

## HAVACILIĞA YÖNELİK MOTOR KONTROL SİSTEMLERİNDE YAPAY ZEKÂ KULLANIMI

Okay MENDİL<sup>1</sup>  
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
Uçak Mühendisliği, Eskişehir

Işıl YAZAR<sup>2</sup>  
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
Uçak Mühendisliği, Eskişehir

### ÖZET

Bu çalışma, yapay zekanın Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrolü sürecinde olası kullanımının önemini ve etkilerini incelemek adına bir literatür araştırmasını ortaya koymaktadır. Motor kontrol sistemlerinin evrimi üzerine bir bakış sunarak, Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrolü'nün geçmişten günümüze tarihsel gelişimini detaylı bir şekilde ele almaktadır. Merkezi ve Dağıtılmış Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Sistemleri'nin karşılaştırılması yapılarak, bu sistemlerin performansı ve kullanım alanları üzerinde durulmaktadır. Yapay zekâ, motor kontrol sistemlerinde verimlilik, güvenilirlik ve optimizasyon açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Çalışma kapsamında, yapay zekanın motor kontrol sistemlerine entegrasyonu konusunda gelecek perspektifleri ve olası etkileri tartışılmaktadır. Tam Yetkili Motor Kontrol Sistemi'nde kullanımı henüz başlangıç aşamasında olan yapay zekanın, hangi metotlarla, nasıl kullanılabileceği hakkında bilgi verilmesi ve Türkçe literatüre bu alanda katkı yapılması amaçlanmıştır.

### GİRİŞ

Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol (FADEC-Full Authority Digital Engine Control) Sistemi, elektronik motor kontrol (EEC-Electronic Engine Control) veya motor kontrol ünitesi (ECU-Engine Control Unit) olarak adlandırılan bir sayısal bilgisayardan ve hidro mekanik üniteden (HMU-Hydro Mechanical Unit) oluşan, uçak motor performansını optimize etmek, yakıt ekonomisini düzenlemek ve emisyonları düşürmek gibi amaçlarla tasarlanan bir kontrol ünitesidir [skybrary, 2024]. Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Sistemi, algılayıcılar tarafından toplanan verilere dayanarak motor parametrelerini sürekli olarak izler ve kontrol eder. Doğru konfigürasyona sahip bir Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Sistemi, motorun optimum performansını değişken koşullara rağmen sürekli olarak ayarlayarak maliyetleri azaltabilir, çevresel etkiyi minimize edebilir ve olası riskleri en aza indirebilir [Esfahani ve diğerleri, 2022]. Uçuş sırasında daha fazla itkiye ihtiyaç duyulduğunda, yakıt enjeksiyon miktarında, fan ve düşük basınç kompresör hızında oynamalar yaparak gerekli itkiyi sağlar. Sahip olduğu bu özellikler sonucu motor kontrol sistemlerinin geliştirilmesine yoğun şekilde yatırımlar yapılmaktadır. Bu noktada da elektronik sistemlerdeki hali hazırdaki gelişmeler, yeni uygulamaların önünün açılması için önem arz etmektedir. Yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetleri sonucunda, uzun vadede uydu tabanlı kablosuz dağıtılmış (distributed) kontrol mimarisine geçişin hedeflenmesinin yanı sıra hedeflenen mimariye geçiş sürecinde ise motorların otonom kontrol, dağıtılmış kablosuz kontrol mimarisi ve yapay zekâ ile desteklenmesi beklenmektedir. Günümüzde kullanılan merkezi kontrol mimarisi bu sürecin ilk adımı olup, dağıtılmış Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Sistemi kontrol mimarisi şu anki teknolojinin bu süreç içerisinde geldiği son konum ve yapay zekâ destekli kontrol mimarisi ise atılacak bir sonraki adımdır [Behbahani ve diğerleri, 2007]. Yapay zekâ, Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Sistemi'nin daha da gelişmesine ve yeni işlevler kazanmasına katkıda bulunarak gelecekte atılacak adımların temelini oluşturacaktır. Bu çalışma, yapay zekanın FADEC sistemlerine nasıl entegre edilebileceğini, bu entegrasyonun sağlayabileceği faydaları, mevcut zorlukları ve bu alandaki son gelişmeleri incelemekte ve değerlendirmektedir.

### TAM YETKİLİ SAYISAL MOTOR KONTROLÜNÜN TARİHSEL GELİŞİMİ

Geliştirilen ilk kontrol sistemleri pnömatik ve hidromekanik akış kontrol cihazları tarafından oluşturulmuştur. Geleneksel kontrol sistemlerinde, pilot göstergeleri takip ederek manuel olarak gaz kolunu veya gerekli mekanizmayı ayarlamaktadır. Bu durum uçuş süresince pilot için ekstra bir iş

<sup>1</sup> Lisans Öğrencisi, Okay MENDİL, Uçak Müh. Böl., E-posta: okay.mendil@hotmail.com

<sup>2</sup> Doç. Dr. Işıl YAZAR, Uçak Müh. Böl., E-posta: iyazar@ogu.edu.tr

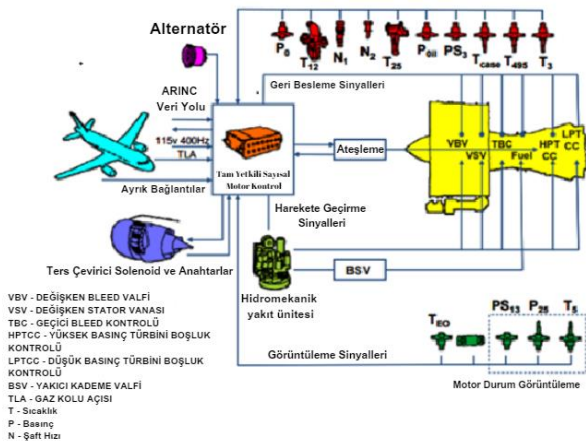
yükü oluşturmaktadır. Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Sistemi'nin kullanımı, ağırlık azaltma ve performansı artırma gibi ihtiyaçlar sebebiyle zaman içerisinde hidromekanik ve pnömatik sistemlerin yerini almış ve sistemi yarı-otonom bir hale getirmiştir. Böylece pilot için daha konforlu bir uçuş ortamı sağlanmıştır.

Geliştirilen kontrol teknolojisi ile motorun, farklı hava aracı tiplerinin karakteristik özelliklerinin gerektirdiği şekilde çalışmasının sağlandığı görülmüştür. İhtiyaçlar doğrultusunda ortaya çıkan ilk mimari Merkezi kontrol sistemi olmuştur. Motor tasarımlarındaki gelişmeler ile ek kontrol kabiliyetlerine olan ihtiyaç arttıkça Merkezi Kontrol Mimarisi de yerini Dağıtılmış Kontrol Sistemine bırakmıştır. Bu mimarilerin, geleneksel kontrol sistemlerine göre sağladığı avantajlardan bazıları [skybrary, 2024];

- Yakıt verimliliği
- Tolerans dışı işlemlere karşı otomatik motor koruması
- Çok kanallı motor kontrol bilgisayarı yedekliliği ile güvenilirliğin sağlanması
- Yarı otomatik motor çalıştırma
- Motor ve uçak sistemleri ile daha iyi sistem entegrasyonu
- Ağırlık tasarrufu
- Azaltılan incelenen parametre sayısı
- Motorun uzun vadeli sağlık izleme ve teşhisini sağlayabilmesi şeklinde sıralanabilir.

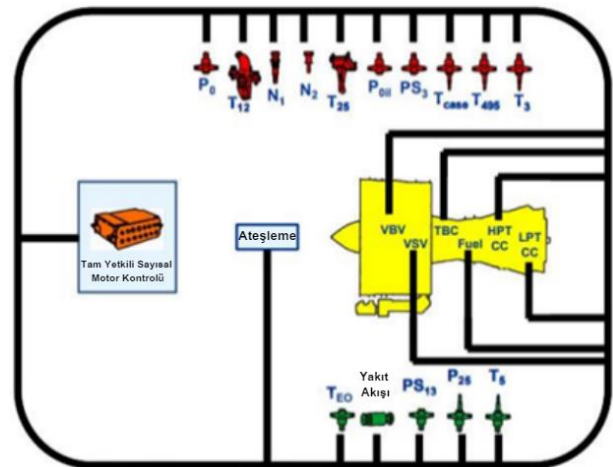
### Merkezi ve Dağıtılmış Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Sistemi

Merkezi kontrol sistemi, motora montajlı bir adet tam yetkili sayısal motor kontrolörünün, tüm kontrol sistemi elemanları ile ayrı ayrı bağlandığı ve tüm motor kontrol işlevlerinin merkezi bir şekilde yönetildiği bir kontrol mimarisidir. Motor montajının ana nedeni, kontrol sisteminin noktadan noktaya analog iletişim etrafında tasarlanmış olmasıdır. Bu durumda kablo demeti uzunluğunun en aza indirilerek minimum kablo demeti ağırlığını sağlamak adına optimum konumlandırma gerekmektedir. Ancak motorun sıcak bölümüne yakın yerleştirilmesi durumunda soğutma ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır. Bu mimari (Şekil 1), sistem karmaşıklığı sebebi ile performans artırıcı geliştirmeleri ve ağırlık tasarrufunu sınırlamaktadır. Dağıtılmış kontrol mimarisi (Şekil 2) ise gelişen teknolojik imkanlardan yararlanmayı ve eski sistemlerin tasarım kısıtlarını ortadan kaldırmayı amaçlayan bir çalışmanın ürünüdür. Bu sistem içerisindeki amaç kontrol sistemine ait fonksiyonların akıllı algılayıcılar ve aktüatörler kullanılarak oluşturulması, sistemin daha modüler bir hale getirilmesi ve maliyet verimliliğini sağlayan konumlara yerleştirilen bu modüller ile kontrolün sağlanmasıdır. Bu mimarinin ana özelliği, modül bileşenleri arasında SI seri iletişim kurulması ile sistem karmaşıklığını ortadan kaldırarak tasarım esnekliğinin sağlanmasıdır.



Şekil 1: Merkezi Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Mimarisi

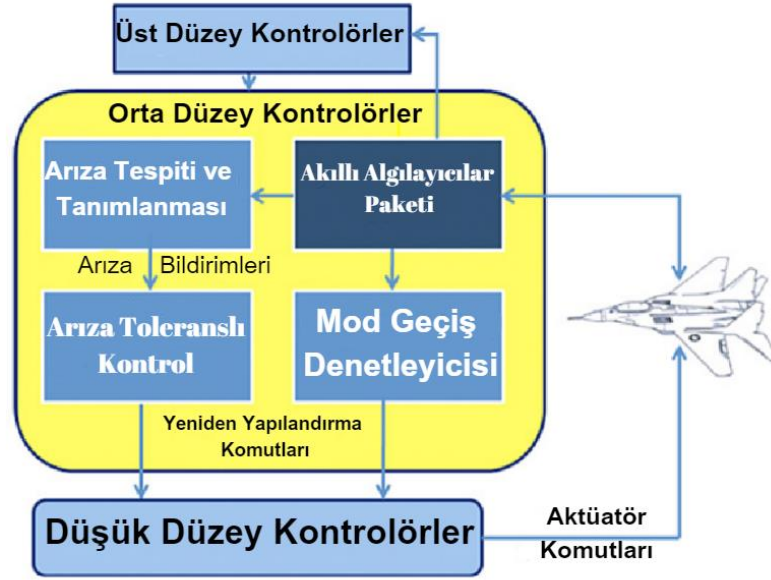
[Yin ve diğerleri, 2018; Behbahani ve Culley, 2008]



Şekil 2: Dağıtılmış Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Mimarisi

[Decwg, 2016]

Merkezi kontrol sisteminde, noktadan noktaya analog iletişim sebebi ile tam yetkili sayısal motor kontrol donanımı herhangi bir sistem değişikliğinden etkilenecektir. Dağıtılmış kontrol sisteminde ise tam yetkili sayısal motor kontrol donanımı genellikle sistem değişikliklerinden etkilenmez ve bağımsız geliştirme faaliyetleri için entegrasyon kolaylığı sağlar. Ayrıca dağıtılmış kontrol sistem yazılımı kendi içerisinde hiyerarşik bir yapıya sahiptir (Şekil 3). Bu hiyerarşik yapı gelecekte yapay zekanın kontrol sistemlerinde etkin bir şekilde kullanılması adına kilit bir role sahiptir. Model tabanlı kontrol yapısına, dolayısıyla gelişmiş kontrol mantığına sahip olan bu yazılım, entegrasyonda kullanılabilecek yeni teknolojilerin kolayca sisteme uyarlanmasını sağlayacaktır.



Şekil 3: Dağıtılmış açık yazılım (DOS) hiyerarşik yapısı  
[Decwg, 2016]

### YAPAY ZEKÂ ve MOTOR KONTROL SİSTEMLERİNDEKİ YERİ

Yapay zekâ, 1950'lerden bu yana gelişen bir teknolojidir. Alan Turing'in "Computing Machinery and Intelligence" adlı makalesinde öne sürdüğü Turing Testi, makinelerin insan gibi akıllı davranma potansiyelini tartışmaya açmıştır [airpowerasia, 2020]. O zamandan beri yapay zekâ, oyunlar, doğal dil işleme, görüntü tanıma ve robotik gibi alanlarda önemli ilerlemeler kaydederek günlük hayatımızda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Havacılık endüstrisinde de yapay zekâ, uçuş rota planlama ve bakım tahminleri gibi akıllı sistemler aracılığıyla uçuşların daha verimli ve güvenli hale getirilmesine katkı sağlamaktadır [eurocontrol, 2023].

2018'de Alman Otomotiv Araştırma Enstitüsü (IAV GmbH) ile Alman Yapay Zekâ Araştırma Merkezi (DFKI) tarafından yapılan ortak çalışma, yapay zekanın motor kontrolündeki etkisini artırmayı hedeflemiştir. Çalışma sonunda akıllı veri analizi yöntemlerinin, verilerin, kontrol ünitelerinin ve test tezgahlarının izlenmesini ve iyileştirilmesini mümkün kıldığı belirtilmiştir [IAV, 2018]. Bu sonuçlar, havacılık sektöründeki kontrol teknolojisinin geleceği hakkında önemli bilgiler sağlamış ve bu alanda çalışan firmaların ilgisini çekmiştir.

Yapay zekâ ve gelişmiş otomatik pilot teknolojilerinin uçak kontrol ve yönetim sistemlerine entegre edilmesinin, havacılık endüstrisinde büyük bir dönüşüme neden olacağı öngörülmektedir. Daedalean şirketi ile ticari ve genel havacılık uçak aviyonik sistemleri üreticisi Avidyne, 2021 yılında bir ortaklık kurarak, makine öğrenimine dayalı bir aviyonik sistem geliştirmiştir. Bu sistem, çeşitli kameralar ve diğer uçak elektronikleri ile etkileşim sağlayarak, havadaki veya yerdeki tehlikeleri tespit edebilen güçlü bir hesaplama birimi içermektedir [avidyne, 2021]. Bu ortaklık, havacılık sektöründe yapay zekâ tabanlı sistemlerin ilerlemesi adına önemli bir adımı temsil etmektedir. İleri teknolojik sistemlerin uçaklara entegrasyonu, havacılığı geleceğe taşıyacak önemli bir adımdır. Bu gelişmeler havacılıkta güvenlik, verimlilik ve sürdürülebilirlik alanlarında devrim yaratabilecek niteliktedir. Yapay zekânın havacılık elektronik bileşenlerindeki kullanımının artması kaçınılmaz görüldüğünden, ABD Hava

Kuvvetleri çeşitli yapay zekâ ve makine öğrenimi gömülü bilgi işlem aviyoniklerinin Boyut, Ağırlık ve Güç (SWaP) tüketimini azaltmak için önümüzdeki beş yıl içinde yaklaşık 100 milyon dolar harcamayı planlamaktadır. Hedef teknolojiler ve uygulamalar arasında, çok kaynaklı algılayıcı verilerinin büyük veri analitiği için yapay zekâ ve makine öğrenimi, durum anlayışı ve anlamlandırma için veri birleştirme algoritmaları ve ayrıca otonom karar verme teknikleri yer alacağı bilinmektedir [Sachdev, 2021]. Yapay zekânın uçuş kontrol sistemi ile birlikte kullanılabilmesi üç potansiyel ana alan, bu alanlarda sağlayabileceği faydalar ve yapay zekâ-tam yetkili sayısal motor kontrol sistemi faaliyetleri ise tablo 1’de gösterilmiştir [Siby ve diğerleri, 2023].

Tablo 1: Yapay Zekânın Potansiyel İşlevleri  
[Siby ve diğerleri, 2023]

Alan	Yapay Zekâ	Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol	Faydalar
Motor Performansı Optimizasyonu	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gerçek zamanlı optimizasyon</li> <li>Daha fazla güç</li> <li>Daha az yakıt tüketimi</li> <li>Daha düşük emisyon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motor parametrelerini kontrol eder</li> <li>Yakıt-hava karışımını ayarlar</li> <li>Ateşleme zamanlamasını kontrol eder</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Artan motor performansı</li> <li>Azaltılmış yakıt maliyetleri, Daha çevre dostu uçuşlar</li> </ul>
Arıza Teşhisi ve Prognostik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potansiyel arızaları önceden tahmin eder</li> <li>Arıza nedenlerini belirler</li> <li>Gerekli önlemleri önerir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arıza kodlarını analiz eder</li> <li>Algılayıcı verilerini izler</li> <li>Uçuş geçmişini takip eder</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Artan uçuş güvenliği</li> <li>Azaltılmış bakım maliyetleri</li> <li>Geliştirilmiş uçak modernizasyon kabiliyetleri</li> </ul>
Motor Ömrü Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kalan motor ömrünü tahmin eder</li> <li>Bakım onarım işlemlerini planlar</li> <li>Motorun ömrünü uzatır</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motor çalışma geçmişini analiz eder</li> <li>Motor durumunu izler</li> <li>Kullanım ömrü tahmini modelleri oluşturur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Artan motor ömrü</li> <li>Azaltılmış bakım maliyetleri</li> <li>Geliştirilmiş filo yönetimi</li> </ul>

Uçuş dinamikleri için sistem modelinin hazırlanmasında, sistemin tüm dinamik aralıklarının ve potansiyel hata durumlarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Dolayısıyla mevcut kontrol sistemleri ve dinamik modeller genellikle karmaşık bir sistemin belirli durumlarda kontrolü veya modellenmesiyle sınırlıdır. Ancak, Şekil 3’te gösterilen yazılım sistemine entegre edilecek bir yapay zekâ algoritması, tasarım kriterleri ve uçuş koşullarının ötesinde daha üstün bir uçuş performansı sunabilir. Örneğin, seyir halindeki bir F16 savaş uçağının motorundaki sıcaklık verisini izleyen Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Sistemi, algılayıcı verilerini izler ve arıza kodlarını analiz ederken, yapay zekâ kullanımı ile sadece kendi teşhisini koymakla kalmayıp aynı zamanda kendini iyileştirebilme yeteneğiyle gerekli önlemlerin alınmasını sağlayabilir, uçuş güvenliğini artırmak için potansiyel tehlikeleri önceden tahmin edebilir ve pilotları uyarabilir. Yakıt sıkıntısı veya motor sorunları gibi beklenmedik durumları tespit ederek pilotlara bilgi verir ve gerekli önlemleri almalarına yardımcı olur. Uçuş sırasında Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Sistemi’nden gelen algılayıcı verileri (motor sıcaklığı, basınç, devir sayısı, vb.) ve uçuş verileri (hava hızı, irtifa, hava durumu) yapay zekâ algoritmaları tarafından işlenebilir. Farklı algılayıcılardan gelen verilerin füzyonu, motorun çalışma durumunun daha kapsamlı ve doğru bir şekilde anlaşılmasını sağlar. Gelişmiş veri işleme teknikleri, motorun çalışma parametreleri arasındaki karmaşık ilişkileri modellemek için kullanılabilir. Buradaki

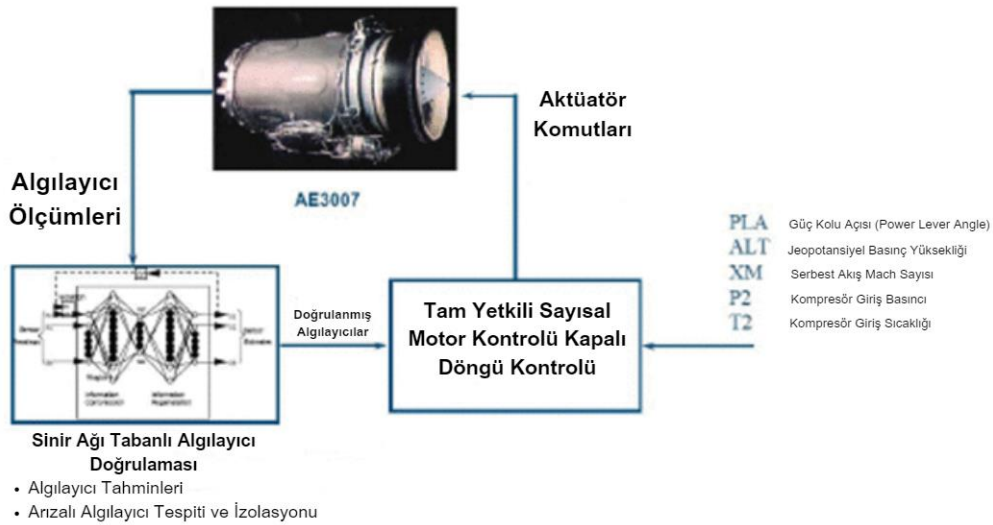
asıl önemli konu verilerin işlenmesinin ardından izlenen verilerin desteklenmesi adına hangi yapay zekâ metodunun seçileceğidir.

## YAPAY ZEKÂNIN KONTROL SİSTEMLERİNE ENTEGRASYONU

Referans dışı durumlarda motorun yönetimini sağlayacak ve risk oluşturuca durumlarda gelişmeden çok önce harekete geçecek kontrol sistemlerinin tasarımında; motorun tam dinamik modellerinin oluşturulması gerekmektedir. Klasik kontrol sistemlerinin tasarımında yalnızca birinci dereceden ikinci dereceye kadar doğrusal modeller yaygın olarak kullanılır. Kontrol sisteminin tasarımında mimari de oldukça önemli bir rol üstlenmektedir. Merkezi mimari oldukça iyi anlaşılabilir ve güvenilir olmasına karşın ağırlık ve karmaşık hata tespiti gibi dezavantajlara sahiptir. Dağıtılmış mimari ise yüksek esneklik, daha kolay hata tespiti ve izolasyon gibi konularda merkezi mimariye göre daha faydalı olmasına rağmen yüksek karmaşıklık, iletişim bilinmeyenleri ve yüksek sıcaklık elektroniği gereksinimi gibi çekince konularına sahiptir.

Bununla birlikte yapay zekâ yöntemleri, bir motorun dinamik parametrelerini, çok değişkenli uzayda, motorun tüm çalışma değerleri aralığında büyük bir hassasiyetle modelleme olanakları sunar. Bu tür oluşturulabilecek modeller, bir jet motorunun tüm çalışma alanında standart hatanın %2' si kadar hassasiyete sahip olabilir [Andoga ve Fozo, 2009].

Tablo 1'de sunulan, yapay zekâ yöntemlerinin olası kullanımının sağladığı yararlar için bazı ön koşullar söz konusudur. Öncelikle sistemi olabildiğince basit kılmak ve hatasız çalışmasını sağlamak için model bazlı bir analiz dikkatlice yapılmalıdır. Düşük kontrol seviyesinde çoğunlukla veriler ve ham sayılarla uğraşıldığı için, alt sembolik yapay zekâ yaklaşımları akıllı Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Sistemleri'nin tasarımında kullanılmaya uygundur. Ancak daha yüksek entegrasyon düzeylerinde bazı sembolik kavramlar da kullanılabilir. Yapay sinir ağı (ANN-Artificial Neural Network), Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) ve genetik algoritmalar kullanılacak metotlardan bazılarıdır. Bazı senaryolarda ise bu metotların çeşitli kombinasyonlarının kullanıldığı da görülmektedir [Havugimana ve diğerleri, 2023]. Bu metotlar verilen girdiler kullanılarak istenilen sonuçları elde etmek adına eğitilerek sistemlere entegre edilir. Yapay sinir ağlarının kullanımına bir örnek olarak Bülent Kurt ve Tülin Yıldırım tarafından uçuş parametrelerinin egzoz gazı sıcaklığı üzerindeki etkisinin açıklanması verilebilir [Yıldırım ve Kurt, 2018]. Yapay sinir ağı sisteminde girdi ile çıktı arasında çok sayıda bağlantı bulunmaktadır. Söz konusu örnekte çoklu regresyon analizi aracılığıyla yapay sinir ağı metodu kullanılmış ve egzoz gazı sıcaklığı uçuş parametreleri üzerinden ifade edilmiştir. İkinci bir örnek olarak sensör doğrulaması için kullanılan, denetimli öğrenmeye sahip ileri beslemeli bir sinir ağının kullanımı Şekil 4'te [Andoga ve Fozo, 2009] görülebilir.



Şekil 4: Yapay sinir ağı tabanlı algılayıcı doğrulaması [Andoga ve Fozo, 2009]

İleri beslemeye sahip topolojiler yeri geldiğinde bir geçit sinir ağı, yeri geldiğinde ise bir karar mekanizması olarak kullanılabilmesinin yanı sıra jet motorlarının doğrusal olmayan modellemelerinde de kullanılabilirler.

### **KONTROL SİSTEMLERİNDE YAPAY ZEKÂ KULLANIMINDA YAŞANAN ZORLUKLAR**

İlerleyen teknoloji ile uçak motorlarının daha karmaşık hale gelmesi beklenmektedir. Bu karmaşık yapılar, akıllı algılayıcılar, akıllı aktüatörler, sürekli izleme ve bir dizi parametreyi hızlı bir şekilde işleme yeteneği gerektirecektir. Gelecekteki motorların çalışma sıcaklıklarının artacağı göz önünde bulundurulduğunda, bu karmaşık yapılar yüksek sıcaklığa dayanan daha fazla elektronik cihazın gerekliliğini ortaya çıkaracaktır. Dolayısıyla, kontrol sistemlerini geliştirmek için öncelikle yüksek sıcaklık elektronik teknolojileri ve yüksek sıcaklık uyumlu iletişim mimarilerinin geliştirilmesi gerekmektedir [Decwg, 2016]. Yapay zekânın, Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrolü'nde kullanılmasının da bazı zorlukları bulunmaktadır. Bu zorluklar temelde veriler ile ilgilidir. Bu verilerin kalitesi de kritik öneme sahiptir. Veriler doğru değilse yapay zekâ sistemi doğru tahminler yapamayacak ve sistem için risk oluşturacaktır [Siby ve diğerleri, 2023]. Ek olarak sistemde herhangi bir sorun yaşanması durumunda sorunu gidermek, sistem karmaşıklığından dolayı oldukça zor olacaktır. Bu sebeplere bağlı kalınarak kontrol sistemlerinin gelişmesinin önündeki bazı engeller,

- Algılayıcılar, aktüatörler vb. için fiziksel arayüz standartları
- Kontrol dağıtımı için hataya dayanıklı, yüksek kaliteli güç üretimi
- Yüksek sıcaklıkla uyumlu iletişim mimarileri
- Kontrol sistemlerinin belgelendirilmesine yönelik standartlar
- Hızlı yeniden yapılandırma ve yükseltme için mimari özellikler
- Siber güvenlik hususları
- Veri kalitesi
- Veri doğruluğu olarak sıralanabilir.

### **DEĞERLENDİRME**

Çalışma kapsamında, yapay zekânın Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrolü üzerinde kullanımı hakkında bir dizi uygulama incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrolü'nün tarihsel gelişimi incelenerek, bu alandaki önemli kilometre taşları belirlenmiştir. Ayrıca, merkezi ve dağıtılmış Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Sistemleri'nin performansı ve kullanım alanlarına ilişkin detaylı bir değerlendirme yapılmıştır. Yapay zekanın motor kontrol sistemlerindeki rolü ve önemi üzerine yapılan değerlendirme ve kritiklerle birlikte, bu teknolojinin mevcut ve gelecekteki kullanım potansiyeli değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yapay zekanın motor kontrol sistemlerinde verimlilik, güvenilirlik ve optimizasyon açısından fayda sağlayabileceğini göstermektedir. Yapay zekanın kontrol sistemlerine entegrasyonu konusunda yapılan çalışmaların önemine vurgu yapılmış ve olası teknolojik sorunlara değinilmiştir. Tüm bu değerlendirmeler ışığında, yapay zekâ teknolojisinin motor kontrol sistemlerindeki rolünün giderek artacağı ve gelecekteki uygulamalarda daha da önemli bir yer edinebileceği öngörülmektedir.

### **SONUÇ**

Bu çalışmada, Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrolü tarihsel gelişimi, merkezi ve dağıtılmış Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrol Sistemi, yapay zekanın motor kontrol sistemlerindeki yeri ve yapay zekanın kontrol sistemlerine entegrasyonu gibi önemli başlıklar ele alınmıştır. Yapay zekanın, Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrolü gibi sistemlerde kullanımıyla birlikte motor kontrolünde daha verimli, güvenilir ve optimize edilmiş çözümler elde edilmesi mümkün olabilecektir. Sonuç olarak, yaşanabilecek teknolojik zorluklar aşıldığı takdirde, yapay zekanın motor kontrol sistemlerindeki entegrasyonunun, endüstrideki ilerlemeleri desteklediği ve gelecekteki uygulamalarda önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Bu çalışma, motor kontrol teknolojilerinin gelişiminde yapay zekanın potansiyelini vurgulayarak, farklı sektörlerdeki araştırmacıların ve uygulayıcıların dikkatini çekmeyi hedeflemektedir.

**Kaynaklar**

Andoga, R. ve Fozo, L., "FADEC control system for MPM 20 engine" 7. International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Herlany, Slovakia, 30-31 Ocak 2009

Behbahani, A. ve Culley, D., 2008. Communication Needs Assessment for Distributed Turbine Engine Control

Behbahani, A., Carpenter, S., Culley, D. ve Mailander, B., 2007. Status, Vision, and Challenges of an Intelligent Distributed Engine Control Architecture

Daher, R., 2005, Application of Artificial Intelligence in Gas Turbine Control and Modelling

Esfahani, M., Namazi, M., Nikolaidis, T. ve Jafari S., 2022. Advanced Control Algorithm for FADEC Systems in the Next Generation of Turbofan Engines to Minimize Emission Levels

Havugimana, L., Liu, B., Liu, F., Zhang, J., Li, B. ve Wan, P., 2023. Review of Artificial Intelligent Algorithms for Engine Performance, Control, and Diagnosis

Sachdev, A., 2021. Artificial Intelligence in Avionics, Indian Defence Review, 36(1)

Siby, N., Chandrashekhar, M. ve Kurian, M., 2023. Advancements in Full Authority Digital Engine Electronic Controller (FADEC) Technology, International Journal of Innovative Science and Research Technology, 8(6)

Yıldırım, T. ve Kurt, Bülent, 2018. Aircraft Gas Turbine Engine Health Monitoring System by Real Flight Data

Yin, M., Bozhko, S., Yao, T. ve You, C. "Control System Design and the Power Management of MEFADEC Assembled on More-Electric Aircraft" International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC), United Kingdom, 7-9 Kasım 2018

<https://skybrary.aero/articles/full-authority-digital-engine-control-fadec> (Erişim: 10/03/2024)

<https://decwg.org/pages/perspective> (Erişim: 10/03/2024)

<https://www.eurocontrol.int/artificial-intelligence> (Erişim: 11/03/2024)

<https://www.avidyne.com/avidyne-daedalean-announce-partnership-develop-certify-artificial-intelligence-based-avionics-vision-systems/> (Erişim: 11/03/2024)

<https://www.iav.com/en/what-moves-us/artificial-intelligence-logical-step-toward-more-efficiency/> (Erişim: 11/03/2024)

<https://airpowerasia.com/2020/07/07/artificial-intelligence-in-military-aviation-2/> (Erişim: 11/03/2024)