tablosu kullanılarak ilerde farklı çaplar için yivli geometri kullanmak gerekirse ne kadar zayıflama meydana geleceği tahmin edilebilecek ve aynı yükleme durumunu taşımak için diş sayısının ne kadar artması gerektiği bulunabilecektir.

1.3 Hipotez

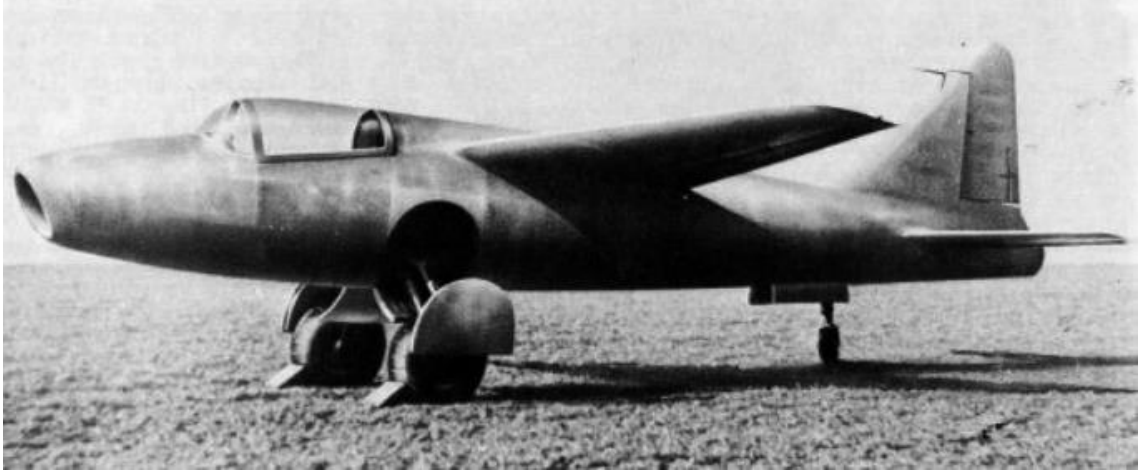
Bir şaft parçası üstünde üzerinde yiv kanalları bulunan bir somun dişinin, üzerinde yiv kanalı bulunmayan normal somun dişine göre daha zayıf olması beklenmektedir. Çap arttıkça hem yivli hem de yivsiz dişlerde taşınan yükün taşıyıcı alanın artmasından dolayı artması beklenmektedir. Ayrıca zayıflama miktarlarının da farklı çaplarda farklı oranlarda olması beklenir. Yivli ve yivli olmayan geometriler test edilerek oluşan zayıflamanın miktarı malzemelerin kırıldığı yükler karşılaştırılarak elde edilecektir.

2.1 Gaz Türbinli Motorlar ve Tarihçesi

Gaz türbinli motorlar bir içten yanmalı motor çeşididir. Güç üretimi, ulaşım ve diğer alanlarda geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Enerji santralleri, tanklar, gemiler, uçaklar ve helikopterler bu alanlardan bazılarıdır.

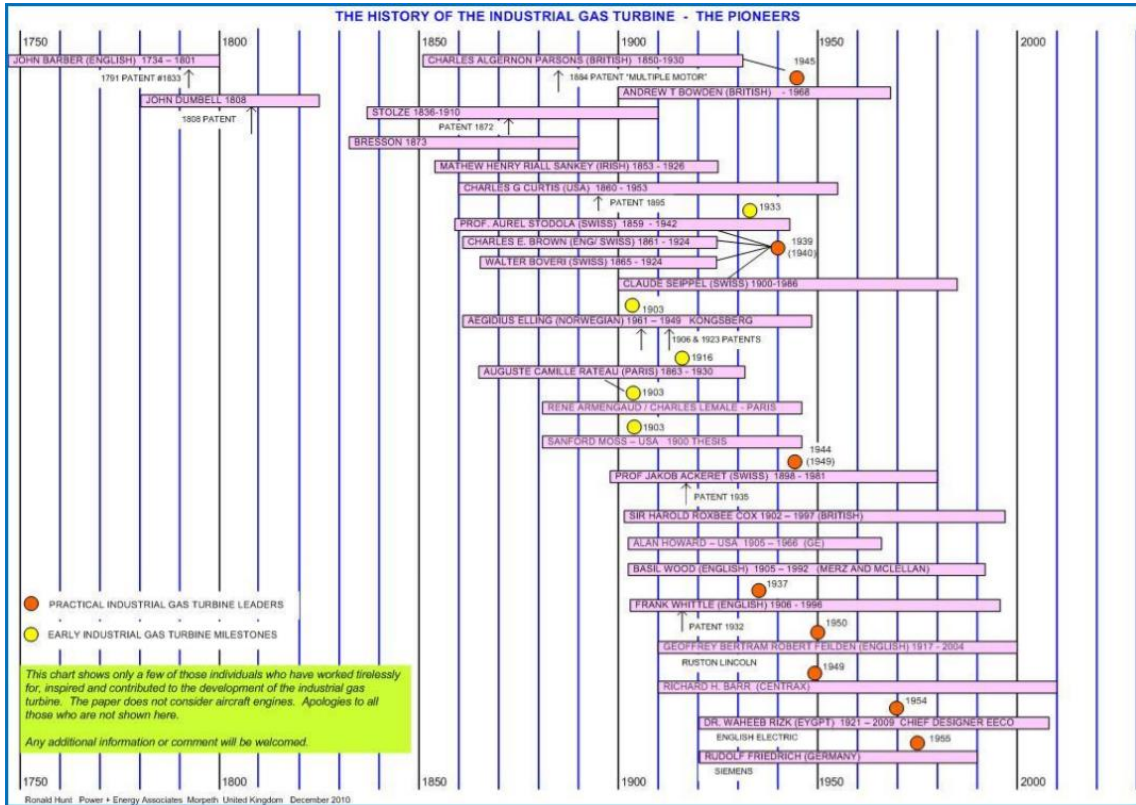
Alık kısmından alınan hava kompresör bölümünde basınçlandırılır. Yanma odası kısmında yakıt ile karıştırılarak yakılır. Bu bölgede enerji kazanan hava yakıt karışımının enerjisi yanma odasının hemen arkasında bulunan türbinler tarafından mekanik enerjiye dönüştürülür. Kimi gaz türbinli motorlarda bu enerji daha çok fanı döndürmek için kullanılırken, kimisinde ise direk itki olarak kullanılır. Bu farklılık motorun kullanım ihtiyacına göre şekillenir ve ilerleyen bölümlerde bu motor çeşitlerinden bahsedilecektir.

Gaz türbinin icadının kimin tarafından yapıldığı halen bir tartışma konusudur. 1791 yılında İngiltereli John Barber tarafından ilk gaz türbini patenti alınmıştır. 19. yüzyılda birçok uygulama için çeşitli gaz türbinleri geliştirilmiştir. 1939 yılında dünyanın ilk endüstriyel gaz türbini Profesör Doktor A. Stodola tarafından İsviçre'de test edilmiştir. Yine 1939 yılında bir turbojet motoru ile dünyanın ilk uçuşu gerçekleştirilmiştir. Bu uçak Şekil 2.1'de görülebilir. Tüm bunlara karşın, 1940 yılında Ulusal Bilim Akademisi Gaz Türbini Komitesi, hâlihazırdaki durumda gaz türbinli motorların uçaklar için ağırlıklarından dolayı uygun olmadığını iddia etmiştir.[1]



Şekil 2. 1 Turbojet Motoru ile Uçan İlk Uçak. Heinkel He 178[1]

Aşağıdaki şekilde endüstriyel gaz türbini teknolojisine katkıda bulunanların kronolojik sıralaması bulunabilir. [2]



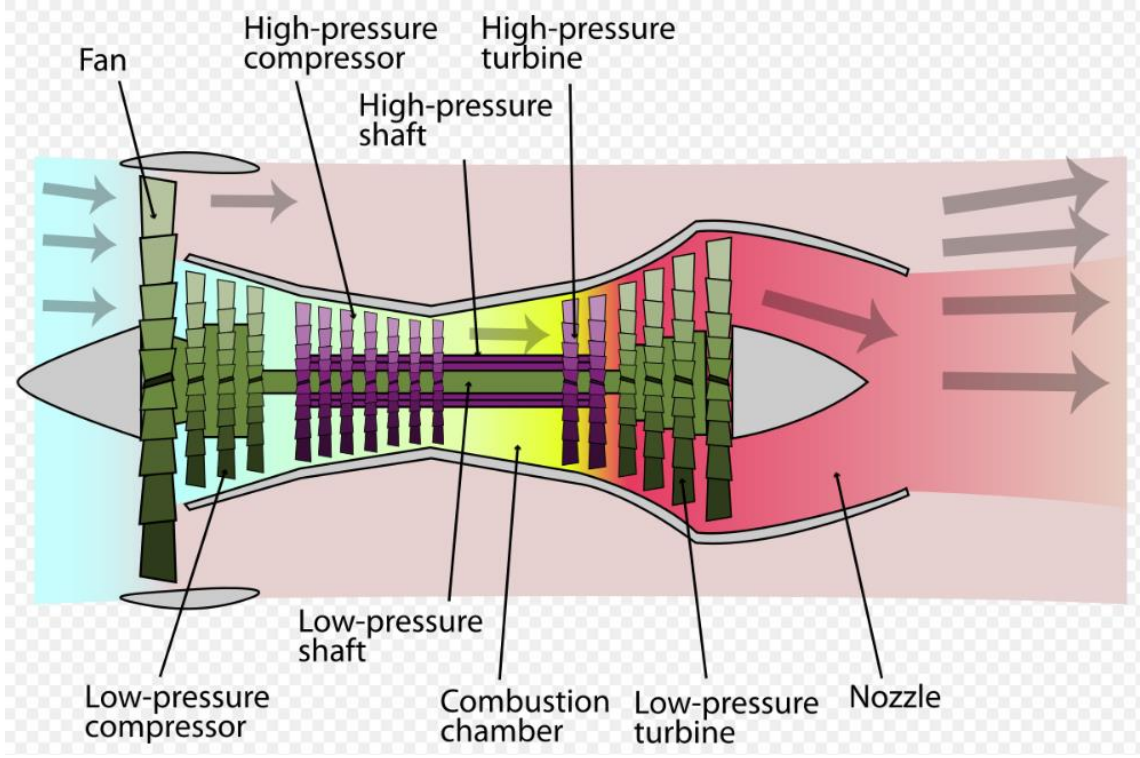
Şekil 2. 2 Endüstriyel Gaz Türbini Teknolojisine Katkıda Bulunanların Kronolojik Sıralaması[2]

2.2 Gaz Türbinli Motor Çeşitleri

Gaz türbinli motorlar kullanım amacına göre farklı şekillerde tasarlanmışlardır. Eğer elde edilen güç bir shaft aracılığı ile motorun dışına verilecekse buna Turboşaft motoru, eğer elde edilen güç ile bir fan çevrilmek isteniyorsa buna Turbofan motoru, eğer elde edilen güç ile bir pervane çevrilmek isteniyorsa buna Turboprop motoru, eğer elde edilen güç ile motorun arka kısmından direk olarak bir itki alınmak isteniyorsa buna da Turbojet motoru denmektedir.

2.2.1 Turbofan Motoru

Turbofan motorunun temel mantığı az yakıtla çok mesafe kat etmektir. Bu yüzden günümüzde ticari hava yolları uçaklarının neredeyse hepsinde turbofan motoru kullanılır. Diğer motorlarla kıyaslandığında itki gücü olarak ortalama bir güç sağlarken yakıt verimliliği konusunda en üstün motorlar denilebilir. Turbofan motorunun ön kısmında büyük bir fan bulunur. Bu fan esas itki gücünü oluşturur. Motor çekirdeğinde yakılan yakıt - hava karışımı önce kompresör için dönme kuvveti sağlar, sonra da kalan enerji fanı döndürmeye harcanır. Bu motorlarda baypas oranının yüksekliği bu verimi sağlar. Baypas oranı motorun alık kısmından giren havanın ne kadarının motor çekirdeğine gönderilip yakıldığı ile ilgilidir. Kalan hava fan tarafından itki oluşturmak için kullanılır. Bir turbofan motorunun genel yapısı Şekil 2.3'de görülebilir.



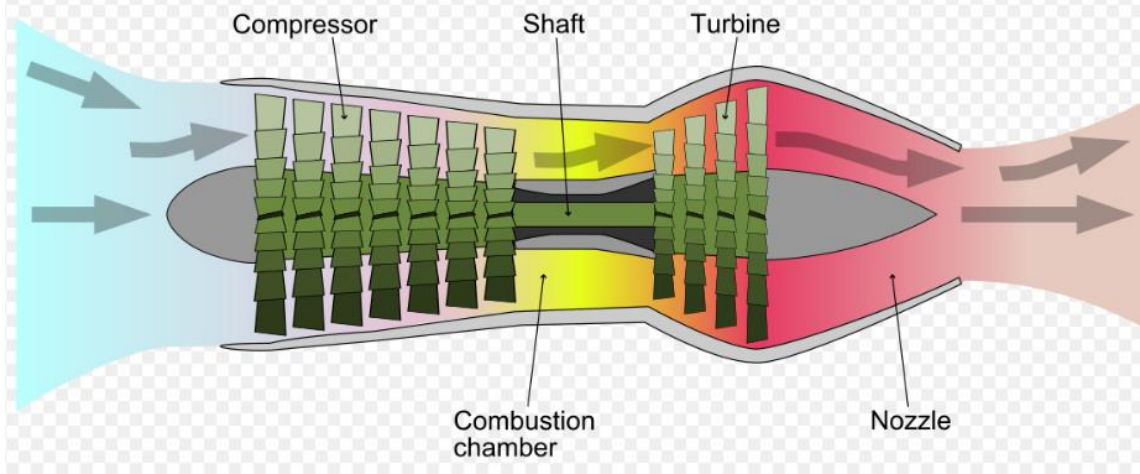
Şekil 2.3 Bir Turbofan Motorunun Genel Yapısı[3]

Üstteki şekli önden arkaya anlatmak gerekirse kısaca şöyle tanımlanabilir. En önde bulunan yeşil büyük parça fanıdır. Arkasındaki küçük yeşil parça alçak basınçlı kompresör bölümüdür. Arkasındaki mor parça yüksek basınçlı kompresör bölümüdür. Arkasındaki sarı bölge yanma odasıdır. Onun arkasındaki mor parça yüksek basınç türbinidir. Bu parçadan elde edilen güç yüksek basınç kompresörünü döndürmek için kullanılır. Ve en arkadaki yeşil parça alçak basınç türbinidir ve buradan elde edilen güç de alçak basınç kompresörünü ve fanı döndürmek için kullanılır.

2.2.2 Turbojet Motoru

Turbojet motorunun temel tasarım mantığı çok fazla itki gücü üretmektir. Bu yüzden günümüzde savaş uçaklarının neredeyse hepsinde turbojet motoru kullanılır. Diğer motorlarla kıyaslandığında itki gücü ve manevra kabiliyeti sağlama açısından ilk sırada yer alırken yakıt verimliliği konusunda en zayıf motorlardır denilebilir. Ama bu motorlardan beklenen yakıt verimi değil güçtür o yüzden bu durum bir problem teşkil etmez. Turbojet motorunun kompresör kısmı diğer

motorlara göre daha uzundur. Burada görülen basınçlar diğer motorlara göre daha yüksektir. Hava alığından alınana havanın tamamı motorun çekirdeğine gönderilir. Motor çekirdeğinde yakılan yakıt - hava karışımından çıkan enerjinin küçük bir kısmı kompresör için dönme kuvveti sağlar, sonra da kalan enerji egzoz kısmından dışarı atılırken yüksek süratle dışarı çıkan hava büyük bir itki oluşturulur. Bu motorlarda giren hava ile çıkan hava arasındaki hız farkı bu yüksek gücü sağlar. Bir turbojet motorunun genel yapısını Şekil 2.4'de görebilirsiniz.

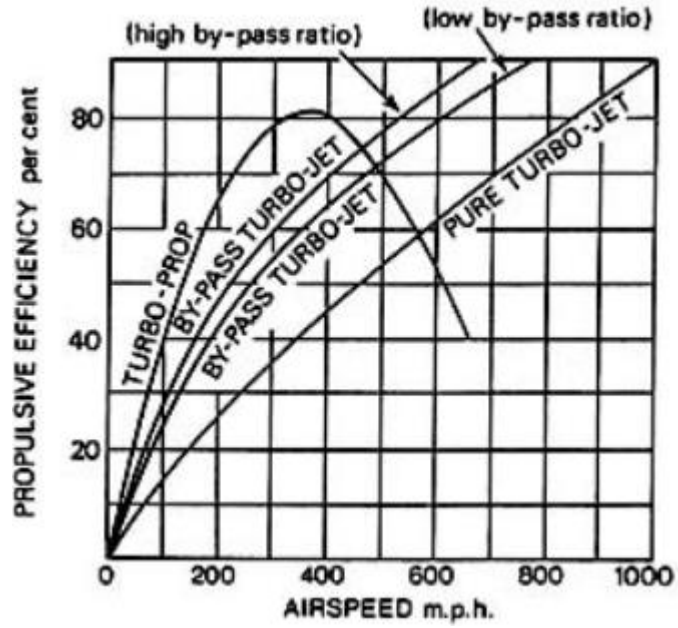


Şekil 2. 4 Bir Turbojet Motorunun Genel Yapısı[4]

Üstteki şekli önden arkaya anlatmak gerekirse kısaca şöyle tanımlanabilir. En önde bulunan yeşil uzun parça kompresördür. Arkasındaki sarı bölge yanma odasıdır. Onun arkasındaki yeşil parça türbindir. Bu parçadan elde edilen güç kompresörü döndürmek için kullanılır. Ve en arkası egzoz bölgesidir ve buradan çıkan hızlı hava sayesinde itki elde edilir.

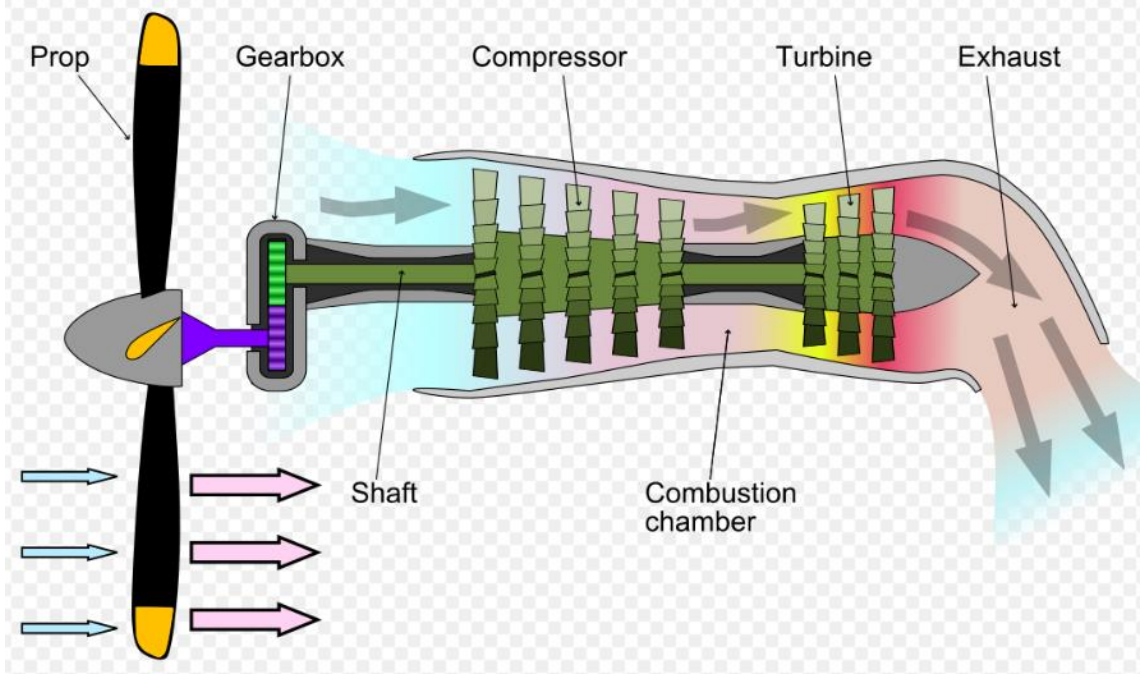
2.2.3 Turboprop Motoru

Turboprop motorunun temel mantığı bir pervaneyi çevirmek üzere optimize edilmiş olmasıdır. Hızın gerekli olmadığı ama buna karşın yüksek itki gücünün gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Bu yüzden günümüzde yüksek kapasiteli kargo uçaklarında turboprop motoru kullanılır. Diğer motorlarla kıyaslandığında düşük hızlarda en yüksek itki verimine sahip motordur[5]. Şekil 2.5'den grafiği görülebilir.



Şekil 2. 5 Çeşitli Gaz Türbini Motorlarda İtki Verimliliği Karşılaştırması[5]

Turboprop motorunun ön kısmında açık havaya açılan büyük bir pervane grubu bulunur. Bu pervaneler esas itki gücünü oluşturur. Motor çekirdeğinde yakılan yakıt - hava karışımından çıkan enerji kompresör ve pervaneler için döndürmek için kullanılır. Bu motorlardaki büyük pervaneler büyük hava akışı sağlayarak düşük hızlarda güçlü bir itki oluşturur. Bir turboprop motorunun genel yapısı Şekil 2.6'dan görülebilir.

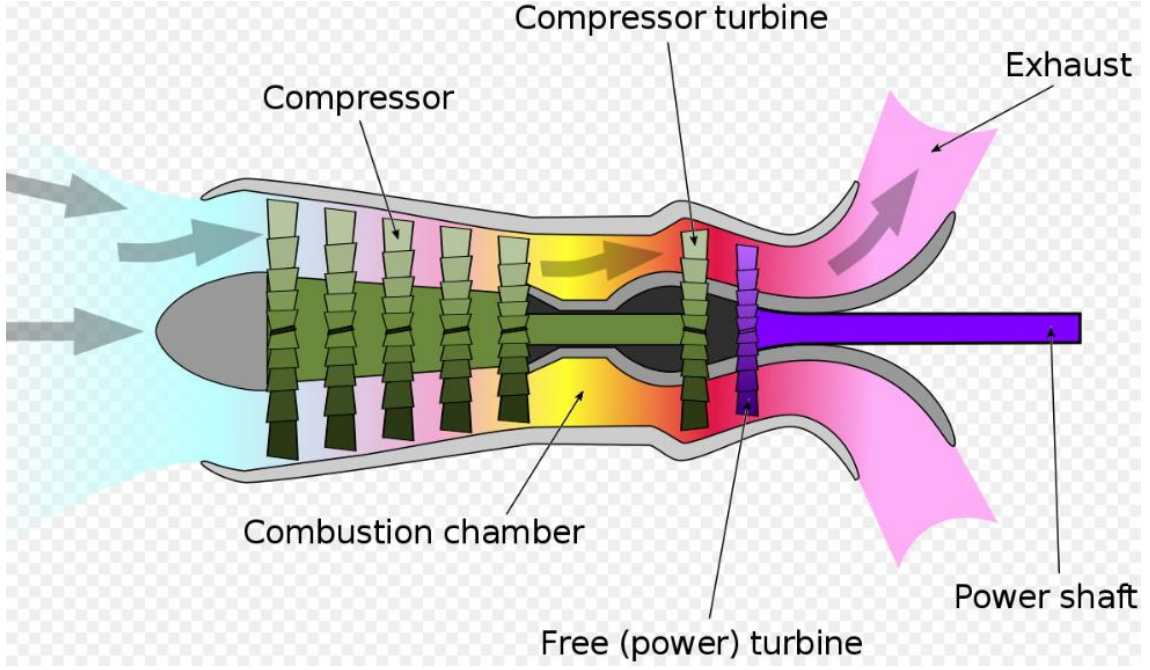


Şekil 2. 6 Bir Turboprop Motorunun Genel Yapısı[6]

Üstteki şekli önden arkaya anlatmak gerekirse kısaca şöyle tanımlanabilir. En önde bulunan siyah büyük parça pervanedir. Arkasındaki yeşil parça kompresör bölümüdür. Arkasındaki sarı bölge yanma odasıdır. Onun arkasındaki diğer yeşil parça türbin bölümüdür. Bu parçadan elde edilen güç kompresörü ve pervaneyi döndürmek için kullanılır.

2.2.4 Turboşaft Motoru

Turboşaft motorunun temel mantığı motor dışına çıkan bir shaftı çevirmek üzere optimize edilmiş olmasıdır. Bu yüzden günümüzdeki helikopterlerin hepsinde turboşaft motoru kullanılır. Yapı olarak turboprop motorlara oldukça benzerdirler. Turboşaft motorunun ön ya da arka kısmından bir shaft kullanılacağı araca güç vermek amacıyla dışarı çıkar. Helikopterler bu shafttan gelen gücü kendi pervanelerinde kullanmak üzere karşı bir shaft ile alır. Motor çekirdeğinde yakılan yakıt - hava karışımı önce kompresör için dönme kuvveti sağlar, sonra da kalan enerji shaftı döndürmeye harcanır. Bir turboşaft motorunun genel yapısı Şekil 2.7'den görülebilir.

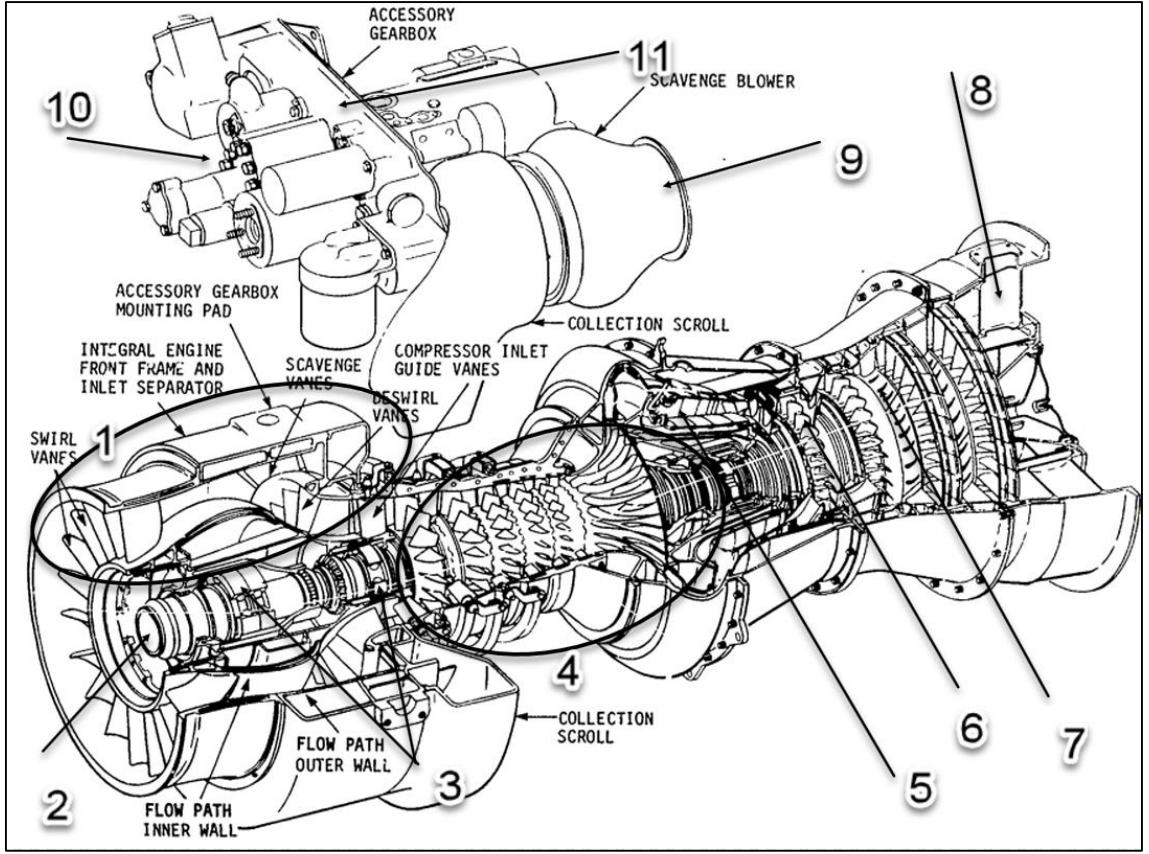


Şekil 2. 7 Bir Turboşaft Motorunun Genel Yapısı[7]

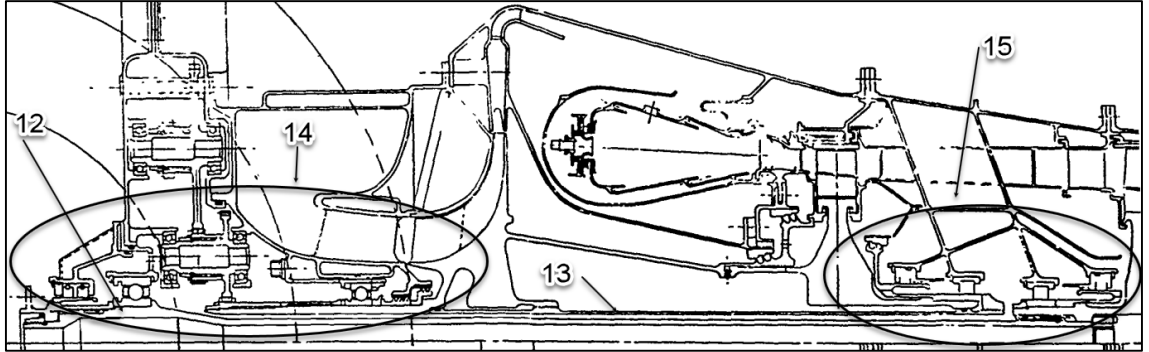
Üstteki şekli önden arkaya anlatmak gerekirse kısaca şöyle tanımlayabiliriz. En önde bulunan yeşil parça kompresördür. Arkasındaki sarı bölge yanma odasıdır. Onun arkasında bulunan yeşil parça kompresör türbindir ve kompresörü çevirmek için kullanılır. Onun arkasındaki mor parça güç türbinidir. Mor türbinden elde edilen güç shaftı döndürmek için kullanılır.

2.3 Bir Turboşaft Motorunun Bölümleri

Şekil 2.8’de görülen kesit “Apache” helikopterlerinde de kullanılan General Electric Firmasına ait T700 isimli bir turboşaft motorudur. Bu motorda güç çıkışı motorun ön bölümünden yapılmaktadır. Yine Şekil 2.9’dan başka bir turboşaft motorunun 2 boyutlu kesiti görülebilir.



Şekil 2. 8 GE T700 Motorunun Kesiti[8]



Şekil 2. 9 Bir Turboşaft Motorunun Kesiti[8]

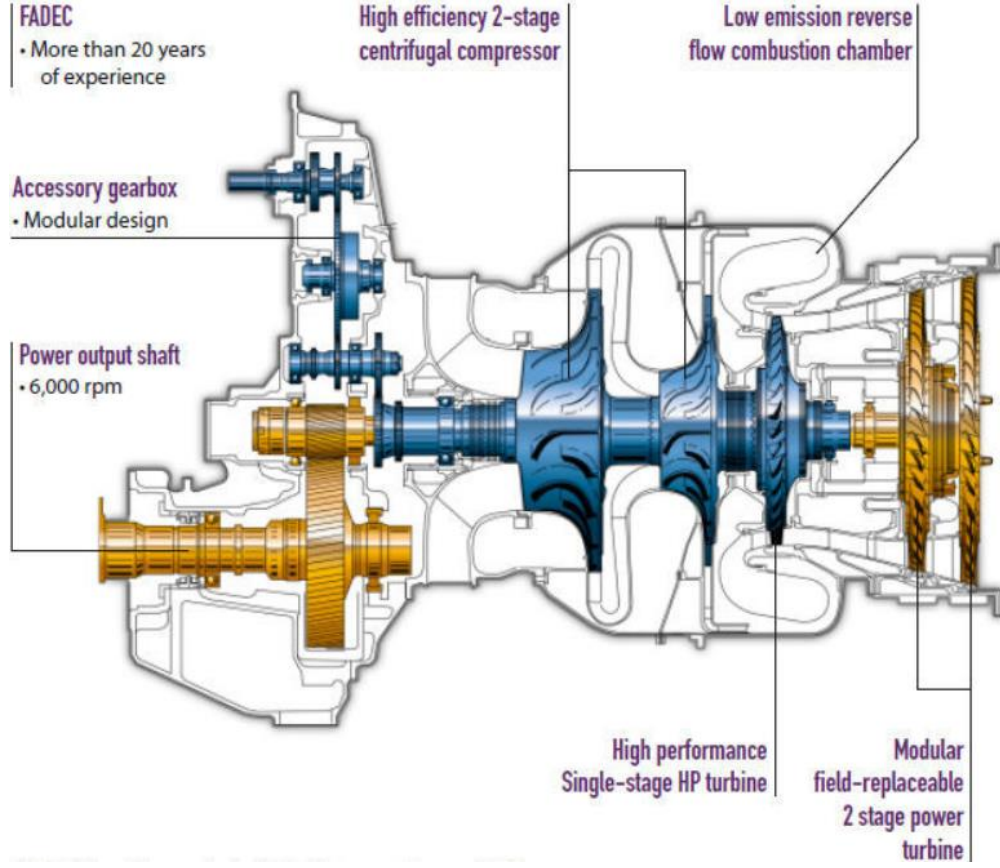
Tablo 2.1'de kesitte görülen parçaların isimleri bulunabilir.

Tablo 2. 1 Parça İsimleri

Parça Numarası	Parça İsmi
1	Hava Alığı
2	Güç Türbini Şaftı
3	Yataklar
4	Kompresör
5	Yanma Odası
6	Gaz Jeneratör Türbini
7	Güç Türbini
8	Egzoz
9	Partikül Ayrıştırma Sistemi Üfleyicisi
10	Diğer Aksesuarlar
11	Aksesuar Dişli Kutusu (ADK)
12	Güç Türbini Şaftı
13	Gergi Şaftı
14	Ön Yatak Yapısı
15	Arka Yatak Yapısı

3.1 Turboşaft Motorlarda Şaft Çeşitleri

Turboşaft motorlarda genellikle iç içe geçmiş iki adet temel şaft bulunmaktadır. Bunlardan ilki gergi şaftı adı verilen kompresör ile gaz jeneratör türbini arasında bulunan şafttır. İkincisi de güç türbini ile platform (helikopter vs.) şaftı arasında bulunan güç türbini şaftıdır. Gergi şaftı üzerinde genellikle ön ve arka yatak yapılarının döner keçeleri, rulman yatakları, kompresörün döner parçaları, başlatma sisteminin dişlisi ve güç jeneratör türbini parçaları bulunur. Başlatma sistemi dişlisi motor başlatıldıktan sonra motorun aksesuarlarına (pnömatik sistem, yağlama sistemi vs.) enerji sağlamak için kullanılır. Bu şaft tüm bu parçaların bir arada tutulmasını bir aksenel önyükleme yardımıyla başardığı için adı gergi şaftıdır. Gergi şaftının esas görevi gaz jeneratör türbininden alınan dönme hareketini kompresöre ileterek emilen havanın sıkıştırılmasını sağlar. Güç türbin şaftının üzerinde ön ve arka yatak yapılarının döner keçeleri, rulman yatakları, güç türbinin döner parçaları ve platform şaftı ara yüzü bulunur. Bu ara yüz genellikle bir aksenel şaft dişlisi olur. Güç türbin şaftının esas görevi güç türbininden alınan dönme hareketini platforma ileterek yapının fonksiyonunu yerine getirmesini sağlar. Şekil 3.1'de Fransız Safran firmasının MTR390 isimli motorunun kesiti görünmektedir. Motor çekirdeğindeki mavi olan kısım gergi şaftını, üstündeki iki kademeli kompresörü ve gaz jeneratör türbinini temsil eder. Sarı olan kısım ise gergi şaftının içinden motorun önüne kadar uzanan güç türbini şaftını ve iki kademeli güç türbinini temsil eder.



Şekil 3. 1 MTR390 Motorunun Kesiti[9]

3.2 Şaft Üretim Yöntemleri

Şaft üretimi genellikle dövme ile kaba şekli verilmiş malzeme ile başlar. Üzerinde büyük yüklerin olmadığı şaftlarda döküm veya bar formundan da şaft parçası işlenebilir fakat havacılıkta şaftlar üzerindeki yükler yüksek olduğu için genellikle dövme malzeme ile parça üretilmeye başlanır. Dövmeden kaba şekli verilmiş parça son halini alması için çeşitli işlemlerden geçmek için hazırdır. Bu son geometrinin oluşması için genel olarak şu 3 yöntem kullanılır; Tornalama, "Bottle Boring" yöntemi ve flow forming(sıvama) yöntemi.

3.2.1 Tornalama Yöntemi

Tornalama yöntemi en eski ve güvenilir imalat yöntemlerindedir. Şaft yapılarının dış ölçülerini işlerken oldukça başarılı iken iç çap işlemede mesafe arttıkça başarısını yitirir. Çünkü şaftın içlerine girdikçe çapı işleyen takımın kolunun uzaması gerekir. Bu uzama takıma etkiyen kuvvetler neticesinde sapmalara sebep

olur ve istenilen toleranslar yakalanamaz. Bu yüzden bu yöntem genellikle iç çapı düz olarak geçilen şaftlarda işe yarar bir çözümdür. Ya da ekonomikliğı yüzünden şaftın dış çapında tercih edilip iç çap işlemede başka yöntemler tercih edilir.

3.2.2 Bottle Boring Yöntemi

Bottle Boring yöntemi aslında özel bir tornalama yöntemidir diyebiliriz. Şaft iç çapında kademe oluşturmaya yarayan bu yöntem oldukça pahalıdır. Her çapa göre özel takım yapılır. Burada parça sabitken takım döner ve ayrıca şaftın içerisinde ileri geri hareket edebilir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi işleyen takımın hemen arkasında şaftın iç çapını kendine destek olarak kullanması için yatak benzeri yapı bulunur. Bu yapı işlem esnasında salınımları önleyerek istenilen toleranslarda işleme sağlar.



Şekil 3. 2 Bottle Boring Yöntemi [10]

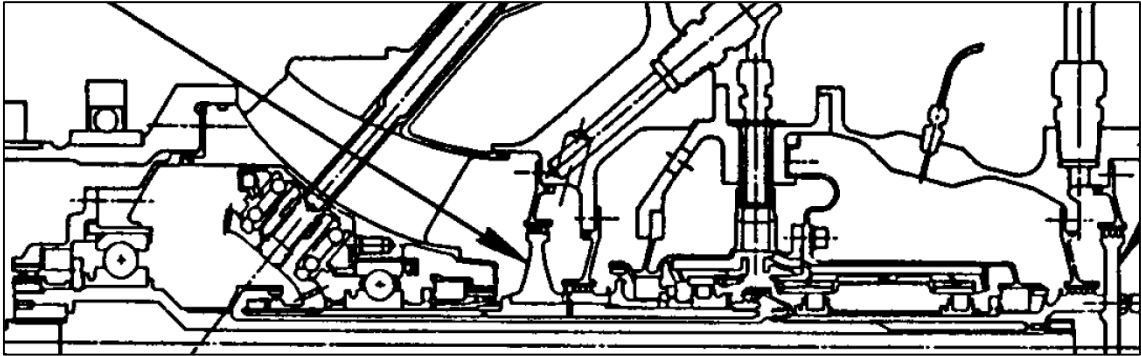
3.2.3 Flow Forming (Sıvama) Yöntemi

Sıvama yöntemi de şaftlarda oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Yüzey pürüzlülüğü ve geometrik toleranslar da oldukça başarılıdır. Talaşsız bir imalat yöntemi olduğu için ve tane yönlendirmesi yaptığı için işlem sonundaki malzeme özellikleri de diğer yöntemlere göre daha kalitelidir. Bu yöntemde küçülen kademeler tek bir yönde olmalıdır yoksa iç çaptaki takım sıkışıp kalır. Büyüyen kademeler ise iki yönde de olabilir. Bu yöntemin bir artısı da bazı geometrilerde iç

ve diş çapı tek seferde işleyebiliyor olmaktır. Bu sayede işlem süresi de oldukça kısalmıştır.

3.3 Örnek Bir Gergi Şaftı Parça Dizilimi

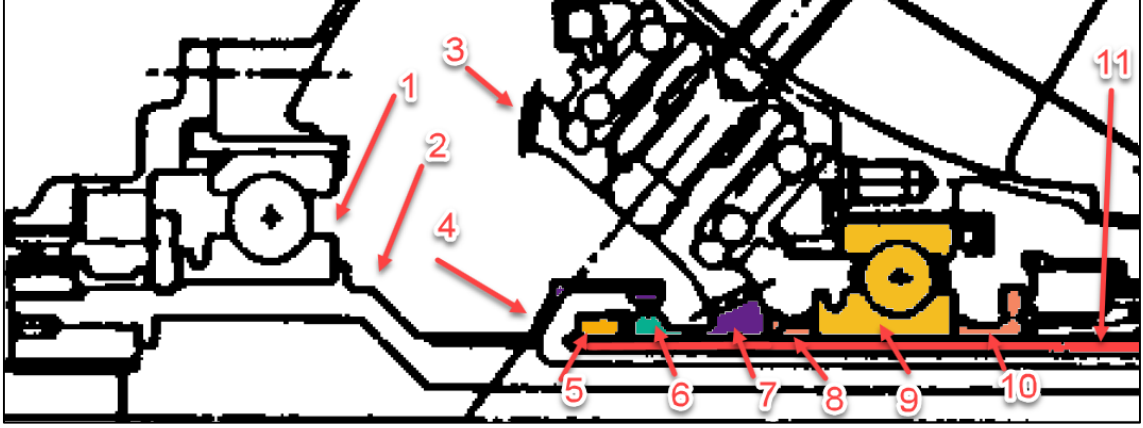
Şekil 3.3'de görmüş olduğunuz şu anda hâlihazırda GÖKBAY helikopterin'e güç veren LHTEC ortaklığının (Rolls-Royce ve Honeywell) bir ürünü olan CTS 800 motorunun kesitidir. Motorun gücü 1373 beygir olup her bir helikopterimizde iki adet kullanılmaktadır. [11]



Şekil 3. 3 CTS800 Kesiti [12]

Aşağıdaki resimde esas bu çalışmanın da konusu olan gergi şaftının ön kısmındaki parçaları görülebilir. Bu motorda gergi şaftı en ön kısmında esas olarak yataklamayı ve aksesuar dişli kutusuyla bağlantıyı sağlar. Kalan kısmında kompresör ve gaz jeneratör türbini parçalarının bağlantısını sağlar. Aşağıdaki Şekil 3.4'de 7 numaralı dişli parçasının gösterildiği şekilde güç iletebilmesi için şaft üzerinde aksel şaft dişlerinin bulunması gerekir. En ön kısımdaki somunun şafta gergi uygulayabilmesi için ise şaft üzerinde somun dişli bulunması gerekir. Şaft üzerinde bulunan her bir parça balans gereği şaft üzerinde radyal ve aksel olarak sabitlenmesi gerekir. Aksel sabitleme şaft üzerinde bulunan bir omuz ve somun yardımıyla olur. Parçalar şaft üzerinde bir taraftan bir omuza dayanırlar, diğer taraftan da bir somun yardımıyla sıkılarak sabitlenirler. Radyal sabitleme de her bir parçanın şaft üzerinde belli bir yerden boşluksuz geçmesiyle sağlanır. Ağırlık ve maliyet hedefleri gereği her bir parça elden geldiğince ince ve ucuz yapılmaya çalışılır. Şaftın et kalınlığı parçaların dayandığı omuzdan, ön taraftaki somun kısmına gelirken her bir

parçanın boşluksuz geçme ihtiyacından ve aradaki yiv 'in geometrisinden dolayı kademe kademe azalır. En öndeki somun dişlileri de montaj sıralamasından dolayı en alçak mesafede olmalıdır çünkü tüm parçalar bu dişlerin üzerinden geçerek şafta oturur. Yiv geometrisi ve montaj sıralamasından dolayı en zayıf, en ince et kalınlığına sahip nokta somun dişlisinin olduğu nokta olur. Bu inceliğin oluşmaması için şaftın iç çapına bir kademe yapılır ve gerekli et kalınlığı sağlanmış olur.



Şekil 3. 4 CTS800 Ön Yatak Yapısı ve Gergi Şaftı [12]

Parça numarasını, ismini ve görevini anlatan Tablo 3.1 aşağıda görülebilir.

Tablo 3. 1 Ön Yatak Yapısı Parça İsimleri

Parça Numarası	Parça İsmi	Parça Görevi
1	No:1 Rulman	Güç türbini şaftının ön kısımdaki yataklanmasını sağlar.
2	Güç Türbini Şaftı	Türbinden alınan enerjinin helikopter şaftına aktarılmasını sağlar.
3	Aksesuar Dişli Kutusu Dişlisi	Motor duruyorken çalıştırılması için gereken ilk hareketi, çalıştıktan sonra da aksesuarlar için enerji sağlar.

4	Gaz Jeneratör Türbini Keçesi	Hava ve yağ sızdırmazlığı sağlar.
5	Somun	Gergi şaftı üzerindeki parçaları bir arada tutmak için gerekli olan önyüklemeyi oluşturur.
6	Gergi Şaftı Keçesi	Hava ve yağ sızdırmazlığı sağlar.
7	Aksesuar Dişli Kutusu Dişlisi	Motor duruyorken çalıştırılması için gereken ilk hareketi şafta aktarmaya, çalıştıktan sonra da aksesuarlar için enerjiyi şafttan çekmeyi sağlar.
8	Ara Parça	Bölgede alan yaratmayı sağlar.
9	No:2 Rulmanı	Gergi şaftının ön kısımdan yataklanmasını sağlar.
10	Ara Parça	Bölgede alan yaratmayı sağlar.
11	Gergi Şaftı	Kompresör döner parçaları ile gaz jeneratör türbini döner parçalarını bir arada tutar.

3.4 Şaft Kilitleme Mekanizması

Turboşaft motorlarda ya da diğer herhangi bir gaz türbinli motorda şaftlar üzerlerinde bulunan parçaların bir arada tutulması için şaftların iki ucundan da somun ve benzeri bir şekilde bir önyükleme ile tutulması gerekir. Şaftlar üzerinde sıcaklık farklılıkları ve titreşim bulunduğundan dolayı önyükleme oluşturmak için kullanılan somunlar zamanla çözülme eğilimindedirler. Bu yüzden motorlarda kendiliğinden çözülemeyen kilit mekanizmaları tercih edilir. Çeşitli firmalar bu kilit mekanizmalarını çeşitli şekillerde kullanırlar. Bu kilitleme mekanizmalarına da bir örnek SAE ARP 688 Rev.A[13] tasarımıdır.

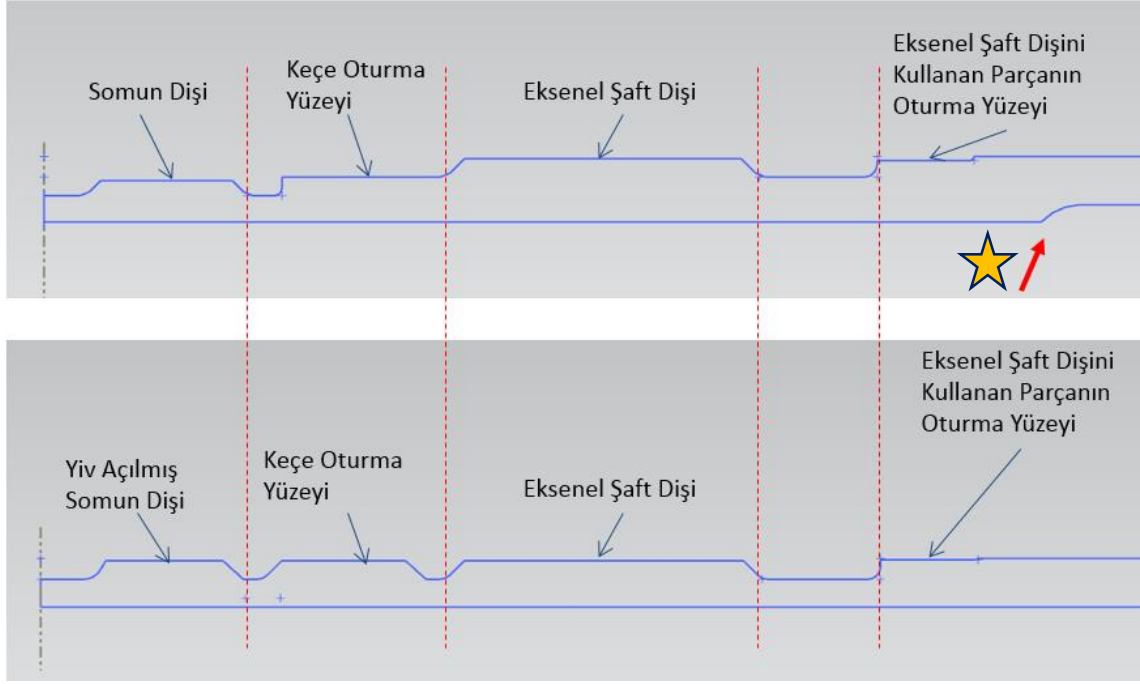
Bu doküman “tavsiye edilen havacılık uygulaması” başlığı ile yayınlanmıştır. Çözülemeyen bir somun kilit mekanizması tasarımını anlatır ve burada anlatılan

tasarım tekrar kullanılabilir. Bu mekanizma 3 adet parçadan oluşur. Bu 3 parça; somun, pul ve tespit segmanıdır. Ön yüklemeyi sağlamak için somun sıkılır ve bırakılır. Bu haliyle somun titreşim ve ısı yükleri altında çözülebilir. Daha sonra üzerinde tırnaklar olan bir pul somun üzerindeki yuvalara oturur. Aynı şekilde buna karşılık olarak şaftın üzerinde de yuvalar bulunur. Pul iç çapında ve dış çapında bulunan tırnaklar bu boşluklara geçer ve dönme hareketi engellenmiş olur. Bu pulun aksel yönde takıldığı gibi çıkmaması içinse bir tespit segmanı somun üzerinde bulunan tırnakların arkasına girer ve pulu aksel olarak sıkıştırır. Bu sayede çalışma esnasında çözülmeyen bir bağlantı elde edilmiş olur.

4.1 Tasarım Probleminin Tarifi ve Çözümü

Bir turboşaft motorunun tasarımı esnasında bir maliyet problemi ile karşılaşmıştır. Gergi şaftı adı verilen şaft parçası üzerinde konumlu parçalardan “ADK Dişlisi” parçasının gergi şaftından aldığı torku “Aksesuar Dişli Kutusu’na” iletebilmesi için aksel şaft dişi içerir. Bu aksel şaft dışından dolayı bu parçadan sonra takılacak parçaların, dişlinin aksel şaft dişinin en alt hizasından daha altta olması gerekir ki montaj esnasında “Aksesuar Dişli Kutusu Dişlisi” parçası herhangi bir yere takılmadan gergi şaftı üzerindeki konumuna oturabilsin. Bu durum gergi şaftının ön kısmına kadar sabit gelen et kalınlığının şaftın içine doğru artmasına sebep olur. Şekil 4.1’in üst tarafta yer alan resminde görüldüğü gibi eğer şaftın en ön tarafındaki somun dişine yiv kanalı açılmazsa bu dişlerin radyal yönde aşağı doğru hareket etmesi gerekmektedir. Aksi halde “Aksesuar Dişli Kutusu Dişlisi” parçasının montajı mümkün olmaz. Bu aşağı yönlü hareket şaftın iç çapında bir kademe oluşturma gereksinimi ortaya çıkarır. Çünkü ağırlık kısıtıyla boylu boyunca en ince şekliyle gelen şaftın kalınlığı bu kademeyi telafi edemez. Burada önümüze iki seçenek çıkmıştır ya Şekil 4.1’in üstteki resminde görüldüğü gibi şaftın içine kademe oluşturmak ya da, Şekil 4.1’in altındaki resminde görüldüğü gibi şaftın en ön kısmındaki somun dişine yiv açıp kademe oluşturmamak. İlk bakışta kademe oluşturmak çok daha basit bir çözüm olarak görülebilir fakat bu kademe oluşturma işlemi bir havacılık standartlarındaki üretim toleranslarında oldukça maliyetlidir. 2017 senesindeki maliyetlere göre bu kademeyi “Bottle Boring” yöntemiyle oluşturmak için 30,000 Euro civarında bir ücret gerekir. Bu miktar sadece bir kademe oluşturmak için oldukça fazladır. O yüzden somun dişi üzerine yiv açarak şaftın iç çapındaki kademedan kurtulmak oldukça kazançlı bir çözümdür.

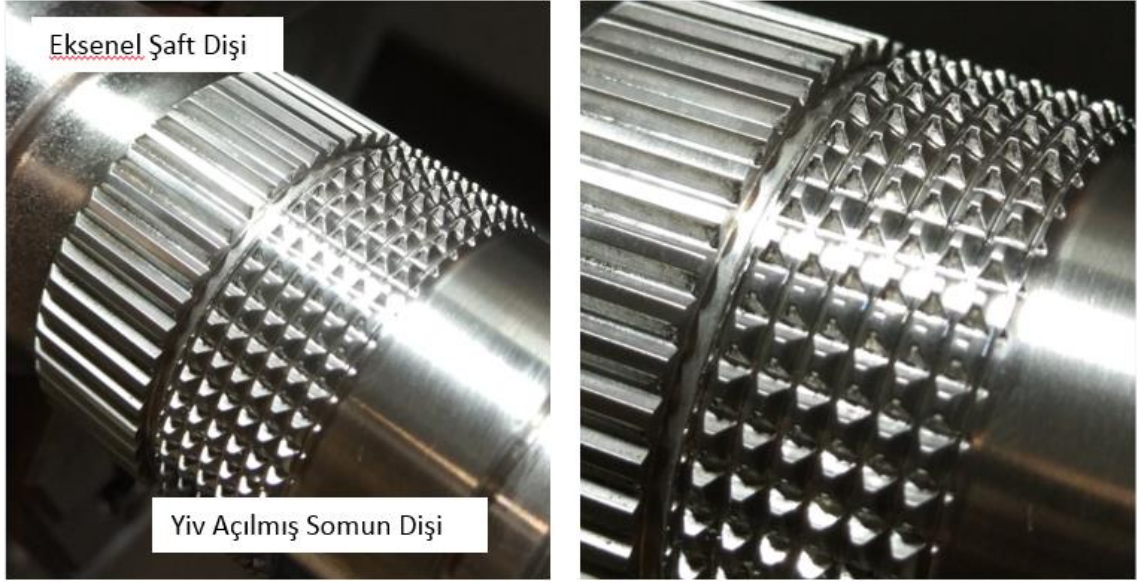
Yalnız, somun dişlerinin üzerine yiv açılması standart bir uygulama değildir ve bu tasarımın teorik ve deneysel yöntemlerle doğrulanması gerekir.



Şekil 4. 1 Tasarım Çözümü

4.2 Yivli Somun Dişinin Görünüşü

Üzerine yiv açılmış somun dişi Şekil 4.2'de görüldüğü gibidir. Buradaki yiv geometrisi arkasında bulunan eksenel şaft dişi geometrisi ile birebir aynıdır ve tek seferde işlenir. Tez boyunca somun dişi üzerinde bulunan bu eksenel şaft dişi geometrisi yiv olarak anılmıştır ve anılacaktır. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi yivli somun dişi yan yana dizilmiş piramitler gibidir.



Şekil 4. 2 Yivli Somun Dişinin Görünüşü

4.3 Yivli Somun Dişinin İşlenmesi ve Standartları

Yivli somun geometrisi işlenirken öncelikle şaftın üzerinde eksenel somun dişinin kanalları açılır. Bu kanallar aslında somun dişinin hemen arkasında bulunan eksenel şaft dişinin geometrisidir. Daha sonra oluşan bu eksenel kanalların üzerine somun dişi açılmaya başlanır. Toleranslardan sapmamak için bu işleme oldukça yavaş hızlarda ve küçük pasalarda gerçekleşir. Bu çalışmada yiv kanalları açılırken ANSI B92.1 – 1996 standardı[14] kullanılmıştır. Bu standart, Amerikan Ulusal Standart Enstitüsünden onaylı, bir eksenel şaft dişi açma ölçülerini tanımlayan bir standarttır. Bu geometrinin üstüne de somun dişi açmak için SAE AS8879 Rev.D standardı[15] kullanılır. Bu da UNJ profili olarak bilinen yine bir Amerikan somun dişi açma standardıdır. Burada dikkat edilmesi gereken husus somun dişi ölçü ve toleranslarının, yiv ölçü ve toleranslarının içinde kalmasıdır. Bu durum yiv profilinden sonra işlenen somun dişi ölçülerinin hatasız çıkmasını sağlar. Bu çalışmada tüm somun dişleri ile beraber açıldığı yiv geometrilerinin maksimum çapları aynı olacak şekilde seçilmiştir. Aynı zamanda tüm yiv geometrilerinin diş dibi çapı beraber açıldığı somun dişi çapından daha küçüktür. Böylelikle somun dişlerinde kritik olan diş dibi çapı da yiv kanallı geometriye dahil edilmiştir.

5.1 Test Edilecek Parçaların Geometrileri

Tezin başında da belirtildiği gibi iki ayrı amaçla testler yapılacaktır. Bunlardan ilki 5 adet aynı ölçülerde yapılacak testlerle teorik hesaplamalarımızı doğrulamaktır. Malzeme homojenliğinden ya da başka sebeplerden kaynaklanabilecek saplamaların etkisini en aza indirmek amacıyla bu testler yapılacaktır. Daha sonra yiv geometrisinden dolayı oluşacak zayıflama etkisinin farklı çaplarda farklı etki yaratacağını düşündüğümüz için 5 ayrı çapta bu testler tekrarlanacaktır. Teorik hesapları doğrulamak için kullanılacak geometri, yiv geometrisinin farklı çaplardaki somun dişi zayıflatmasını gösteren korelasyonu oluşturmak için kullanılan geometrilerden biridir. Tablo 5.1’de gösterilen geometrilerden dördüncüsü aynı zamanda analiz doğrulama çalışmalarında da kullanılan geometridir. Tablo 5.1’den genel özet görülebilir.

Tablo 5. 1 Test Edilecek Parçaların Geometrileri

Şaft Dış Çapı [mm]	Şaft İç Çapı [mm]	Somun Dış Çapı [mm]	Somun İç Çapı [mm]	Somun Dış Ölçüleri	Eksenel Şaft Dişi Ölçüleri
19.5	15.5	35	20,789	0.875” 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 27 diş
26	22	41	27,139	1.1250” 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 35 diş
32,2	28,2	47	33,489	1.3750” 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 43 diş

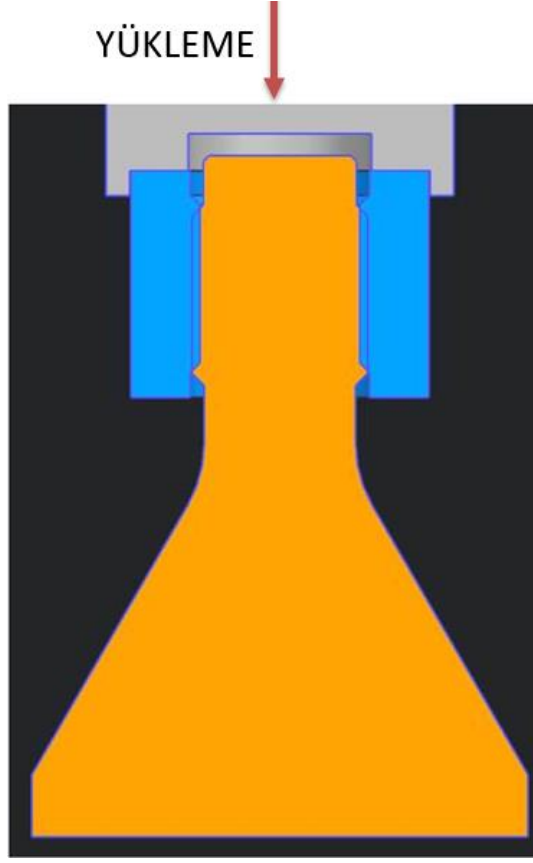
37	33	52	38,251	1.5625" 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft diş hatvesi, 49 diş
43,4	39,4	58	44,602	1.8125" 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft diş hatvesi, 57 diş

Her bir test numunesinde 6 adet diş kontak halinde bulunacaktır.

Olası bir etkiye sebep olmamak için dişlerin üzerinde bulunduğu et kalınlığı tüm şaft test numunelerinde aynı olarak ayarlanmıştır. Hepsinde et kalınlığı 2 mm'dir. Somun parçalarında ise et kalınlığı fazla olduğu için yarım milimetre tolerans içinde kalacak şekilde aynı olarak ayarlanmıştır. Bu parçalarda da yaklaşık et kalınlığı 7 mm'dir.

5.2 Test Prosedürü

Aşağıdaki Şekil 5.1'de test prosedürünü anlatan bir çizim hemen altında da Şekil 5.2'de gerçek test düzeneğinin resmi görülmektedir. Hazırlanan test numuneleri hidrolik bir pres altında şekilde gösterildiği gibi yüklenecektir. Bir operatör tarafından el ile yükleme gerçekleştirilir. Yükleme sonucunda parçanın kırılması beklenir. Parçanın kırıldığı yük kayıt altına alınır. Bu sayede yivli ve yivsiz geometrilerde ve farklı çaplarda parçaları kıran kuvvetler kayıt altına alınabilecektir.



Şekil 5. 1 Test Prosedürünü Temsil Eden Bir Çizim



Şekil 5. 2 Testin Gerçekleştiği Hidrolik Pres

5.3 Test Malzemeleri

Daha önce de bahsedildiği gibi iki amaçla test yapılacaktır. İlk testin amacı elde edilen test sonuçları ile teorik yöntemlerle hesaplanan sonuçların doğrulanmasıdır. Burada kullanılan test numunelerinde shaft ve somun parçasının malzemeleri gerçek kullanım durumuyla örtüşmesi için birebir aynı kullanılacaktır. Bu malzeme havacılık sektöründe sıklıkla kullanılan ısıya ve yüklemelere dayanıklı INCO 718 malzemesidir. Üretim standardı ise AMS5663'tür. Bu malzemenin akma gerilmesi 1034 Mpa ve kopma gerilmesi 1276 Mpa'dır[16].

İkinci amaç olan; çap değişimine göre oluşan zayıflamanın korelasyonunu oluşturma çalışmasında yine aynı malzeme kullanılacaktır. Fakat burada işlerimizi kolaylaştırması için şaft malzemesi daha zayıf bir standartta seçilmiştir. Bu sayede her bir test sonucunda şaft üzerindeki dişlerin somundakilerinden daha önce hasarlanacağından emin olunabilecek. Ve test esnasında daha az yükler kullanarak işlem tamamlanabilecektir. Bu testte şaft malzemesinin üretim standardı AMS5662 somunun ise AMS5663 olarak seçilmiştir.

INCO 718 malzemesinin mekanik özellikleri üstünde yapılan ısı işlemlere göre oldukça fazla değişebilmektedir. Bu malzemeler ile ilgili ayrıntılı bilgi "havacılık araçları yapıları için metalik malzemeler ve elementler" başlıklı yayında bulunabilir[17]. IN718 malzemesi AMS5662 standardında yani ısı işlem olmadan neredeyse hiç kullanılmaz bu yüzden literatürde fiziksel özelliklerini bulmak oldukça zordur. İnternette bulunan iki değer fikir vermesi açısından düşünülebilir. Bunlar 70[21] ve 410 Mpa[22] olarak bulunmuştur. AMS5662 malzemesinin ne kadar zayıf olduğu akma dayanımları kıyaslanarak görülebilir. AMS 5663 standardına göre üretilen malzemeye göre aralarında neredeyse 5 kat dayanım farkı bulunmaktadır.

5.4 Test Sonuçları Değerlendirmesi

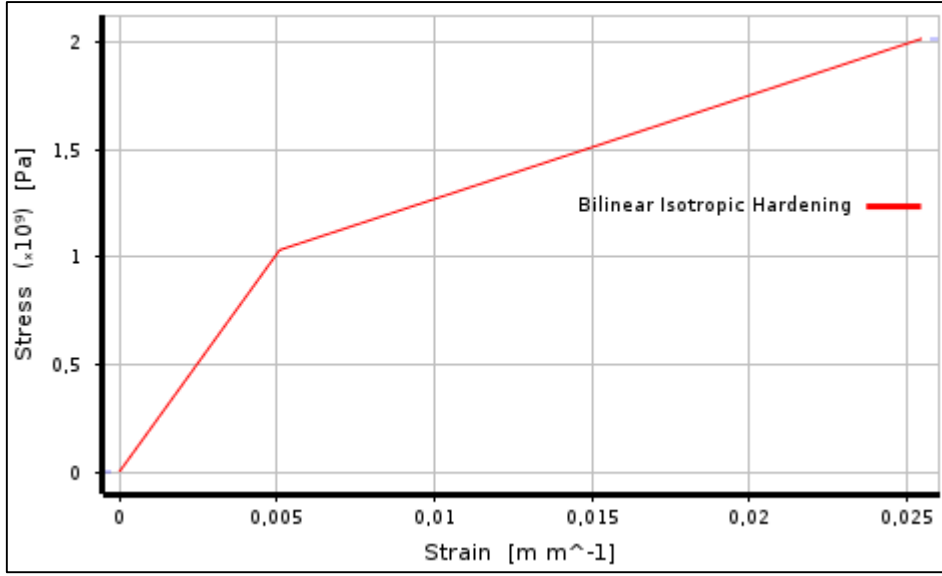
Üzerine Yiv açılmış ve açılmamış olan test numuneleri hidrolik pres altından kademeli olarak yükleneceklerdir. Parçalar kırıldığında görülen kuvvetler bir tabloda kayıt altına alınacaktır. Analiz doğrulama amacı ile oluşturulan test grubunun sonuçlarının ortalaması alınarak değerlendirilecek. Değişen çapa göre oluşacak zayıflamanın bulunması için belirlenmiş test grubunda çap çiftlerinin sonuçları karşılaştırılacaktır.

6.1 Genel Açıklama

Test esnasında kullanılacak ölçüler tablo 5.1'de 4. satırda gösterilen ölçülerdir. Şaft ve somun malzemeleri birbiri ile aynı "INCO 718(AMS5663)" olarak seçilmiştir. Çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelebilecek küçük deforme olma noktalarının farklılıklarını eleyebilmek için toplamda 5 adet test aynı ölçülerde gerçekleştirilecektir. Uygulanan yük analiz ile elde edilen mertebelerde uygulanmaya başlanıp kademeli olarak arttırılmıştır. Bu sayede en net kırılma oluşturan yük tespit edilmiştir. Bulunan bu yük ile teorik hesaplamalardan bulunan yük karşılaştırılarak teorik hesabımızın doğruluğu değerlendirilecektir. Bu değerlendirme üzerine yiv açılmış somun dişleri için yapılacaktır. Test esnasında tek diştten yükleme uygulandığı için analiz de aynı şekilde modellenmiştir.

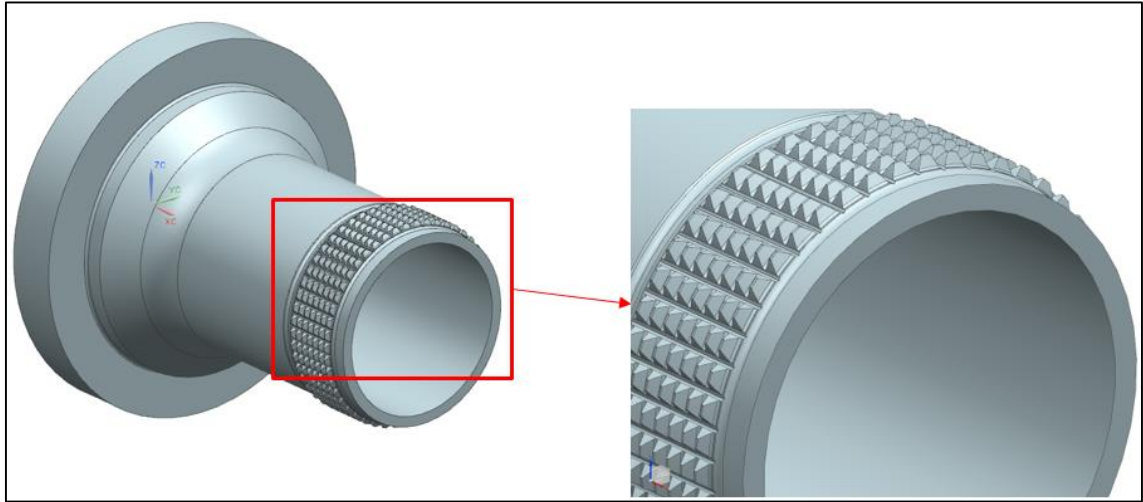
6.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Elastik malzeme bilgileri için 17 numaralı kaynak referans kaynak olarak kullanılmıştır. Elasto-plastik analiz için gerekli bilgiler de yine aynı dökümandan elde edilmiştir. Elasto-Plastik malzeme "bilinear" olarak tanımlanmıştır. Tanımlanmış olan malzeme modeli aşağıdaki Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Malzeme modeli tanımlanırken elastisite modülü, "poisson" oranı, akma gerilmesi değeri ve "tangent modulus" denilen değerler girilmiştir. "tangent modulus" denilen değer aslında kopma gerilmesini(σ_u) belirten bir değerdir ve malzeme çekme testinden çıkan grafikteki akma ve kopma gerilmeleri noktalarından çizilen bir doğru yardımı ile bulunur. Bu doğrunun yatay eksene göre eğimi "tangent modulus" değerini verir. Bu değerler sırasıyla; $E=203000$ Mpa, $\nu=0,29$, $\sigma_y=1034$ Mpa, "tangent modulus" =48263 Mpa'dır.



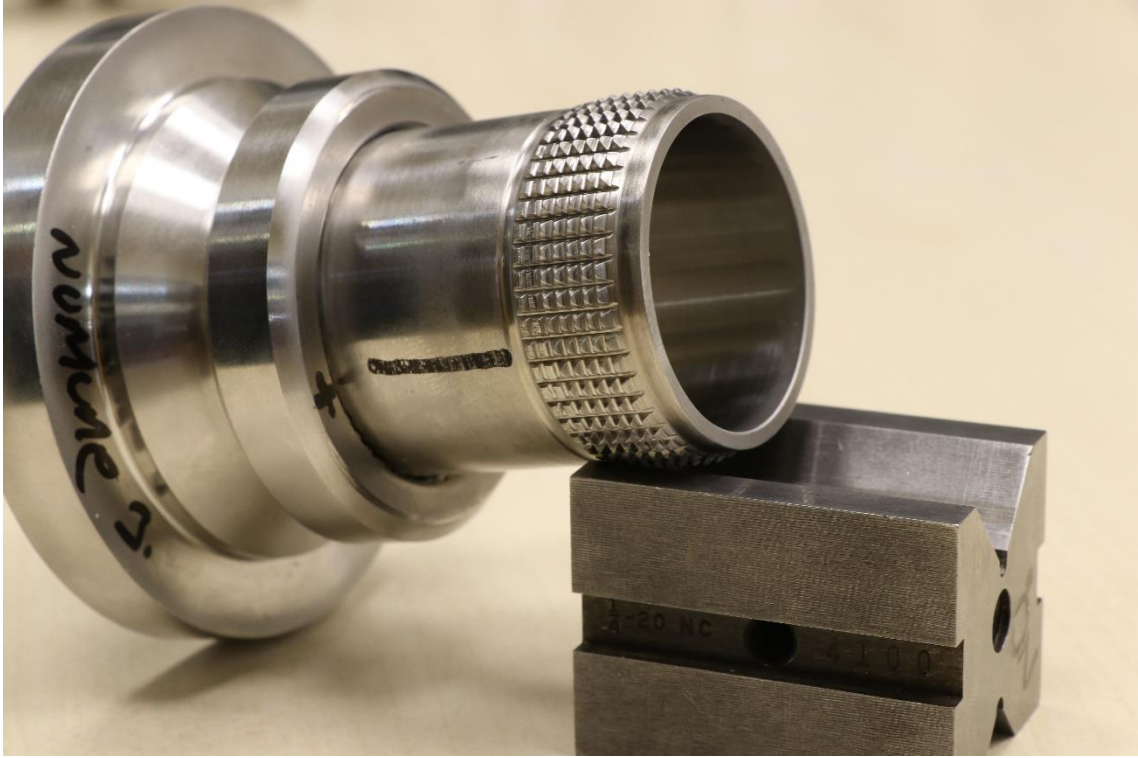
Şekil 6. 1 Malzeme Modeli

Sonlu elemanlar yönteminde modelleyici ve çözücü olarak Ansys 19.2 yazılımı kullanılmıştır. 3 boyutlu model zamandan ve depolama alanından kazanmak amacıyla simetrik bir dilim alınarak oluşturulmuştur. 360 derecelik modelde aksenal yönde 49 adet yiv kanalı bulunduğu için 7,346938776 derecelik bir kısmı kesilmiş ve kalan kısım dairesel simetrik olarak tanımlanmıştır. 3 boyutlu modelin simetri tanımlanmadan önceki hali Şekil 6.2'den görülebilir.



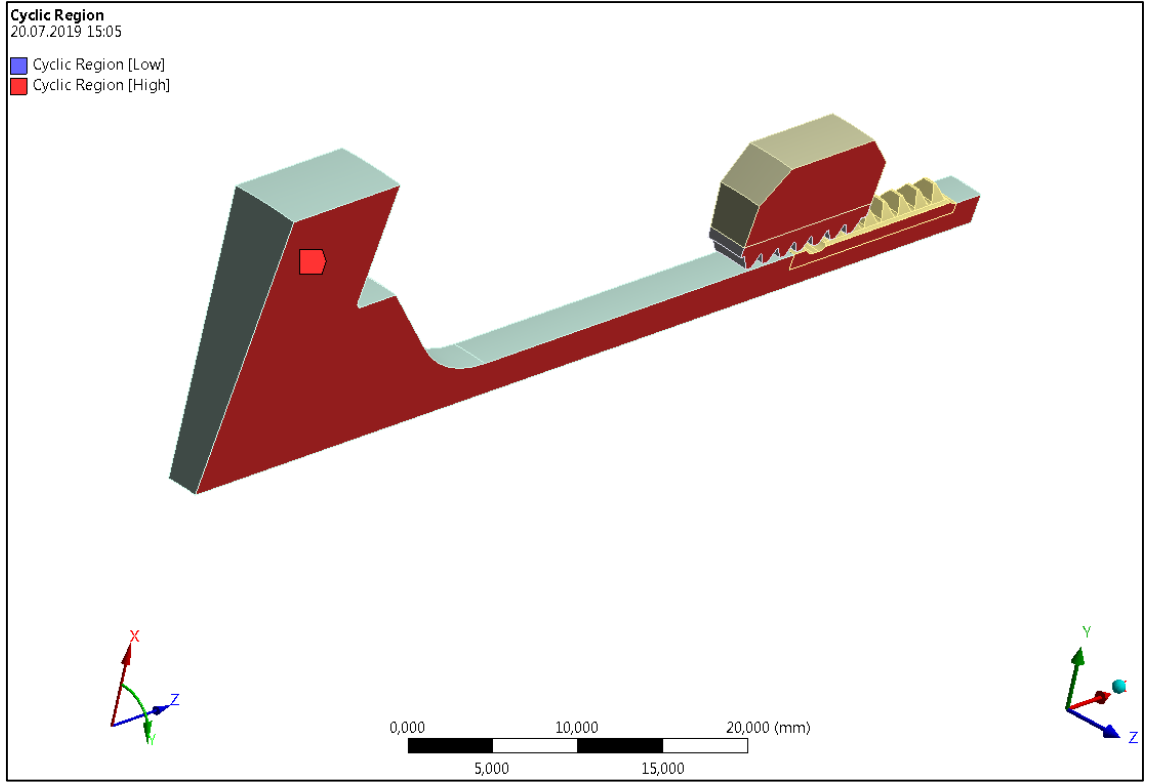
Şekil 6. 2 Analiz Edilecek Numune 3 boyutlu Modeli

Aynı zamanda aşağıdaki Şekil 6.3'ten de gerçek geometrinin fotoğrafı görülebilir.



Şekil 6. 3 Analiz Doğrulama Testi Numune Fotoğrafı

Ansys yazılımında “cyclic symmetry” tanımlamak için modelin dönme eksenini, koordinat sisteminin sıfır noktası olmak üzere bir dairesel koordinat sistemi tanımlanmalı ve bu koordinat sisteminin dönme eksenine ilk temas ettiği yüzey “low cyclic region” çıktığı yüzey ise “high cyclic region” olarak tanımlanmalıdır. Şekil 6.4’de silindirik koordinat sistemi ve yüzeylerin tanımlanma Şekli görülebilir.



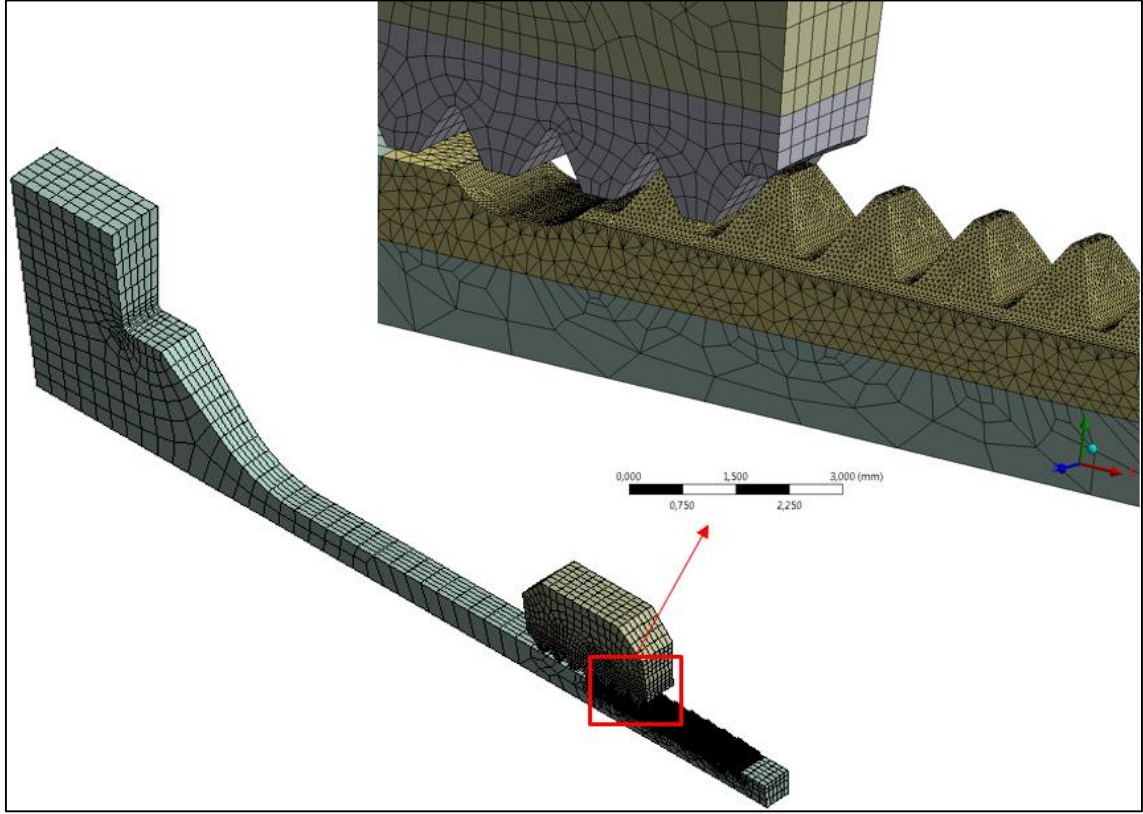
Şekil 6. 4 “Cyclic Symmetric” Model Tanımlama

Şekil 6.2’de de görüldüğü gibi üç boyutlu modelde dişlerde helis açısı tanımlanmamıştır. Bunun sebebi Ansys’de dilim model oluşturabilmektir. Hassas bir sonuç elde edebilmek için oldukça küçük sonlu eleman ağı örülmesi gerekmekte, bu durum da tüm model çepeçevre modellendiğinde mümkün olmamaktadır. Helis açısı tanımlandığında parça dilim olarak modellenememektedir.

Test koşulu düşünüldüğünde helis açısının diş dibi gerilmesinde ciddi bir etkisi olmayacağı öngörülmüştür. Yine referanslarda da verilen kaynaklarda belirtildiği gibi[19],[20] Shigley’nin ve Heywood’un diş dibindeki gerilmeleri hesaplamak için oluşturdukları el hesabı formüllerinde helis açısı bir parametre değildir.

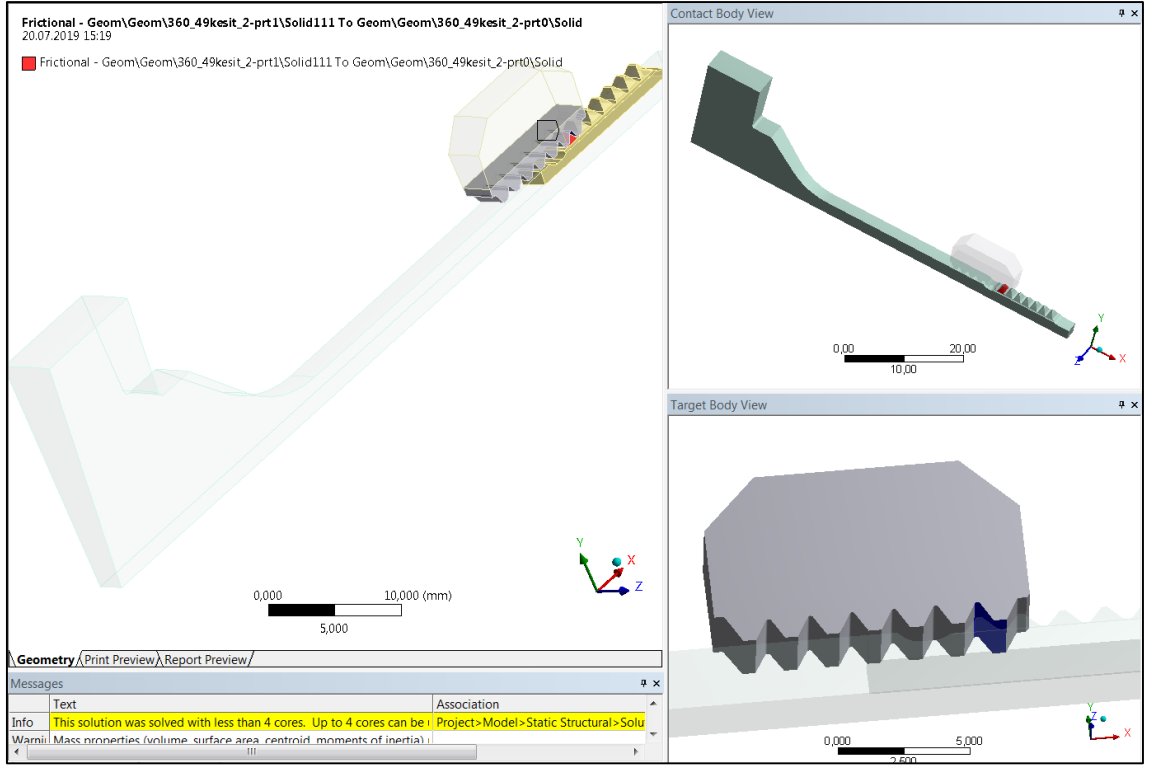
7,35 derecelik dilim yapıda bile oldukça fazla eleman ve düğüm noktası bulunmaktadır. Bunlar 95995 adet eleman ve 172188 adet düğüm noktasıdır. Modellemede kullanılan elemanlar somun tarafında ve şaftın diş kısmı hariç Hex20 diye adlandırılan kübik elemanlardır. Şaft’ın diş bölgesinde ise geometri oldukça karmaşık olduğundan ve bu karışık ve küçük geometriyi takip edebilmesi

gerekliliğinden dolayı Tet10 diye adlandırılan dörtyüzlü(tetrahedral) elemanlar kullanılmıştır. Aşağıdaki Şekil 6.5’de genel ve diş bölgesinin yakın görüntüsü görülebilir. Görüldüğü somun ve şaft tek dişten temas halindedir bunun sebebi test esnasında tek dişten temas ile kırılma sağlanmış olmasıdır.



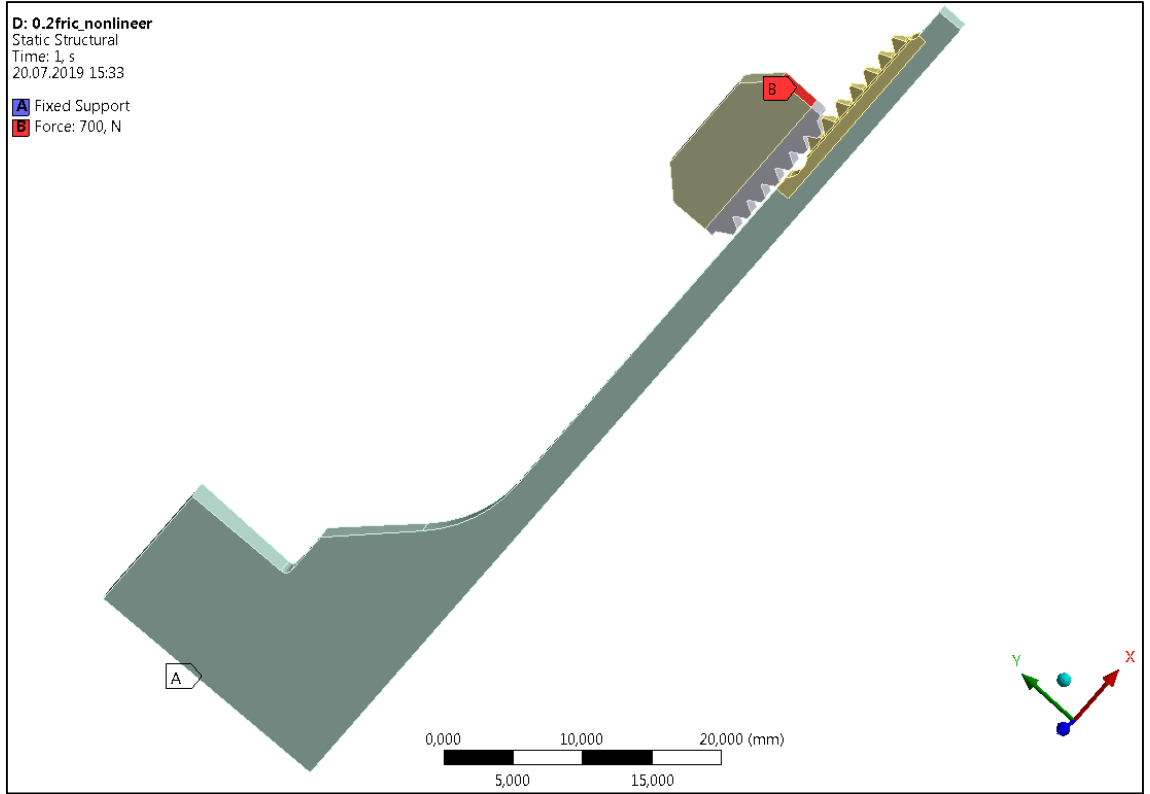
Şekil 6. 5 Sonlu Elemanlar Modeli

Analiz esnasında kontaklar tanımlanırken de dikkatli olmak gerekir. Bu analizde gerçek durumu yansıtmak için sürtümlü kontak tanımlanmıştır. Birbirine temas eden yüzeylerden hangisinin “target” hangisinin “contact” yüzey olması gerektiği birkaç kritere göre değişebilir. Burada seçim mesh yoğunluğuna göre yapılmıştır. Genel geçer bir kural olarak daha ince mesh atılmış yüzeyler “contact” yüzeyi, daha kalın mesh atılmış yüzeyler de “target” yüzey olarak seçilir. Bu seçim ile birlikte analiz ilk denemede yakınsamış ve kontak hiçbir sorun çıkarmamıştır. Seçimi gösteren durum Şekil 6.6’dan görülebilir.



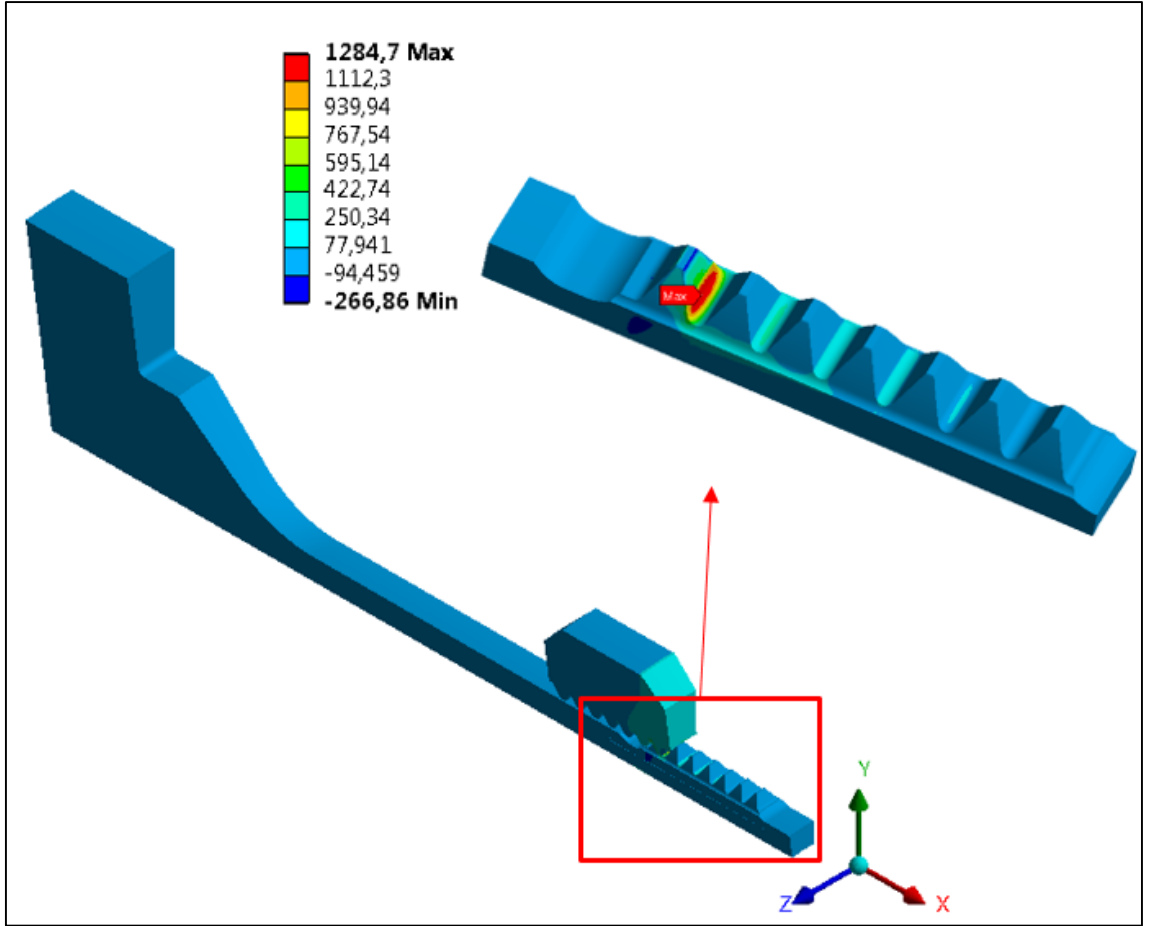
Şekil 6. 6 Kontakt Tanımlama Durumu

Analiz esnasında test koşulu yansıtılmaya çalışılmıştır. Parça tabanından sabitlenmiş ve somun parçasının alnından tabana doğru yük uygulanmıştır. Aşağıdaki Şekil 6.7’de sınır şartları görülebilir. “Cyclic Symmetric” model tanımlandığında uygulanan kuvvet de dilim sayısı kadar artar. Modelde uygulanan 700 N kuvveti analiz esnasında dilim sayısı kadar yani 49 kat büyüterek 34,3 kN olarak etki eder. Parça tabanı sabitlenirken her yönde hareketsiz olarak sabitlenmiştir. Gerçek durumda parça bir yüzey üstüne oturtulmaktadır ve bu durumda parça sadece yük yönünde sabit gibi görünürken tabandaki sürtünme kuvveti diğer yönlerin hepsini de sabitlemektedir. Analiz esnasında analiz yükünün hafiflemesi açısından seçim her yönde sabitleme şeklinde yapılarak gerçek durum yansıtılmıştır.



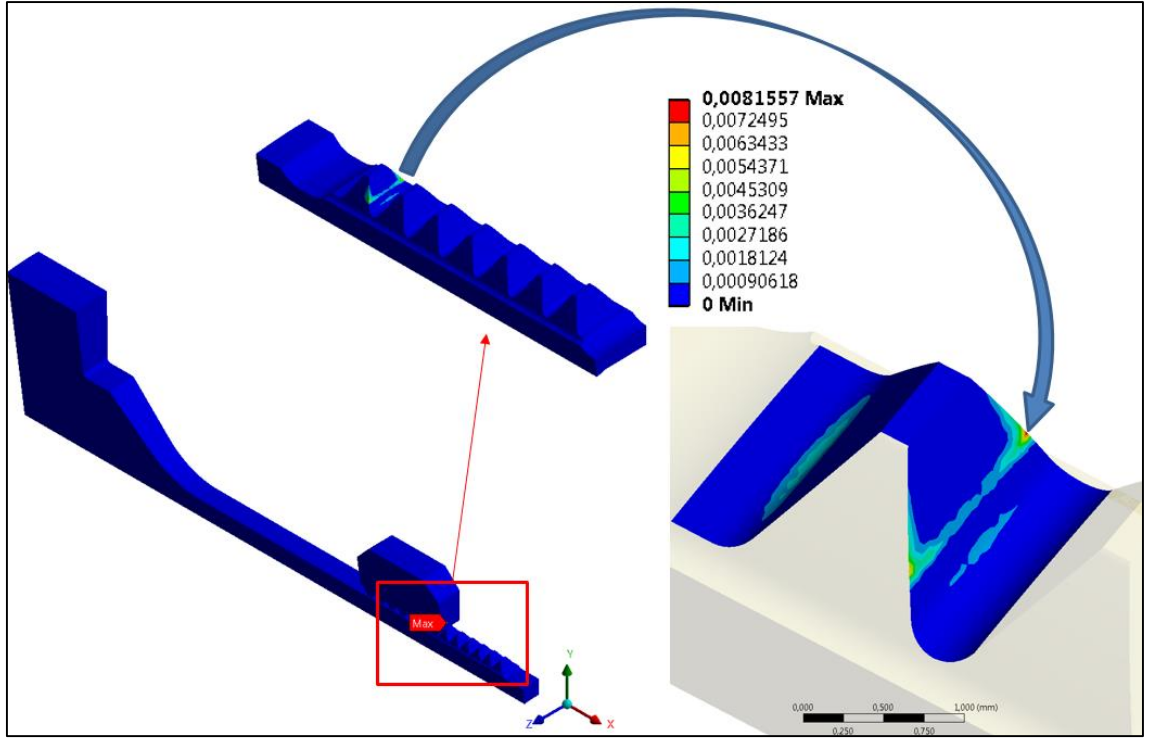
Şekil 6. 7 Sınır Şartlarının Tanımlanma Durumu

Ayrıca somun ve şaft dişleri arasındaki temasta test esnasından dişler arasında kayma olacağı düşünülerek 0,2'lik bir sürtünme katsayısı Shigley'nin kitabından[19] alınarak kullanılmıştır. Bu değer aslında çelik-çelik arasındaki kuru kayma durumundaki ortalama sürtünme katsayısıdır ancak Inco718 malzeme çifti için bu değer bulunamadığı için çeliğin sürtünme katsayısı kullanılmıştır. Analizde somun tarafından 34,3 kN yük uygulandığında aşağıdaki Şekil 6.8'den de görüleceği gibi diş dibinde 1284 Mpa Asal gerilmesi görülmüştür. Asal gerilmelere bakılmasının sebebi test esnasında asal gerilmelerin görüldüğü noktadan başlayarak kırılmanın gerçekleşmiş olmasıdır. Malzemenin kopma gerilemesinin 1276 Mpa olduğu düşünüldüğünde 34,3 kN değeri testlere başlamak için mantıklı bir değerdir.



Şekil 6. 8 Analiz Gerilme Sonuçları

Elasto plastik analiz sebebi ile oluşan plastik gerilme de aşağıdaki Şekil 6.9'den görülebilir. Plastik deformasyonun daha çok dış diplerinde ve kilit somununun temas yüzeyinin köşelerinde olduğu görülmüştür.



Şekil 6. 9 Analiz Gerinme Sonuçları

6.3 Test Sonuçları

Testler, tezin birçok yerinde tarif edildiği gibi yiv geometrisine sahip numuneler için yapılmış ve tablo 6.1 elde edilmiştir. Tablonun en sol sütununda analizde bulunan kırılma yükü, en sağ sütununda ise testler sonucunda bulunan ortalama kırılma yükü bulunur.

İlk numune test için yerleştirilip yüklenmeye başladığında kademeli artırımlarla 240 kN'a kadar ulaşılmıştır. Bu yükleme sonucunda parça sapsağlam durmaya devam etmiştir. Bu esnada 6 diş şaft ve somun arasında temas halindedir. Parçanın kırılabilmesi için şaft üzerindeki somun aşağı doğru kaydırılarak tek dişten temas etmesi amaçlanmıştır. Tek dişten yükleme sağlandığında parça 120 kN yüklemeye ulaşıldığında kırılmıştır. Daha sonra sırasıyla 160, 145, 145 ve 155 kN değerlerinde kırılma gözlemlendi. Bu farklılık incelendiğinde test parçaları üzerinde kırılan diş sayısının farklı olduğu tespit edildi. Aşağıdaki Tablo 6.1'de görüldüğü gibi kırılmaya sebep olan yükler tek dişe indirildiğinde sapmanın daha az olduğu görülmüştür.

Bu değerlerin ortalaması alındığında 114,4 kN yükleme değerinin parçayı tek diş temas halindeyken kırmak için gerekli yk olduğu görülmüştür.

Tablo 6. 1 Test ve Analizlerde Kırılmaya Uğratan Yükler

Test Numarası	Kırma Yükü [kN]	Temas Halindeki Diş Sayısı	Tek Dişe Karşılık Kırma Yükü [kN]	Tek Dişe Karşılık Ortalama Kırma Yükü [kN]
1	120	1	120	114,4
2	160	1,4	114,3	
3	145	1,3	111,5	
4	145	1,3	111,5	
5	155	1,35	114,8	

6.4 Teorik ve Deneysel Karşılaştırma

Sonlu elemanlar analizinde parçanın kırılmaya uğradığı yük 34,3 kN olarak bulunmuştur. Test ortalamasına bakıldığında parça 114,4 kN değerinde kırılmıştır. Teorik ve deneysel çalışmaların arasındaki oran 3,34'dr. Bu değer gerçek hayatta karşılaşmadığımız ama analizde görülen gerilme yığılması olarak düşünülebilir. Yani aynı gerilme değerine FEM analizinde 3,34 kat daha önce ulaşıyoruz demektir ve aynı kuvvet için 3,34 kat daha fazla gerilme okuyoruz demektir. Bu değer bundan sonraki benzer çalışmalarda gerilme yığılma faktörü olarak kullanılacaktır.

Gerilme yığılma bölgesinde malzemenin statik kırılmaya uğramadığını FEM analizi ve testler aracılığı ile görebiliyoruz. Bu bölgede 34,3 kN değerinde mikro çatlaklar oluşmaya başlar ancak statik kırılma için bu mikro çatlaklar yetersizdir. Bu durumda ancak bir Şekilde yükler dinamik davranmalı ki çatlak ilerlemesine bağlı yorulma kırılması oluşsun. Mikro çatlaklar bölgeseldir, küçük bir bölgede lokal olarak malzeme kopma gerilmesi değerini aşabilir ancak parça kırılmaz.

Yorulma kırılması analizlerinde de bulunduğumuz bu gerilme yığılması oranı kullanarak gerçek gerilme değerine ulaşıp analizler sürdürülebilir.

Yiv Geometrisinin Oluşturduğu Zayıflatmanın Çapa Göre Korelasyonu

7.1 Genel Açıklama

Test esnasında kullanılacak ölçüler tablo 5.1’de gösterilen ölçülerdir. Şaft ve somun malzemeleri birbirinden farklı seçilmiştir. Somun parçası daha dayanıklı olan “INCO 718(AMS5663)” malzemesi, şaft parçası da daha az dayanıklı olan “INCO 718(AMS5662)” malzemesi olarak seçilmiştir. Buradaki amaç şaft parçasının somundan önce deforme olmasını garanti ederek dikkat etmemiz gereken bölgeyi küçültüp zaman kazanmaktır. Uygulanan yük analiz ile elde edilen mertebelerde uygulanmaya başlanıp kademeli olarak arttırılacaktır. Bu sayede en net kopmaya sebep olan kuvvet tespit edilmeye çalışılacaktır. Buradaki amaç şaft üzerindeki yiv kanalından dolayı somun dişi üzerinde oluşan zayıflamanın değişik çaplarda nasıl değiştiğini görmektir. Bu sayede elde edilen grafik yardımı ile her bir farklı çapta oluşan zayıflama etkisi bulunabilecektir. Şekil 7.1’de örnek olarak yivli ve yivsiz geometrilere ait test edilmiş numunelerin fotoğrafları görülebilir.



Şekil 7. 1 Örnek Test Numunesi Çifti

7.2 Test Sonuçları

İlk test yapılırken yine 6 adet diş temas halinde bulunmuştur ve yine test parçası üstünde kırılma meydana gelmemiştir. Bu yüzden yine tek diş üzerinden olacak şekilde ayarlama yapılmaya çalışılarak testler tekrarlanmıştır. İlk sonuçlar aşağıda özetlendiği gibi birbiri ile uyum içinde çıkmamıştır. Kırılan numunelere bakıldığında kırılan diş sayısının aynı olmadığı görülmüştür. Bu yüzden kırılma yükleri tekrar tek diş olması duruma göre oranlanarak hesaplanmıştır

19,5 mm dış çapa sahip olan şaft numunemizin üzerine yiv açılmamış olan numunesine 100 kN'a ulaştığımızda dişlerin kırıldığı gözlenmiştir. Aynı çapın yiv kanallı numunesinde 80 kN'a ulaştığımızda dişlerin kırıldığı gözlenmiştir.

26 mm dış çapa sahip olan şaft numunemizin üzerine yiv açılmamış olan numunesine 125 kN'a ulaştığımızda dişlerin kırıldığı gözlenmiştir. Aynı çapın yiv kanallı numunesinde 95 kN'a ulaştığımızda dişlerin kırıldığı gözlenmiştir.

32,2 mm dış çapa sahip olan şaft numunemizin üzerine yiv açılmamış olan numunesine 200 kN'a ulaştığımızda dişlerin kırıldığı gözlenmiştir. Aynı çapın yiv kanallı numunesinde 95 kN'a ulaştığımızda dişlerin kırıldığı gözlenmiştir.

37 mm dış çapa sahip olan şaft numunemizin üzerine yiv açılmamış olan numunesine 205 kN'a ulaştığımızda dişlerin kırıldığı gözlenmiştir. Aynı çapın yiv kanallı numunesinde 135 kN'a ulaştığımızda dişlerin kırıldığı gözlenmiştir.

43,4 mm dış çapa sahip olan şaft numunemizin üzerine yiv açılmamış olan numunesine 220 kN'a ulaştığımızda dişlerin kırıldığı gözlenmiştir. Aynı çapın yiv kanallı numunesinde 155 kN'a ulaştığımızda dişlerin kırıldığı gözlenmiştir.

Yukarıda görüldüğü gibi ilk sonuçlar içinde çaplar arasında bir korelasyon görülmemiştir. Aşağıdaki tablolardan her bir numunede kaç dişin kırıldığı görülebilir. Tablo 7.1'de yivsiz dişler için oluşan sonuçlar görülebilir. Bu tabloya bakıldığında sonuçlar beklendiği gibi çıkmıştır. Şaftın çapı büyüdükçe daha fazla yük taşınması beklenmektedir.

Tablo 7. 1 Yivsiz Geometri Bir Tur Diş İçin Kırma Yüğü

Şaft Dış Çapı [mm]	Şaft İç Çapı [mm]	Somun Dış Çapı [mm]	Somun İç Çapı [mm]	Somun Diş Ölçüleri	Üzerine Yiv Açılmamış Somun Dişinin Deformasyona Uğradığı Yük [kN]	Kırılan Diş turu	Bir Tur Diş Kırma İçin Gerekli Yük
19,5	15,5	35	20,78 9	0.875'' 16UNJ Tipi 3A	100	1,5	66,7
26	22	41	27,13 9	1.1250'' 16UNJ Tipi 3A	125	1,6	78,1
32,2	28,2	47	33,48 9	1.3750'' 16UNJ Tipi 3A	200	2,3	87,0

37	33	52	38,25 1	1.5625'' 16UNJ Tipi 3A	205	2,1	97,6
43,4	39,4	58	44,60 2	1.8125'' 16UNJ Tipi 3A	220	2	110,0

Tablo 7.2'de yivli dişler için oluşan sonuçlar görülebilir. Bu tabloya bakıldığında sonuçlar beklendiği gibi çıkmıştır. Şaftın çapı büyüdükçe daha fazla yük taşınması beklenmektedir.

Tablo 7. 2 Yivli Geometri Bir Tur Diş İçin Kırma Yüğü

Şaft Dış Çapı [mm]	Şaft İç Çapı [mm]	Somun Diş Ölçüleri	Eksenel Şaft Dişi Ölçüleri	Üzerine Yiv Açılmış Somun Dişinin Deformasyona Uğradığı Yük [kN]	Yivli Tur	Tur başı gelen yük yivli
19,5	15,5	0.875'' 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 27 diş	80	2,0	40,0
26	22	1.1250'' 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 35 diş	95	2,1	45,5
32,2	28,2	1.3750'' 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 43 diş	95	1,6	58,4
37	33	1.5625'' 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 49 diş	135	2,1	63,0
43,4	39,4	1.8125'' 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 57 diş	155	2,0	77,5

Aşağıdaki Tablo 7.3'te oluşan zayıflama oranları özetlenmiştir. Zayıflama oranı, üzerine yiv açılmış somun dişinin taşıdığı yükün yiv açılmamış olan geometriye göre yüzde olarak ne kadar azaldığı hesaplanarak bulunmuştur.

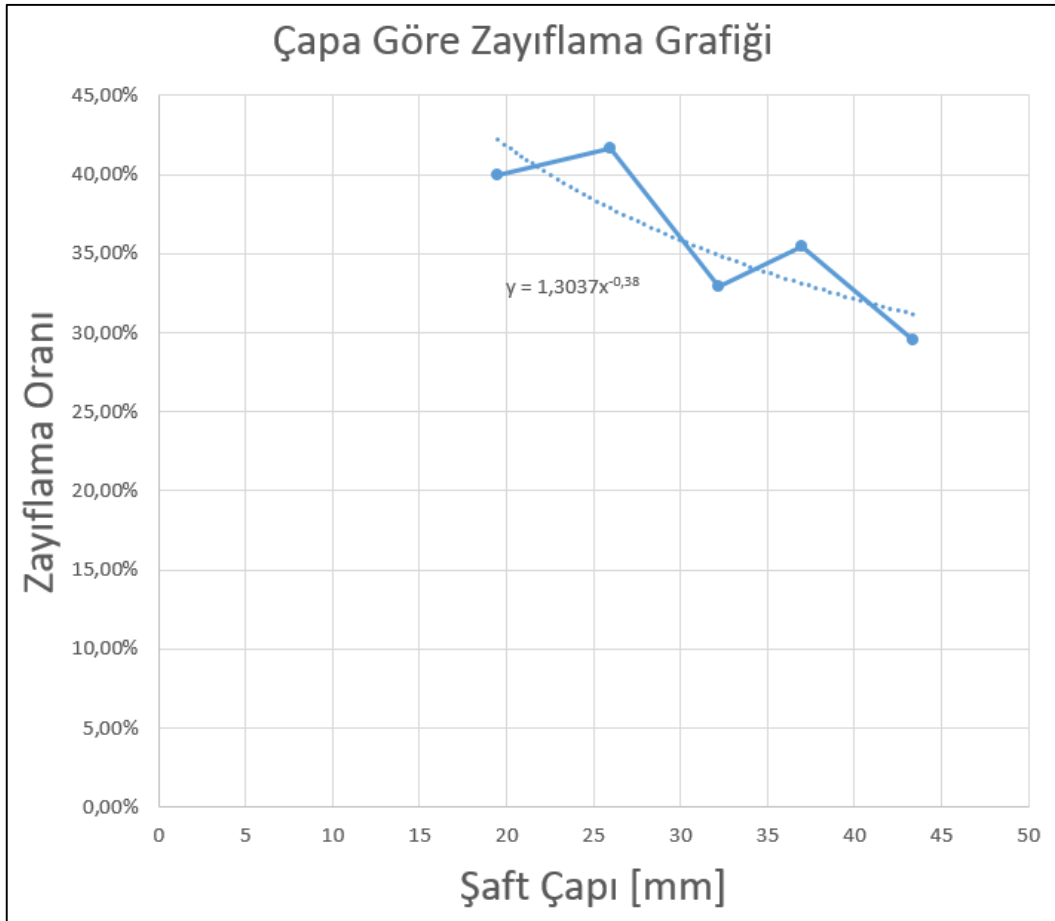
Tablo 7.3 Test Edilmiş Parçaların Zayıflama Oranları

Şaft Dış Çapı [mm]	Şaft İç Çapı [mm]	Somun Diş Ölçüleri	Eksenel Şaft Dişi Ölçüleri	Üzerine Yiv Açılmış Somun Dişinin Kırıldığı Yük [kN]	Üzerine Yiv Açılmamış Somun Dişinin Kırıldığı Yük [kN]	Zayıflama Oranı
19,5	15,5	0.875" 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 27 diş	40,0	66,7	40,00%
26	22	1.1250" 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 35 diş	45,5	78,1	41,70%
32,2	28,2	1.3750" 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 43 diş	58,4	87,0	32,89%
37	33	1.5625" 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 49 diş	63,0	97,6	35,46%
43,4	39,4	1.8125" 16UNJ Tipi 3A	30 derece, düz diş dibi, 32/64 eksenel şaft dişi hatvesi, 57 diş	77,5	110,0	29,55%

7.3 Değişen Çap'a Göre Oluşan Zayıflamanın Test Verisine Dayalı Tablosu

Parçalar hidrolik pres altında basılarak kırılmış ve kırıldığı yük değerlerine göre tablo 7.3'deki değerler elde edilmiştir. Tablodaki bu değerlere göre aşağıda görülen grafik oluşturulmuştur. Bu grafik Şekil 7.2'de verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere beklendiği gibi bir zayıflama oranı - shaft çapı korelasyonu oluşmuştur. Şekildeki grafiğe bir eğri uydurulmuştur. Bu eğri kullanarak herhangi bir çapta yiv kanalına sahip olan somun dişlerinde yiv kanalı bulunmayan somun dişlerine göre oluşacak zayıflamayı tahmin edebiliriz. Eğrinin formülü aşağıdaki formül 7.1'den okunabilir. Buradan da görüleceği gibi shaft çapı arttıkça zayıflama oranı düşmekte, yiv etkisi azalmaktadır.

$$y=1,3037x^{-0,38} \quad (7.1)$$



Şekil 7. 2 Çapa Bağlı Zayıflama Oranları

Bu tez çalışmasının sonucu olarak iki adet çıktı elde edilmiştir.

Bunlardan ilki yapılan analiz ile testin birbiri ile nasıl bir ilişkisi olduğudur. Testler sonucunda kırılma 114,4 kN değerinde görülmüş iken birebir aynı durumu yansıtan sonlu elemanlar analizlerinde kırılma 34,3 kN'da görülmüştür. Sonlu elemanlar analizinde gerçek gerilme değerini ve dağılımını elde etmek için bir yöntem geliştirilmesi gerekliliği, test ve analiz arasında görülen bu fark ile tespit edilmiştir. Bu gerilme farklarında yola çıkarak sonlu elemanlar analizinde gerilmenin gerçek hayata göre 3,34 kat daha fazla çıktığı görülmüştür. Bu değer bundan sonraki analiz çalışmalarında bir doğrultma faktörü olarak kullanılabilir. Sonlu elemanlar analizinden okunan gerilme değeri 1/3,34 ile çarpılmalıdır. Bu çalışmada 5 adet numune test edilmiştir. 5 adet numune her seferinde birbirinden farklı yüklerde kırılmıştır. Bu farklılıklar çok fazla olmamakla birlikte çözünürlüğün artırılması açısından daha fazla sayıda numune ile test yapılabilir. Ayrıca sonlu elemanlar analizinden kullanılan 0,2 sürtünme katsayısının yerine Inco718-Inco718 malzeme çifti için basit bir sürtünme katsayısı deneyi yapılarak gerçek değer tespit edilip kullanılabilir. Yine sonlu elemanlar analizinde kullanılan malzeme datası "bilinear" yerine "multilinear" olarak tanımlanırsa daha net gerilme sonuçları elde edilebilir. İnternette güvenilir kaynaklardan "multilinear" malzeme datası bulunamamıştır. Bu data da uzun testler aracılığı ile üretilebilir.

İkinci sonuç ise somun dişi üzerine açılan yiv geometrisinin farklı shaft çaplarında meydana getirdiği zayıflatma oranıdır. Bu testin sonucunda da bir eğri elde edilmiş ve bu eğrinin formülü kullanılarak herhangi bir shaft çapında yiv açılması durumunda oluşacak zayıflama oranı tespit edilebilecektir. Eğrinin formülü aşağıdaki formül 8.1'den okunabilir. İlgili formülde "X" değeri olarak shaft çapı girildiğinde zayıflama oranı elde edilebilir. İlgili zayıflama oranının grafiği incelendiğinde 5 adet farklı çapta yapılan testlerin sonuçları yer almaktadır. Bu sonuçların grafikteki dağılımı

incelendiğinde daha fazla farklı çapta yapılacak testlerin sonuçlarının grafikten elde edilecek eğrinin doğruluğunu iyileştirebileceği görülmektedir.

$$y=1,3037x^{-0,38} \quad (8.1)$$

Son olarak testler hidrolik preste el ile kuvvet kontrolü yapılarak uygulanmıştır. Bu esnada operatörden kaynaklı hatalar meydana gelmiş olabilir ve uygulanan yükler az da olsa bir miktar farklı raporlanmış olabilir. Yazılım kontrollü bir sistemde bu hataların olasılığı düşürülebilir.

Her iki çıktı da statik durumlar için elde edilmiş çıktılardır. Gerçek hayata bakıldığında bir gergi şaftı somunu asla statik durumda çalışmaz. Statik testler bu çalışmada karşılaşılan problemin çözümü için fikir verir ancak dinamik testler daha net sonuçlar sağlar. O yüzden bu testlerin ve analizlerin dinamik durumlar için geliştirilmesi daha doğru sonuçlar verecektir.

- [1]"Early Gas Turbine History", Web.mit.edu, 2019. [Online]. Available: http://web.mit.edu/aeroastro/labs/gtl/early_GT_history.html. [Accessed: 23-Feb- 2019].
- [2] "The History of the Industrial Gas Turbine (Part 1 The First Fifty Years 1940-1990)", Idgte.org, 2019. [Online]. Available: [https://www.idgte.org/IDGTE%20Paper%20582%20History%20of%20The%20Industrial%20Gas%20Turbine%20Part%201%20v2%20\(revised%2014-Jan-11\).pdf](https://www.idgte.org/IDGTE%20Paper%20582%20History%20of%20The%20Industrial%20Gas%20Turbine%20Part%201%20v2%20(revised%2014-Jan-11).pdf). [Accessed: 23- Feb- 2019].
- [3]"Turbofan", En.wikipedia.org, 2019. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Turbofan>. [Accessed: 24- Feb- 2019].
- [4]"Turbojet", En.wikipedia.org, 2019. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Turbojet>. [Accessed: 24- Feb- 2019].
- [5]"Implications of propulsive efficiency for engine design", Web.mit.edu, 2019. [Online]. Available: <http://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node82.html>. [Accessed: 24- Feb- 2019].
- [6]"Turboprop", En.wikipedia.org, 2019. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Turboprop>. [Accessed: 24- Feb- 2019].
- [7]"Turboshaft", En.wikipedia.org, 2019. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Turboshaft>. [Accessed: 24- Feb- 2019].
- [8]"Integral Engine Inlet Particle Separator", Apps.dtic.mil, 2019. [Online]. Available: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a013834.pdf>. [Accessed: 24- Feb- 2019].
- [9]Safran-helicopter-engines.com, 2019. [Online]. Available: https://www.safran-helicopter-engines.com/sites/turbomeca/files/mtr390_-_sale_brochure_2.pdf. [Accessed: 27- Feb- 2019].
- [10]www.Cogsdill.com, 2019. [Online]. Available: https://cogsdill.com/products/zx-systems/valve-seat-pocket-bottle-boring-tools/bottle_boring_tool_inside_cavity_r/. [Accessed: 28- Feb- 2019].
- [11]"GÖKB EY | Turkish Aerospace", Tai.com.tr, 2019. [Online]. Available: <https://www.tai.com.tr/en/product/t625>. [Accessed: 07- Mar- 2019].
- [12]"Development of a Lubrication System for the T800-LHT-800 Turboshaft Engine", <http://asmedigitalcollection.asme.org/index.aspx>, 2019. [Online]. Available: <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=2196913&resultClick=1>. [Accessed: 01- Mar- 2019].

- [13]"Reusable Lock for Spanner Nuts." Available: 10.4271/arp688b [Accessed 7 March 2019].
- [14]"Involute Splines and Inspection", Sae.org, 2019. [Online]. Available: <https://www.sae.org/publications/books/content/b-92.1/96/>. [Accessed: 30-Mar- 2019].
- [15]"AS8879D: Screw Threads - UNJ Profile, Inch Controlled Radius Root with Increased Minor Diameter - SAE International", Sae.org, 2019. [Online]. Available: <https://www.sae.org/standards/content/as8879d/>. [Accessed: 30-Mar- 2019].
- [16]"Nickel Alloy 718 / Inconel 718 (UNS N07718)- Aircraft Materials", Aircraftmaterials.com, 2019. [Online]. Available: <http://www.aircraftmaterials.com/data/nickel/718.html>. [Accessed: 15- May- 2019].
- [17]"MIL-HDBK-5 H METALLIC MATERIALS ELEMENTS AEROSPACE", Everyspec.com, 2019. [Online]. Available: http://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0001-0099/MIL_HDBK_5H_1804/. [Accessed: 30- Mar- 2019].
- [18]"Chapter 37: Bolt Thread Simulation", Sharcnet.ca, 2019. [Online]. Available: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/17.2/en-us/help/ans_tec/tecboltthread.html. [Accessed: 16- May- 2019].
- [19]J. Shigley, C. Mischke, R. Budynas and J. Shigley, Shigley's mechanical engineering design. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2006.
- [20]Apps.dtic.mil, 2019. [Online]. Available: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a087218.pdf>. [Accessed: 16- May- 2019].
- [21]"Data Sheet: AMS 5662 - Alloy 718 | Righton Blackburns Limited", Rightonblackburns.co.uk, 2019. [Online]. Available: http://rightonblackburns.co.uk/datasheets/view/Nickel-Alloy-AMS-5662-Alloy-718_450. [Accessed: 15- May- 2019].
- [22]Ulbrich.com, 2019. [Online]. Available: <https://www.ulbrich.com/uploads/data-sheets/Inconel-718-Wire-UNS-N07718-Wire.pdf>. [Accessed: 22- May- 2019].

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: imsmatec@gmail.com

Poster

Ş. Aydın ve M. Boğoçlu, "Standart bir somun dişi ile üzerine yiv açılmış bir somun dişinin yük altındaki dayanımlarının teorik ve deneysel yöntemlerle karşılaştırılması", IMSMATEC, Kapadokya, 2019.