

LAHİKA-A
DÖNER KANAT TEKNOLOJİ MERKEZİ (DKTM)
PROJE KONULARI

Döner Kanat Teknoloji Merkezi kapsamında ilk etapta çalışılması planlanan proje konuları ile ilgili muhtemel geliştirme projelerinden bazıları aşağıda yer almaktadır. Güncellemeler www.tai.com.tr web sitesinden takip edilebilir.

I – GÜÇ İLETİM SİSTEMLERİ

1. İnovatif Helikopter Dişli Mekanizmalarının Geliştirilmesi ve İleri Seviyede Analizi

Geleceğin helikopter dişli kutularından beklenen en önemli özelliklerin başında, konvansiyonel sistemlere kıyasla, hafiflik, yüksek verimlilik, sessizlik ve yüksek güvenilirlik gelir. Bunun yanında helikopter rotor aerodinamik performansının artırılabilmesi ve rotor gürültüsünün azaltılabilmesi için değişken hızlı dişli kutularına da ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden, bu projede beklenen, konvansiyonel helikopter sistemlerinin yerine geçebilecek inovatif transmisyon sistemlerinin geliştirilmesi ve detaylı bir şekilde analizinin yapılmasıdır. Aday sistemin değişken hızlı olması halinde rotor ve motor arası güç iletiminin herhangi bir bağlantı kopukluğuna sebep olmadan hız değişimini sağlaması gerekmektedir. Bu projeden genel olarak beklenenler aşağıdadır:

- i. Muhtemel aday sistemlerin belirlenmesi ve konvansiyonel helikopter dişli kutuları ve birbirleri ile mukayese edilmesi ve helikopterlere uygun olup olmadığının değerlendirilmesi; örneğin, seçilen aday tasarımların kinematiği, hız değişim özellikleri ve güç iletim özelliklerinin karşılaştırılması, karmaşası ve imal edilebilirliği gibi kriterleri de kullanarak detaylı analiz için seçime gidilmesi.
- ii. Seçilen tasarımın kinematik, güç iletim ve mukavemet özelliklerinin detaylı modellenmesi ve optimizasyonu için gerekli parametrelerin belirlenmesi.
- iii. Tasarımın dinamik, tribolojik, akustik özelliklerinden en önemli olan bir ya da birkaçının detaylı bir şekilde analizinin yapılması ve bu alanlarda optimizasyon çalışmalarının yapılması. Bu safhada her bir özelliğin değişik uzmanlar tarafından yapılması da teklif edilebilir. Bu durumda proje önergesinde proje yöneticilerinin ve araştırmacıların uzmanlık alanlarının belirtilmesi ve takım çalışma yapısının izah edilmesi gerekmektedir.

2. Özel Yüzey Profilli Dişlilerin Geliştirilmesi ve Detaylı Analizi

Helikopter dişli sistemlerinin mukavemetinin ve veriminin artması, kavrama esnasındaki ısınmaların ve gürültünün azaltılması, dişli boyutlarının düşürülmesi için yeni diş profillerinin ve özel profil modifikasyonlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Mesela, asimetrik diş profilli düz ve helis dişliler ve bunların makro ve mikro geometrilerinin, basma yüzeyi ve diş dibi geometrilerinin optimum tasarımı gibi konular üzerinde çalışmalar beklenmektedir. Konular sadece verilen örnekle kısıtlı değildir. Hedef öncelikle dişli teorisine uygun geometrilerin oluşturulması daha sonra da bunların detaylı analizidir. Bu projeden genel olarak beklenenler aşağıdadır:

- i. Özel dişli geometrisinin belirlenmesi ve bilinen standart dişlilerden üstünlüklerinin tanımlanması.

- ii. Diş yüzey makro geometrisinin dişli teorisi ve diferansiyel geometriye bağlı olarak analitik/nümerik modellenmesi. Dişler arası kavrama hareketinin sağlandığının ispatı ve yüzey kinematığının modellenmesi.
- iii. Makro geometrinin mukavemet, ısınma ve gürültü azaltılmasına yönelik profil modifikasyonlarının, dişler arası yük paylaşımının belirlenmesi ve benzeri konularda detaylı mikro geometri modellerinin ve analizlerinin yapılması.
- iv. İmal edilebilirlik konularının teorik olarak ispat edilmesi.

II – ROTOR KONTROLÜ ve PAL

Rotor pallerinin hatve açısı kontrolünde yalpa tablası (swashplate) kullanımı klasik bir yöntemdir. Bu yöntemde pallerin hatve açıları birbirlerine bağımlı bir şekilde, yalpa tablasının oluşturduğu kinematik ilişki ile belirlenir.

Her bir pali doğrudan kontrol eden eyleyiciler kullanılması ile rotor pallerine bağımsız hatve kontrol yeteneği kazandırılabilir. Bu yetenek, uçuş performansı artışı, titreşim ve gürültü seviyelerinin azaltılması, yer rezonansı etkisinin kontrol edilebilmesi ve güvenlik artışı gibi avantajlar sağlar. Bağımsız pal kontrolü, yalpa tablalı bir sistemde hatve kontrol çubukları yerine elektromekanik eyleyiciler yerleştirilerek gerçekleştirilebileceği gibi, bir yalpa tablasına gerek duyulmadan, pal köküne yerleştirilen eyleyiciler ile veya pal firar kenarında bulunan aerodinamik yüzeyler (aktif falplar) ile yapılarak karmaşıklık ve ağırlık azalması faydaları da sağlanır.

Bağımsız Hatve Kontrollü Rotor Sistemi Geliştirilmesi için gerçekleştirilecek araştırma/geliştirme projeleri aşağıda açıklanmıştır.

1. Pal Köküne Yerleştirilen Elektromekanik Eyleyiciler ile Bağımsız Pal Hatve Kontrollü Rotor Sistemi Geliştirilmesi

- i. Rotor sisteminin (algılayıcı ve eyleyiciler ile birlikte) analitik ve sistem tanımlama yöntemleri kullanılarak dinamik modelinin oluşturulması.
- ii. Tüm uçuş rejimini kapsayacak şekilde otomatik pal hizalama (tracking) algoritmalarının geliştirilmesi.
- iii. Bağımsız hatve kontrolü ile titreşim sönümleme ve gürültü azaltma algoritmalarının geliştirilmesi.
- iv. Yer rezonansı kontrolü için bağımsız pal hatve kontrolü algoritmalarının geliştirilmesi.
- v. Hata tespiti ve hataya dayanım algoritmalarına girdi sağlayacak algılayıcıların (ivmeölçer, gerinim sensörü, piezoelektrik yamalar vb.), yedekleme ve tamamlayıcı çalışma mantığına uygun bir şekilde belirlenmesi, bu algılayıcıların pal üzerine optimum yerleşimi.
- vi. Algılayıcıların bütünlük bir şekilde çalışmasını sağlayacak sensör füzyon algoritmalarının geliştirilmesi.
- vii. Algılayıcı ve eyleyici hatalarının tespiti ve bu hatalara karşı dayanım sağlayan algoritmaların geliştirilmesi.

2. Pal Firar Kenarına Yerleştirilen Flaplar ile Bağımsız Pal Hatve Kontrollü Rotor Sistemi Geliştirilmesi

- i. Rotor sisteminin (algılayıcı ve eyleyiciler ile birlikte) analitik ve sistem tanımlama yöntemleri kullanılarak dinamik modelinin oluşturulması.
- ii. Tüm uçuş rejimini kapsayacak şekilde otomatik pal hizalama (tracking) algoritmalarının geliştirilmesi.

- iii. Firar kenarı flaplarının kontrolü ile titreşim sönümlleme ve gürültü azaltma algoritmalarının geliştirilmesi.
- iv. Yer rezonansı kontrolü için bağımsız pal hatve kontrolü algoritmalarının geliştirilmesi.
- v. Hata tespiti ve hataya dayanım algoritmalarına girdi sağlayacak algılayıcıların (ivmeölçer, gerinim sensörü, piezoelektrik yamalar vb.), yedekleme ve tamamlayıcı çalışma mantığına uygun bir şekilde belirlenmesi, bu algılayıcıların pal üzerine optimum yerleşimi.
- vi. Algılayıcıların bütünleşik bir şekilde çalışmasını sağlayacak sensör füzyon algoritmalarının geliştirilmesi.
- vii. Algılayıcı ve eyleyici hatalarının tespiti ve bu hatalara karşı dayanım sağlayan algoritmaların geliştirilmesi.

3. Aktif Hatve Açısı Kontrol Mekanizması ile Bağımsız Pal Hatve Kontrollü Rotor Sistemi Geliştirilmesi

- i. Rotor sisteminin (algılayıcı ve eyleyiciler ile birlikte) analitik ve sistem tanımlama yöntemleri kullanılarak dinamik modelinin oluşturulması.
- ii. Tüm uçuş rejimini kapsayacak şekilde otomatik pal hizalama (tracking) algoritmalarının geliştirilmesi.
- iii. Aktif hatve kontrol eyleyicileri ile titreşim sönümlleme ve gürültü azaltma algoritmalarının geliştirilmesi.
- iv. Yer rezonansı kontrolü için bağımsız pal hatve kontrolü algoritmalarının geliştirilmesi.
- v. Hata tespiti ve hataya dayanım algoritmalarına girdi sağlayacak algılayıcıların (ivmeölçer, gerinim sensörü, piezoelektrik yamalar vb.), yedekleme ve tamamlayıcı çalışma mantığına uygun bir şekilde belirlenmesi, bu algılayıcıların pal üzerine optimum yerleşimi.
- vi. Algılayıcıların bütünleşik bir şekilde çalışmasını sağlayacak sensör füzyon algoritmalarının geliştirilmesi.
- vii. Algılayıcı ve/veya eyleyici hatalarının tespiti ve bu hatalara karşı dayanım sağlayan algoritmaların geliştirilmesi.
- viii. Yalpa tablası ve aktif hatve açısı kontrol eyleyicilerinin hata durumlarında yedekli kullanımına yönelik yöntemlerin geliştirilmesi.

4. Helikopter Rotorları için Uçuş Zarfı Koruma Yöntemleri ve Sistemleri Geliştirme

- i. Fly-by-wire kontroller ve elektromekanik sensörlerin kullanıldığı durumda aktif kontrol sistemleri ile pilota erken uyarı veren algoritmaların ve yöntemlerin geliştirilmesi.
- ii. İlgili kritik manevraların bulunması.
- iii. Geliştirilen algoritmaların pilotlar ile senaryo bazlı test edilmesi.

5. Inovatif Helikopter Rotor Kontrol Projeleri

Bu proje, helikopter rotor sistemlerine yönelik yenilikçi tasarım ve teknolojilerin önerilebileceği genel bir başlık olarak tanımlanmıştır.

6. Pal optimizasyonu

Bu proje, helikopter rotor pallerinin aeroakustik ve aerodinamik performansının geliştirilmesine ve optimizasyonuna yönelik projelerin önerilebileceği genel bir başlık olarak tanımlanmıştır.

III – GAZ TÜRİN MOTOR

DKTM projeleri içerikleri bakımından Aerodinamik, Malzeme, Yapısal ve Sertifikasyon olarak dört ana gruba ayrılmıştır.

Her grupta yer alan çalışmaların ilgili olduğu motor bileşenleri de parantez içinde belirtilmiştir.

1. AERODİNAMİK

1.1 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Çözücüsü Geliştirilmesi (Kompresör & Türbin)

Bütün dünyada motor firmaları, özellikle turbomakina tasarımlarında kendi özgün HAD çözücülerini kullanmakta ve rekabetçi motorlar tasarlayabilmek için bu çözücülerini geliştirmektedir. Turboşaft motor programı kapsamında kurulacak olan rig test merkezlerinde, bu tip HAD çözücülerini geliştirmek için gerekli tüm test verisi proje süresince toplanıyor olacaktır. Buna paralel olarak, özgün bir HAD çözücüsü yazılması ve rig testlerinden gelecek verilerle bu çözücünün geliştirilmesi planlanmaktadır. Hedef, geliştirilecek olan HAD çözücüsünün, ilk etapta turboşaft motor programı kapsamında kullanılacak olan ticari kodlara alternatif oluşturması, sonrasında ise bu kodların yerini alarak gelecekteki motor tasarım faaliyetlerinde direk olarak kullanılmasıdır. Projenin aşağıdaki ana başlıklar altında sunulan iş paketlerini içermesi planlanmaktadır.

- i. **2D RANS çözücü geliştirilmesi:** 2D RANS çözücünün hazırlanması (Ticari bir Ağ oluşturucu (Mesh Generator) kullanılarak) ve ticari kodlar ile, turboşaft projesini kapsamında test edilecek kanatçık profilleri üzerinde karşılaştırma yapılması
- ii. **Ağ oluşturucu geliştirilmesi**
- iii. **3D RANS çözücü geliştirilmesi:** 3D RANS çözücünün hazırlanması ve ticari kodlar ile, turboşaft projesini kapsamında test edilecek kanatçık geometrileri üzerinde karşılaştırma yapılması
- iv. **Validasyon:** Rig testlerden elde edilecek veriler ile özgün kodların validasyonunun ve gerekli iyileştirmelerin yapılması.

1.2 Kanatçık Geometri Optimizasyonu (Kompresör & Türbin)

Yüksek performansa sahip turbomakina tasarımına ulaşılabilmesi için, tasarım parametrelerinin tasarıma olan etkisinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Artan bilgisayar hesaplama gücü ile birlikte gelişen sayısal hesaplama yöntemlerinin de etkisiyle, tasarım parametrelerinin performansa olan etkilerinin karmaşık bir hal alması tasarımcının bunlar arasından uygun olanı değerlendirmesini git gide zorlaştırmaktadır. Bu projede tasarımcıya yardımcı olacak, bu parametrelerin etkilerini araştırıp, tasarımı iyileştirmeye imkan sağlayacak optimizasyon yazılımları geliştirilecektir.

Projenin aşağıdaki ana başlıklar altında sunulan iş paketlerini içermesi planlanmaktadır.

- i. **2D Kanatçık Optimizasyonu:** İki boyutlu kanatçık modellerinin aerodinamik kayıplarının azaltma amacıyla optimizasyon yazılımı geliştirilecektir. Literatürde detayları bilinen bir kanatçık profili (ör: Türbin için VKI-LS89 kanatçık profili) model olarak belirlenecektir. HAD yazılımı kullanılarak modelin aerodinamik performansı belirlenecek ve sonuçlar literatür verileri ile karşılaştırılacaktır. Seçilen modelin performansının geliştirilen yazılım ile iyileştirilmesine çalışılacaktır.
- ii. **3D Kanatçık Optimizasyonu:** Üç boyutlu oluşturulan gerçek kanatçık modellerinin performans optimizasyonu için gerekli araçların geliştirilmesi hedeflenmektedir. İki boyutlu optimizasyon olarak seçilen model kullanılarak üç boyutlu bir kanatçık geometrisi oluşturulacaktır. Bu geometrinin performansı HAD yazılımları ile belirlenecek ve aerodinamik performansının geliştirilecek yazılım ile iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

1.3 HAD Analiz Uygulamaları (Yanma Odası - RANS, LES; Ateşleme, Conjuge Isı Transferi, Alev Kararlılığı)

Yanmanın modellenmesi ve sayısal analizinde, türbülans-yanma etkileşiminin gerçekçi çözümlenmesi ve zamana bağlı etkilerin detaylı incelenmesi açısından, LES (Large Eddy Simulation) yaklaşımı hem akademik hem de endüstriyel alanda güçlü bir araç haline gelmiştir. Ateşleme, alev kararlılığı gibi olguların simülasyonunda, LES metodu oldukça kritik bir öneme sahiptir. Bu Ar-Ge çalışması sonucunda aşağıdaki yöntem ve uygulamaların geliştirilmesi beklenmektedir. Geliştirilen yöntemlerin gerçek uygulamaya dönük olması beklenmektedir.

Projenin aşağıdaki ana başlıklar altında sunulan iş paketlerini içermesi planlanmaktadır.

- i. **Reaktif LES metodolojilerinin belirlenmesi:** Yanma odasında gerçekleşen reaktif akışın LES modelleme yöntemi ile uygun yakıt tipi ve kimya uygulanarak çözülmesi. Geliştirilen metodolojinin çalışma koşullarında gerçek bir yanma odası modeline uygulanması.
- ii. **Transient Yanma Olaylarının Modellenmesi:** Yanma odası içerisinde anlık olarak gerçekleşen ateşleme, alev kararlılığı ve yanma/sönme limitleri gibi fenomenlerin LES yöntemleri ile modellenmesi.
- iii. **Eşlenik Isı Transferi Çözümleri:** Yanma odası duvarlarında gerçekleşen yanma kaynaklı ısınmanın eşlenik ısı transferi çözümleri ile belirlenmesi. Reaktif akış çözümlerinin duvar sıcaklığına olan etkilerinin belirlenmesi.

1.4 Yakıt Enjektörü Geliştirilmesi (Yanma Odası – Tasarım, Analiz, Üretim, Test)

Gaz türbini yanma odası içerisinde gerçekleşen yanma ve akış karakterini etkileyen en önemli etkenlerden biri de yakıt enjektörleridir. Yakıt enjektörleri özel tasarımları sayesinde istenilen debide, hızda, koni açısında ve yakıt damlacık çapında yakıt çıkışı sağlamaktadırlar. Proje kapsamında sıvı yakıtlara uygun bir enjektör tasarlanması istenmektedir.

Projenin aşağıdaki ana başlıklar altında sunulan iş paketlerini içermesi planlanmaktadır.

- i. **Tasarım:** Tasarım sürecinde kullanılan analitik yöntemler, geliştirilen kodlar ve uygulanan CFD analizleri detaylı şekilde sunulması ve tasarım metodolojisi tekrarlanabilir bir süreç haline çevrilmesi.
- ii. **Üretim:** Tasarlanan enjektörlerin üretimi. Bu yönde enjektörlere ait üretim çizimleri ve imalat detaylarının sunulması. Kullanılabilecek farklı üretim metotları belirlenmesi.
- iii. **Test:** Üretilen enjektörlerin hedeflenen basınç aralığında istenilen debiyi verdiği ve homojen bir atomizasyonun gerçekleştirildiği testlerle gösterilmesi. Yanma olmadan gerçekleştirilen karakterizasyon testlerinin sıcak olarak da gerçekleştirilmesi ve enjektörün yanmanın olduğu bir test ortamındaki performansının da araştırılması.

1.5 Impeller-Difüzör Etkileşimi (Radyal Kompresör)

1000-1500hp sınıfı turboşaft motorlarda düşük yakıt tüketimi için yüksek basınç oranı ve yüksek verimli kompresörler gereklidir. Bununla birlikte bu sınıftaki motorlarda üretim ve işletme maliyetlerinin düşük olması istendiği için basit, düşük parça sayılı ve imalatı kolay kompresörler tercih edilmektedir. Helikopter uygulamalarında yüksek seviye inlet distortion'lara maruz kalınması nedeniyle stall marjini yüksek, uzun ömürlü tasarımlar önem kazanmaktadır. Bu motorlarda söz konusu istekleri karşılayabilme kolaylığı nedeniyle radyal kompresörler tercih edilmektedir.

Bu projede radyal kompresörler için en önemli konulardan birisi olan impeller-difüzör etkileşimi sayısal ve deneysel olarak incelenecektir.

Projenin aşağıdaki ana başlıklar altında sunulan iş paketlerini içermesi planlanmaktadır.

- i. **Sayısal:** Bu çalışmada etkileşimin incelenmesine yönelik HAD analiz modelinin geliştirilmesi, üç boyutlu HAD analizlerinin yapılması ve de yapılan HAD analizlerinin test sonuçları ile karşılaştırılması planlanmaktadır.
- ii. **Deneysel:** Deneysel çalışmalar TEI'de "TJ-90 Turbojet Motoru Santrifüj Kompresör Tasarım Optimizasyonu" konulu SanTez kapsamında kurulacak test düzeneğinde gerçekleştirilecektir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler numerik analizlerle karşılaştırmada kullanılacaktır.

1.6 Yüksek Performanslı Kanatçık Uç Bölgesi Tasarımı (Türbin)

Proje öncelikle türbin rotor tip bölgesindeki akış fiziğinin anlaşılması hedeflemektedir. Çalışmalar deneysel olarak başlayacak ve yapılan çıkarımlar doğrultusunda bu kritik bölgenin HAD ile modellenmesi için gerekli metodoloji oluşturulacaktır. İlerleyen safhalarda aerodinamik performans kayıplarını azaltıcı geometrilerin araştırılması analiz yöntemi ile yapılacaktır. Performansı en iyi modelin sonuçları yapılacak deneysel faaliyetler ile gösterilecektir. Proje kapsamında yapılacak deneysel çalışmalar, Turboşaft Motor Programı dahilinde kurulacak olan HPT Kaskad test düzeneği kullanılarak yapılacaktır.

Projenin aşağıdaki ana başlıklar altında sunulan iş paketlerini içermesi planlanmaktadır.

- i. **Farklı uç açıklıkları için rotor uç bölgesindeki akışın deneysel incelenmesi:** Literatürde bulunan farklı tip geometrileri incelenecek ve seçilen bir modelin detaylı uç bölgesi akış karakteristiği çıkarılacaktır. Çalışmalar deneysel olarak HPT kaskad test düzeneğinde yapılacaktır. Bu sayede yüksek basınç bölgesinden düşük basınç bölgesine olan akışın fiziğinin anlaşılması hedeflenmektedir.
- ii. **Uç bölgesi HAD analizleri için metot geliştirilmesi:** Uç bölgesindeki temel kayıp mekanizmalarını en iyi yansıtacak metodoloji oluşturulacaktır. Yapılan deneysel çalışmaları doğru çözümleyecek HAD analiz yöntemi üzerinde çalışılacaktır.
- iii. **Yüksek performanslı Uç bölgesi Modelinin belirlenmesi:** Geliştirilen HAD metodolojisi kullanılarak alternatif tip geometrileri araştırılacaktır. En iyi performans artışı sağlayan model belirlenecektir.
- iv. **Yeni tasarımın deneysel karakterizasyonu:** Seçilen yeni uç bölgesinin deneysel olarak performansı belirlenecektir. Deneysel çalışmalar HPT Kaskad test düzeneğinde yapılacaktır. Çıkışta yapılacak basınç ölçümleri ve uç bölgesine uygulanacak akım görüntüleme teknikleri ile performans artışı deneysel olarak belirlenecektir.

1.7 Kanatçık Uç Bölgesinin Etkin Soğutulması (Türbin)

Türbin uç bölgeleri yüksek sıcaklıklarda en hızlı hasarlanan bölgelerden biridir. Bu proje ile bu bölgenin sıcaklıklarının düşürülmesi ve daha az soğutma havası ile etkin şekilde soğutulması için yeni soğutma tasarımının geliştirilmesi hedeflenmektedir. Proje kapsamında yapılacak deneysel çalışmalar, Turboşaft Motor Programı dahilinde kurulacak olan HPT Kaskad test düzeneği kullanılarak yapılacaktır.

Projenin aşağıdaki ana başlıklar altında sunulan iş paketlerini içermesi planlanmaktadır.

- i. **Uç soğutma konsept tasarımı:** Uç geometrilerine uygulanan soğutma konfigürasyonları ve soğutma etkinlikleri belirlenecektir. Bu yöntemlerde kullanılan etkin mekanizmalar anlaşılacak ve soğutma etkinliğini arttıracak soğutma konfigürasyonu oluşturulacaktır.
- ii. **Aerodinamik analiz :** Uç bölgesine uygulanabilecek alternatif soğutma konfigürasyonları belirlenecektir. Bu konfigürasyonlara ait akış özellikleri analiz yöntemi ile tespit edilecektir. En iyi alternatife ait model HPT kaskad test düzeneğinde test edilecek ve analiz sonuçları doğrulanacaktır.
- iii. **Soğutma Etkinliği:** Soğutma etkinliğinin belirlenmesi için analiz metodolojisi literatür bilgileri kullanılarak geliştirilecektir. Belirlenen konfigürasyonlara ait soğutma etkinlikleri analiz yöntemi ile tespit edilecektir. En iyi alternatife ait model HPT kaskad test düzeneğinde test edilecek ve analiz sonuçları doğrulanacaktır.

1.8 Soğutma Performansı Tahmini (Türbin)

Türbin kanatçıklarının yanma odası koşulları altında metal sıcaklıklarının bulunması ve metal sıcaklıklarının tayini için kullanılan kodun geliştirilmesi hedeflenmektedir. Motor testi öncesinde tasarım metodolojisinin güvenilirliğinin artırılması hedeflenmektedir.

Projenin aşağıdaki ana başlıklar altında sunulan iş paketlerini içermesi planlanmaktadır.

- i. **Soğutmalı kanatçık modeline ait metal sıcaklık tahmini:** Tasarlanan iç soğutmalı türbin kanatçıklarının sıcaklık dağılımı, deneysel olarak yanma odası çıkış sıcaklıklarına benzer koşullarda ölçülecektir. Farklı bölgelerdeki sıcaklık seviyeleri belirlenecek ve tasarımda öngörülen sıcaklıklar ile karşılaştırılacaktır. Testler farklı gaz sıcaklıkları için tekrarlanacaktır.
- ii. **Metal sıcaklıkları hesaplayan kodun geliştirilmesi:** Deneylerde elde edilen sıcaklık dağılımlarına göre metal sıcaklıklarını hesaplayan bir yazılım geliştirilecektir. Bu yazılım HAD analizlerinden bağımsız olarak metal sıcaklıklarını hesaplayacak yetkinlikte olacaktır.

2 MALZEME

2.1 TBC Kaplama Karakterizasyonu (Yanma Odası – APS)

Proje kapsamında motorda yüksek sıcaklıkta çalışan yanma odasına uygulanacak olan ısı bariyer kaplamanın termal ve mekanik özelliklerinin karakterizasyonu sağlanacaktır. Isıl bariyer kaplama ile ilgili metalürjik ve operasyonel anlamdaki deneyim eksikliği tasarım ve üretim kabiliyetlerini de sınırlandırmaktadır. Bu yüzden bu projenin amacı ısı bariyer kaplamalarının mikro yapısını etkileyen mekanizmaların incelenmesi ve bu sayede ısı bariyer kaplamalarını işlevselliğinin belirlenmesi olacaktır. Proje kapsamında yanma odası üzerine göreceli olarak kalın bir kaplamaya imkan sağlayan APS yönteminin araştırılması beklenmektedir.

Projenin aşağıdaki ana başlıklar altında sunulan iş paketlerini içermesi planlanmaktadır.

- i. **Karakteristik belirleme:** Isıl bariyer kaplamalarının ölçülebilir karakteristiklerinin belirlenmesi
- ii. **Isı ile karakteristik değişimi:** Isıya maruz bırakılan ısı bariyer kaplamaların karakteristiklerindeki değişimin belirlenmesi
- iii. **Kaplama performans tahmini:** Isıl bariyer kaplamanın performansının düşmesine veya tamamen işlevsiz hale gelmesine neden olan baskın mekanizmaların belirlenmesi

2.2 TBC Kaplama Karakterizasyonu (Türbin – EB-PVD)

Proje kapsamında motorda yüksek sıcaklığa maruz kalan türbin kanatlarına uygulanacak olan ısı bariyer kaplamanın termal ve mekanik özelliklerinin karakterizasyonu sağlanacaktır. Isıl bariyer kaplama ile ilgili metalürjik ve operasyonel anlamdaki deneyim eksikliği tasarım ve üretim

kabiliyetlerini de sınırlandırmaktadır. Bu yüzden bu projenin amacı ısı bariyer kaplamalarının mikroyapısını etkileyen mekanizmaların incelenmesi ve bu sayede ısı bariyer kaplamalarını işlevselliğinin belirlenmesi olacaktır. Proje kapsamında türbin kanatları üzerine uygulanan ve hassas bir yüzey ile akış aerodinamiğini etkilemeyen EB-PVD yönteminin araştırılması beklenmektedir.

Projenin aşağıdaki ana başlıklar altında sunulan iş paketlerini içermesi planlanmaktadır.

- i. **Karakteristik belirleme:** Isıl bariyer kaplamalarının ölçülebilir karakteristiklerinin belirlenmesi
- ii. **Isı ile karakteristik değişimi:** Isıya maruz bırakılan ısı bariyer kaplamaların karakteristiklerindeki değişimin belirlenmesi
- iii. **Kaplama performans tahmini:** Isıl bariyer kaplamanın performansının düşmesine veya tamamen işlevsiz hale gelmesine neden olan baskın mekanizmaların belirlenmesi

2.3 Malzeme Bilgisi Çıkarılması

Turboşaft motor projesi kapsamında, motorda kullanılacak olan malzemeler için tasarımda kullanılmak üzere malzeme bilgisi çıkarılacaktır. Bu bilgileri elde etmek için gerekli testler NADCAP onaylı test merkezlerinde yapılacaktır.

Bu projede ise, verileri elde edilmiş motor malzemelerinden bir tanesi seçilerek (titanyum (6/4, 6242 vb.), veya süper alaşım (Inconel serisi, vb.)), gerekli testlerin:

- i. **Termal ve fiziksel testler:** Poison oranı, termal genleşme, termal yayılım, termal iletkenlik, yoğunluk, özgül ısı belirleme testleri
- ii. **Mekanik testler:** Akma, çekme, kopma mukavemetleri, uzama değerleri, yüksek ve düşük çevrimli yorulma mukavemetleri, gerilme değerleri testleri

yapılarak malzeme bilgisinin tekrar çıkartılması planlanmaktadır. Çıkartılan bu veriler, NADCAP onaylı test merkezlerinden elde edilen veriler ile karşılaştırılarak, malzeme bilgisi çıkartma kabiliyeti/yeterliliği değerlendirilecektir.

2.4 Titanyum Dövme Teknolojisi

Proje kapsamında motorda kullanılacak olan titanyum dövme malzemelerin üretim süreçleri ile malzeme özellikleri arası ilişkilerin belirlenmesi planlanmaktadır. Bu kapsamında, farklı titanyum dövme örneklerinin incelenmesi ve karşılaştırılması için prototip parçalar imal ettirilecek, optimum proses parametrelerinin tanımlanması sağlanacaktır.

2.5 Nikel Bazlı Süperalaşım Dövme Teknolojisi

Proje kapsamında motorda kullanılacak olan nikel bazlı süperalaşım dövme malzemelerin üretim süreçleri ile malzeme özellikleri arası ilişkilerin belirlenmesi ve optimum proses parametrelerinin tanımlanması planlanmaktadır. Bu kapsamında, farklı nikel bazlı süperalaşım dövme

örneklerinin incelenmesi ve karşılaştırılması için prototip parçalar imal ettirilecek, optimum proses parametrelerinin tanımlanması sağlanacaktır.

3 YAPISAL

3.1 HCF Analiz ve Test (Eksenel Kompresör Pale)

Yüksek çevrim yorulma (High Cycle Fatigue, HCF) bilhassa fan, kompresör ve türbin paleleri ile ince statik motor parçalarında motorun bütünlüğünü riske sokan baskın yapısal mekanizmadır. Bu proje kapsamında, eksenel kompresör palelerinin HCF analiz ve hesaplama yöntemlerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Mevcut palelerin HCF testleri yapılarak, testlerden elde edilecek sonuçlar ile analizlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması, ve analiz yöntemlerinin doğrulanması ve geliştirilmesi planlanmaktadır.

3.2 LCF Analiz ve Test (Türbin Firtree Bağlantısı)

Düşük çevrim yorulma, motorun bütünlüğünü riske sokan en önemli baskın yapısal mekanizmalardan biridir. Türbin-pale bağlantıları, gerek imalat toleransları gerekse bağlantıda çalışan yüzeyler arasındaki sürtünme ve temas bölgesindeki gerilmeler, tasarım açısından zor ve önemlidir. Proje kapsamında, türbin pale bağlantısının düşük çevrim yorulma (LCF) testleri gerçekleştirilecek, sonuçları hesaplamalar ile kıyaslanacaktır. Testlerde, tasarımda belirlenmiş yük altında, kritik olan bölgelere gerinim ölçerler yerleştirilerek gerinimler ölçülecek, belirli çevrim sonunda parça üzerinde çatlak kontrolü yapılacak ve parçanın kopmasına izin verilecektir. Elde edilen ölçümler ve sonuçlar hem tasarımda kullanılan modellemenin doğrulanmasını hem de metodolojinin geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

3.3 Squeeze Film Damper Tasarımı

Proje kapsamında, rotor dinamiği tasarım ve hesaplamalarında bilgi/birikim oluşturmak amacıyla, sönümleyici olarak kullanılan film sönümleyicilerin tasarımlarının gerçekleştirilmesi, hesaplamaların yapılması ve testler ile squeeze film damper (SFD) parametrelerini değiştirerek tasarım ve hesaplamaların doğruluğunun kontrol edilmesi planlanmaktadır. Esas olarak, SFD lerin testlerine uygun olacak şekilde basit disk ve şafttan oluşan sistem konfigürasyonları testlerde kullanılacaktır. Test rig ile, rotor-yatak sisteminin, diskin ve şaftın balanssızlığı, jiroskopik etkiler, SFD' nin lineer olmayan davranışları gibi farklı operasyonel koşullarda testleri gerçekleştirilecek ve toplanan veriler rotor dinamiği metodolojisinin geliştirilmesinde kullanılacaktır.

3.4 Friction Damping Tasarımı

Motor rotor palelerinde servis ömrünü artırma amacıyla, sürtünmeli sönümleme konsepti rezonans gerilmeleri minimize etme maksadıyla kullanılmaktadır. Bu projede, sürtünmeli sönümleyici tasarım ve analiz metodolojisinin geliştirilmesi ve bunun için gerekli olan test düzeneklerinin kurulumu ve testlerin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

3.5 Aeroelasticity Hesaplamaları, Analiz Yöntemleri ve Yazılım Geliştirme

Yapısal bütünlük açısından, titreşim değerlendirmelerinde akıştan kaynaklanan kuvvetlerin önemi büyüktür ve hesaba katılması gerekmektedir. Akıştan kaynaklanan kuvvetlerin yapısal kuvvetler ve atalet kuvvetleri ile birlikte eş zamanlı olarak değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu proje kapsamında, aeroelasticity metodolojisinin oluşturulması ve yapısal bütünlük kontrolleri için kullanılacak bir yazılım geliştirilmesi planlanmaktadır. Bu metodolojinin ve yazılımın validasyonu ve iyileştirmesi, Turboşaft Motor Programı kapsamında yapılacak olan aero rig testlerden elde edilecek veriler ile yapılacaktır.

4 SERTİFİKASYON

4.1 Balistik Testler (Analiz ve Test Validasyonu)

Kopan turbomakina palelerinin veya parçalarının motor içinde muhafaza edilmesi bir sertifikasyon gerekliliğidir. Bu sebeple, motor tasarımlarında muhakkak hesaba katılması ve incelenmesi gereken oldukça önemli bir konudur. Bu proje kapsamında, yüksek deformasyon malzeme özelliklerinin elde edilmesi için, balistik testler yapılarak (gaz tabancası ile parça fırlatılması), muhafaza üzerindeki anlık darbe etkisi incelenecektir. Böylece tasarım için analiz ve hesaplamalarda kullanılacak olan malzeme modellemesi gerçekleştirilmiş olacaktır.

4.2 Darbe Etkisi (Impact) Analiz ve Similasyonu

Sertifikasyon gereksinimi olarak, motorun maruz kalabileceği buz, kuş veyahut dolu çarpmalarında, motorun belirlenen hasar limitleri içinde kaldığının testler ile gösterilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimin sağlanabilmesi ve yapılacak testlerdeki uyumsuzluk riskinin azaltılabilmesi, tasarım için kullanılacak olan analiz yöntemlerinin yeterliliğine bağlıdır. Bu proje kapsamında, motora girebilecek olan maddelerin (buz, kuş, dolu, vb.) izleyeceği yolun ve darbe sonrasında meydana gelecek hasarın tahmin edilebilmesi için gerekli analiz ve simülasyon yöntemlerin geliştirilmesi planlanmaktadır.