

II. Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Sempozyumu

29-30 Mayıs 2024

ERCİYES ÜNİVERSİTESİ, HAVACILIK VE UZAY BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
B-BLOK KONFERANS SALONU

Tam Metin Gönderim

15 Mayıs 2024

Yüksek lisans ve doktora seminer çalışmaları Öğrenci projeleri sonuçları için paylaşım ortamı

Amaç: Öğrencinin bir hipotez (problem sorusu veya ifadesi) çerçevesinde araştırma anahtar kelimelerini oluşturması, araştırmayı yapması ve literatür araştırma sonuçlarını akademik bir dille sunabilme becerisi kazanabilmesidir. Yapılan çalışmanın akademisyen ve öğrencilere sunulması ile öğrencinin kendisini değerlendirebilmesi, diğer öğrenci çalışmalarını inceleyerek kendi güçlü ve zayıf yönlerini fark edebilmesi

Sempozyuma katılım ücretsizdir.



Bilgi Kaynakları

* Sempozyum özet ve tam metin bildirimlerin gönderilmesi

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSegm-iSedGkrCNMj0XbBE48TL4nAotqicTTamYGkNjzwiJg/viewform> adresinden yapılacaktır.

** Sempozyum programı 20 Mayıs 2024 tarihinde fakültemizin web sitesinde yayınlanacaktır.

Sempozyum

29-30 Mayıs 2024

Konuların seçimi serbest olup, tez danışmanları ile koordine edilmesi tavsiye edilir. Çalışmanızın teziniz için ön hazırlık niteliğinde olmasının tez aşamasında fayda sağlayacağını değerlendirebilirsiniz. Gönderiler, hakem sürecinden geçecektir.

Sunum: sömestr boyunca yapılacak çalışmalar, sömestr sonunda sunulacaktır. Sunum, sempozyum "yazım ve sunum" kurallarına uygun hazırlanacaktır. Sempozyumda sunumlar yüz yüze gerçekleşecektir. Sempozyuma tüm bölümlerden lisans, yüksek lisans ve doktora öğrencileri katılabilir. Sunumlar Türkçe veya İngilizce olabilir.

Özet Gönderim

1 Nisan 2024



havacilik.erciyes.edu.tr

hasem@erciyes.edu.tr

352 207 66 66

ERCİYES ÜNİVERSİTESİ,

HAVACILIK VE UZAY

BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

**II. HAVACILIK VE UZAY
BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
SEMPOZYUMU**

II. HUBF 2024

29-30 Mayıs Kayseri

BİLDİRİLER KİTABI

Kayseri, 2024

Yayına Hazırlayanlar:

Dr. Öğr. Üyesi Melih YILDIZ

Sümeyye YAVUZ

Temmuz 2024

Kurumsal İletişim Adresi: Erciyes Üniversitesi Havacılık Ve Uzay Bilimleri
Fakültesi

Talas/KAYSERİ

Bu kitap Erciyes Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi tarafından yayınlanmıştır. Kitapta yer alan bildirilerin hukuki ve bilimsel sorumluluğu yazarlarına aittir.

SEMPOZYUMHAKKINDA

II. Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Sempozyumu, Erciyes Üniversitesi Havacılık Ve Uzay Bilimleri Fakültesi tarafından 29-30 Mayıs 2024 tarihinde Erciyes Üniversitesi Havacılık Ve Uzay Bilimleri Fakültesi ev sahipliğinde yüz yüze olarak düzenlenmiştir.

Sempozyumun amacı, katılımcı öğrencilerin bir hipotez (problem sorusu veya ifadesi) çerçevesinde araştırma anahtar kelimelerini belirleme, bu anahtar kelimeler doğrultusunda araştırma yapma ve elde edilen literatür araştırma sonuçlarını akademik bir dille sunabilme becerisi kazanmalarını sağlamaktır. Ayrıca, katılımcıların çalışmalarını akademisyenler ve diğer katılımcılarla paylaşarak kendilerini değerlendirme, diğer katılımcı çalışmalarını inceleyerek kendi güçlü ve zayıf yönlerini fark edebilme yeteneklerini geliştirmeleri hedeflenmektedir. Sempozyum, katılımcılara araştırmalarını sunma, alana ilişkin bağlantıları güçlendirme, yeni bağlantılar edinme, bilgi alışverişinde bulunma ve havacılık alanındaki yeni eğilimleri takip etme ve tartışma olanağı sunmaktadır.

Araştırmacılar, çalışmalarını Türkçe ve İngilizce olarak göndermiş ve sunmuşlardır.

Kongrede akademisyenler, lisans ve lisansüstü öğrenciler ve sektör temsilcilerinin katılımlarıyla 32 bildiri sunulmuştur.

II. HAVACILIK VE UZAY BİLİMLERİ FAKÜLTESİ SEMPOZYUMU

29-30 Mayıs 2024

ERCİYES ÜNİVERSİTESİ, HAVACILIK VE UZAY BİLİMLERİ FAKÜLTESİ

B-BLOK KONFERANS SALONU

DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Nafiz KAHRAMAN (Başkan)

Prof. Dr. Alper ASLAN

Doç. Dr. Mustafa SOYLAK

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali SOYTÜRK

Dr. Öğr. Üyesi Melih YILDIZ (Başkan Yardımcısı)

Dr. Öğr. Üyesi Nail TANRIÖVEN

BİLİM KURULU

Prof. Dr. Nafiz KAHRAMAN

Prof. Dr. Bilge Albayrak ÇEPER

Prof. Dr. Tuğrul OKTAY

Prof. Dr. Alper ASLAN

Prof. Dr. İlke TÜRKMEN

Prof. Dr. Pınar ÇİVİCİOĞLU BEŞDOK

Doç. Dr. Murat AYDIN

Doç. Dr. Selçuk ASLAN

Doç. Dr. Çağrı Vakkas YILDIRIM

Doç. Dr. Veysel ERTURUN

Doç. Dr. Tunahan AVCI

Doç. Dr. Fatma YILDIRIM DALKIRAN

Doç. Dr. Mehmet KONAR

Dr. Öğr. Üyesi İsmail ATA

Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Buğrahan ALABAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Melih YILDIZ

Dr. Öğr. Üyesi Sami PEKDEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Murat TAŞTAN

Dr. Öğr. Üyesi Selim TANGÖZ

Dr. Öğr. Üyesi Eda ÇINAROĞL

1. Gün - 29 Mayıs 2024, Çarşamba

Saat	Sunumu Yapan	Sunum Başlığı
09:30	Prof Dr Nafiz KAHRAMAN	Açılış Konuşması
09:45	Prof Dr Kemal APALAK	Eciyes'te Havacılık
10:00		
10:30		Çay Arası
	I. Oturum Başkanı	Dr.Öğr.Üyesi MURAT ONAY
10:45	Abdulvahap YILDIRIM	Havacılık Elektronik Nanotech Sensör Ağları Geliştirmesi ve Uygulanmasında Yüksek İrtifa Basın Sensörü
11:00	Mehmet Memiş	Hava Araçlarında Kullanılan Sinyal İstihbaratı Elektronik Sistemlerinin Geliştirilmesi
11:15	Mennan Kaya	Uçak Güvenlik ve Elektronik Sistemlerin Rolü
11:30	Adem AYVERDİ	İniş Takımlarının Özellikleri ve Kompozit Malzemeler Kullanılarak Hafifletilmesi
11:45	Esra Durdu	Termoplastik Kompozit Levha Üretim Yöntemlerinin İncelenmesi
12:00		Yemek Arası
	II. Oturum Başkanı	Doç Dr Mehmet KONAR
13:30	Furkan MUSAOĞLU, Muhammet YILDIZ, Ali sencer CAN	Taşıtlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar ve Metanolün Havacılıkta Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması
13:45	Havva Sena Honamlı	Termoplastik Kompozit Malzemelerin Üstün Özellikleri ve Endüstriyel Kullanımı
14:00	Ozan KUYUCU	Taşıtlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar ve LPG'nin Havacılıkta Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması
14:15	Mustafa KARAKAVAK	Helikopter Malzemeleri
14:30	Rıdvan BULUT	Uçak kanatlarında Kullanılan Malzemelerin Tarih İçinde Değişimi
15:00		Çay Arası
	III. Oturum Başkanı	Doç Dr Selçuk ASLAN
15:15	Fatih DEMİR	Mikrogaz Türbini Konsept Tasarımı
15:30	Hüda Nur AVŞAR, Vesysel KILIÇ	Havacılıkta Kullanılan Hibrit İtki Sistemleri
15:45	Saadet Dogruel, Seda ERKMEN, Hasan ÜYE	Taşıtlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar ve Hidrojenin Havacılıkta Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı
16:00	Abdulhaluk Kuloğlu	Tarım Arazilerini Yabani Hayvanlardan Korumak
16:15	barış özyapışoğlu	üretilen savaş uçaklarının tarihsel ve nesil bakımından gelişimi, teknolojik farkların incelenmesi, mevcut durum, geçmiş ve gelecek yıllardaki muhtemel gelişimleri
16:30		

2. Gün - 30 Mayıs 2024, Perşembe

Saat	Sunumu Yapan	Sunum Başlığı
	IV. Oturum Başkanı	Doç Dr. Murat AYDIN
09:30	Ebrar COŞKUN	Farklı Hava Koşullarının İnsansız Hava Araçlarına Etkisi
09:45	Ebru BAHÇECİOĞLU	Tek Kullanımlık Askeri Yük Paraşüt Sistemleri
10:00	Mehmet Fatih ASLAN	Otomasyon Sistemleri
10:15	Mustafa Karakavak	Helikopterde Kullanılan Sacın Değiştirilerek Mukavemet Ve Korozyon Direnci Testleri
10:30		Çay Arası
	V. Oturum Başkanı	Doç Dr Çağrı Vakkas YILDIRIM
10:45	Mustafacan TAŞANLIGİL	İNSANSIZ HAVA ARACI İÇİN ROTA TAYİNİ
11:00	Mücahit İRGİN	Fuzzy Logic Applications and Artificial Intelligence Tools in Unmanned Aerial Vehicles Design
11:15	Özer Deniz ÇETİNTAŞ	A feasibility review on use of UAV's in post services in Turkey
11:30	Özge Duman	Havadan Alınan Görüntülerin Yapay Zeka İle Sınıflandırılması
11:45	Resul DEMİR	KOMPOZİT BİLEŞENLERDEN OLUŞTURULMUŞ UÇAK BATARYASI TASARIMI VE ANALİZİ
12:00		Yemek Arası
	VI. Oturum Başkanı	Dr Öğr Üyesi İsmail ATA
13:30	Ahmet Eren GEZİCİ, Muhammed Osman Yüceli, Metin COŞKUN	TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR ve BİODİZELİN HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI
14:00	FERİDE İLKAY KOCADAĞ	XENON KULLANIMININ İYON MOTORLARININ PERFORMANSI VE VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ
14:15	İDİL SENA DURUKAN, Rıdvan BULUT	TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR VE LPG'NİN HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI
14:30	Mahammed Can AYTEKİN	Alternatif Yakıtlar Yüksek Lisans Sunum
14:45		Çay Arası
	VII. Oturum Başkanı	Dr Öğr Üyesi Eda ÇINAROĞLU
15:00	Cansu AĞIRMAN	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine Genel Bakış
15:15	Ebru YILDIZ AYDEMİR	İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINA UYGULANAN AKIŞ KONTROL YÖNTEMLERİ VE BUNLARIN İHA PERFORMANSINA ETKİSİ
15:30	Tevfik Erkin	Hava Aracı Tasarımında Yapay Zekâ ile Sürükleme Katsayılarının Optimizasyonu: NACA 2411 Profilinin İncelenmesi
15:45	Serdar Dündar	Control force optimization based on bio-inspired algorithms
16:00	Metin Çoşkun, Muhammed Osman Yüceli,	Termoplastik Kompozitler
16:15		ÖDÜL TÖRENİ ve KAPANIŞ

İÇİNDEKİLER

SEMPOZYUMHAKKINDA	4
DÜZENLEME KURULU	5
BİLİM KURULU	5
ÖZETLER / ABSTRACTS	10
HAVACILIK ELEKTRONİK NANOTECH SENSÖR AĞLARI GELİŞTİRMESİ VE UYGULANMASINDA YÜKSEK İRTİFA BASINÇ SENSÖRÜ	11
HAVA ARAÇLARI İÇİN SİNYAL İSTİHBARATI ELEKTRONİK SİSTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ	12
TERMOPLASTİK KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜSTÜN ÖZELLİKLERİ VE ENDÜSTRİYEL KULLANIMI	13
PARTİKÜLSÜZ GÜMÜŞ İLETKEN MÜREKKEBİN UÇAK KANATLARINDA BUZLANMA ÖNLEYİCİ REZİSTANS TASARIMLARINA UYGULANMASI VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ	15
HAVACILIK SEKTÖRÜNÜN EKONOMİK BÜYÜMEYE ETKİSİ: HİNDİSTAN ÖRNEĞİ	16
MİKROGAZ TÜRBİNİ KONSEPT TASARIMI	17
HAVACILIKTA KULLANILAN HİBRİT İTKİ SİSTEMLERİ	18
TARIM ARAZİLERİNİ YABANI HAYVANLARDAN KORUMAK	19
ÜRETİLEN SAVAŞ UÇAKLARININ TARİHSEL VE NESİL BAKIMINDAN GELİŞİMİ, TEKNOLOJİK FARKLARIN İNCELENMESİ, MEVCUT DURUM, GEÇMİŞ VE GELECEK YILLARDAKİ MUHTEMEL GELİŞİMLERİ	20
HELİKOPTERDE KULLANILAN SACIN DEĞİŞTİRİLEREK MUKAVEMET VE KOROZYON DİRENCİ TESTLERİ	21
A FEASIBILITY REVIEW ON USE OF UAV'S IN POST SERVICES IN TURKEY	22
XENON KULLANIMININ İYON MOTORLARININ PERFORMANSI VE VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ	23
CONTROL FORCE OPTİMİZATİON BASED ON BİO-İNSPIRED ALGORİTHMS	25
TAM METİNLER / FULL TEXTS	27
UÇAK GÜVENLİK VE ELEKTRONİK SİSTEMLERİN ROLÜ	28
İNİŞ TAKIMLARININ ÖNEMİ VE KOMPOZİT MALZEMEYE KIYASLA AVANTAJLARI	31
TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN LEVHA ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ	39
TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR VE METANOLÜN HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI?	49
TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR VE LPG'NİN HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMA	58
UÇAK KANATLARININDA KULLANILAN MALZEMELERİN TARİH İÇİNDE DEĞİŞİMİ	67
TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR VE HİDROJENİN HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANIMI	77
FARKLI HAVA KOŞULLARININ İNSANSIZ	86

HAVA ARAÇLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ	86
TEK KULLANIMLIK KULLAN AT ASKERİ YÜK PARAŞÜT SİSTEMLERİ	90
Benzinli Bir Motora Doğalgaz İlavesinin Motor Performans Ve Emisyonlar Üzerine Etkisinin Araştırılması	95
OTOMASYON SİSTEMLERİ.....	105
İNSANSIZ HAVA ARACI İÇİN ROTA TAYİNİ	115
HAVADAN ALINAN GÖRÜNTÜLERİN YAPAY ZEKA İLE SINIFLANDIRILMASI	133
KOMPOZİT BİLEŞENLERDEN OLUŞTURULMUŞ UÇAK BATARYASI TASARIMI VE ANALİZİ	140
TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR ve BİODİZELİN HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI	150
HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİNE GENEL BAKIŞ	161
AN OVERVIEW OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS	161
İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINA UYGULANAN AKIŞ KONTROL YÖNTEMLERİ VE BUNLARIN İHA PERFORMANSINA ETKİSİ	167

ÖZETLER / ABSTRACTS

HAVACILIK ELEKTRONİK NANOTECH SENSÖR AĞLARI GELİŞTİRMESİ VE UYGULANMASINDA YÜKSEK İRTİFA BASINÇ SENSÖRÜ

Abdulvahap Yıldırım

Özet

Havacılık sektörü, gelişen teknoloji ve ihtiyaçlar doğrultusunda en hızlı gelişim gösteren alanlardan birisi olmuş ve olmaya da devam edecektir. Gelişen bu havacılık sektörü içerisinde elektronik sensörler ve algılayıcılar önem kazanmaktadır. Havacılık sektörü gelişen bu teknolojilere rağmen elektronik sensörlerin gelişimi yönünden eksik ve yetersiz kalmaktadır. Elektronik sensör alanındaki eksiklik ve ihtiyaçları karşılamak için fiziksel boyuttaki ölçümleri ve yorumlamaların detaylı incelenmesi ve analiz etmeye ihtiyaç olduğu ortadadır. Bu makalenin amacı Nanotech sensör sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması sayesinde hava aracı sistemlerindeki diğer parametreleride birleştirerek pilotun yükünü hafifletmek, olası oluşacak karmaşıklığın ve olumsuzluklara önceden önem alınabilmesi adına yüksek irtifa basınç sensörünün geliştirilmesine kaynak olabilmektir. İnsanlı ya da insansız hava araçlarında pilot basınca bağlı hava olaylarını önceden belirlemesi ve alınan basınç değerlerine göre yükseklik irtifasını, hızını ve diğer parametreleri belirleyerek uçuş planını gözden geçirip gerekli önlemleri alması güvenli uçuş için önemlidir. Makalenin temel amacı yenilikçi ve farklı çözümler geliştirmek maksadıyla basınç tespit sensör sistemini geliştirmek ve daha kararlı ölçümler alabilme yeteneğinin incelemektir. Bu amaçla çok sayıda basınç sensörleri çalışma alanları ve yöntemleri incelenerek tartışılmıştır.

HAVA ARAÇLARI İÇİN SİNYAL İSTİHBARATI ELEKTRONİK SİSTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Mehmet Memiş

Erciyes Üniversitesi Havacılık Elektrik Elektronik A.B.D

GİRİŞ-AMAÇ: Bu çalışmanın temel amacı, hava araçlarında kullanılan sinyal istihbaratı elektronik sistemlerinin işlevlerini, göstergelerini ve sonuçlarını değerlendirmektir. Savunma ve istihbarat operasyonlarında kritik bir rol oynayan bu sistemlerin etkinliğinin incelenmesi, stratejik bilgi toplama ve savunma amaçlı kullanımını anlamamıza yardımcı olabilir.

GEREÇ-YÖNTEM: Bu çalışma, hava araçlarındaki sinyal istihbaratı elektronik sistemlerinin bir dizi örneğini geriye dönük olarak incelemektedir. Bu sistemlerin kullanımına ilişkin verilerin toplanması ve analizi, çeşitli hava araçlarında uygulanan teknolojilerin değerlendirilmesini sağlamaktadır.

BULGULAR: Çalışma kapsamında, farklı hava araçlarında kullanılan sinyal istihbaratı elektronik sistemlerinin çeşitli göstergeleri olduğu görülmüştür. Bu sistemlerin genellikle savunma amaçlı kullanıldığı ve etkinliklerinin belirlenmesinde çeşitli faktörlerin rol oynadığı saptanmıştır.

SONUÇ: Hava araçlarında sinyal istihbaratı elektronik sistemlerinin kullanımı, savunma ve istihbarat operasyonlarında önemli bir araç olarak kabul edilmektedir. Bu sistemlerin etkinliği, stratejik bilgi toplama ve tehdit algılama yeteneklerini artırarak savunma kapasitesini güçlendirebilir. Gelecekteki çalışmalar, bu sistemlerin daha da geliştirilmesi ve optimize edilmesi için önemli olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hava araçları, Sinyal istihbaratı, Elektronik sistemler

TERMOPLASTİK KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜSTÜN ÖZELLİKLERİ VE ENDÜSTRİYEL KULLANIMI

Havva Sena HONAMLI

Abdullah Kaan DEMİR

Necati Alperen ÖZSOY

Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Müh Bölümü

ÖZET

Projenin temel amacı, havacılık endüstrisindeki malzeme ve üretim süreçlerinde yenilikçi çözümler sunarak sektördeki verimliliği artırmak ve çevresel etkiyi azaltmaktır. Günümüzde, havacılık endüstrisi giderek daha sürdürülebilir ve çevre dostu çözümlere ihtiyaç duymaktadır. Bu bağlamda, termoplastik kompozit malzemelerin üretimi ve kullanımı, hafif, esnek ve geri dönüştürülebilir özellikleri sayesinde havacılık endüstrisinin karşılaştığı çeşitli zorluklara çözüm sunabilir. Bu projenin odak noktası, havacılık endüstrisinde kullanılacak en uygun termoplastik kompozit malzemenin belirlenmesi ve bu malzemelerin uygulanabilirliğinin incelenmesidir. Ayrıca, yeşil malzemelerin kullanımının teşvik edilmesiyle, karbon salınımının azaltılması ve çevresel sürdürülebilirliğin artırılması hedeflenmektedir.

Proje kapsamında, termoplastik kompozitlerin havacılık endüstrisindeki kullanımını artırmayı hedefleyen bir dizi adım atıldı. İlk olarak, literatür taraması yapıldı ve termoplastik kompozitlerin genel özellikleri ile havacılık endüstrisindeki mevcut uygulamaları belirlendi. Daha sonra, LMPAEK malzemesinin mekanik özelliklerini değerlendirmek için çekme ve eğilme testleri gerçekleştirildi. Ardından, eklemeli imalat yöntemleri kullanılarak PETG ve cam elyaf kombinasyonundan yeni bir termoplastik kompozit malzeme üretildi. Üretilen malzemenin mekanik performansı, çekme ve basma testleri yardımıyla değerlendirildi. Tüm bu adımlar, havacılık endüstrisinde termoplastik kompozitlerin kullanımını artırmak amacıyla yapılan araştırmaların ve testlerin temelini oluşturdu. Bu süreçte, malzeme karakterizasyonu ve performans değerlendirmesi için standart test protokolleri ve cihazları kullanıldı. Elde edilen sonuçlar, termoplastik kompozitlerin havacılık endüstrisindeki potansiyel uygulamalarını anlamak ve malzemenin performansını artırmak için önemli bir katkı sağladı.

Termoplastik kompozitlerin havacılık endüstrisine getirdiği yenilikler, sektörde önemli avantajlar sağlamaktadır. Projede, havacılık endüstrisinde uçakların ağırlığını azaltarak yakıt verimliliğini artırmayı hedefleyen bir yenilik olarak, uçak kabin içi sistemlerinde ve komponentlerinde termoplastik kompozit malzeme kullanımını amaçladık. Bu yaklaşım, havacılık endüstrisinde önemli bir değişimi temsil eder, çünkü daha hafif ve dayanıklı malzemelerin kullanımıyla uçakların toplam ağırlığı düşürülerek yakıt tüketimi azaltılabilir. Bu da daha düşük işletme maliyetleri ve daha çevre dostu operasyonlar anlamına gelir. Ayrıca, termoplastik kompozitlerin esnek üretim özellikleri, karmaşık parçaların daha kolay ve maliyet-etkin bir şekilde üretilmesine olanak tanır. Bu yenilikçi yaklaşımın havacılık endüstrisindeki kullanımı, sektörün daha sürdürülebilir ve rekabetçi olmasını sağlayabilir.

Sonuç olarak, havacılık endüstrisinde termoplastik kompozit malzemelerin kullanımının artırılması sektöre yenilikçi bir yaklaşım getirebilir. Uçakların ağırlığını azaltarak yakıt tüketimini düşürmek, çevre dostu operasyonlar sağlamak ve rekabet avantajı elde etmek için kritik bir öneme sahiptir. Kullanılan termoplastik kompozit malzemelerin, kabin içi sistemlerden kanat parçalarına kadar geniş bir yelpazede uygulanabilirliği, havacılık endüstrisinin geleceğinde dönüştürücü bir rol oynayabilir. Bu araştırma, sektördeki yenilikleri

teşvik etmek ve daha sürdürülebilir bir havacılık endüstrisi için yol gösterici olmak amacıyla yapılmıştır.

PARTİKÜLSÜZ GÜMÜŞ İLETKEN MÜREKKEBİN UÇAK KANATLARINDA BUZLANMA ÖNLEYİCİ REZİSTANS TASARIMLARINA UYGULANMASI VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Yakup SÜLEYMANOĞLU

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

ÖZET

Teknoloji ilerledikçe fosil yakıt tüketimi artmış ve bu durum çevreye ciddi zararlar vermiştir. Özellikle CO₂ emisyonlarının yüksek olduğu havacılık sektöründe, soğuk hava koşulları uçaklarda buzlanma problemine neden olmakta, bu da uçuş kalitesini düşürmektedir. Uçaklar, yaklaşık 10,6 km yükseklikte, -50°C ile -60°C arasındaki sıcaklıklarda uçarken, suyun donma noktasının altındaki bu sıcaklıklar buzlanmayı kaçınılmaz kılar. Buzlanma, uçağın ağırlığını ve sürüklenme kuvvetini artırırken, kaldırma kuvvetini azaltır, bu da daha fazla güç ve yakıt tüketimi gerektirir.

Uçaklarda buzlanmayı önlemek için termal, elektrikli ve kimyasal buz önleme sistemleri kullanılır. Buzlanma, kanatlar, kuyruk, gövde, stabilizatörler, kontrol yüzeyleri, motor girişleri, pitot tüpleri, statik portlar ve diğer kritik alanlarda oluşabilir. Uçakların buzlanmasını gidermek için genellikle motorlardan alınan sıcak hava kullanılır. Ancak soğuk havalarda, gerekli ısıyı sağlamak için motor gücünü artırmak gerekebilir ki bu da yakıt tüketimini daha da artırır.

Bu çalışmada buzlanma önleyici ve buz çözücü sistemler için farklı rezistans tasarımları yapılmıştır. Bu sistemlerin tasarımının kanatlar üzerine uygulanması için partikülsüz gümüş mürekkep kullanılarak yüksek performanslı ısıtıcı sistemler üretilmiştir. Üretilen desenler SEM ile yüzey görüntüleri elde edilmiştir. Isıtma performanslarının belirlenmesi için farklı voltaj değerlerinde ısıtma uygulanarak ısı üretme potansiyelleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Buzlanma, fosil yakıt, rezistans, gümüş iletken mürekkep

HAVACILIK SEKTÖRÜNÜN EKONOMİK BÜYÜMEYE ETKİSİ: HİNDİSTAN ÖRNEĞİ

Sümeyye YAVUZ*

Melih YILDIZ**

*Havacılık Yönetimi Bölümü, Erciyes Üniversitesi, 38030, Kayseri, Türkiye

**Uçak Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, 38030, Kayseri, Türkiye

ÖZET

Havacılık endüstrisi, yirmi birinci yüzyılda hızlı bir büyüme göstermektedir. Çalışmamızın temel amacı, Hindistan'da havacılık sektörü ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisini inceleyerek, havacılık öncülüğünde büyüme hipotezini ampirik olarak değerlendirmektir. Bu bağlamda 1980-2021 dönemlerine ait veriler DOLS, FMOLS ve CCR yöntemleri ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçları CCR modelinin bulgularının FMOLS ve DOLS tahmin yöntemleriyle uyumlu olduğunu göstermiştir. Kurulan birinci modelin CCR sonuçlarına göre yolcu sayısındaki %1 birimlik artışın GSYİH'yi %0.10 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Kurulan ikinci modelin CCR sonuçlarına göre ise yük miktarındaki %1 birimlik artışın GSYİH'yi %0.07 oranında artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Havacılık sektörü, Ekonomik büyüme, Hindistan, Nedensellik

ABSTRACT

The aviation industry is experiencing rapid growth in the twenty-first century. The main objective of our study is to empirically evaluate the aviation-led growth hypothesis by examining the causality relationship between the aviation sector and economic growth in India. In this context, data for the period 1980-2021 are analyzed with DOLS, FMOLS and CCR methods. The results of the analysis show that the findings of the CCR model are consistent with the FMOLS and DOLS estimation methods. According to the CCR results of the first model, a 1% unit increase in the number of passengers increases GDP by 0.10%. According to the CCR results of the second model, it is concluded that a 1% unit increase in the amount of cargo increases GDP by 0.07%.

Keywords: Aviation sector, Economic growth, India, Causality

MİKROGAZ TÜRBİNİ KONSEPT TASARIMI

Fatih DEMİR

Uzay Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, 38030, Kayseri, Türkiye

ÖZET

Günümüzde, mikro-gaz türbinleri, havacılık sektöründen endüstriyel uygulamalara kadar yaygın olarak kullanım alanına sahiptir. Aynı zamanda günümüzde sivil havacılıkta ve askeri alanda kullanılan uçaklardaki motorların temel çalışma prensibini barındırır. Hava araçlarında kullanılan jet motorlarına kıyasla çok daha az komponent barındıran Mikrogaz Türbinlerinin konsept tasarımı üzerine literatürde az çalışma olduğu gözlemlenmektedir.

Bir mikrogaz türbini genel olarak aşağıdaki bileşenlerden oluşur;

Kompresör: Havayı sıkıştırarak basıncı artırır, türbinin yanma odasına hava beslenmesini sağlar.

Yanma Odası: Sıkıştırılmış hava ve yakıtın yandığı yerdir. Türbinin yanma odasına hava besler.

Türbin: Yanma odasından çıkan yüksek enerjili gazların mekanik enerjiye dönüşümünü sağlar.

Jeneratör: Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür.

Kontrol Sistemi: Türbinin komponentlerinin kontrol edildiği yerdir. Yakıt debisinin ve türbin dönüş hızını kontrol ederek gaz türbinini güvenli ve verimli çalıştığı aralıkta tutar. Bu çalışmada isterleri deney düzeneklerine uygun olarak belirlenmiş bir mikrogaz türbininin konsept tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım, elde edilmesi beklenen maksimum itki ve türbin boyutları belirlenerek bu limitlere uygun türbin dönme hızı, birim zamanda tüketilen hava, birim zamanda tüketilen yakıt ve özgül yakıt tüketimi gibi gereksinimlere ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, başlangıçta belirlenen geometrik sınırlara uyularak hedeflenen itki değerlerine ulaşılmıştır.

Gelecek çalışmalarda yakıt tüketimini azaltarak aynı itki değerlerini elde etmek için aerodinamik verimi ve yakıt verimini arttırmaya yönelik optimizasyon çalışmaları yapılabilir.

Aynı zamanda kontrolcü tasarımı çalışmaları ile güvenli çalışma hızları aşılmadan, aynı şartlarda daha yüksek itki üretimi elde edilebilir.

HAVACILIKTA KULLANILAN HİBRİT İTKİ SİSTEMLERİ

Hüda Nur AVŞAR

Veysel KILIÇ

ÖZET

Enerji ihtiyacının petrol kökenli yakıtlardan elde edilmesi ekolojik dengenin bozulmasına neden olmuştur ve petrol kaynakları tükenmeye başlamıştır. Dünyanın enerji ihtiyacının her geçen gün artmasına karşın dünyadaki hidrokarbon kaynaklarının kısıtlı olması insanlığı alternatif enerji kaynaklarının kullanımına itmiştir. Karbon emisyon miktarı en yüksek sektörlerden biri olan havacılık sektörü de yenilenebilen ve temiz enerji kaynaklarını kullanmaya yönelik çalışmalar yürütmektedir. Bu bağlamda uçaklarda ve insansız hava araçlarında (İHA) kullanılan motorların alternatif enerji kullanımına yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalar arasında hibrit itki sistemlerinin kullanımı önemli bir yere sahiptir.

Hibrit itki sistemi, genellikle bir aracın hareketini sağlayan farklı enerji kaynaklarını veya teknolojilerini birleştiren bir sistemdir. Bu sistem, geleneksel bir içten yanmalı motoru (benzin, dizel vb.) elektrik motorları veya diğer alternatif itki kaynaklarıyla birleştirebilir. Hibrit itki sistemleri, aracın performansını artırmak, yakıt verimliliğini optimize etmek ve emisyonları azaltmak gibi çeşitli avantajlar sağlayabilir. Havacılıkta kullanılan hibrit itki sistemleri, genellikle geleneksel jet motorlarıyla elektrik motorlarının veya başka bir itki kaynağının kombinasyonunu ifade eder. Bu sistemler, uçakların enerji verimliliğini artırmak, çevresel etkileri azaltmak ve daha sürdürülebilir bir havacılık endüstrisi oluşturmak için araştırılmakta ve geliştirilmektedir.

Bu çalışmada, havacılık endüstrisindeki hibrit itki sistemlerinin temel prensiplerini, avantajlarını ve gelecekteki potansiyellerini incelemektir. Hibrit itki sistemlerinin bileşenlerini, işleyişini ve mevcut uygulamaları açıklanacaktır. Ayrıca, bu teknolojilerin havacılık endüstrisindeki rolünü, yakıt tüketimi, karbon emisyonları ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki olası etkileri ele alınacaktır. Son olarak havacılık endüstrisinde hibrit itki sistemlerinin geleceği ve yaygın kullanımı için karşılaşılan teknik, güvenlik ve düzenleyici zorluklar da ele alınacaktır. Bu makale, hibrit itki sistemlerinin havacılık endüstrisindeki önemini vurgulamak ve ilgili paydaşlara bu alandaki gelişmeler hakkında kapsamlı bir anlayış sağlamak için tasarlanmıştır.

TARIM ARAZİLERİNİ YABANI HAYVANLARDAN KORUMAK

Abdulhaluk Kuloğlu

ÖZET

Günümüz teknolojisinde insansız araçlar tarımsal faaliyetlerde aktif olarak kullanılmaktadır. İnsansız araçlar hem dünyada hem de ülkemizde bir çok tarım arazisinde sulama, ilaçlama ve benzeri işlemleri insan gücünden bağımsız tamamen otomatik şekilde gerçekleştirmektedir. Tarım arazileri seracılık dışında genel olarak tabiat ile iç içe bulunmaktadır bundan dolayı verimliliğini artırmak için ilaçlama, ortam şartları(sıcaklık, nem) veya sulamanın yanı sıra yabancı hayvan etkilerinden de korumak önemli bir unsurdur.

Bu araştırmada tarım arazilerinde direkt tahribat oluşturan ayı, tilki, domuz gibi yabancı hayvanları uzaklaştırmak üzerine çalışılmıştır. Yöntemimiz 22kHz civarı insan kulağının işitemeyeceği ultrasonik ses dalgaları kullanarak uzaklaştırmaktır fakat geniş arazilerde bu ses dalgasını birçok noktaya kurmak amacına kesin hizmet etmeyecektir çünkü sabit bir ses frekansı her zaman canlıları ürkütecek düzeyde olamayabilir. Ayrıca arazinin boyutları düşünüldüğünde 150-300 metre arasında menzili bulunan bu cihazlardan ciddi manada fazla kullanmak gerecektir. Bu durum hem maliyet olarak fazla olmakla beraber kullanım açısından da konforlu olmayacaktır.

Sonuç olarak birkaç termal kamera ile tarama yapılan arazide canlının bulunduğu noktaya direkt olarak ultrasonik ses frekansı yayan cihazı yerleştirdiğimiz insansız hava aracının ulaşması ile araziye güvenli hale getirmek amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tarım Arazisi, Yabancı Hayvanlar, İnsansız Hava Aracı, Verim

**ÜRETİLEN SAVAŞ UÇAKLARININ TARİHSEL VE NESİL BAKIMINDAN
GELİŞİMİ, TEKNOLOJİK FARKLARIN İNCELENMESİ, MEVCUT DURUM,
GEÇMİŞ VE GELECEK YILLARDAKİ MUHTEMEL GELİŞİMLERİ**

Bariş ÖZYAPIŞOĞLU

ÖZET

Dünya devletlerinin küresel olarak belli bir güce sahip olduğunu gösteren en büyük parametrelerden biri sahip olduğu savunma sistemleridir. Bulduğumuz teknoloji çağındaki artan gelişmeler, ilk başta ülkelerin en çok ehemmiyet verdiği savunma noktasında karşımıza çıkmaktadır. Geleneksel olarak hava, kara ve deniz olmak üzere üç başlıktan oluşan bu sistem, dünya düzenine ayak uydurmak isteyen milletlerin büyük çalışmalar yaptığı bir alandır. Başlıklardan bilhassa hava kategorisi, savunma ve tehditlerin engellenmesinde büyük bir paya sahiptir. Savaş uçakları da paydaki en önemli araçlardır. Her dönem gelişen ve nesillere ayrılan savaş uçakları; Türkiye Cumhuriyeti'nin de üzerinde durduğu bir alan olmuş ve bu minvalde atılımlar gerçekleştirilmiştir. Yerli ve milli üretimler havacılık sektörüne verilen değerin göstergelerindedir. Yapılan çalışmadaki amaç, üretilen savaş uçaklarının tarihsel ve nesil bakımından gelişimi, teknolojik farkların incelenmesi, mevcut durum, geçmiş ve gelecek yıllardaki muhtemel gelişimleri öngörmek ve değerlendirmektir.

HELİKOPTERDE KULLANILAN SACIN DEĞİŞTİRİLEREK MUKAVEMET VE KOROZYON DİRENCİ TESTLERİ

Mustafa KARAKAVAK

ÖZET

Helikopterler günümüzde askeri, ulaşım, yangın söndürme vb. durumlarda yaygın olarak kullanılan hava araçlarıdır. 1907 yılında Fransız Paul Cornu ilk motorlu helikopteri uçurmuştur. 1942'de ise Sikorsky R-4 tam ölçekli üretime ulaşan ilk helikopter oldu. Helikopterlerin değişimi ve gelişimi bu yıllardan günümüze kadar uzanmaktadır. Klasik imal usulünde tipik bir helikopter gövdesi ve kuyruk bumu; alüminyum balkhedlere, longeronlara ve takviyelerle perçinlenmiş gerilmeli düz veya kanallı kaplamadan oluşur. Yangın duvarı ve motor kısmı genellikle paslanmaz çelikten yapılır. Normalde kuyruk bumu alüminyum balkhedler, ekstrüzyon longeronlar, kaplama panelleri veya kaynaklanmış çelik tüplerden yarı monokok olarak inşa edilir. Günümüzde daha hafif ve korozyona mukavim helikopter gövdelerini yapmak üzere kompozit yapılar kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada helikopter gövdesinde bulunan 50mmlik bir sac yerine 20mmlik sacın üzerine kompozit malzeme (karbon ve cam elyafi) ile kaplayıp mukavemet ve korozyon direnci testleri yapılarak sonuçları raporlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Helikopter, sac, kompozit, mukavemet, korozyon

A FEASIBILITY REVIEW ON USE OF UAV'S IN POST SERVICES IN TURKEY

Özer Deniz ÇETİNTAŞ

ABSTRACT

Growing interest and market for producing and operating unmanned aerial vehicles (UAVs) provides opportunities in many fields of service and operations. With removing the need for a body or a cabin that would accommodate crew or passengers, it is highly evident that a UAV can offer lighter overall weight than those of its manned counter-parts. This advantage proves useful and especially efficient as weight is arguably the biggest factor deteriorating an air vessel's performance. This upper hand of performance however also generates certain setbacks when the vessel's reliability is concerned. This makes the commercial use of these vehicles a somewhat delicate matter, unfit for certain tasks and operations. While it is common sense that when it is aviation and transport of passengers with aerial vehicles, operations and especially the craft is put under the scope and is expected to be in certain standards; it is not the case when use of these vehicles are put to commercial use without a person or persons involved. In the date of this paper, April 2024, several companies have been employing use of UAVs in commercial applications, specifically delivery in USA and this paper seeks to establish if such use and operations could be accomplished in Turkey and what would the details of such operation would be. Evaluating this prospect in commercial use of UAVs in a multi vehicle net, comparison of operations will be made regarding financials, operation efficiency, approach of the public and aviation authorities, long term gains and losses between current way of operations which is transporting parcels with carbon-based fuel powered land vehicles and UAVs which are electric powered.

Keywords: delivery; UAV; unmanned aerial vehicle; electric; traffic; rural delivery services; carbon emissions; aviation directorate; internet of things (IoT); control; control systems; swarm flight;

XENON KULLANIMININ İYON MOTORLARININ PERFORMANSI VE VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

FERİDE İLKAY KOCADAĞ

PROF.DR. NAFİZ KAHRAMAN

ÖZET

İyon motorları, uzay araçlarında kullanılan yüksek verimli itki sistemleridir. Xenonun düşük atom ağırlığı ve yüksek iyonlaşma özellikleri, iyon motorlarının verimliliğini artırır ve daha fazla itki üretimine olanak tanır. Xenon gazı, iyonlaşma eğilimi yüksek bir gazdır, bu da iyon motorlarının verimliliğini artırır. Düşük enerji ile yüksek oranda iyonlaşabilir, bu da daha fazla itki üretimine olanak tanır. Xenon gazının düşük moleküler ağırlığı, iyon motorlarının hızını artırır. Hızlı çıkış hızları, uzay aracının hızlanmasını ve manevra yapmasını sağlar. Xenon, iyon motorlarının ısıl yönetimine katkıda bulunur. Termal iletkenlik özellikleri, motorun çalışma sıcaklığını kontrol etmede yardımcı olur ve aşırı ısınmayı önler. Xenon, kimyasal olarak kararlı bir gazdır, bu da iyon motorlarının uzun süreli ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlar. Kimyasal olarak reaktif olmaması, motorun parçalarının uzun ömürlü olmasını sağlar. Ayrıca, xenon iyon motorları termal iletkenlik sağlayarak motorun ısıl yönetimini iyileştirir ve uzun ömürlü çalışmalarını sağlar. Bununla birlikte, xenonun nadir bulunması, maliyeti ve depolanması zorluğu gibi dezavantajları vardır. Ayrıca, çevresel etkileri ve sınırlı rezervleri gelecekteki uzay keşifleri için belirsizlik yaratabilir. Bu nedenle, daha yakıt verimli alternatifler araştırılrsa da, xenon iyon motorları uzun vadeli uzay keşifleri için önemli bir seçenek olarak kalır.

TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR VE LNG’İN HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI

Mahammed Can Aytekin

ÖZET

20. Yüzyılın başlarından itibaren petrol ürünleri motor yakıtı olarak kullanılmaya başlanmış ve motor tasarımları petrol ürünleri ile çalışabilecek şekilde geliştirilmiştir. Bu gelişmeler ışığında günümüz motor ve genel olarak sanayi dünyası petrole bağımlı hale gelmiştir. Buna karşın petrol rezervlerinin azalması ve belirli bölgelerden çıkarılabilmesi sebebiyle mevcut motor teknolojisinde büyük değişikliklere gidilmeden petrol ürünlerine alternatif olarak kullanılacak yakıtların araştırılması zorunlu hale gelmiştir. Gerçekleştireceğimiz çalışmada taşıtlarda kullanılan alternatif yakıtlar hakkında literatür çalışması yapılacak olup spesifik olarak havacılıkta sıvılaştırılmış doğalgazın alternatif yakıt olarak kullanılması araştırılacaktır.

CONTROL FORCE OPTİMİZATION BASED ON BİO-İNSPIRED ALGORİTHMS

Serdar Dünder

ÖZET

Uçuş kalitesi; emniyet, pilot konforu ve görev verimliliği açısından hava aracı tasarımında ve operasyonlarında önemli hususlardan bir tanesidir. Pilotların hava aracını etkin bir şekilde kontrol edebilmesini sağlayarak kaza risklerini ve pilot yorgunluğunu azaltmaktadır. Uçuş kalitesini arttırmanın yollarından bir tanesi de pilotun kontrol yüzeyini hareket ettirebilmesi için gerekli olan kuvveti minimum seviye düşürmektir. Hava aracının kontrolünü sağlamak için temel olarak kanatçıklar, yatay ve dikey stabilizatörler kullanılmaktadır. Kontrol yüzeyi üzerinde oluşan menteşe momentinin azaltılması sayesinde pilotlar uçakta manevra yapabilmek için daha az çaba harcayabilir, bu da daha yumuşak ve daha duyarlı uçuş performansı sağlar. Bununla paralel olarak pilotun kontrolünü arttırır, yorgunluğu azaltır ve genel uçuş güvenliği ve konforuna katkıda bulunur.

Bu çalışmada kontrol yüzeyi üzerinde oluşan menteşe momentini etkileyen parametreler belirlenerek optimizasyon çalışması gerçekleştirilecektir. Optimizasyon çalışmasıyla birlikte menteşe momentinin minimum seviyeye indirgenmesi hedeflenmiştir. Optimizasyon çalışmasını gerçekleştirmek için canlı davranışlarından esinlenilerek geliştirilen optimizasyon algoritmaları kullanılacaktır.

TERMOPLASTİK KOMPOZİTLER

Muhammed Osman Yüceli

ÖZET

Günümüzde malzeme teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler, endüstriyel sektörleri ve özellikle havacılık alanını dönüştürmektedir. Bu bağlamda, termoplastik kompozitler, mühendislik dünyasında giderek daha fazla dikkat çeken önemli bir malzeme sınıfını temsil etmektedir. Bu araştırmada, termoplastik kompozitlerin avantajlarını ve dezavantajlarını değerlendirerek, özellikle havacılık endüstrisindeki uygulamalarını ele alacağım. Termoplastik kompozitler, geleneksel malzemelerin ötesinde çeşitli avantajlar sunar, ancak aynı zamanda belirli zorlukları da beraberinde getirir. Havacılık sektöründe bu malzemenin benimsenmesi, uçakların hafifletilmesi, mukavemetin artırılması ve yakıt verimliliğinin artırılması gibi önemli avantajlar sağlamaktadır. Ancak, üretim süreçlerindeki karmaşıklıklar ve maliyet faktörleri gibi dezavantajlar da göz önüne alındığında, bu malzeme üzerindeki araştırmaların ne kadar önemli olduğunu anlamak elzemdir. Bu çalışmada, termoplastik kompozitlerin havacılık endüstrisindeki gelecekteki potansiyelini belirlemek üzere izlenecek araştırma alanlarına odaklanacağım.

TAM METİNLER / FULL TEXTS

UÇAK GÜVENLİK VE ELEKTRONİK SİSTEMLERİN ROLÜ

Mennan KAYA

ÖZET

Havacılık endüstrisi, insanların hızlı ve güvenli bir şekilde dünyanın dört bir yanına seyahat etmelerini sağlayan önemli bir taşımacılık sektörüdür. Ancak, bu sektörün temel önceliklerinden biri her zaman uçak güvenliği olmuştur. Uçak kazalarının ciddiyeti ve endüstrinin hassasiyeti, sürekli olarak uçak güvenliği alanında yenilikçi çözümler aranmasını sağlamıştır.

Bu sunumda, uçak güvenliği kavramını ele alarak, bu alandaki en önemli unsurlardan biri olan elektronik sistemlerin rolünü inceleyeceğiz. Uçak güvenliği, birçok farklı faktörün etkileşimiyle sağlanırken, elektronik sistemlerin önemi giderek artmaktadır. Modern uçaklarda, elektronik sistemler, uçakların kontrolünden navigasyonuna, kabin içi güvenliğinden acil durum müdahalesine kadar birçok önemli işlevi yerine getirir.

Bu yazıda, öncelikle elektronik sistemlerin temel görevlerini ve uçak güvenliği için kritik önemini ele alacağım. Ardından, bu sistemlerin avantajları ve karşılaşılan zorluklar hakkında daha ayrıntılı bilgi vereceğim. Son olarak, havacılık endüstrisindeki gelecek perspektifini ve teknolojik gelişmelerin uçak güvenliği üzerindeki etkilerini değerlendireceğim.

Uçak güvenliği ve elektronik sistemlerin rolü, havacılık endüstrisindeki sürekli gelişen ve değişen bir alanı temsil eder. Hazırladığım yazı, bu önemli konuları anlamak ve gelecekteki gelişmelere hazırlıklı olmak için bir başlangıç noktası sağlayacaktır.

1. Elektronik Sistemlerin Temel Görevleri

Uçuş Kontrol Sistemleri

Uçuş kontrol sistemleri, uçakların kontrolünü sağlamak için kritik öneme sahiptir. Bu sistemler, uçağın istikrarını sağlamak, yönünü kontrol etmek ve pilotun komutlarını uygulamak için kullanılır. Modern uçaklarda, fly-by-wire sistemleri, uçuş kontrolünü sağlamak için dijital sinyaller kullanır ve pilotların müdahalesini optimize eder.

Navigasyon Sistemleri

Navigasyon sistemleri, uçağın konumunu belirlemek ve rotayı takip etmek için kullanılır. Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), Enertial Navigation System (INS), ve VHF Omnidirectional Range (VOR) gibi sistemler, uçağın güvenli bir şekilde seyretmesine yardımcı olur. Ayrıca, Instrument Landing System (ILS), uçakların güvenli bir şekilde iniş yapmasını sağlar.

Kabin İçi Elektronik Sistemler

Kabin içi elektronik sistemler, yolcu ve mürettebatın konforunu artırmak ve kabin içi işlemleri yönetmek için kullanılır. Bu sistemler, kabin basıncını ve sıcaklığını düzenler, eğlence sistemlerini kontrol eder ve acil durumlarda yolcuları bilgilendirir. Ayrıca, uçak içi iletişimi kolaylaştıran sistemler de bu kategoride yer alır.

Güvenlik Sistemleri

Uçak güvenliğini artırmak için çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Çarpışma önleme sistemleri, hava radarları, ve ELT (Emergency Locator Transmitter) gibi acil durum sinyal verme sistemleri, uçakların güvenliğini sağlamak için kullanılır. Ayrıca, yangın algılama ve söndürme sistemleri de uçak güvenliğini artıran önemli sistemlerdir.

2. Elektronik Sistemlerin Avantajları ve Zorlukları

Avantajlar

Elektronik sistemlerin kullanımı birçok avantaj sağlar:

Uçakların güvenliğini artırır.

Uçuşları daha etkin ve verimli hale getirir.

Pilotların iş yükünü azaltır ve karar verme sürecini destekler.

Acil durumlarda hızlı müdahale imkanı sağlar.

Zorluklar

Ancak, elektronik sistemlerin kullanımı bazı zorlukları da beraberinde getirir:

Sistem arızaları ciddi sorunlara neden olabilir.

İnsan faktörü hataları, sistemlerin yanlış kullanılmasına yol açabilir.

Yüksek maliyet ve sürekli güncelleme gereksinimi gibi ek zorluklar bulunmaktadır.

3. Gelecek Perspektifi

Havacılık endüstrisindeki teknolojik ilerlemeler, uçak güvenliği ve elektronik sistemlerin geleceğini şekillendirmektedir. Yapay zeka, otonom uçuş sistemleri, ve daha gelişmiş sensörlerin kullanımı, uçakların daha güvenli ve etkin bir şekilde işlemlerini sağlayacaktır. Ancak, bu yeni teknolojilerin getirdiği güvenlik ve etik sorunlar da göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuç

Uçak güvenliği ve elektronik sistemler, havacılık endüstrisinin temel taşlarından biridir. Sürekli olarak gelişen teknoloji ile birlikte, uçakların güvenliği ve verimliliği artırılmaya devam edecektir. Ancak, bu süreçte güvenlik standartlarının korunması ve insan faktörünün göz ardı edilmemesi büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

"Fly-By-Wire Systems: How They Work and Why They're Safe" - NASA, https://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/88104main_H-1391.pdf

"Introduction to Aviation Navigation Systems" - Federal Aviation Administration (FAA), https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/media/aviation_instructors_handbook.pdf

"Aircraft Cabin Systems" - Aircraft Cabin Systems, <https://www.aircraftcabinsystems.com/>

"Introduction to Aviation Security Systems" - International Civil Aviation Organization (ICAO), <https://www.icao.int/safety/security/FAL/Pages/Introduction-to-Aviation-Security-Systems.aspx>

5."Aviation Safety: Emerging Issues in Civil Aviation" - Federal Aviation Administration (FAA), https://www.faa.gov/news/safety_briefing/2019/media/SepOct2019.pdf

6."Future Trends in Aviation Safety: From Big Data to Artificial Intelligence" - International Air Transport Association (IATA),

<https://www.iata.org/en/publications/store/future-trends-in-aviation-safety-from-big-data-to-artificial-intelligence/>

İNİŞ TAKIMLARININ ÖNEMİ VE KOMPOZİT MALZEMEYE KIYASLA AVANTAJLARI

Adem AYVERDİ

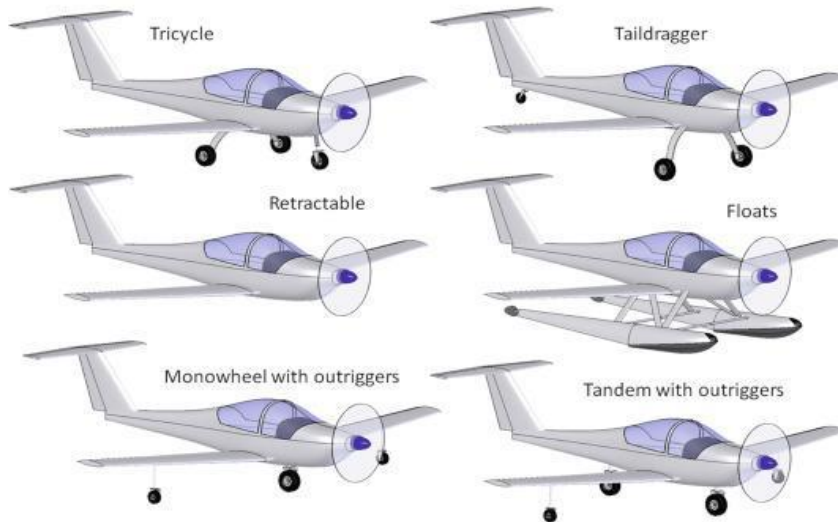
ÖZET

İnsanların varoluşundan beri doğadan ilham alması ve hayatını kolaylaştıran çalışmalar yapmaları yüzyıllardır süre gelen bir şeydir. Uçakların iniş takımları, iniş ve kalkış sırasında çok önemli bir rol oynar. Bu sistemler; yükleme, boşaltma ve taksi durumlarında sabit bir şekilde tutmak, taksi sırasında gerekli kabiliyet, iniş sırasında çarpma sonucunda oluşan enerjiyi absorbe etmek gibi birçok fonksiyonu vardır. Ayrıca, ağırlık merkezine etki ettiği için uçuş sırasında aerodinamik stabiliteyi etkiler. Hava araçları ilk icat edildiğinde ilk amaç sadece uçmak üzerine kurulu olduğu için Wright kardeşler 1903 yılında ilk uçuşlarında kullandıkları hava aracında herhangi bir iniş takımı yoktu. Daha sonrasında başarılı ve güvenli bir şekilde iniş yapmak amacıyla bir sisteme ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Uçak tasarımlarına ilham olan kuşlar iniş takımları içinde bir ilham kaynağı oluşturmuştur. 1909 yılında Fransız Bleriot XI uçağında Bleriot tarafından tasarlanan ve ilk tekerlekli iniş takımına sahip bir hava aracı yapılmıştır. Süre gelen yıllar içerisinde iniş takımları değişmiş ve gelişmiştir. İlk tasarımlarda sabit bir iniş takımı kullanılırken ilerleyen zamanlarda katlanır ve fren sistemleri gelişmiş hidromekanik veya elektromekanik iniş takımları kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında sportif havacılıkta sıklıkla kullanılan ve teknofest uçaklarının hemen hemen hepsinin kullandığı iniş takımı tipinin alüminyum ve karbon fiber kompozit malzemedan yapılması ve birbirine göre avantaj ve dezavantajları incelemiştir.

Giriş

1. İniş Takımı Çeşitleri

İniş takımı dendiği zaman genelde insanların akıllarına tekerlekli bir yapı gelir ancak iniş takımları hava aracının iniş ve kalkış yapacağı piste göre tekerlek, kızak ve kayak tipinde olabilir.

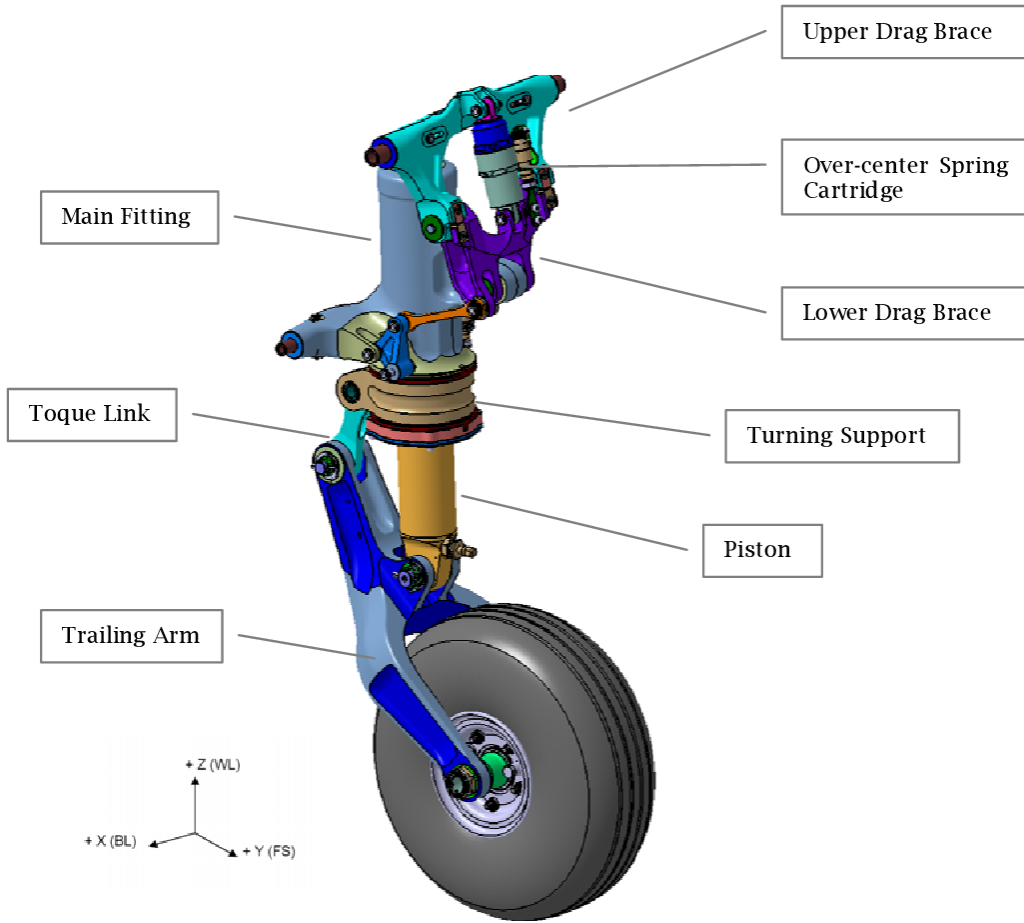


Şekil 1 İniş Takımı Çeşitleri [1]

Bu çalışma kapsamında hava araçlarında iniş takımlarının önemi üzerinde durulmuş, konumlandırma çalışmalarının nasıl yapıldığı ve hava araçlarındaki konumun aerodinamik ve kararlılığı üzerine araştırmalar yapılmıştır. İniş takımlarının konumunun önemini 4 başlık ile özetleyebiliriz:

1. Güvenli İniş ve Kalkış

İniş takımları hava aracının piste güvenli ve yumuşak bir iniş yapmasını sağlar. Sistem içerisinde bulunan şok absorber yapıları sayesinde iniş sırasında açığa çıkan enerjinin emilimini gerçekleştirir.



Şekil 2 İniş Takımı Parçaları [2]

2. Aerodinamik Stabilite

İniş takımları, uçağın aerodinamik performansına kontrol yüzeyleri kadar olmasa da uçuş performansına önemli bir katkıda bulunur. Uçağın alt kısmında bulunan iniş takımları, uçağın merkezine ek bir ağırlık sağlayarak uçuş sırasında dengeyi korur. Bu, uçağın stabilitesini artırır ve manevra kabiliyetini iyileştirir. İniş takımları kendi içlerinde genel anlamda ikiye ayrılır. Ana ve burun (kuyruk) iniş takımı olarak ayrılan iniş takımlarının ana iniş takımlarının ve burundaki konumu ve ağırlığı hava aracının ağırlık merkezine (CG) etki etmektedir. Ağırlık merkezinin aerodinamik merkeze (CP) göre önde, arkada veya aynı noktada olması uçağın karakteristik özelliğini etkilemektedir. Bu çalışmada direkt olarak bunun üzerine çalışmalar yapılmıştır.

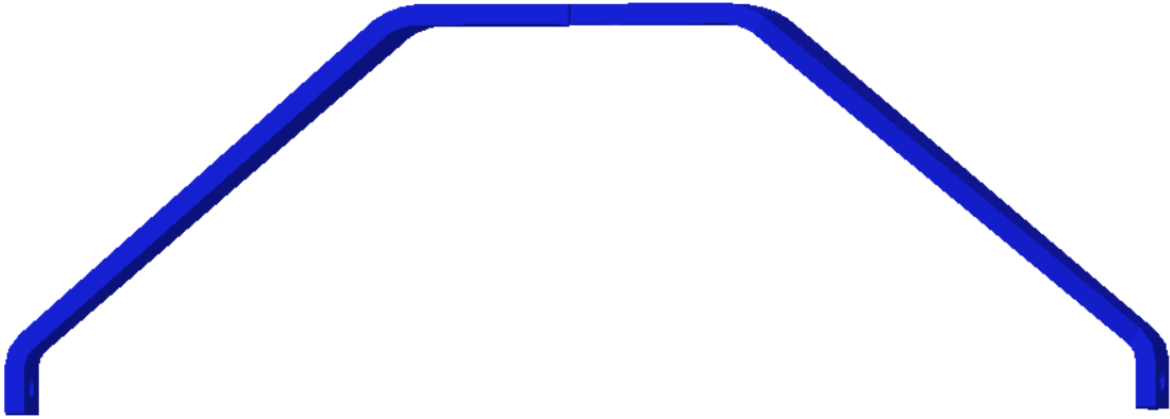
3. Yakıt Verimliliği

İniş takımlarının aerodinamik tasarımı ve konumu, uçağın yakıt verimliliğini etkilemektedir. Doğru konumlandırılmış bir iniş takımı, kalkış hızını, mesafesini ve uçağın direncini azaltarak yakıt tüketimini düşürür.

4. Uçuş Kontrolü

Özellikle iniş ve kalkış sırasında, iniş takımlarının doğru bir şekilde açılması veya kapanması, uçağın yüksekliğini ve hızını kontrol etmede kritik bir rol oynar. Bu, pilotların uçağı güvenli bir şekilde yönetmelerine yardımcı olur.

2. Kabuller ve Çözümler



Şekil 3 Arka İniş Takımı Tasarımı

Yukarıdaki şekildeki gibi bir tasarıma sahip arka iniş takımı üzerine alüminyum ve karbon fiber malzemeleri üzerine çalışma yapılmıştır.

Alüminyum yoğunluğu (ρ) = 2.7 g /cm³

İniş takımının hacmi (V) = 700 cm³ = 7*10⁻⁴m³

Hesaplamalar

1. Alüminyum 'un Ağırlığının Hesaplanması

Alüminyum 'un ağırlığını hesaplamak için aşağıda belirtilen formüller kullanılacaktır;

$$\rho = m / v \quad W = m \times g$$

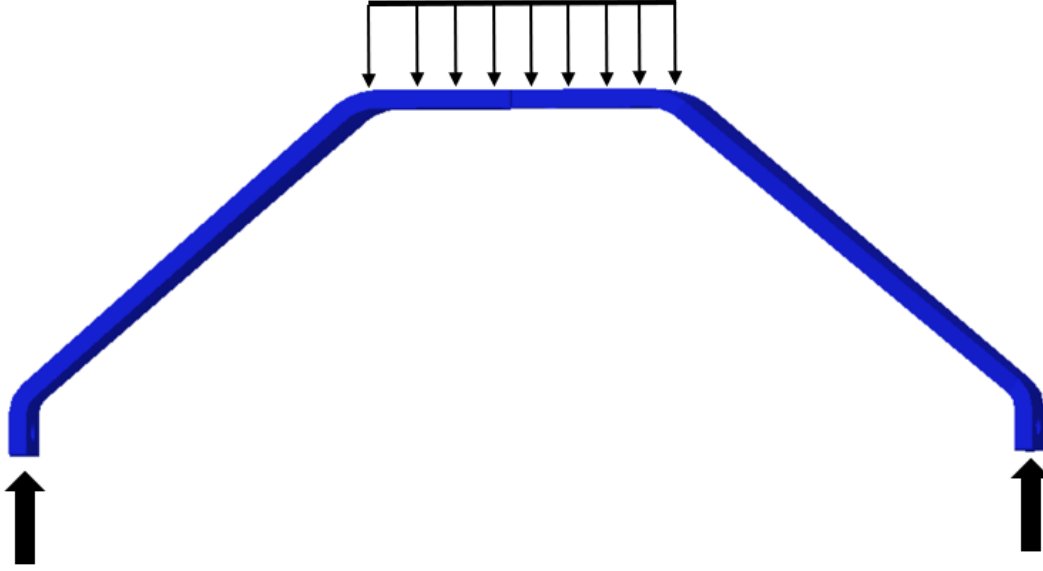
Alüminyumun kütle hesaplanması:

$$m = 2,7 \text{ g /cm}^3 \times 700 \text{ cm}^3 = 1890 \text{ gram} = 1,89 \text{ kg}$$

Ağırlığın hesaplamaları için iniş takımının pistteki hale baz alınarak hesaplanmıştır.

$$W = 1,89 \text{ kg} \times 9.807 \text{ m /s}^2 = 18,535 \text{ N}$$

2. Dikmeye Etki Eden Kuvvetler



Şekil 4 İniş Takımına Etki Eden Kuvvetler

3. Laminasyon Planı

Planlanan laminasyon planı iniş takımına etki eden kuvvetlere göre planlanmıştır. İniş takımına etki eden kuvvetler İHA'nın gövdesine bağlanacak olan kısım iniş durumunda malzemeye hava aracının yere temasıyla birlikte bir etki tepki ve hava aracının ağırlığından kaynaklı bir basma ve ondan kaynaklı eğilme kuvvetleri uygulayacaktır. İniş takımının yan parçalarından gelen kuvvetlerin etkisiyle burulmayı önlemek için +45/-45 yönlü fiberler başa ve sona eklenmiştir. Mini İHA'nın basma kuvveti düşünülerek 0/90 fiber yönlü elyaflar eklenmiştir. Bu tasarım hem yan parçalardan gelebilecek burulma, İHA'nın ağırlığından kaynaklı basma ve sert bir iniş durumunda tepki kuvvetleri düşünülerek tasarlanmıştır. Gövdeye bağlanacak parçanın laminasyon planı aşağıdaki gibidir:

Components										
	Plies Group	Sequence	Ply	Cut Piece	Material	Direction	Rosette	Surface	Draping	Contour 3D
1	Plies Group.1	Sequence.1	PLY-01		Mat carbon fiber	45	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
2		Sequence.13	PLY-02		Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
3		Sequence.12	PLY-03		Mat carbon fiber	90	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
4		Sequence.11	PLY-04		Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
5		Sequence.10	PLY-05		Mat carbon fiber	90	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
6		Sequence.9	PLY-06		Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
7		Sequence.8	PLY-07		Mat carbon fiber	90	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
8		Sequence.7	PLY-08		Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
9		Sequence.6	PLY-09		Mat carbon fiber	90	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
10		Sequence.5	PLY-10		Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
11		Sequence.4	PLY-11		Mat carbon fiber	90	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
12		Sequence.3	PLY-12		Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
13		Sequence.2	PLY-13		Mat carbon fiber	-45	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK

Şekil 5 İniş Takımının Gövdeye Bağlanan Parçasının Laminasyon Planı

İniş takımının yan parçaları için eksen kuvvetin geldiği yöne göre seçilmiş ve kesme ve burulma kuvvetleri baz alınarak +45/-45 yönlü fiber elyaf yerleştirilip eksen bu doğrultuya alındığı için oluşacak eksenel yükleri önlemek adına 0 yönlü fiber elyaf seçilmiştir. Bu tasarım doğrultusunda sert inişlerde malzemenin daha mukavim olması planlanmıştır. Yan parçaların laminasyon planı aşağıdaki gibidir:

Interactive Ply Table

Plies Group	Sequence	Ply	Cut Piece	Material	Direction	Rosette	Surface	Draping	Contour 3D
1	Ply Group.1	Sequence.1	PLY-01	Mat carbon fiber	45	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
2		Sequence.13	PLY-02	Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
3		Sequence.12	PLY-03	Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
4		Sequence.11	PLY-04	Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
5		Sequence.10	PLY-05	Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
6		Sequence.9	PLY-06	Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
7		Sequence.8	PLY-07	Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
8		Sequence.7	PLY-08	Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
9		Sequence.6	PLY-09	Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
10		Sequence.5	PLY-10	Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
11		Sequence.4	PLY-11	Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
12		Sequence.3	PLY-12	Mat carbon fiber	0	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK
13		Sequence.2	PLY-13	Mat carbon fiber	-45	Axis System.1	Fill.1	FALSE	OK

Şekil 6 İniş Takımının Yan Parçalarının Laminasyon Planı

1. Kompozitin Ağırlığı

1. Gövdeye bağlanan parçanın kütlesinin hesaplanması:

ELYAF KODU	TİP	FİBER YÖNÜ	METREKARE AĞIRLIĞI (gr)	KÜRLENMİŞ KALINLIK (mm)
CX300	-	45	300	0,3
CW245A	Dokuma	0	245	0,25
CW245A	Dokuma	90	245	0,25
CW245A	Dokuma	0	245	0,25
CW245A	Dokuma	90	245	0,25
CW245A	Dokuma	0	245	0,25
CW245A	Dokuma	90	245	0,25
CW245A	Dokuma	0	245	0,25
CW245A	Dokuma	90	245	0,25
CW245A	Dokuma	0	245	0,25
CW245A	Dokuma	90	245	0,25
CW245A	Dokuma	0	245	0,25
CW245A	Dokuma	90	245	0,25
CW245A	Dokuma	0	245	0,25
CX300	-	-45	300	0,3
Toplam			3785	3,85

Tablo 1 Gövdeye Bağlanan Parçanın Kütlesinin Hesaplanması

Toplam metrekare kütlesi 3785 g / m² olarak hesaplanmıştır. Kompozitin serim yapılacak yüzey alanı 0,174 m² olarak verilmiştir. Kabul edilen gövdeye bağlanılacak parçanın alanı 0,174 / 3 = 0,058 m² olarak kabul edilmiştir. İniş takımı gövdeye bağlanan parçanın kütlesi:

$$3785 \text{ g / m}^2 \times 0,058 \text{ m}^2 = 219,53 \text{ gram}$$

2. İniş takımı yan parçasının kütesinin hesaplanması

ELYAF KODU	TİP	FİBER YÖNÜ	METREKARE AĞIRLIĞI (gr)	KÜRLENMİŞ KALINLIK (mm)
CX300	-	45	300	0,3
CWUD300	Eş Yönlü	0	300	0,3
CWUD300	Eş Yönlü	0	300	0,3
CWUD300	Eş Yönlü	0	300	0,3
CWUD300	Eş Yönlü	0	300	0,3
CWUD300	Eş Yönlü	0	300	0,3
CWUD300	Eş Yönlü	0	300	0,3
CWUD300	Eş Yönlü	0	300	0,3
CWUD300	Eş Yönlü	0	300	0,3
CWUD300	Eş Yönlü	0	300	0,3
CWUD300	Eş Yönlü	0	300	0,3
CWUD300	Eş Yönlü	0	300	0,3
CWUD300	Eş Yönlü	0	300	0,3
CX300	-	-45	300	0,3
Toplam			3900	3,9

Tablo 2 İniş Takımı Yan Parçalarının Kütesinin Hesaplanması

Toplam metrekare kütesi 3900 g / m² olarak hesaplanmıştır. Kompozitin serim yapılacak yüzey alanı 0,174 m² olarak verilmiştir. Kabul edilen iniş takımı yan parçalarının alanı 0,174-0,058 = 0,116 m² olarak kabul edilmiştir. İniş takımının yan parçasının kütesi:

$$3900 \text{ g / m}^2 \times 0,116 \text{ m}^2 = 452,4 \text{ gram}$$

Toplam kütle 671,93 gram olarak hesaplanmıştır. Reçine kütesi toplam kütenin %40 olarak verilmiştir. Toplam kompozit kütesi reçine dahil:

$$671,93 \times 1,4 = 940,702 \text{ gram}$$

$$W = 0,941 \times 9,807 \text{ m} / s^2 = 9,228 \text{ N}$$

3. Kompozit ve Alüminyum 'un Karşılaştırılması

MALZEME	KÜTLE (KG)	DARBE DAYANIMI	KOROZYON DAYANIMI	MUKAVEMET
ALÜMİNYUM	1,89	İyi	Kötü	İyi
KARBON FİBER	0,941	Yüksek	İyi	Yüksek

Tablo 3 Alüminyum ile Karbon Fiberin Karşılaştırılması

Alüminyuma göre çok daha hafif olan kompozit malzemeler alüminyuma göre korozyon direnci, mukavemeti, darbe dayanımı ve birçok mekanik özellik olarak daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak maliyet durumlarında halen alüminyum kullanılmaktadır. Önceki yıllara oranla hava araçlarındaki alüminyum oranı azalmış olarak görünse de halen birçok hava aracında ve farklı sektörlerde alüminyum yerini korumaya devam etmektedir.

4. Kompozit Yönlerinin Seçimi ve Karşılaştırma

Her geçen gün kompozit malzemelere havacılık ve birçok sektörün ilgisi artmaktadır. İlginin asıl sebebi hafif olmaları, yüksek dayanım ve kullanım ömürlerinin uzun olmasıdır. Kompozit genel anlamda farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemeden üretilen ve daha farklı özelliklere sahip olan malzemedir. Her kompozitte genellikle iki tip madde bulunur; matris ve takviye elemanı.[3] Bu proje kapsamında matris karbon fiber olarak belirlenmiş ve takviye elemanı olarak reçine kullanılmıştır. Projenin asıl amaçlarından biri iniş takımlarında kullanılan alüminyum yerine kompozit malzemelerin kullanımının avantajlarını göstermek amaçlanmıştır. İlk olarak Alüminyumun kütlesi hesaplanmıştır. Daha sonrasında dikmeye etki eden kuvvetler düşünülmüştür. Dikmeye etki eden kuvvetler doğrultusunda iniş takımında basmadan kaynaklı eğilme ve kesmeden kaynaklı burulma kuvvetleri gözlemlenmiştir. Bu kuvvetler doğrultusunda kompozitin laminasyon planı yapılmıştır. Laminasyon planı yaparken iniş takımı 3 ayrı parça olarak değerlendirilmiş ve parçalara etki eden kuvvetler doğrultusunda fiber yönleri seçilmiştir. İniş takımının yan parçaları için başa ve sona +45/-45 fiber yönleri seçilmiştir bunun sebebi yan parçaya etki eden kuvvetin malzemeyi kesme ve burulmaya maruz bırakacağı düşünülmüşdür.[4] Daha sonrasında eksenini iniş takımının yan parçası seçerek fiber yönü 0 seçilmiştir. Bu seçim aksenal yükler düşünülmüşdür. Gövdeye bağlanan yapı için ise yine başı ve sonu için +45/-45 fiber yönü seçilmiştir.[5] Bu seçim iniş takımının yan yüzeyindeki kuvvetten oluşacak burulmayı absorbe etmek amacıyla seçilmiştir. Diğer fiber yönleri ise basma ve ondan kaynaklı eğilme kuvvetleri düşünülmüşdür 0/90 olarak seçilmiştir. Projede istenilen 4 mm kalınlığı için gerekli sayıda fiberler eklenerek istenilen kalınlığa ulaşılmıştır. Belirlenen fiberler Catia V5 programının Composites Desing modülünde de yapılmış ve laminasyon planı kısmında paylaşılmıştır. Fiberleri belirledikten sonra kompozitin ayrı ayrı kütleleri hesaplanmıştır. Kütle hesabını yapmak için toplam yüzey alanını 3 eşit parçaya bölerek hesaplanma yapılmıştır. Bu hesaplamada mini İHA'ların ortalama iniş takımı boyutlarına bakılmış ve bu karar verilmiştir. Hesaplanan fiber kütleleri 1,4 ile çarpılarak reçine kütlesi de eklenmiştir. Hesaplanan kütle doğrultusunda alüminyum ve karbon fiber karşılaştırılmıştır.

5. Sonuçlar

Çalışmanın sonucu aynı kalınlıkta olan kompozit ve alüminyum malzemelerden statik dayanım özellikleri bakımından ve ağırlık açısından da daha avantajlı olan kompozit malzeme seçimi havacılık gibi kütlenin tasarlanan hava aracının performansına direkt etki ettiği için yapılan çalışmada da görüldüğü gibi kütle yarı yarıya inmiştir. Tasarım kompozit malzeme açıkça görüleceği gibi daha stiff bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Kütlenin azalması hava aracının aynı şartlar altında motoru değişmediğini varsaydığımızda Thrust / Weight oranını arttıracığı için bununla beraber birçok parametrede iyileşecektir. Bunların yanı sıra fatigue (yorulma) ömrü olarak daha dayanıklı olması da önemli bir ölçüdür. Sonuçlardan da görülebildiği gibi aynı kalınlıkta aynı yükler altında kompozit seçiminin avantajları açıkça gözükmektedir ve kompozit malzemelerin her geçen gün hayatımızdaki değerinin artmasının ana etkeni budur.

Kaynakça

- [1] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/landing-gear>
- [2] <https://www.semanticscholar.org/paper/Multibody-Dynamics-Simulation-of-an-Integrated-Gear-Yazdani-Jin/8baa557dba24f2a23fb840f061cb07779fca15c3/figure/0>
- [3] https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_82.html
- [4] https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_82.html
- [5] <http://tr.composite-china.com/news/how-fiber-direction-influences-tube-and-plate-24845657.html>

TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN LEVHA ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Esra DURDU

ÖZET

Yüksek performanslı termoplastik polimerlerin proses edilmesiyle birlikte, termoplastik kompozitlere yönelik yapısal uygulamalar hızla artmaktadır. Termoplastik matrisli kompozitler, geri dönüştürülebilirlik, yüksek özgül mukavemet ve özgül sertlik, korozyon direnci, gelişmiş darbe tokluğu, maliyet etkinliği ve tasarım esnekliği açısından termoset matrisli kompozitlere göre belirgin avantajlara sahiptir (Vaidya & Chawla, 2008). Bu çalışmada termoplastik kompozitlerin temel birleşenlerine değinildikten sonra levhaların üretim yöntemlerine genel bir bakış atılacaktır.

ABSTRACT

With the processing of high performance thermoplastic polymers, structural applications for thermoplastic composites are increasing rapidly. Thermoplastic matrix composites have distinct advantages over thermoset matrix composites in terms of recyclability, high specific strength and specific stiffness, corrosion resistance, improved impact toughness, cost effectiveness and design flexibility (Vaidya & Chawla, 2008). In this study, the basic components of thermoplastic composites will be discussed and then an overview of the production methods of the sheets will be given.

1. Giriş (Introduction)

Tarih boyunca en iyi mekanik özelliklere (örn. Mukavemet, süneklik, korozyon direnci vb.) sahip malzemeler üretmek için çaba harcanmıştır. Günümüzde de malzeme arayışı devam eden bir süreçtir. Bu süreçte geliştirilmek üzere tek malzemedense birden fazla malzemenin birleşmesiyle oluşan kompozit malzemeler hedef alınmıştır. Kompozit malzemeler bileşenlerinin farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerinin kombinasyonuyla çeşitli tasarımlar yapılabilme imkanı sağlar. Kompozit malzemeler seramiklerden metaller, doğal malzemelerden polimerlere kadar her malzeme sınıfında yer alabilirler (Qiao et al., 2023). Kompozitler, polimerik matrisin türüne göre termoset ve termoplastik olarak sınıflandırılırlar(Vaidya & Chawla, 2008). Termoplastiklerin termosetlere kıyasla bazı üstün özellikleri vardır. Bu özellikler sebebiyle termoplastik levha üretimi yoğun bir araştırma konusu olmuştur.

2. Bileşenler

Bir kompoziti oluşturan malzemeler genelde matris ve takviye malzemesi olarak kabul edilir. Bu birleşenler çoğunlukla performans artırıcı işlemler görebilirler. Örneğin, matrisler özellik iyileştirici katkı maddeleri eklenirken takviye malzemeleri yüzey işlemine tabi tutulabilir(Tomas^ström, 1997).

2.1 Matrisler

Matrislerin takviye elemanlarını yerinde tutmak ve üzerlerine gelen yükleri dağıtmak gibi görevleri vardır. Ayrıca sıkışma gibi durumlarda burkulmayı önlemek için elyafları destekler ve ürüne istenilen şekli verir (Hsissou et al., 2021). Matrisler termoset ve termoplastik olabilir. Kullanım yerine ve isterlere göre matris polimeri seçilir.

2.1.1 Termoset Matrisler

Termoset polimerler sıvıdır. Oda sıcaklığında sertleşmeye başlarlar. Bu yüzden düşük sıcaklıklarda saklamak gerekir. Termoset polimerler ısıtıldıklarında yumuşamaz ve içyapıları bozulmaz. (Akkaya et al., 2021) Bu özellikleri sergilemelerinin başlıca sebebi molekülleri arasında çapraz bağların bulunmasıdır. Bu bağlar moleküllerin hareket etmesini engeller. Çapraz bağların artması malzemede rijitliğin artmasına sebep olur.

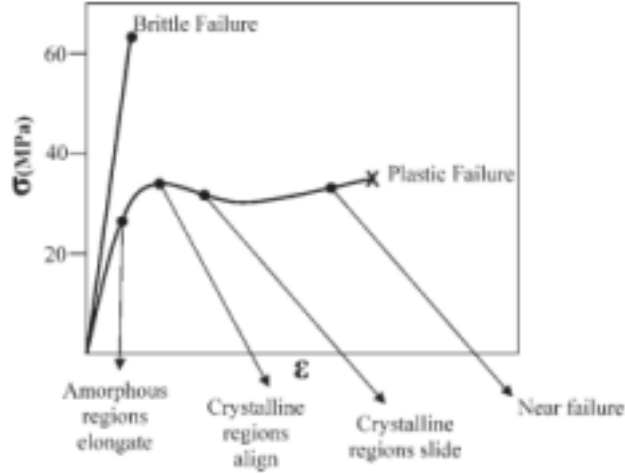
Termoset polimerler geri dönüştürülemezler yani tekrar kullanılamazlar. Termosetlerde üretim yapılırken kürlenmesi için zamana ihtiyaç olur. Ayrıca belirli bir raf ömrüne sahiptirler. Bu özellikleri sebebiyle termoplastik üretimi araştırmaları günden güne artarak devam etmektedir(Olgun & Çavdar, 2018).

2.1.2 Termoplastik Matrisler

Çok çeşitli mühendislik plastikleri vardır fakat birkaçı kompozit matrisi olarak kullanılabilir. Bir plastik iyi özelliklere sahip olsa da her zaman mükemmel kompozit matris oluşturamayabilir. Matris olarak seçim yaparken bazı önemli parametreler vardır. Bunlar, mekanik özellikler, termal özellikler, maliyet, bağlanma vb. gibi takviye-matris uyumluluğudur. Bunların yanı sıra daha da önemli olan özelliği işlenebilirliğidir. Yani üretim koşullarının ne kadar kolay

olduğudur. İşlenebilirlik için değerlendirilecek konular arasında viskozite, işleme sıcaklığı, işleme süresi ve sağlıkla ilgili kaygılar vardır. Matrisin takviye elemanlarına emdirilmesinde viskozite önemli bir parametredir. Matrisin viskozite düşük oldukça fiberlere emdirilmesi de kolay olacaktır.

Termoplastik matrisler doğaları sebebiyle termosetlerden farklıdır. Molekül yapılarında çapraz bağ oluşturmazlar. Bu sebeple üretim esnasında çapraz bağ oluşumu için zaman harcanmaz. Termosetlere göre daha az sürede üretilebilirler. Ayrıca ısıtıldıklarında yeniden şekillendirilebilir ve işlenebilirler. Bu özellikleri geri dönüştürme açısından önem arz etmektedir. Yine termosetlerin gerekli saklama koşulları ve raf ömürleri varken termoplastiklerde yoktur. Sınırsız raf ömrüne sahip olması ve saklama için ayrıca enerjiye ihtiyaç olmaması termoplastikleri ekonomik kılar. Termoplastikler polimer zincirlerinin morfolojik yapısı sebebiyle yüklenme ve boşaltma sırasında esnek plastik davranış gösterir (Stokes, 1995). Bu polimerler Şekil 1.de de görüldüğü üzere kopmadan önce önemli ölçüde esneyebilirler (Vaidya & Chawla, 2008). Termoplastik polimerlerin toklukları termosetlerden daha üstündür. Bu sebeple çatlama ve bozulma olmadan yüksek hasarlara dayanabilirler.



Şekil 1. Termoplastiklerin enerji emilimi ve uzama yeteneği (Stokes, 1995)

2.2. Takviye Elemanları

Takviye elemanları, kompozitin üzerine gelen yükleri taşırlar. Bu sebeple takviye, kompozitin birçok özelliğini belirler. Elyafar farklı şekillerde olabilir fakat bu çalışmada termoplastik kompozit şekillendirme için yalnızca lifli takviyelerle ilgileneceğiz. Kompozit uygulamalarında en çok kullanılan takviyeler cam, karbon ve aramiddir.

2.2.1 Cam Elyafar

Elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik davranışları gerilme transferini sağlamada bazı özelliklere bağlıdır. Bunlar; elyaf mukavemeti, matris mukavemeti ve elyaf/matris arasındaki ara yüzey yapışma gücüdür(Erden et al., 2010). Birkaç farklı cam bileşimi mevcuttur. En yaygın olanları E ve S camlarıdır. Burada “E” elektriksel ve “S” yüksek mukavemeti ifade eder. Diğer camlar ise A-cam ve C-camdır. A-cam alkali cam anlamına gelirken C-cam kimyasallara dirençli anlamına gelir(S et al., 2017). Tek filamentlerin çapı 5 ila 24 µm arasında değişir ve kompozit uygulamalarında genellikle 10-20 µm aralığındadır (Tomas^ström, 1997).



Şekil 2. Dokuma Cam Elyaf

Cam fiberlerin avantajları şu şekildedir:

- İyi mekanik özellikler
- Yüksek sıcaklık toleransı
- Pozitif termal genleşme katsayısı
- İyi elektriksel özellikler
- Ucuz olması

2.2.2 Karbon Elyafar

Karbon elyafar üç farklı öncül maddeden üretilirler. Bunlar; rayon, poliakrilonitril (PAN) ve petrol zifti. Karbon atomları kovalent bağlarla birbirine bağlanmıştır. Karbon liflerinin düzgünlüğü grafen tabakaları içindeki güçlü kovalent bağlarının bir sonucudur. Grafitleşme sırasında daha yüksek bir sıcaklık, grafen tabakalarının lif yönünde uyum sağlar ve bu durum yüksek çekme modülü ile sonuçlanır. Karbon elyafar son derece yüksek mukavemet/ağırlık ve sertlik/ağırlık oranları nedeniyle çok yönlüdür. Kimyasal olarak iletkenlerdir. İletken olmaları bazı durumlarda avantajlı olsa da genellikle dezavantajdır. Çünkü karbon elyafar metalik uçlarda galvanik korozyona sebep olabilirler.



Şekil 3. Karbon Elyaf Dokuma

Diğer bazı özellikleri şunlardır:

- Yüksek sıcaklık toleransı
- Negatif boylamasına CTE, pozitif enine CTE
- Mükemmel çevresel direnç
- Neme karşı duyarsız
- Kırılgan
- Pahalı

2.2.3 Doğal Elyaf lar

Farklı organik elyaf türleri bulunsa da bu kategoriye aramid elyaf lar hakimdir. Aramid elyaf ların çapı tipik olarak 12 µm'dir. Doğal elyaf ların özellikleri şunlardır:

- Orta derecede sıcaklık toleransı
- Negatif boylamasına CTE, pozitif enine CTE
- İyi elektriksel özellikler
- Korozyon direnci
- Neme karşı çok hassasdırlar



Şekil 4. Doğal Elyaf

2.2.4 Takviye-Matris Etkileşimi

Teorik olarak bir kompozite bakıldığında, enine yerleştirilmiş izotropik elyaf lar ve elyaf larla mükemmel bağ oluşturan yine izotropik matristen oluşmaktadır. Ancak gerçekte bu tam olarak böyle değildir. Kompozitin dış yükleri taşıyabilmesi için elyaf ları ve matrisi arasında iyi bir

bağa sahip olması gerekir. Bu durumu oluşturabilmek için genellikle elyaf ve matrisin aynı özelliklerde olması istenir. Bununla birlikte, bazı yük durumlarında zayıf bağ tercih edilebilir; kırılma matrisine sahip bir kompozitin hasar toleransı genellikle zayıf bir fiber-matris bağı oluşturarak elde edilir(Jang, B.Z., 1994). Sonuç olarak yük az ya da çok olsun fiber-matris etkileşimi kompozit özellikleri için çok önemlidir.

Elyaf ve matris arasında iyi bir bağ, çeşitli mekanizmalar ile gerçekleştirilebilir. İstenen bağlanma mekanizması kimyasal (kovalent bağ) iken, bazı karbon ve organik elyaf ların yüzeyinin düzensiz olması sebebiyle mekanik kenetleme iyi sonuç verebilir(Tomas^ström, 1997). Cam elyaf larında bağlanmayı arttırmak için elyaf yüzeyine bağlayıcı madde uygulanır. Karbon elyaf larında ise çoğunlukla yüzey oksitlenir.

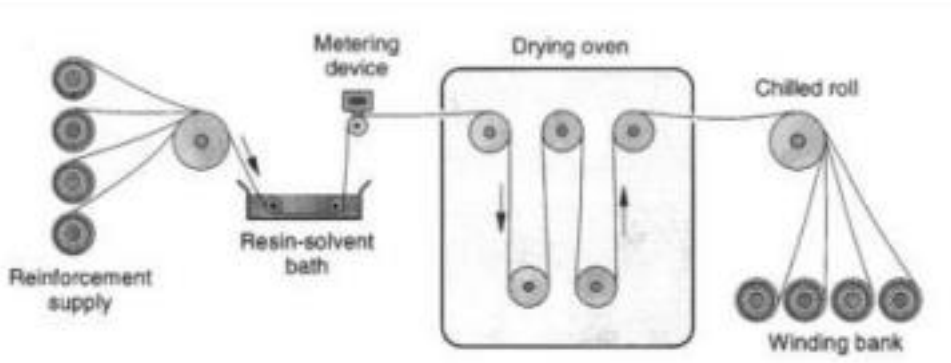
2.2 Önceden Emprenye Edilmiş Takviyeler

Kompozit üretiminin en önemli parametrelerinden biri elyaflara matrisin emdirilmesidir. Fiber ve matrisin boyutsal farklılıkları ve matrisin viskozitesi gibi durumlar sebebiyle matrisin homojen dağılması her zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumlar prepreg (önceden emprenye edilmiş takviye) kullanımının sebeplerindedir.

Prepregler, kullanım amaçlarına bağlı olarak farklı formlarda bulunabilirler. Başlıca emprenye formları; solvent emdirme, eriyik emdirme, toz emdirme.

2.2.1 Solvent Emdirme

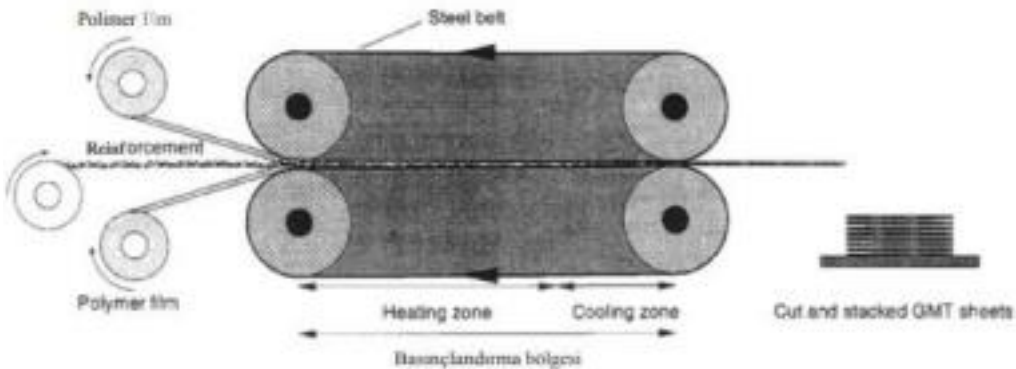
Polimerin viskozitesinin azalmasıyla birlikte kumaşa emprenye edilmesi de kolaylaşır. Solvent emdirme fiberlerin çözücü banyosuna batırılmasıyla başlar. Matrise bulanmış fiberler rulolardan geçirilerek fazla matris malzemesi alınır daha sonrasında fırında çözücü maddenin uzaklaştırılması sağlanır. En son oluşan termoplastik malzeme rulolarla sarılarak oda sıcaklığında saklanır. Bu yöntemle hem fiberler hem kumaşlar emprenye edilebilir.



Şekil 5. Solvent Emdirme Şeması(Tomas^ström, 1997)

2.2.2 Eriyik Emdirme

Termoplastikler için eriyik emdirme tekniği zorlayıcıdır. Eriyik termoplastik polimer ve fiber aynı zamanda kısıtılarak çift kayışlı presden geçirilir. Bu şekilde fiberlere polimerin emdirilmesi sağlanmış olur.



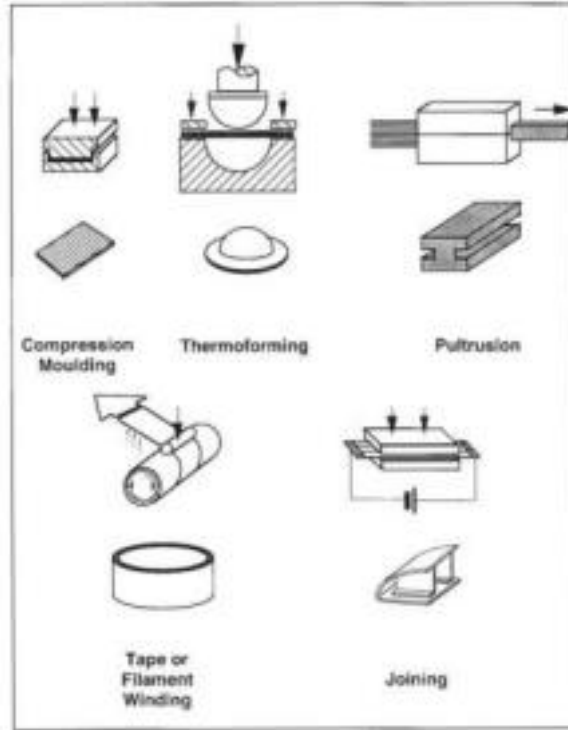
Şekil 6. Eriyik Emdirme Yöntemi Şeması (Tomas^ström, 1997)

2.2.3 Toz emdirme

Katı halde bulunan polimer matris ince bir toz haline getirilir ve akışkanlaştırılarak takviye malzemeye emprenye edilir. Tozu akışkanlaştırmak için genellikle su kullanılır. Daha sonra bu su uzaklaştırılır. Bu yöntemin avantajları esnek olmaları ve ucuz olmalarıdır. Dezavantajı ise tozun nadiren takviye içinde eşit olarak dağılmasıdır.

3. Termoplastik Levha Üretim Teknikleri

Son yıllarda çeşitli üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Termoset kompozitlerin süreçleri kullanılarak ve metalik malzemelerde kullanılan genel levha şekillendirme tekniklerini uyarlayarak, sıkıştırma, bant sarma, termoform, birleştirme ve pultrüzyon gibi üretim teknikleri kullanılabilir hale gelmiştir (Friedrich et al., 1997). Gelişmiş termoplastik kompozitlerin tanıtılmasıyla, ara ürünlerin üretimi için işleme tekniklerine yeni gereksinimler ortaya çıkmıştır. Genellikle kalıplama sahasında birleştirilen termosetlerin aksine, elyaf takviyeli termoplastiklerin çeşitli üretim tekniklerinin gereksinimlerini karşılamak ara ürünler halinde tedarik edilmesi gerekir (Kausch & Legras, 1993). Termoplastiklerin viskozitesi yüksek olması sebebiyle emprenye işleminde zorluklarla karşılaşılır. Emprenye işleminin zorluklarının üstesinden gelmek için, film yığılmış prepregler gibi ara malzeme formlarının üretilmesini sağlayan birçok yaklaşım gerekli olmuştur.



Şekil 7. Termoplastiklerin üretim yöntemleri (Friedrich et al., 1997)

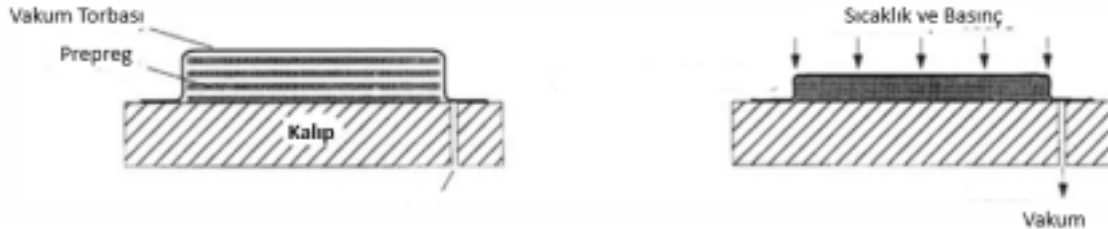
3.1 Prepreg Yerleştirme

Termoplastik prepregler istenilen ölçülerde kesilerek üst üste istiflenir. Bu istiflenen yapı malzemenin erimesi sağlandıktan sonra ihtiyacı kadar basınç altında tutulur. Bu bekletmenin sebebi termoplastik malzemenin katılaşmasını sağlamaktır. Üretim sınırları genellikle

malzemeyi ısıtmak ve soğutmak için gereken süreye bağlı belirlenir. Prepreglerle farklı üretim teknikleriyle levha üretimi yapılabilmektedir.

3.1.1 Vakum Torbası İle Üretim

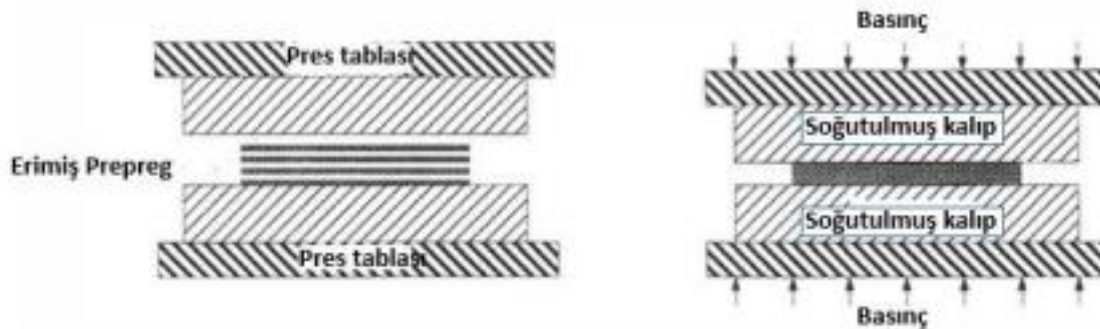
Termoplastik prepregler istenildiği şekilde vakum torbasına konular ve sıcaklık altında vakum uygulanır. Vakum altında tam bir ısıtma ve soğutma yapılırsa tam birleşmiş levha elde edilir. Otoklav fırını da kullanılabilir. Fakat otoklav kullanılsın ya da vakum torbası kullanılsın el emeği veya pahalı ekipman sebebiyle laboratuvar deneyleri dışında ekonomik değillerdir.



Şekil 8. Vakum torbası ile üretim şeması(Türkçeye çevrilmiştir (Tomas^ström, 1997).) 3.1.2

Presle Üretim

Prepregleri preste plaka haline getirilmesi hem daha yaygın hem de daha ekonomiktir. Prepregler paralel pres plakaları üzerine dizilir. Presdeki plakalar genellikle matrisin eriyip etrafa yayılmaması üzerine tasarlanmıştır. Bu üretim yönteminde farklı bir yol daha izlenebilir ki bu yöntem daha fazla tercih edilir. Bu yöntemde Prepreg yığını hızlı bir şekilde matrisin erime noktasının üstünde bir sıcaklığa getirilir ve matrisin erime sıcaklığı altında olan kalıpla donatılmış preste basınç uygulanır. Bu yöntem tamamen eriyik emdirilmiş prepregler için uygundur ve üretim bir dakikadan az bir sürede tamamlanır.



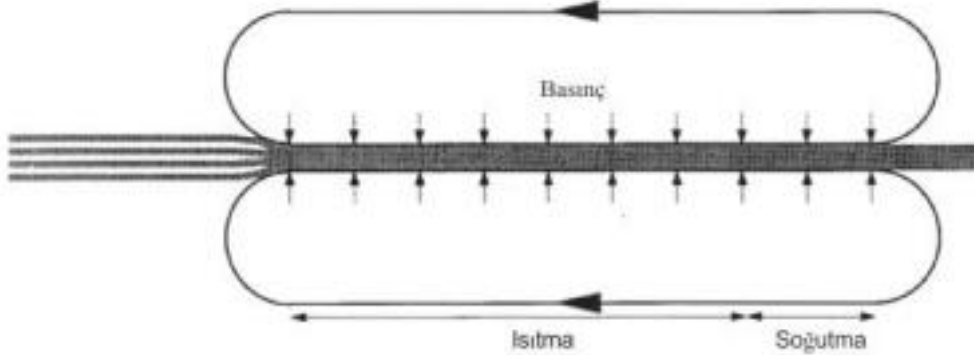
Şekil 9. Presle üretim şeması (Türkçeye çevrilmiştir (Tomas^ström, 1997))

Diğer yandan tamamen eriyik emdirilmemiş malzeme formları için işleme gereksinimleri farklıdır. Bu malzeme formlarına, toz emdirilmiş ve karıştırılmış prepreglerin yanında reçine filmlerle (film istifleme) içi içe geçmiş emdirilmemiş takviye katmanları örnek olarak verilebilir. Bu tür malzemelerde, tam elyaf ıslatılması için elyaflara göre matris akışı sağlanmalıdır. Viskozitelerinin, eriyik emdirilmiş prepreglere oranla daha fazla olması sebebiyle üretim süreleri daha uzun olur. Bu süreyi sağlamak için ya iki pres de ısıtılmış ya da biri ısıtılmış biri soğutulmuş kalıp gereklidir. Isıtılmış Prepreg ve 2 pres, kalıba yerleştirilir ve

daha sonra malzeme istenen denge sıcaklığına gelene kadar hafif basınç altında bekletilir. Gerekli zaman geçtikten sonra soğutulmuş kalıba alınır ve burada basınç altında bekletilir.

3.1.3 Çift Bantlı Presle Üretim

Bu yöntemle, prepregleri geniş laminatlar halinde birleştirilmesini sağlar. Prepregler prese girer ve eriyene kadar basınç altında ısıtılır daha sonrasında soğutulur.

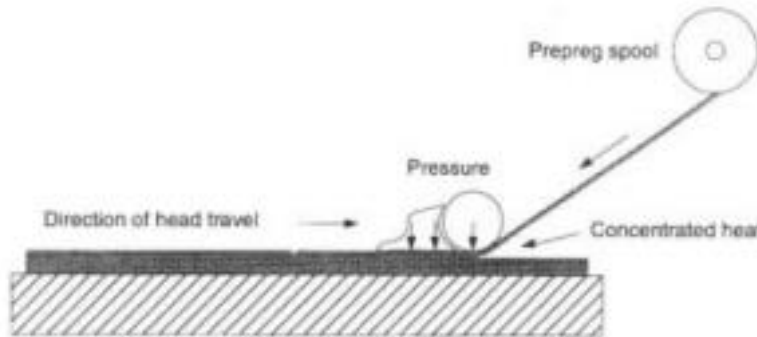


Şekil 10. Çift taraflı presle üretim şeması (Türkçeye çevrilmiştir (Tomas^ström, 1997).)

Çift taraflı presle üretim yöntemi büyük ölçekli üretimlerde ekonomiktir. Herhangi bir Prepreg formu, çift taraflı pres ile laminat halinde sürekli üretim yapılabilir.

3.1.4 Bant Döşeme

Bant döşeme üretim yönteminde, bant formundaki prepreg bir makaradan açılır ve kalıp üzerine serilir. Bu yüzeyler sürekli bir parça oluşturmak için basınç altında ısıtılarak birleştirilir. Bu işlemler sonucunda prepregler tamamen erimiş yüzeylere sahiplerse başka bir işleme gerek kalmaz.



Şekil 11. Bant döşeme üretim şeması (Tomas^ström, 1997)

4. Sonuç

Bu çalışmada kompozit malzemelerin temel bileşenlerine değinerek termoplastik kompozit malzemelerin levha üretim yöntemleri araştırılmıştır. Üretim yöntemlerinin her birinin kendi

içerisinde avantaj ve dezavantajları olduğu görülmüştür. Üretim yöntemini seçerken kullanılacak Prepreg malzemesi ve üretim boyutları önemli parametreler olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca günden güne geri dönüştürülebilirliğin önemi artmaktadır. Bu yüzden termoplastik araştırmaları da bu ihtiyaçla paralel artmaktadır. Yapılan araştırma sonucunda termoplastik malzemelerin geliştirilmesi için araştırmaların gerekliliği anlaşılmıştır.

Referanslar

1. Akkaya, E., Olgun, Ö. H., & Cavdar, U. (2021, December 13). Termoplastik Malzemelerin Kullanım Alanları ve Avantajları.
2. Erden, S., Sever, K., Seki, Y., & Sarikanat, M. (2010). Enhancement of the mechanical properties of glass/polyester composites via matrix modification glass/polyester composite siloxane matrix modification. *Fibers and Polymers*,
3. Friedrich, K., Hou, M., & Krebs, J. (1997). Chapter 4 Thermoforming of continuous fibre/thermoplastic composite sheets. In D. Bhattacharyya (Ed.), *Composite Materials Series* (Vol. 11, pp. 91–162). Elsevier.
4. Hsissou, R., Seghiri, R., Benzekri, Z., Hilali, M., Rafik, M., & Elharfi, A. (2021). Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite Structures*,
5. Jang, B.Z. (1994). *Advanced Polymer Composites: Principles and Applications* (1st ed.). ASM International,.
6. Kausch, H., & Legras, R. (1993). *Advanced thermoplastic composites: Characterization and processing*.
7. Olgun, Ö. H., & Çavdar, U. (2018). Termoplastik matrisli karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kaynaklanmasında indüksiyonla ısıtmanın etkileri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*,
8. Qiao, Y., Fring, L. D., Pallaka, M. R., & Simmons, K. L. (2023). A review of the fabrication methods and mechanical behavior of continuous thermoplastic polymer fiber–thermoplastic polymer matrix composites. *Polymer Composites*,
9. S, P., Km, S., K, N., & S, S. (2017). Fiber Reinforced Composites—A Review. *Journal of Material Science & Engineering*,
10. Stokes, V. K. (1995). Thermoplastics as Engineering Materials: The Mechanics, Materials, Design, Processing Link. *Journal of Engineering Materials and Technology*,
11. Tomas^ström, B. (1997). Chapter 2 Thermoplastic composite sheet forming: Materials and manufacturing techniques. In D. Bhattacharyya (Ed.), *Composite Materials Series*
12. Vaidya, U. K., & Chawla, K. K. (2008). Processing of fibre reinforced thermoplastic composites. *International Materials Reviews*,

TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR VE METANOLÜN HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI?

Furkan MUSAOĞLU

Muhammet YILDIZ

Ali Sencer CAN

Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Mühendisliği, , İstanbul, Türkiye

Havacılık ve Uçak Mühendisliği, Erciyes Üniversitesi, 38030, Kayseri, Türkiye

ÖZET

Günümüzde çevresel ihtiyaçların artmasıyla birlikte petrol tüketimi artmaktadır. Bu yüzden alternatif yakıtla yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Örneğin biyoyakıt, metanol, etanol vb. yakıtlar jet yakıtların yerini alması gibi konular ele alınmaktadır. Günümüz dünyasında petrol türevi yakıt kullanan uçak sistemleri atmosferdeki kirletici emisyonun artışına sebep olmaktadır. Araba, kamyon gibi kara araçlarında da bu olumsuzlukların önüne geçmek için geçmişten bu yana alternatif yakıtla yönelik projeler desteklenmekte ve geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Böylelikle hem doğamızı korumuş olacağız hem de petrol ihtiyacımızı da azaltarak ülke ekonomisine katkı sağlamış olacağız. Sonuç olarak havacılık endüstrisindeki biyoyakıt kullanımıyla ilgili yakıt sistemlerinin motor performansına etkisinin sonuçları irdelenerek optimum motor tasarımı yapılır.

Anahtar Kelimeler: Alternatif Yakıt, Petrol, Metanol, Havacılık Endüstrisi

ABSTRACT

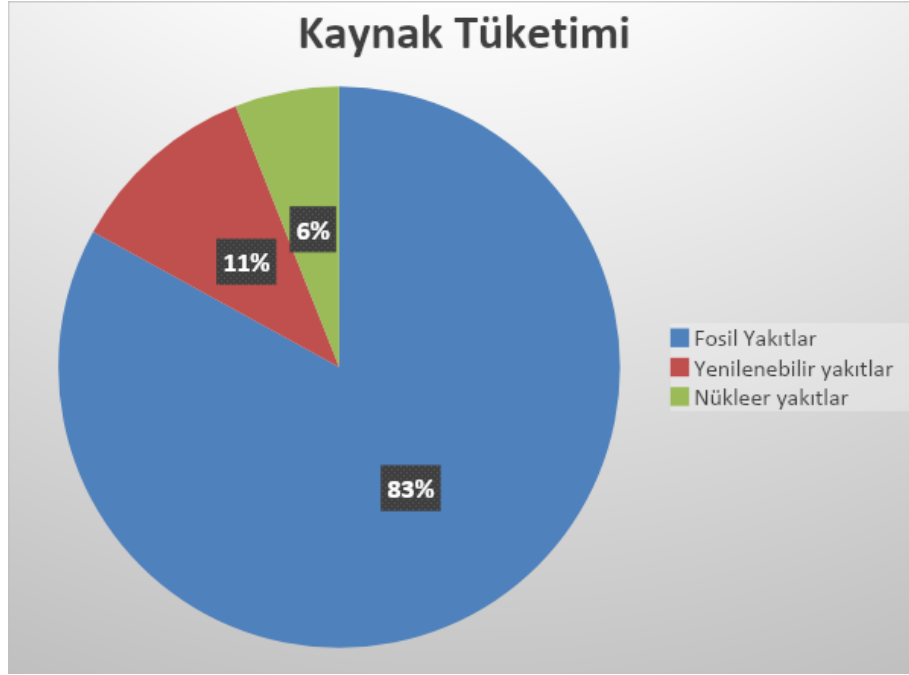
Nowadays, oil consumption is increasing with the increasing environmental needs. That's why research is being done on alternative fuel. For example, biofuel, methanol, ethanol etc. Topics such as fuels replacing jet fuels are discussed. In today's world, aircraft systems that use petroleum-derived fuel cause an increase in pollutant emissions in the atmosphere. To prevent these negativities in land vehicles such as cars and trucks, projects for alternative fuels have been supported and developed since the past. In this way, we will both protect our nature and contribute to the country's economy by reducing our oil need. As a result, the optimum engine design is made by examining the effects of fuel systems related to the use of biofuel in the aviation industry on engine performance.

Keywords: Alternatice Fuels, Petroleum, Methanol, Aviation Industry

1. Giriş (Introduction)

Dünya ülkeleri enerji ihtiyaçlarını karşılamak için petrol, kömür ve doğal gaz kaynaklarını kullanırlar. Dünya enerji kaynağının büyük çoğunluğunun fazlasını petrol oluşturmaktadır. Tüketiminin bu hızla devam etmesiyle tahmini olarak 2030-2050 yılları arasında tükenecek olması sebebiyle kullanılmayan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önemli hale gelmiştir. (Aydın K. Karadurmuş Z. 1997)

Şekil 1. Enerji kaynak tüketimine göre 2011 yılı Dünya enerji tüketimi(World Energy Council, 2011)



Enerji, bir ülkenin gelişebilmesi devamlılığını sürdürebilmesi için temel ihtiyaçlardandır. Son iki yüzyılda artarak devam eden teknolojik ve sanayi alanındaki gelişmelerle enerjiye olan ihtiyacın artışı yadsınamaz. Petrol türevi yakıtlar bu enerji ihtiyacını karşılamakta olup zamanla rezervlerinin biteceği öngörülmektedir. Bu yakıtların çevreye vermiş olduğu zararlar, artan nüfusun talebini karşılamayacağı aşıkır olup sürdürülebilir yakıtlara yönelmemiz kaçınılmazdır. Sürdürülebilir yakıtlardan olan metanol içten yanmalı motorlar, yakıt hücrelerinde kullanılmaya uygun alternatif bir yakıtlardan biridir. (Zhen 2019)

Ulaştırma sektöründe kullanılan taşıtlarda petrol bileşenli sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. 2011 yılı dünya petrol tüketiminin %54'lük büyük bölümü karayolu, havacılık, denizcilik ve demiryolu taşımacılığında oluşan ulaşım sektöründe, %18'i sanayi sektöründe, %11'i evsel, ticari ve tarımsal alanda, %10'u petrokimya sektöründe, %7'si elektrik üretiminde gerçekleşmiştir (World Energy Council, 2011; IEA, 2012; OPEC, 2012). 2020 yılına kadar sektörel bazda petrol tüketim değişiminin öngörülerine göre, petrol tüketimindeki artışın %74'ünün ulaşım sektöründe olacağı tahmin edilmektedir.

Dünyada üretilen petrol belirli rezervlere sahiptir. Petrol fiyatlarındaki hızlı değişimler, rezervlerin belirli sınırdan olması, sera gazının çevresel etkiler, insan ve diğer canlıların sağlığına ciddi derecede hasar verici seviyeye çıkması bütün bunlar ele alındığı zaman yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ulaşmayı mecburi hale getirmiştir. Bu çerçeveden bakıldığı zaman biyokütleden imal edilen biyoyakıtlar, her yerde ulaşılabilme imkanı veren, ekonomik gelişme sağlayan, özellikle çevreye duyarlı şekilde elektrik kaynağı sağlayan, kara ve hava taşıtları için alternatif yakıt kaynağı olabilecek önemli bir enerji kaynağıdır. Yıllık ortalama 2,2 milyar yolcu havayolu ulaşımını kullanarak yolculuk yapmakta ve bu yolculara hizmet sağlayan 32 milyon kişilik bir iş gücü bulunmaktadır. 1980 yılından itibaren hızla artan havayolu taşımacılığı yakıt tüketimi açısından dünya ekonomisinde büyük bir paya sahiptir. Aktif bir

sektör olan havayolu taşımacılığı çevre üzerindeki yarattığı olumsuzlukları da göz ardı etmeyip, gereken sorumluluğu da almak zorundadır(Yılmaz N, Atmanlı A 2016).

Küresel iklim değişikliği verilerine göre havayolunda kullanılan taşıtlar sebebiyle 2012 yılında 689 milyon ton CO2 emisyonu salınımı ile toplam emisyon payı içerisinde %2'lik kısmını oluşturmaktadır bu oranın 2050 yılına kadar %3'e çıkacağı düşünülmektedir. CO2 emisyonundaki bu artışın azaltılmasına yönelik dünya ülkeleri farklı önlemler almaktadır. Havacılık sektöründe de yakıtların 40 yıl öncesine göre daha efektif ve uygun kullanılmasına yönelik motor ve yakıt teknolojilerinin geliştirilmesi somut faydalar sağlamıştır. Örneğin; her 100 km'de yolcu başına 3,5 litre olan yakıt tüketimi son yıllarda 3 litreye kadar gerilemiştir. Airbus A380 ve Boeing 787 yapılan geliştirme çalışmaları neticesinde 3 litrenin de altında yakıt tüketmektedir. Bu çalışmaların yoğunlaşması ve üzerinde çalışmalar yapıldığı takdirde bu seviyenin daha alt limitlere ulaşılacağı öngörülmektedir. (Yılmaz N, Atmanlı A 2016)

2. Tartışma ve Değerlendirme

İçten yanmalı motorlar için kullanılabilir alternatif yakıtların mühim beklentilerin başlangıcında ham maddenin basit elde edilebilir ve sürdürülebilir olması gelmektedir. Bu beklentiler doğrultusunda uzun senelerden beri benzinli ve dizel motorlar için müsait nitelikte alternatif yakıtlar üretilmeye çalışılmaktadır ve bu üretimler bu mevzuda bir üretim tecrübesi oluşturmuştur. Bu yakıtlar başta Avrupa Birliği ve Amerika olmak suretiyle Brezilya ve Malezya gibi benzer biçimde ülkelerin karayolu taşımacılığında mühim bir yere sahiptir. Bu yakıtlar; biyokütleden üretilen alkoller, hayvansal, bitkisel ve atık yağlardan üretilen biyodizel ve benzer biçimde bileşik yakıtlardan oluşmaktadır. Benzer halde havayolu taşımacılığında kullanılan bütün taşıtlarda da bu alternatif yakıtların direkt yada karışım oluşturma benzer biçimde kullanılabilmesi çevresel ve ekonomik açıdan oldukça büyük yarar sağlayacaktır.

1. Alternatif Yakıtlar

Yenilenebilir bir enerji deposu olarak biyokütleden elde edilmiş biyoyakıtlar temiz, çevreyle uyumlu ve oldukça yüksek bir enerji sağlar. Biyoyakıtlar katı, sıvı ve gaz yakıt olarak kullanılmaktadır. Dünya enerji tüketiminde büyük bir paya haiz olan ulaştırma sektörü sıvı halde yakıtlar kullanmaktadır. Fosil kökenli sıvı yakıtların yerine kullanılabilir sıvı biyoyakıtların başında bitkisel yağlar, bu bitkisel yağlardan üretilen biyodizel ve biyokütleden üretilen biyoalkoller gelmektedir. Biyoyakıtlar fosil kökenli yakıtların yerine kullanıldığı için muhit ve iktisat açısından büyük önem taşımaktadır. Fosil yakıtlar ile ekonomik olarak rekabet edebilir durumda olan biyoyakıtların kullanıldığı etkin biyo enerji dönüşümlerinin kullanılması son yıllarda artma eğilimindedir(Demirbaş A., 2009; Sidibe vd. 2010).

Doğanın sürdürülebilirliğinin sürmesi için sera gazı oluşumunu azaltmamız büyük önem taşımaktadır. Biyoyakıtlardan oluşan sera gazı emisyonu fosil yakıtlara göre çok düşüktür. (Woods ,2015)

Biyoyakıtların olumlu olduğu kadar olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Şekil 1'de bu özellikler verilmiştir.

Şekil 1. Biyoyakıtların olumlu ve olumsuz özellikleri (Vassilev 2015)

Olumlu Özellikleri	Olumsuz Özellikleri
Yenilenebilir enerji kaynağı	Yenilenebilir hammaddelerin yetersizliği
Biyokütlenin kullanılması	Biyokütle ham maddelerinin güvensizliği

Fosil yakıtlar kullanılmaması	Enerji yoğunluğunun düşük olması
Zararlı elementleri minimum salması	Biyoyakıt bilgi yetersizliği
Sera gazı emisyonunu azaltması	Su, gübre ve ilaçların aşırı kullanımı
Enerji güvenliğinin çeşitlendirilmesi	Düşük füzyon ve Ph derecesi
Verimli olmayan toprakların kullanılması	Doğal ekosistemin Zarar görmesi (Ormansızlaştırma, vb.)

2.2. Hava Taşıtlarında Kullanılabilecek Alternatif Yakıtlar

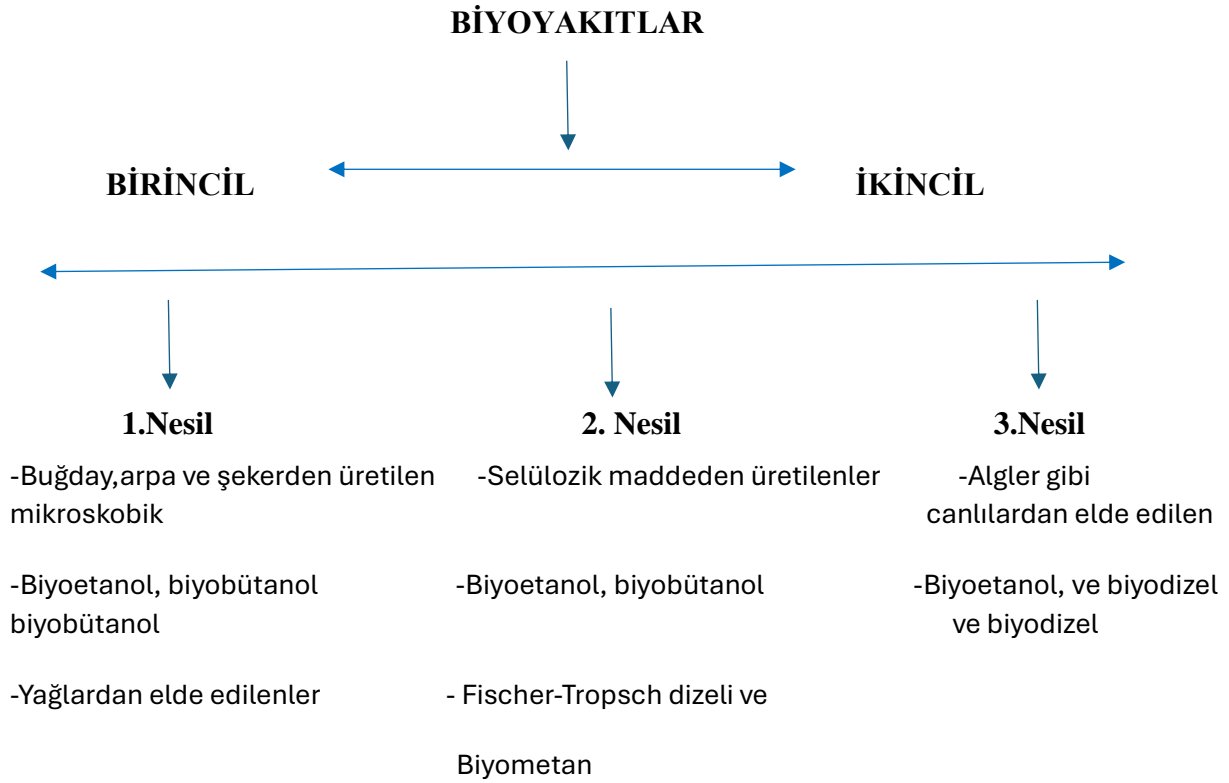
Havacılık sektöründe yakıt tüketiminin ekonomisi, petrole olan bağımlılığının azaltılması ve küresel ısınmaya neden olan CO₂ salınımının azaltılması benzer biçimde çevresel faktörler dikkate alınarak alternatif yakıtların kullanılması gerekliliği zorunlu hale gelmiştir. Üretilen alternatif yakıtların hammadde secimi, üretim prosesi, yakıt özelliklerinin standartları sağlaması, yakıtın depolanabilmesi, basit taşınabilmesi, yaygın bir kullanım ağına haiz olması yönlerinden müspet sonuçlar vermesi gerekmektedir. (Daggett vd., 2006)

Havacılık sektöründe kullanılan petrol türevli yakıtlara alternatif olabilecek yakıtlar içinde da bitkisel yağ tabanlı yakıtlar (camelina, jatropha ve alg hasım dahil) ön plana çıkmaktadır. Bu yağlardan esterleşme yöntemi ile üretilen biyodizel yakıtı düşük sıcaklıklarda akma noktasının cılız olması sebebiyle direkt jet yakıtı olarak kullanılamamaktadır. Ayrıca üretiminden itibaren oksidasyona uğramaması için 6 ay içinde kullanılması gerekmektedir ve bu husus havayolu taşıtları için kullanılmadan önceki depolama sürecinde sıkıntı yaratmaktadır. Bu kapsamda ilk meydana getirilen inceleme çalışmalarında, Bio-SPK (bio bileşik parafinik kerosen) olarak adlandırılan jatropha, algae, tallow, babassu ve camelina benzer biçimde bitkisel yağlardan yüksek sıcaklıkta parçalama yöntemi ile elde edilmiş biyo-bileşik parafinik kerosen kullanılmıştır. Bu yakıtlar direkt jet yakıtının yerine kullanılmadığından muayyen karışım oranlarında (%5 ile %20 içinde) jet yakıtı ile karıştırılarak kullanılabilen olup havacılık sektörü için alternatif yakıt olma konusunda mevcut yakıtların iyileştirmesine destekte bulunurlar. (Daggett vd., 2006)

1. Biyoyakıtların Sınıflandırılması

Çok sayıda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede petrole olan bağımlılığı azaltan, sera gazı emisyon etkisini düşüren biyoyakıtlar için değişik üretim şekilleri geliştirilmiştir. Üretim teknolojisine göre birincil ve ikincil olmak suretiyle iki sınıfa ayrılmıştır. Birincil biyoyakıtlar herhangi bir işlem gerektirmeden kullanılan atıklar, hayvansal yağ, odun, ağaç kabuğu benzer biçimde kimyasal bir muamele uygulanmadan direk olarak ısınma, pişirme işlemlerinde kullanılmaktadır. İkincil ve elektrik üretiminde olan biyoyakıtlar ise birincil olanların iyileştirilmesiyle üretilmektedir. Bunlar bitkisel yağ, biyodizel, etanol, metanol ve biyogaz benzer biçimde ürünler olarak sıralanmaktadır. İkincil biyoyakıtlar da kendi arasında üretim yöntemi ve kullanılan hammaddenin kimyasal işlemler sayesinde dönüşümüne göre 1. 2. ve 3. nesil olmak suretiyle sınıflandırılmaktadır. Biyoyakıtların sınıflandırılması şekil 2’de verilmiştir. (Nigam vd., 2011)

Şekil 2. Biyoyakıtların sınıflandırılması



2.2.2. Biyoyakıt Çeşitleri

Biyoyakıtların sınıflanması biyodizel, biyogaz, biyometanol, biyodimetil eter, biyoyağ, biyobütanol ve biyohidrojen şeklindedir. Bu sınıflandırma şekil 3’de verilmektedir.

Şekil 3. Biyoyakıt Çeşitleri

Katı Biyoyakıtlar	Sıvı Biyoyakıtlar	Gaz Biyoyakıtlar
Peletler	Biyodizel	Biyogaz
	Biyometanol	Biyosentez
	Biyometanol	Biyohidrojen
	Biyodimetil eter	
	Biyoyağ	
	Biyobütanol	

Havacılık sektöründe kullanılmakta olan jet yakıtları petrolden elde edilen kerosen veya nafta tipi yakıtlardır. Karbon sayısı 8-16 arasında olan Jet A, Jet A-1, JP 5 ve JP 8 yakıtları kerosen yakıtlarıdır. Nafta tipi yakıtlar ise 5-15 gibi geniş bir karbon aralığındaki Jet B ve JP-4 yakıtlarından oluşmaktadır. Bununla birlikte yakıtların kullanımı kerosen-nafta ve kerosen-benzin karışımında olabilmektedir (IATA, 2015). Biyodizel, biyoyakıt olarak yaygın kullanılan alkollerden etanol ve bütanol ile jet yakıtlarının temel yakıt özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Şekil 4. Biyodizel, etanol, n-bütanol ve jet yakıtının yakıt özelliklerinin karşılaştırılması (Demirbaş vd., 2008)

Özellikler	Biyodizel (EN14214)	Etanol	n-Bütanol	Jet yakıtı
Moleküler Ağırlık(kg/kmol)	-	46,07	74,12	185
Yoğunluk(g/ml-20 °C)	0,860-0,9	0,789	0,810	0,775-0,84
Viskozite(mm ² /s-40 °C)	3,5-5	1,08	2,23	8
Alt ısı değeri(MJ/kg)	35-43	26,8	33,1	42,80-43,02
Donma noktası(°C)	-1 - -15	-114,3	-89,5	-47 - -60
Parlama noktası(°C)	>120	8	35	38
Kendi kendine tutuşma noktası(°C)	-	434	385	210
Kaynama noktası(°C)	-	78,4	117,7	150-170
Buhar basıncı(kPa-38 °C)	-	13,8	2,27	14-21
Oksijen içeriği(%)	-	34,8	21,6	-

Havacılık sektöründe yakıtların kullanılabilmesi için kullanıma uygun olması ve ASTM D1655 standartlarını sağlaması gerekmektedir. Yakıtların oktan sayısı, parlama noktası ve donma noktası gibi önemli özelliklerinin bilinmesi uçuş güvenliği için önemlidir. Kullanılacak bölgeye göre yakıtın doğru bir şekilde tercih edilmesi yakıt özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bununla beraber askeri amaçlı kullanılan JP yakıtları NATO standartlarını da karşılamak zorundadır.(Yılmaz ,2016)

2.3. Alternatif yakıt olarak metanol

Metanol, CH₃OH dünyada ticareti yapılan kimyasallar arasında yer alan basit oksijenli bir hidrokarbondur. Günümüzde petrol bazlı yakıtların rezervleri hızla tükenen, metanol gibi çeşitli alternatif kaynaklar, yenilenemeyen petrol kaynakların yerini almak için etanol veya hidrojene ihtiyaç vardır. Artan petrol fiyatları ve küresel ısınmanın baskın bir çevre sorunu olması alternatif yakıtların kullanılması kaçınılmaz hale gelmektedir. Artan dünya nüfusu ve atmosferik çevre göz önüne alındığında, kişi başına artan enerji talebi ve küresel ısınma, uzun vadeli alternatif enerji tedariği için ihtiyaç durumu mevcuttur. (Stone R 1999)

Petrol bazlı yakıtların uzun vadeli ve hızlı bir şekilde değiştirilmesi için Metanol en iyi adaylar arasındadır. Yenilenebilir alternatif enerji kaynakları arasında, alternatif yakıtların geliştirilmesinin pek çok faydası vardır. Benzin ve dizel ikame yakıtları arasında, Metanol (CH₃OH) yakıtı en çok kullanılan yakıtlardan biri olarak kabul edilmektedir. IC motorlar için Metanol en uygun yakıtlardan biri olarak kabul edilmektedir. Örneğin motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılabilir belirli durumlarda dizellerin yerini alabilecek kıvılcım ateşlemeli (SI) motorlarda kullanımı uygundur. (Nichols RJ 2003)

Metanol, bir kıvılcım ateşlemeli motor yakıtı yapan ve onu avantajlı hale getiren özelliklere sahiptir.

- Yüksek buharlaşma ısısı
- Düşük stokiometrik hava-yakıt oranı (AFR)
- Yüksek özgül enerji oranı (yani birim yakıt-hava karışımı başına enerji)
- Yüksek alev hızı
- Yüksek molar genleşme oranı
- Düşük yanma sıcaklığı
- Yüksek hidrojen/karbon oranı
- Standart sıcaklık ve basınçta sıvı olma (STP) (**J. Yang 2012**)

Bu özelliklere bakıldığı zaman metanolün sonucunda temiz bir yanma olduğu, tek bir karbon atomuna sahip olan madde, uzun zincirli hidrokarbonlarda yaygın olan karbonlu parçacıklı maddeyi (metanla paylaştığı bir özellik) kolaylıkla oluşturamaz. Ayrıca metanol STP'de sıvı olan en basit karbonlu moleküldür. Bu, araçta ve yakıt altyapısında minimum kayıpla depolamayı ve taşımayı kolaylaştırır.

Metanolün, benzin, dizel, gazyağında olduğu gibi kaynağa bağlı olarak özellikleri değişebilen bileşiklerin bir karışımı olmaması da avantajıdır. Metanol yalnızca bir molekülden oluşur ve bu nedenle simüle edilmesi/optimize edilmesi daha kolaydır. (**Bozzano 2016**)

Metanol diğer yakıt türü olarak kullanılan benzin ve dizele göre farklı özellikleri Tablo 1 de sunulmuştur. (**Methanex 2006**)

Yakıt Türü	Metanol	Benzin	Dizel
Formül	CH ₃ OH	C ₅₋₁₂	C ₁₀₋₂₆
Molekül Ağırlığı	32	95-120	180-200
Oksijen İçeriği	%50	0	0
Stokiometrik Hava Yakıt Oranı	6.45	14.6	14.5
Düşük Kaloriferik Değer	19.66	44.5	42.5
Yüksek Kaloriferik Değer	22.3	46.6	45.8
Donma Noktası	-98	-40	-17
Kaynama Noktası	64.8	30-220	175-360
Parlama Noktası	11	45	55
Kendiliğinden Tutuşma Süresi	465	228-470	220-260
Viskozite	0.6	0.29	3.9

Metanol bir alkol olup renksiz, nötr, polar ve yanıcı bir sıvıdır. Su, alkoller, esterler ve diğer birçok organik çözücüyle karışabilir. Katı ve sıvı yağlarda çok daha az çözünürler. Metanol, benzinle karşılaştırıldığında daha yüksek oktan sayısına ve daha yüksek buharlaşma ısısı değerlerine sahip olurlar ve bu da onu daha büyük güç çıkışlarına sahip yüksek sıkıştırma oranlı motorlar için uygun bir aday haline getirir. Bunun nedeni, daha yüksek oktan sayısının sıkıştırma oranında önemli bir artışa izin vermesi ve daha yüksek bir ısı buharlaşma değerinin, gelen yakıt-hava yükünü soğutabilmesi, hacimsel verimliliği artırabilmesi ve güç çıkışını artırabilmesidir. (Riviere, C., & Marlair, G. , 2009)

Ayrıca alkollerin kendiliğinden tutuşma sıcaklıkları benzine göre daha yüksek olduğundan nakliye ve depolama açısından daha güvenlidir. Metanol kendi başına mükemmel bir yakıttır veya benzin veya dizelin hacimsel enerji yoğunluğunun yarısı kadar olmasına rağmen benzinle (%85 metanol ve %15 benzin) veya saf metanol (%100 metanol) ile karıştırılabilir. Metanol bir ulaşım yakıtıdır ve hidrojen ve benzinle karşılaştırıldığında birçok önemli avantaja sahiptir ve daha büyük buharlaşma ısısı sayesinde benzine göre daha iyi yakıt dönüşüm verimliliğine sahiptir ve onu en iyi seçenek yapan vurutuya karşı çok daha iyi direnç gösterir. (Steve Csonka ,2016)

3.Sonuç (Conclusion)

Fosil yakıtların çevreye vermiş olduğu zararların etkisinin görülmesiyle alternatif yakıtlara yönelim oluşmaktadır.Fosil yakıtların sınırlı olması da bu yönelimde etkili olmaktadır.Yenilenebilir enerji kaynakları kolay elde edilebilen uygun maliyetli yakıtlardır.Biyogaz,etanol,metanol,hidrojen yenilenebilir enerji kaynağı çeşitlerindedir.

Diğer ulaşım sektörlerinde olduğu gibi havacılık sektöründe de karbon emisyonunu azaltmak için alternatif yakıtlara geçişin önemi yadsınamaz.Alternatif biyoyakıtlara örnek olarak; biyodizel,metanol,etanol,hidrojen verilebilir.

Günümüzde çeşitli yakıtlar bulunmakta olup kullanılan ortamın koşuluna uygun yakıt tercih edilmelidir. Donma noktası,parlama noktası gibi özellikleri göz önünde bulundurularak alternatif yakıt türleri tayin edilmelidir.Metanol alternatif yakıtlardan olup pek çok olumlu özelliklere sahip olsa da üzerinde daha fazla çalışılması ve geliştirilmesi gerekmektedir.Alternatif yakıtlarla alakalı bazı öneriler şu şekildedir.

-Alternatif yakıt üretim ve kullanımıyla ilgili yasal zemin oluşturulmalıdır.

-Orman ve tarım arazileri yanlış kullanılmamalı ve sera gazı emisyonu minimuma indirilmelidir.-Gıda şeklinde kullanımı sağlanamayan hammaddelerin kullanımında gıda güvenliğine dikkat edilmelidir.

-Alternatif yakıt olarak üretilen yakıtın yaygın kullanım ve teminine zemin hazırlanmalıdır.

Kaynaklar (References)

- Demirbaş, A., Biodiesel, A realistic fuel alternative for diesel engines, London: Springer-Verlag, 65-92, (2008).
- Yılmaz, Nadir, and Alpaslan Atmanlı. "Havacılıkta alternatif yakıt kullanılmasının incelenmesi." *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi* 1.1 (2016): 3-10.
- EPDK, "Petrol piyasası sektör raporu", 1-11, (2012). World Energy Council, "Enerji raporu", 43 50, (2011).
- Blumberg PN, Bromberg L, Kang H, Tai C. Vuruntuyu önlemek için doğrudan alkol enjeksiyonu kullanan yüksek verimli ağır iş SI motorlarının simülasyonu. SAE teknik belgesi No. 2008-01-2447; 2008.
- Gong CM, Deng BQ, Wang S, Su Y, Gao Q, Liu XJ. Buji ateşlemeli metanol motorunun soğuk çalıştırma sırasında çevrim bazında kontrol altında yanması. *Enerji Yakıt* 2008;22:2981–5.
- Li J, Gong CM, Su Y, Dou HL, Liu XJ. Metanolla çalışan buji ateşlemeli bir motordan enjeksiyon ve ateşleme zamanlamalarının performans ve emisyonlar üzerindeki etkisi . *Yakıt* 2010;89:3919–25.
- Jenkins, B., Baxter, L. L., Miles Jr, T. R., & Miles, T. R. (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel processing technology*, 54(1-3), 17-46.
- Demirbaş, A. (2009). Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. *Applied energy*, 86, S108 S117.
- Daggett D., Hadaller, O., Hendricks,R., Walther,R., "Alternative fuels and their potential impact on aviation", NASA/TM-2006-214365.
- Daggett D., Hendricks,R., Walther,R., Corporan E., "Alternate Fuels for use in Commercial Aircraft", Boeing, 2007.
- Demirbaş A., Green energy and technology biofuels, London: Springer Verlag, 1-4, (2009).
- Demirbaş, A., Biodiesel, A realistic fuel alternative for diesel engines, London: Springer-Verlag, 65-92, (2008).

TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR VE LPG'NİN HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI

İdil Sena DURUKAN

Rıdvan BULUT

Ozan KUYUCU

Uçak Mühendisliği (YL) Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

ÖZET

Bu makale, taşıtlarda kullanılan alternatif yakıtların genel bir değerlendirmesini yapmakta ve özellikle havacılık sektöründe LPG'nin alternatif yakıt olarak potansiyelini incelemektedir. Geleneksel yakıtların sınırlı kaynakları ve çevresel etkileri nedeniyle, alternatif yakıt arayışları önem kazanmaktadır. Biyoyakıtlar, elektrik, hidrojen ve LPG gibi çeşitli seçeneklerin yanı sıra, havacılıkta da kullanılabilir alternatifler arasında araştırmalar sürmektedir. LPG'nin havacılıkta kullanılması, karbondioksit emisyonlarını azaltma ve enerji verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Ancak, bu geçiş sürecinde teknik, ekonomik ve regülasyonel zorlukların aşılması gerekmektedir. Gelecekte, LPG'nin havacılıkta daha yaygın bir alternatif yakıt olarak kullanılması, sektörün çevresel etkilerini azaltma ve enerji verimliliğini artırma hedeflerine katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: *Alternatif yakıtlar, LPG, Havacılık, Fosil Yakıtlar, Sıvılaştırılmış Petrol Gazı*

ALTERNATIVE FUELS USED IN VEHICLES AND THE USE OF LPG AS AN ALTERNATIVE FUEL IN AVIATION

ABSTRACT

This study provides a general assessment of alternative fuels used in transportation, with a particular focus on examining the potential of LPG as an alternative fuel in the aviation sector. Due to the limited resources and environmental impacts of traditional fuels, the quest for alternative fuels has gained importance. Research is ongoing on various options such as biofuels, electricity, hydrogen, and LPG, which could also be utilized in aviation. The use of LPG in aviation holds the potential to reduce carbon dioxide emissions and increase energy efficiency. However, overcoming technical, economic, and regulatory challenges is necessary during this transition process. In the future, widespread adoption of LPG as an alternative fuel in aviation could contribute to reducing the sector's environmental impact and enhancing energy efficiency goals.

Keywords: *Alternative fuels, LPG, Aviation, Fossil Fuels, Liquefied Petroleum Gas*

1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorların ortaya çıkışından itibaren benzin ve dizel olmak üzere iki temel motor yakıtı olarak kullanılmıştır. Alternatif yakıt terimi, taşıtlarda benzin ya da dizel yakıtı dışında kullanılan yakıtları tanımlamak için kullanılmaktadır [1]. Başka bir tanıma göre ise, alternatif yakıt, üretimi ham petrol ve türevlerine bağlı olmayan yakıt demektir [2]. Buna göre, bir diğer alternatif yakıt seçenekleri alkoller (metanol ve etanol), doğalgaz, sıvılaştırılmış petrol gazı

(LPG), bitkisel yağlar ve hidrojenidir. Kimyasal enerji kaynaklı bu yakıtlar dışında elektrik enerjisi de alternatif yakıt olarak tanımlanabilir.

Dünyadaki petrol rezervlerinin günden güne hızla tükenmesi aynı zamanda araç sayısının ve dolayısıyla da içten yanmalı motor sayısının sürekli olarak artması, bu motorlarda kullanılacak alternatif yakıtlara olan ihtiyacı zorunlu kılmaktadır. Ve bu konu üzerindeki araştırmaları hızlandırmaktadır. Ayrıca 1974 ve 1979-1980 yıllarında ortaya çıkan iki petrol krizinden bugüne petrol türevli sıvı yakıt fiyatlarındaki sürekli artış sonucu, içten yanmalı motorların ortaya çıkışından itibaren önemsenmemiş olan yakıt ekonomisi konusundaki çalışmalar başlamış ve hatta hız kazanmıştır. Bu sebeple kullanıcılar daha ucuz motor yakıtları arayışına girmiştir. Bu çalışmalar sonucunda yakıt ekonomisi konusunda önemli gelişmeler sağlanmıştır. [3]

Alternatif yakıt kullanımını hızlandıran bir diğer etken de egzoz bileşenlerinden kaynaklanan hava kirliliği ve bu kirliliği önlemeye yönelik 1970'li yıllarda başlatılan yasal düzenlemelerdir. Dünya genelindeki hava kirliliği probleminin en önemli nedeni otomobillerden kaynaklanan kirletici egzoz bileşenleridir. Yapılan çalışmalar sonucunda bu konuda birçok olumlu gelişme sağlanmıştır [4]. Örneğin benzin motorlu otomobillerde üç-yollu katalitik konvertörlerin kullanılmaya başlanmasıyla emisyon önlemleri öncesi yıllara oranla taşıt başına üretilen karbon monoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonlarında ortalama % 95, azot oksit (NOx) emisyonlarında ise % 85 oranına ulaşan azalmalar sağlanmıştır. Ancak araç sayısının giderek artması bu kazancın etkisini yok etmiştir [5]. Hava kirliliğinin sorun olduğu şehir içi taşımacılığında, LPG ve doğalgaz gibi gaz yakıtların kullanımı önem kazanmakta ve Hollanda, Avusturya gibi kimi ülkelerde 1 toplu taşımacılıkta kullanılmaktadır. Ayrıca, ekonomik üretim ve emniyetli olarak depolama sorunlarının çözülerek, hidrojenin de yakıt olarak kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır [6].

Son 10 yıldır LPG ve sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) gibi gaz yakıtlar taşıtlarda geniş ölçüde kullanılmakta, yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonları açısından geleceğe yönelik çok olumlu sonuçlar vermektedir [7].

2. LPG KULLANIMI

2.1 LPG – BİLEŞİM VE ÖZELLİKLER

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) veya propan otogaz olarak da bilinen propan, onlarca yıldır hafif, orta ve ağır hizmet propan araçlarına güç sağlamak için kullanılan temiz yanan bir alternatif yakıttır. Propan üç karbonlu bir alkan gazıdır (C₃H₈) . LPG, doğalgaz ve petrolün çıkarılması sırasında veya petrolün rafinasyonu sırasında üretilen yan ürün olarak elde edilir. LPG'nin ana bileşenleri propan ve bütandır. Propan - C₃H₈, enerji değeri 46 MJ.kg-1 ve kalorifik değeri 11.070 kJ.kg-1 olan doymuş bir hidrokarbondur . Bütan - C₄H₁₀, enerji değeri 45 MJ.kg-1 ve kalorifik değeri 10.920 kJ.kg-1 olan, oldukça yanıcı ve kolay sıvılaştırılabilen bir gazdır . LPG, propan, bütan ve diğer maddelerin az miktardaki bir karışımıdır. Propan ve bütan karışımı, düşük bir sıcaklığa soğutulmuş veya sıkıştırılarak sıvılaştırılır. Sıvılaştırıldığında karışımın hacmi gaz fazına kıyasla 260 kat azalır. LPG petrole benzeyen bir yakıttır. Enerji değeri 45 MJ.kg-'dir. LPG, gaz halinde havadan ağır, sıvı halde ise sudan daha hafiftir ve 0,55 kg yoğunluğa sahiptir. [8] İnsan sağlığına olan etkileri göz önünde bulundurulduğunda LPG toksik değildir ancak hafif toksik etkileri bulunur. [10] Propan ve bütan karışımı renksiz ve kokusuzdur [11]. LPG sızıntısının kokusunu alabilmek için ilave bileşenlere ihtiyaç vardır. LPG yakıt olarak kullanıldığı için oktan sayısı çok önemlidir. Bu sayı 106'dan 110'a kadardır, dolayısıyla benzinin oktan sayısından daha yüksektir ve ateşleme momenti pistonun üst ölü

merkezinin önüne daha yakın bir yere taşınabildiğinden patlamaya karşı daha yüksek bir direnç garanti edilir. [8]

Renksiz, kokusuz bir sıvı halinde bir tankın içinde basınç altında depolanır. Basınç bırakıldığında sıvı propan buharlaşır ve yanmada kullanılan gaza dönüşür. Sızıntı tespiti için bir koku verici olan etil merkaptan eklenir. [7]

2.2 LPG'İN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI

Alternatif bir ulaşım yakıtı olarak propana olan ilgi, yurt içinde bulunabilirliğinden, yüksek enerji yoğunluğundan, temiz yanma kalitesinden ve nispeten düşük maliyetinden kaynaklanmaktadır. Benzin ve dizelden sonra dünyanın en yaygın üçüncü ulaşım yakıtıdır ve 1992 Enerji Politikası Yasası uyarınca alternatif bir yakıt olarak kabul edilmektedir. [7]

Araçlarda kullanılan propan, HD-5 propan olarak belirtilir ve propanın daha az miktarda diğer gazlarla karışımıdır. Gaz İşleyicileri Birliği'nin propan için HD-5 spesifikasyonuna göre, en az %90 propan, en fazla %5 propilen ve %5 diğer gazlardan, özellikle de bütan ve butilenden oluşmalıdır. [7]

Propan, bir araçta, inç kare başına yaklaşık 150 pound (şişirilmiş bir kamyon lastiğinin yaklaşık iki katı basınç) basıncına sahip bir tankta depolanır. Bu basınç altında propan, gaz halindeki formundan 270 kat daha fazla enerji yoğunluğuna sahip bir sıvı haline gelir. Propan, benzine göre daha yüksek oktan sayısına sahip olduğundan daha yüksek motor sıkıştırma oranlarıyla kullanılabilir ve motor vuruntusuna karşı daha dayanıklıdır. Bununla birlikte, İngiliz ısı birimi değeri benzine göre daha düşüktür, dolayısıyla aynı mesafeyi kat etmek için hacim olarak daha fazla yakıt gerekir. [7]

1990 yılında dünya genelinde LPG tüketimi 134,6 milyon ton olarak gerçekleşirken, bunun % 73,3'ü enerji üretiminde, % 19,5'i petrokimya endüstrisinde ve % 7,2'si de (9.650.000 ton) otomotiv endüstrisinde kullanılmıştır. Birçok hükümet duyarlı enerji politikaları ve LPG kullanımını destekleyen ekonomik ve mali teşviklerle bu yakıtın kullanımını yaygınlaştırmıştır. Örneğin 1960'ların başından itibaren Japonya hükümeti Tokyo'daki taksilerin LPG kullanmalarını zorunlu kılan bir karar almıştır. LPG dönüşümü yapılan araçların 3 yıl boyunca vergiden muaf tutulduğu İtalya, 1.200.000 adetle en fazla LPG donanımlı araç bulunan ülke durumundadır. 1950'lerden beri LPG'nin yakıt olarak kullanımının teşvik edildiği Hollanda, 2.000 adetle en fazla LPG yakıt istasyonu bulunan ülkedir. Belçika'da sıfır vergilendirme sonucu LPG fiyatı dizel yakıtından 2, benzinden ise 3 defa daha ucuzdur. 1.000 araca düşen 25 istasyon sayısı ile Fransa, araç başına en yoğun LPG yakıt istasyonuna sahip ülkedir. Sanayi Bakanlığı'nca 29.06.1995 tarih ve 22328 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan bir yönetmelik ile Türkiye'de de araçlarda alternatif yakıt olarak LPG kullanımına izin verilmiştir [12]. Bu tarihten itibaren uygun maliyeti nedeniyle ülkemizde de motor yakıtı olarak LPG kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Alternatif yakıt kullanımında önemli bir problem olan yakıt temini de, LPG dolum istasyonlarının sayısındaki artışla birlikte azalmaktadır. Bu çalışmada da, taşıt motorlarında alternatif yakıt kullanımı üzerine genel bir inceleme yapılmış, detaylı olarak LPG kullanımı üzerinde durulmuştur. [3]

2.2.1 LPG'İN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASININ NEDENLERİ

Günümüzde LPG çeşitli sanayi uygulamalarında, konutlarda, tarımda ve motorlu taşıtlarda enerji kaynağı olarak yaygın kullanım alanı bulmaktadır. LPG, ham petrol veya türevlerinden elde edilen propanın (C₃H₈) ve bütanın (C₄H₁₀) belirli oranlardaki karışımından oluşmaktadır.

Bazı karışımlarda %50-50 olmakla birlikte bazı karışımlarda ise %70-30 oranları arasında karıştırılmaktadır. Propanın enerji yüksekliği bütandan daha fazla olduğu bilinmektedir.

LPG Kullanımının Avantajlarından Bazıları ise;

- İyi bir dağıtım ağı vardır.
- Hava ile kolay karışır.
- Tam yanma gerçekleşir ve yanma sonucu emisyon çok az miktardadır.

LPG, uygun fiyatı, yeterli miktarda ve yaygın olarak bulunması nedeniyle oldukça cazip bir alternatif yakıttır. Dağıtım ve dolun istasyonlarının uluslararası bir ağ şeklinde yaygınlaşmasıyla LPG kullanımı da artmaya başlamıştır. LPG'nin alternatif yakıt olarak kullanımı günümüzde oldukça ileri düzeye ulaşmış olup, 1997 yılı itibarıyla 330.000 adedi sadece ABD'de olmak üzere dünya üzerinde 3 milyondan fazla araç LPG kullanmaktadır. LPG'nin kullanıcılarca kabul görmesi; satış fiyatı, toplam işletme maliyeti, araç performansı, güvenlik ve çevreye olan etkisine bağlıdır. [13]

LPG, rezervleri petrole bağlı olması sebebiyle fosil esaslı bir alternatif yakıttır. Günümüzde petrol rezervlerinin yeterli olması sebebiyle temin konusunda herhangi bir dezavantajı bulunmasa bile ileriki zamanda ulaşımı ve kullanımı güç olacağı düşünülmektedir. Ayrıca fosil esaslı olması sebebiyle diğer alternatif yakıtlara göre sürdürülebilirlik konusunda eksik kalmıştır.

3. LPG NEDEN HAVACILIKTA ALTERNATİF BİR YAKIT OLABİLİR?

Dünya da küreselleşme ile başlayan ve insanların bağlarının sınır tanımadığı 21. Yüzyılın havacılık alanında güç taleplerinin giderek artması ve buna bağlı olarak enerji ihtiyacının şimdiye kadar ki en yüksek seviyelerde olması ile birlikte dünya sürdürülebilirlikle ilgili önemli zorluklarla karşı karşıyadır.

Havayolu yolculukları, dünya genelinde milyonlarca kişinin zamandan tasarruf ederek uzun mesafeler kat etmesi için ana ulaşım modlarından biri haline gelmiştir. Kıtalararası ticari ilişkilerin büyümesi ve insanların dünyayı keşfetmeye olan ilgisi, küresel havacılık endüstrisinin hızlı bir şekilde büyümesini tetikleyen nedenlerden bazılarıdır. Son 15 yılda, küresel hava trafiği üçte ikiden fazla artış göstererek 2019'da gerçekleştirilen yaklaşık 39 milyon uçuşa ulaşmıştır. Ancak CO2 emisyonları başta olmak üzere diğer emisyonlardan da kaynaklı olarak çevreye verilen zarar da artış göstermiştir. 2019 yılında ticari havacılık şirketleri, 900 milyon mt'nin üzerinde CO2 salınımı gerçekleştirmiştir. 2020'de COVID-19 pandemisi nedeniyle dünya genelinde havacılık faaliyetlerinin birçoğunun iptal edilmesiyle havacılık kaynaklı CO2 emisyonları 2019 yılına kıyasla yaklaşık %60'lık bir düşüş yaşamıştır [14]. Fakat hiç kaçınılmazdır ki Öngörüler, hava trafiğinin hızla artacağını ve bu durumun çevresel etkilerini daha da artırabileceğini göstermektedir.

Bunlara ek olarak Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA) 2023 tarihli basın bildirisinde bildirdiği "IATA, 2050 Yılına Kadar Net Sıfır Karbon Emisyonu Hedefi İçin Stratejik Yol Haritası"[15],

Boeing, bu yıl boyunca ABD'de yürüteceği ticari operasyonlarını desteklemek üzere, dünyanın önde gelen sürdürülebilir uçak yakıtı üreticisi Neste tarafından üretilen 5,6 milyon galon (21,2 milyon litre) harmanlanmış sürdürülebilir uçak yakıtı satın alma anlaşmaları imzaladı. Bu anlaşma ile şirketin sürdürülebilir uçak yakıtı alımı bir önceki yıla göre iki katın üzerinde artış

gösterecek.[16] ve yine THY gibi birçok özel firmanın yanı sıra Birleşmiş Milletlerin ve birçok uluslararası örgütünde desteklediği gibi dünya CO2 salınımının azaltılması yönünde ki çalışmalar da göz önüne alındığında havacılık sektöründe alternatif yakıtlar kaçınılmazdır. Peki, neden Likit Petrol Gazı(LPG) bu alternatif yakıtlardan biri olmasın.

LPG'nin çevre dostu bazı özelliklerine baktığımızda:

Çoğu hidrokarbon yakıtlara göre LPG'nin karbon-hidrojen oranı düşüktür. Dolayısıyla ürettiği birim enerji başına çok daha az karbondioksit (CO2) açığa çıkar.

LPG değişik oranlarda bütan ve propan gazlarının karışımıdır. Karışım oranına göre farklılık gösterse de tüm diğer hidrokarbon yakıtlara (doğal gaz, benzin, dizel vs.) göre kilogram başına daha fazla enerji üretir. Kalorifik değeri yüksektir.

Çoğu hidrokarbon yakıtlara göre LPG'nin karbon-hidrojen oranı düşüktür. Dolayısıyla ürettiği birim enerji başına çok daha az karbondioksit (CO2) açığa çıkar.

LPG değişik oranlarda bütan ve propan gazlarının karışımıdır. Karışım oranına göre farklılık gösterse de tüm diğer hidrokarbon yakıtlara (doğal gaz, benzin, dizel vs.) göre kilogram başına daha fazla enerji üretir. Kalorifik değeri yüksektir.

Birleşmiş Milletler Uluslararası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre, karbondioksitin (CO2) küresel ısınma potansiyeli (GWP) faktörü, yani seragazı etkisi 1 iken, doğal gazınki (metan) 25, LPG'ninki 0'dır. [17]

4. LPG'NİN DEZAVANTAJLARI

Halihazırda alternatif yakıtlar için çeşitli araştırmalar yapılsa da tüm alternatifler gibi LPG içinde geçerli olan bazı dezavantajlar vardır. Ve bazılarını şöyle sıralayabiliriz,

Diğer sektörlerde alternatif yakıtların kullanılmasından farklı olarak havacılık, daha şiddetli ve kısıtlayıcı parametrelere ve gereksinimlere ihtiyaç duyduğu için herhangi bir aday yakıt üzerinde çok daha büyük kısıtlamalar sunmaktadır. İlk olarak yanma işleminin gerçekleşmesi esnasında oluşacak risk eğiliminin çok daha düşük olması gerekmekte ve güvenli bir şekilde gerçekleşmesi için gereken zorlayıcı koşullar nedeniyle sınırlı bir potansiyel sıvı yakıt yelpazesi gerektirir. İkinci olarak, sıvılaştırılmış petrol gazının, şuanda kullanılan jet yakıtının depolama koşulları ile aynı olmaması, örneğin LPG'nin gaz halinde havadan ağır bir karışım olması ve rüzgar yolu uzun mesafelere yayılabilmesi, yanma noktasının oldukça düşük olması nedeniyle çok çabuk alev alması, şuanda en güvenli dağıtım şeması olarak kabul edilen yer altı boru hatları tamamen değişmesi gibi, depolandığı yerde kademeli geçişler için ayrıca bir depolama ağı ve nakil hattı oluşturulması gerekmesi gibi lojistik sorunlar oluşurken, şuanda kullanılan jet yakıtının yerini tamamen alması düşünülecekse havacılık alanında yeni bir lojistik ağ ve depolama sisteminin oluşturulması için oluşacak ilk maliyet çok yüksek olacaktır. Yine başka bir dezavantaj ise havacılıkta kullanılan mevcut motor teknolojisine ve uçak tasarımına uyum sağlaması gerekmekte ya da tüm alternatif yakıtlar gibi sıvılaştırılmış petrol gazının kullanılması içinde motor teknolojisi ve belki de uçak tasarımında, çünkü LPG'nin şuanda yolcu uçaklarında depolanması gibi nedenlerden, önemli değişiklik gerektirecektir.

İnsan sağlığı açısından karşılaştırıldığında ikisinde farklı avantaj ve dezavantajları vardır bunlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 1. LPG ve Kerosinin Neden Olduğu Sağlık Sorunlarına Karşı Karşılaştırılması[18]

Tehlike	LPG	KEROSİN
Toksit veya Kansorejen	Hayır	Evet

Boğucu	Evet, Kapalı Alanlarda Ör. Yolcu kabininde sızma	Hayır
Diğer Sağlık Tehlikeleri	Hayır	Göz tahriş edici, Mide Bulandırıcı
Döküldüğünde davranış	Birikme eğilimi gösteren yanıcı buhar bulutu oluşturur.	Yanıcı bir havuz ve buhar bulutu oluşturur, temizleme şart

5. LPG'NİN HAVACILIKTA KULLANIMI İÇİN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

LPG'nin havacılıkta kullanılırken yarattığı dezavantajları ortadan kaldırabilmek için çözüm yolları aranmaktadır. Bu dezavantajlar ve uygulanan çözümler aşağıda sıralanmıştır.

Yüksek basınç altında depolama ihtiyacı: Örneğin, HD-5 propan, 37.8 °C'de yaklaşık olarak 13 bar buhar basıncına sahiptir. Bu, LPG'nin çelik kaplarda sıvı halde depolanabilmesine olanak tanır. [19] Bu kapların yarattığı güvenlik problemlerini minimize etmek LPG yakıt tanklarının basınç ve sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesinin sağlanması gerekmektedir.

Enerji Yoğunluğu Düşüklüğü: LPG'nin doğalgaza göre enerji yoğunluğu daha düşüktür, bu da aynı miktarda enerji sağlamak için daha fazla hacim gerektirir. Bu, uçaklarda sınırlı alanın verimli kullanımını engeller.

Yanma Karakteristiklerinin Farklılığı: LPG'nin kullanımı, bu alternatif yakıtın özelliklerinin ve kullanımının özel detaylarının daha detaylı bir şekilde araştırılmasını gerektirir. Motoru farklı bir yakıt ile çalışacak şekilde uyarlamının bazı zorlukları ortaya çıkar. [20] Bu durum, motor verimliliğini azaltabilir ve yakıt tüketimini artırabilir.

Gaz Kaçağı ve Patlama Riski: LPG'nin uçaklarda kullanılması, gaz kaçağı ve patlama riskini artırabilir. Bu, güvenlik endişelerine neden olur ve gereksiz riskler oluşturabilir. Ancak LPG tankları geleneksel yakıt tanklarına kıyasla 20 kat daha dayanıklıdır. Ayrıca tanklar en fazla %80 kapasiteye doldurulur ve otomatik kapanma vardır. [21]

Soğutma Gereksinimi: LPG, sıkıştırma işlemi sırasında ısınır ve bu da soğutma gereksinimini beraberinde getirir. Bu soğutma işlemi, ek enerji ve ekipman gerektirir. Havacılıkta yüksek irtifalarda hava sıcaklığı son derece düşük olduğu için bu durum nispeten daha kolay giderilebilmektedir.

Uçuş Menziline Sınırlamalar: LPG'nin düşük enerji yoğunluğu ve ağır yakıt tankı gereksinimi uçuş menziline kısıtlayabilir ve daha sık yakıt ikmali gerektirebilir, bu da operasyonel verimliliği azaltabilir.

6. HAVACILIKTA LPG KULLANIMININ MEVCUT DURUMU VE GELECEĞİ

Havacılıkta LPG kullanımının operatör giderlerini azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir, hatta yeni altyapı ve uçak maliyetlerini de hesaba katarsak bile. LPG kullanımı ayrıca yakıt maliyetlerini ve hava kalitesi ile ilişkili ölümleri azaltarak net toplumsal fayda sağlayabilir. Ayrıca, eğer LPG yerel doğal gaz kaynaklarından temin ediliyorsa, ek enerji bağımsızlığı ve güvenlik faydaları da bulunmaktadır. %14'e kadar ortalama yakıt tasarrufunun mümkün olduğu gösterilmiştir. Tasarruflar dönüştürülen uçakların sayısına ve uçulan

görevlerin süresine ve sıklığına bağlıdır. Bir uçuş saati talebi için, daha az dönüş alımı yapıldığında ve daha sık kullanıldığında tasarruflar daha yüksektir. Orta menzil ve orta yük misyonları, jet yakıtını LPG ile değiştirmek için en büyük fırsatı sunar, oysa uzun menzil misyonları fazla jet yakıtı yakar ve dönüş yatırımında daha az geri dönüş sağlar. Misyon uzunluğu, tasarrufları %8'e kadar etkiler. Bu işletme tasarrufları, %12'ye kadar ortalama toplumsal fayda sağlayabilir. Toplumsal faydalar, insan sağlığına ilişkin hava kalitesi kaynaklı hasarların azaltılması (%30) ve daha az kaynak tüketiminin sağladığı (%10) şeklinde gerçekleşir. LPG'nin neden olduğu parasallaştırılmış iklim hasarları, geleneksel jet yakıtından kaynaklanan hasarların %1 ila %2'si kadar olup, diğer toplumsal etkilere göre önemsizdir. İşletme durumunu etkileyen ana faktörlerin jet yakıtı ile LPG arasındaki fiyat farkı ve LPG dönüşüm maliyeti olduğunu göstermektedir. Bir galonluk jet yakıtı fiyatındaki \$1'lik değişiklik, yakıt tasarruflarını %10 ila %15 etkilerken, her \$1 milyonluk dönüşüm fiyatındaki değişiklik yaklaşık olarak %1'lik tasarrufu etkiler. Benzer şekilde, toplumsal durum, jet yakıtı ve LPG arasındaki fiyat farkı ve LPG dönüşüm maliyeti açısından oldukça duyarlıdır. Toplumsal durum, hava kalitesi ve iklim hasarı modellerine girişlerdeki değişikliklere karşı daha az duyarlıdır ve olasılık dağılımlarının sınırlarında %1 ila %3 arasında değişir. LPG yakıtının çevresel analizinde önemli belirsizlikler bulunmaktadır, özellikle metan sızıntısının büyüklüğü ve LPG'nin iz oluşumu üzerindeki etkileri. Metan sızıntısının azaltılması, LPG yakıtının iklim etkilerini geleneksel yakıtlara göre iyileştirecektir ve iz etkileri, yüksek irtifada LPG yanmasından dolayı azalması beklenir. Ek araştırma alanları, geleneksel jet yakıtının doğal gaz ile değiştirilmesinin ABD'nin enerji bağımsızlığı/güvenliği faydalarının parasallaştırılmasıdır. [22]

jet motorunda JP-8 yakıtı, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve doğal gazın kullanımı araştırıldı. Doğal gazın maliyeti LPG ve JP-8'den daha düşük olduğu görüldü. Uçak yakıt tankları doğal gaz için kriyojenik tanklar olmalıdır. Kriyojenik tankların maliyeti, ağırlığı ve hacmi yüksektir. Ayrıca, kriyojenik tankların uçak kanatlarına montajı zordur. Ek olarak, kriyojenik tanklar, aerodinamik yapı nedeniyle uçağın operasyonel yeteneklerini olumsuz etkileyebilir. Uçaklarda LPG kullanımı JP-8'den daha yüksek maliyetlidir. Aynı koşullar altında LPG, JP-8'den daha fazla hacim kaplar. Doğal gazın adyabatik alev sıcaklığı daha düşüktür. Bu, uçak motorlarına daha az fazla hava kullanarak enerji sağlayabilir.

Bu sonuçlara göre, mevcut JP yakıt uygulamasının kullanılması en iyisidir. Ayrıca, günümüz teknolojisiyle doğal gazın uçak yakıtı olarak kullanılması mümkün görünmemektedir. Ancak, büyüyen teknoloji ve kriyojenik tanklardaki gelişmelerle doğal gazın uçak motorlarına uygulanması mümkün olabilir. Pasif uçak motorlarında doğal gaz kullanılarak elektrik üretmek mümkündür. Doğal gaz, elektrik üretim tesislerinde sıvı formda depolanabilir çünkü yer sıkıntısı yoktur. Doğal gazın düşük maliyeti sayesinde, düşük maliyetli enerji kaynaklarıyla elde edilebilir. [23]

KAYNAKÇA

- [1] Bechtold, R.L., 1997. Alternative Fuels Guidebook: Properties, Storage, Dispensing and Vehicle Facility Modifications.
- [2] Thring, R.H., 1983. Alternative Fuels for Spark-Ignition Engines, SAE Technical Paper No. 831685.
- [3] T. E. Verildi, T. Savunuldu, ve T. Dan, “YÜKSEK LİSANS TEZİ Mak. Müh. Yalçın GÜLER (503011207)”, 2006.
- [4] Pulkrabek, W.W., 1997. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, pp. 150-158, Prentice Hall, New Jersey.
- [5] Çalık, A.T., Arslan, H., Soruşbay, C., 1999. Benzin Motorlu Taşıtlarda LPG Kullanımının Egzoz Gazları Emisyonuna Etkisi, LPG ve Uygulamaları Konferansı, İstanbul, 24 Eylül, s. 67-75.
- [6] Safgönül, B., Soruşbay, C., Ergeneman, M., Arslan, E., 1999. İçten Yanmalı Motorlar, s. 43-53, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [7] Alternative Fuels Data Center: Propane Basics. (n.d.). EERE: Alternative Fuels Data Center Home Page. <https://afdc.energy.gov/fuels/propane-basics>
- [8] F. Synák, K. Čulík, V. Rievaj, ve J. Gaňa, “Liquefied petroleum gas as an alternative fuel”, Transportation Research Procedia, c. 40, ss. 527-534, 2019, doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.076.
- [9] Bayraktar, H., Durgun, O., 2005. Investigating the Effects of LPG on Spark Ignition Engine Combustion and Performance, Energy Conversion and Management, 46.
- [10] Jemni, M., Kassem, S., Driss, Z. and Abid, M. (2018). Effects of hydrogen enrichment and injection location on in-cylinder flow characteristics, performance and emissions of gaseous LPG engine. Energy, 150, pp.92-108.
- [11] Kapusta, J. and Kalašová, A. (2015). Motor Vehicle Safety Technologies in Relation to the Accident Rates. Communications in Computer and Information Science, pp.172-179.
- [12] Örucü, K., 1999. Araçlarda Alternatif Yakıt Olarak LPG Kullanımı, LPG ve Uygulamaları Konferansı, İstanbul, 24 Eylül, s. 14-22.
- [13] Caton, J.A., McDermott, M., Chona, R., 1997. Development of a Dedicated LPG Fueled Spark-Ignition Engine and Vehicle for the 1996 Propane Vehicle Challenge, SAE Technical Paper No. 972692.
- [14] 1. Statista, Environmental impact of the aviation industry worldwide - statistics & facts. (2021, 25 Eylül). Erişim adresi: https://www.statista.com/topics/7346/environmental-impact-of-the-aviation-industryworldwide/#topicHeader__wrapper
- [15] IATA, (2023) IATA, 2050 Yılına Kadar Net Sıfır Karbon Emisyonu Hedefi İçin Stratejik Yol Haritasını Açıkladı. <https://www.iata.org/contentassets/e58fea6deeb142859f498593fe98997c/2023-06-04-03-tr.pdf>
- [16] Boeing, (2023) Boeing, ticari operasyonları için sürdürülebilir uçak yakıtı alımını iki katına çıkarıyor <https://www.boeing.com.tr/press-releases/2023/boeing-doubles-the-purchase-of-sustainable-aircraft-fuel-for-its-commercial-operations>

- [17] BRC, (2020) ÇEVRE DOSTU LPG [https://www.brcturkiye.com/haber/cevre-dostu-lpg#:~:text=Birle%C5%9Fmi%C5%9F%20Milletler%20Uluslararası%C4%B1%20%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi%20Paneli'ne%20\(IPCC\)%20g%C3%B6re,LP G'ninki%20'd%C4%B1r.](https://www.brcturkiye.com/haber/cevre-dostu-lpg#:~:text=Birle%C5%9Fmi%C5%9F%20Milletler%20Uluslararası%C4%B1%20%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi%20Paneli'ne%20(IPCC)%20g%C3%B6re,LP G'ninki%20'd%C4%B1r.)
- [18] Arrow Energy Ltd. “LNG Safety Information” <http://www.arrowenergy.com.au> accessed October 2012.
- [19] Ryskamp R., 2017. Emissions and Performance of Liquefied Petroleum Gas as a Transportation Fuel: A Review. **World LPG Association**.
- [20] Raslavičius L., Keršys A., Mockus S., Keršienė N., Starevičius M., 2014. Liquefied petroleum gas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **32**: 512-525
- [21] Simons A. and Nunoo S., 2009. Liquefied Petroleum Gas as an Alternative Vehicle Fuel in Ghana. **Petroleum Science and Technology** **27**(18): 2223-2233
- [22] Withers M. R., Malina R., Gilmore C. K., Gibbs M. J., Trigg C., Wolfe P. J., Trivedi P., Barrett S. R. H., 2014. Economic and environmental assessment of liquefied natural gas as a supplemental aircraft fuel. **Progress in Aerospace Sciences** **66**: 17-36
- [23] Koç İ., 2015. The use of liquefied petroleum gas (lpg) and natural gas in gas turbine jet engines. **Advances in Energy Research** **3**(1): 31-43

UÇAK KANATLARININDA KULLANILAN MALZEMELERİN TARİH İÇİNDE DEĞİŞİMİ

Rıdvan BULUT

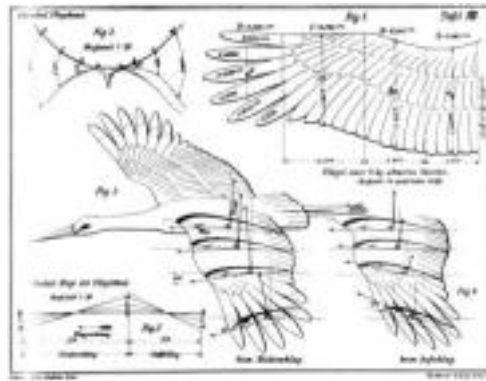
1. GİRİŞ

İnsanoğlu tarih boyunca gökyüzüne bakarak kuşları izlemiş, uçmayı hayal etmiş ve bu hayali için sayısız girişimlerde bulunmuştur. M.Ö 2. Yüzyıla dayanan ve insanlığın uçuş hayalinin yazılı olarak anlatıldığı ilk kaynaklardan olduğu düşünülen Antik Yunan medeniyetinde ki Daedalus ve İcarus efsanelerinde, Daedalusun oğlu İcarusa tutsak olarak tutuldukları hücreden kaçmak için balmumu ve tüylerden yaptıkları kazkanadına benzer kanatlarla uçarken çok fazla yükselmemesini telkin eder. Fakat uçuşun cazibesine kapılan İcarus fazla yükselince balmumu erir ve denize düşerek boğulur. Yine 9. yüzyılda Endülüs Emevi Devleti'nde yaşamış İspanyol bir Müslüman olan Abbas İbn Farnas'ın kuş tüyleriyle kaplayarak tasarladığı bir kanat giyip yaptığı uçuş denemesi insanlığın ilk adımlarındandır. (Nat-Geo, 2013). 1452-1519 yılları arasında yaşayan, kuşların uçuşu ve havanın doğasıyla ilgili 35.000' den fazla kelime ve 500'den fazla eskiz üreten Leonardo da Vinci, İnsanın mekanik uçuşunu inceleyen ve çoğunluğu ornithopter olan tasarımlarıyla insanlığın uçuş yolculuğunda önemli bir mihenk taşıdır.(Nat-Geo,2013) .



Leonardo da Vinci'nin bir tasarımı ve 3 boyutlu görünümü

Tarih 18. Yüzyılı gösterdiğinde Wright kardeşler için bir kaynak olacak olan planörün icadı Alman Bilim Adamı Otto LILIENTHAL tarafından yapılmıştır.(BRİTANNİCA,2024)



Otto LILIENTHAL planörlerinden birini kullanırken (4)

Kuşların uçuşunun bilimsel illüstrasyonu. Otto LILIENTHAL(3)

Türk Dil Kurumu uçak için tanım olarak “Kanatlarının altındaki havanın yaptığı basınç yardımıyla yükselip ilerleyebilen motorlu hava taşıtı olarak yapmaktadır.”(TDK,2024) Tarih 17 aralık 1903’te wright kardeşler Kuzey Carolina’daki Kitty Hawkta’da tam olarak bu tanıma uyan dünya üzerindeki ilk motorlu, kontrollü uçuşu 12 saniyede yaklaşık 365 metre kat ederek gerçekleştirdi. Ve o gün yapılan uçağın kanatları bildiğimiz en ilkel uçak kanatı olan muslin bez, ahşap ve çelik gerti telleri kullanılmıştı.



Dünya üzerindeki ilk motorlu, kontrollü uçuş.(7) Wright kardeşlerin flyer’ının 3 boyutlu bir modeli.(7)

2.YÖNTEM

Bu çalışma, geniş kapsamlı bir literatür taraması ve araştırma yaklaşımını benimsemekte olup insanlığın ilk kez uçuş hayalinden günümüze geldiği noktayı çeşitli kaynaklar kullanarak incelemiştir. Uçak endüstrisinin tarihine ve malzeme bilimine odaklanan çeşitli kaynaklar incelenmiş, uçak kanatlarının teknolojik ilerlemeler eşliğinde değişimi inceleyen bilimsel yazılar ve ilgi konu hakkında otorite olan kurumların kaynakları takip edilmiştir. Ayrıca konu hakkında ülkemizin ilk uçakları ve bu konu hakkındaki gelişmeler de incelenmiştir.

3.SONUÇLAR

AHŞAP UÇAKLAR:

İlk uçak olarak kabul edilen Wright kardeşlerin Wright Flyer 12,3 metre kanat açıklığına, 47,4 m² alana sahipti ve kanat direkleri ladin ağacından, kanat direkleri ve diğer uzun, düz bölümleri ladin ağacından, kanat kaburgaları ve diğer bükülmüş veya şekilli parçalar ise dişbudak ağacından yapılmıştı. Aerodinamik yüzeyler ise ince dokunmuş muslin kumaşla kaplanmıştı. (8,9) flayer ilk uçuşunda 12 saniyede 36 metre yol aldı. Dünya üzerinde ki ilk motorlu kontrollü uçuş.(7) Wright kardeşlerin flyer’ının 3 boyutlu bir modeli.(7)



Wright kardeşlerin flyer'ının bir maketi(11)



Wright kardeşlerin flyer'ının 3 boyutlu bir çizimi.(12)

Flayer Teknik Özellikleri:

Boyutlar: Malzemeler:

Kanat Açıklığı: 12,3 m. (40 ft 4inç) Gövde : Ahşap

Uzunluk : 6,4 m. (21 ft 1 inc) Kumaş Kaplama: Müslin

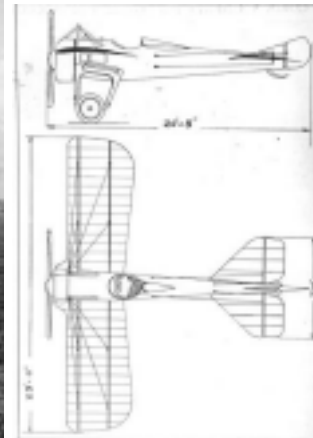
Yükseklik : 2,8 m .(9 ft 4 inç) Motor Karter : Alüminyum

Ağırlık : 274 Kg. (605 lb.)

Ahşap ve muslinden kanatlar ve ilk uçuş için her ne kadar iyi olsada ahşap ve muslin havada oluşan strese karşı yeterince dayanıklı değildi. Ahşap uçakların gelişimi devam etti ve 1913 yılında Fransız şirketi Deperdussin Monocoque modelini ürettiğinde, orijinal Flyer'dan yaklaşık beş kat daha hızlıydı ve ilk Wright tasarımlarının zaten modası geçmiş kanatçarpıklığı yerine bağımsız üç eksenli kontrollere sahipti. Ancak bu uçağı özel bir kanat seti haline getiren şey, adından da anlaşılacağı gibi, taşıyıcı bir kaplamadan (bu durumda lamine kontrplaktan) yapılmış gövdeydi. Bu, onu rakip tasarımlardan daha şık ve daha hafif hale getirdi. Dünyanın geri kalanının yetişmesi biraz zaman alacaktı ama Monokok tasarım çok geçmeden fiili tasarım standardı haline gelecekti.(GOYER, 2023) Wright kardeşlerin flyer'ının bir Wright kardeşlerin flyer'ının 3 boyutlu bir çizimi.(12) maketi(11)



Deperdussin Monokok, (13)



Deperdussin racer 2 görünüm çizimi (14)

Ahşap kanatlı uçaklara örnek verecek olursak;

1. Sopwith Camel: 1.Dünya Savaşı sırasında İngiliz kraliyet Hava Kuvvetleri tarafından kullanılan avcı uçağı(1916)(TIKKANEN, 2024)

2. SPAD S.XIII: 1. Dünya savaşı sırasında Fransız hava kuvvetleri tarafından kullanılan bir avcı uçağı(1916)(NASA, 2016)

3. Fokker Dr.I: 1. Dünya Savaşı sırasında Alman İmparatorluk Hava Kuvvetleri tarafından kullanılan üç kanatlı avcı uçağı.(1917)(NASA,2023)

4. Bleriot XI: Manş denizini geçen ilk uçak ve Düşürülen ilk savaş uçağı

5. Albatros D. III: 1. Dünya Savaşı sırasında Alman İmparatorluk Hava Kuvvetleri tarafından kullanılan bombalama ve kurtarma uçağıdır. (19)



Sopwith Camel(17)



SPAD S.XIII(18)



The 1917 German
Albatros D-Va(20)

METAL UÇAKLAR

Metal işleme teknolojisinde oluşan gelişmeler ile uçak kanatlarında, streslere karşı dayanıksız olan ahşap yerine metal kullanılmaya başlanmıştır. Metal malzemeler içerisinde en çok alüminyum kullanılacaktır.(YUDAR S. 2023)(20) Birinci dünya savaşına giren Alman hükümet Junkers'ın uçak tasarım ve üretimine ağırlık vermesini istedi ve bunun üzerine Hugo Junkers, dönemin ileri mühendislik özelliklerini taşıyan, düzgün alüminyum dış gövdeye ve tamamen 12 metrelik kanat açıklığı ile metal kanatlara sahip j1 adını verdiği uçağı üretti. Bu uçak zamanla teneke eşek adıyla anılmaya başlandı. Junkers'in 1916–17 yıllarında ürettiği iki koltuklu, zırhlı gövdeli, Junkers J.I modeli, tamamen metal uçağı, savaşın en başarılı bombardıman uçağı olarak ün yaptı ve 226 adet üretildi. Bu uçak metal gövde ve kanatların kullanıldığı ilk uçak olması bakımından havacılık tarihinde önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilir.(UTED,2023).



Junkerler J1, 1915(17)

1915'in Junkers J1'i tamamen metal tasarıma sahip ilk uçaktı; burada benimsenecek ancak 20 yıl sonra, II. Dünya Savaşı'ndan kısa bir süre öncesine kadar tam olarak benimsenmeyecek bir malzeme yaklaşımı. Uçak tasarımında metale yönelmediği için dünyayı çok fazla suçlamak zor. Bu fikir kulağa çılgınca gelebilirdi. Metal çok ağırdı. Wright'ların ilk uçuşlarından çok sonra uygun bir alüminyum alaşımı olan duralumin geliştirildi ve o zaman bile ilk çabalar zorluktu. Ancak alaşım bir kez rayına oturduğunda gerisi tarih oldu. Hafif, kolayca şekillendirilebilen, güçlü ve birbirine tutturulması kolay levhalar olan bu malzeme tam da havacılığın aradığı şeydi. J1 deneysel bir proje uçağıydı ancak şirketin yarattığı şey, malzeme yapımı için yeni standartlar belirlemeye devam edecekti.(YUDAR, 2023) Metal kullanılan ilk uçaklara örnek olarak;

1. Junkers j2: J1' in devamı olan Alman savaş uçağıdır.(1916)
2. Junkers A-20: Junkers'ın bir savaş uçağı(1923)
3. Ford Trimotor(Teneke Kaz): Ford tarafından üretilen yolcu uçağıdır.(1928)
4. Junkers F13: Dünyanın ilk tamamen metal yolcu uçağı(1919)



Junkers F13(23)



Ford Trimotor(24)

ÜLKEMİZDE İLK UÇAKLAR – METAL KANATLI

Türkiye Cumhuriyeti ile Junkers Uçak Fabrikası Anonim şirketi firmasıyla anlaşma yapılarak 6 Ekim 1926 yılında açılışı yapılan Kayseri Uçak Fabrikamızda üretimine metal uçaklar ile başlamıştır. Burada Junkers firmasının seçilmesinde metal uçak üretimi etken olmuştur. İlk olarak Hava kuvvetleri envanterinde bulunan Junkers A-20, F-13 ve G-23 uçaklarının bakım ve onarımları ile başlanmış olsa da daha sonra ülkemizde Kayseri Uçak Fabrikası marifetiyle metal kanatlı uçak üretimine, ilk metal uçaklardan olan A-20, F-13, G- 23 uçaklarının bakım ve onarımları yapılmış, fakat daha sonra üretim hayatına Junkers firmasının maddi sorunlar yaşayarak çekilmesinden dolayı Amerika'nın Curtiss Aeroplane And Motor Company Inc şirketi ile anlaşarak "Curtiss hawk ve Fledgling" adlı uçaktan 3 adet üreterek başlamıştır. (ALTUNCUOĞLU N, 2022)

Tablo(1926-1947 Yılları Arası Kayseri Tayyare Fabrikası Faaliyetleri)(21)

Yıllar	Antlaşmanın Yapıldığı Firma ve Ülke	Üretim veya Bakım Onarım	Uçak Modeli	Miktarı
1926-1928	Junkers(Almanya)	Bakım-Onarım	A-20, F-13, G-23	-
1932	American gThe Curtiss Aeroplane and Engine Company Incorporation(ABD)	Üretim	Curtiss Hawk Fledgling	33 8
1935	-	Üretim	Planör	53
1936	Gothaer Waggon Fabrik A.G (Almanya)	Üretim	Gotha 145	45
1937	Panstwowe Zaklady Lotnicze (Polonya)	Üretim	PZL 24 A-24C	24
1940-1947	Philips and Powis Aircraft Ltd (İngiltere)	Üretim	Magister	24
1947-...		Bakım-Onarım	TSK Uçakları	-
Toplam	4 Ülke ve 5 Uçak firması			187

KOMPOZİT MALZEMELERİNİN UÇAK KANATLARINDA KULLANILMASI

Metal ve alaşımları yerine günümüzde daha dayanıklı ve ucuz kompozit malzemeler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. İlk olarak kanat kısmında başlayan kompozit kullanımı günümüzde gövde, motor gibi birçok uçak parçasında da tercih edilmektedir. Hafifletme amacıyla kompozit malzemelerde cam elyaf ve karbon fiber katkı polimer kompozitler oldukça fazla kullanılmaktadır. Cam elyaf ve karbon fiber katkı polimer kompozit malzemeler Airbus A350 XWB uçağında %53 oranında kullanılarak %40 ağırlık hafifletilmesi sağlanmıştır. Boeing 787 uçağında kullanılan karbon fiber ve cam elyaf katkı kompozit malzeme miktarı %50 civarında olup kompozit malzemelerin kullanım miktarının artmasıyla uçakta %42'ye varan hafifletme sağlanmıştır Yapılan çalışmalar neticesinde uçaklarda kullanılan kompozit malzemeler ile hafifletme, dayanım/ağırlık oranında artış sağlanmaktadır.(YUDAR S., 2023)

“Karbon fiberlerinin çok cazip mühendislik özelliklerinin bazıları, mükemmel işleme ve şekillendirme kabiliyeti, oldukça düşük termal genişleme katsayısıdır. Üretim maliyeti bora nazaran daha düşüktür. Fiberlerin mükemmel şekillendirme kabiliyetlerinden dolayı keskin köşeli şekiller yapılabilir. Düşük termal genişleme katsayısı (0'a yakın) çok yüksek boyutsal kararlılık istenen yerlerde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Oldukça yüksek termal iletkenlik, termal gerilimleri, radyasyon ve konveksiyon yoluyla üniform olarak dağıtır.”(GÜLER K. A., 2003)

Kullanım alanlarına bir başka örnek olarak 177 C'de karşılıklı bağlanarak tokluğu sağlanmış termoset reçineli matrislerle orta dereceli modüle sahip (295 MPa) yada yüksek mukavemetli (5590 MPa) ve orta dereceli modüle sahip karbon fiberlerin beraber kullanıldığı Gripen, EFA, Fransız Rafale ve Birleşik Devletler'in B-2 uçakları verilebilir.(GÜLER K. A., 2003)

Karbon fiberlerinin olumsuz yanları ise, düşük genişleme katsayısının neden olduğu kalıntı termal gerilimlerdir, bunlar buralarda metal dolgu kullanılması gerekir.”(GÜLER K. A., 2003)



Northrop B-2(25)

4.TARTIŞMA

İnsanoğlunun tarihi ile başlayan uçuş hayali ve isteği insanın sınırlarını zorlayarak önce yükselmesini sonra uzaya kadar çıkmasını sağladı. Belki de ilk insanla başlayan bu girişimler Wright kardeşlerin yüzlerce bilim insanının adımlarından sonra birkaç parça ahşap ve biraz muslin bezle somutlaştırmasıyla devam etmiştir. Uçak kanatlarının hafif ve sağlam olması adına

ahşap ve bezden sonra Hugo JUNKERS'la metale geçilmiş, alüminyumun, özellikle duraliminin, katkısıyla streslere karşı oluşan kırılmalar engellenmiş ve böylece uçak kanatları uçakların daha büyük daha hızlı olmasını sağladı. Metali takip eden süreçte ve günümüzde kompozit malzemelerin kullanılmaya başlamasıyla artık uçak kanatları metal malzemeye göre daha hafif olmuş, Karbon fiber gibi kompozit malzemeler sayesinde son derece yüksek mukavemetlere ulaşmıştır. Kompozit malzemelerin esnekliği kullanılarak tasarım özgürlüğü elde edilmiş böylece uçak kanatları daha aerodinamik olmuş ve yüksek performanslar elde edilmiştir. Aynı zamanda metal malzemelerin aksine, korozyona karşı büyük oranda daha direnç sağlanmış ve bu da uçak bakım maliyetlerini azaltmış ve uçak ömürlerini uzatmıştır. Hiç kuşku yoktur ki kullanılan malzeme özellikleri insanlık ile birlikte gelişmeye devam edecektir. Örneğin Nanoteknoloji konusunda oluşacak gelişmeler uçak kanatları dâhil olmak üzere tüm uçuş sistemleri için elzem ve kaçınılmaz olacaktır. Savaşlar olmasa dahi öneminin her geçen gün artıran “Hava Kuvvetlerinin kuvvet artırıcı unsurları olarak görülen komuta kontrol, hava ulaştırması, elektronik harp, havada yakıt ikmali, istihbarat, gözetleme ve keşif yetenekleri, uçakların ve uçuş safhasının her kademesinde yer alan birimlerin harekât kabiliyetlerinin artırılmasına olumlu katkı sağlamaktadırlar. Nanoteknoloji bu unsurlara yönelik yapacağı destek ile önemli kuvvet çarpanı haline gelebilecektir. Nanoteknoloji, Hava Kuvvetlerinin sahip olduğu silah sistemlerine hafiflik, hız ve görünmezlik özellikler sağlayacaktır. Nanokompozit malzemelerle hafifletilmiş gövde ve nanomalzemelerle güçlendirilmiş motor gücü sayesinde hava platformlarının hızı, menzili ve servis tavanı büyük oranda artırılabilir. Hıza ve zamana dayalı harekât icra eden Hava Kuvvetlerinin radarda tespit edilememesi, harekâtın başarısı açısından önemli bir imkân ve kabiliyettir. Nanokompozitler ve radar ışınlarını tamamıyla absorbe edebilen ultra ince nanokaplamalar ile daha hafif, daha hızlı ve üstün görünmezlik teknolojisine sahip uçakların geliştirilmesi mümkün olabilecektir. Geleceğin Hava Kuvvetleri; hafif, nanosensörler ile teçhiz edilmiş ve görünmezlik teknolojisine sahip hava araçlarından oluşacak, bu sayede taarruzi ve savunma gücünde çok önemli gelişmeler sağlanabilecektir. Diğer taraftan nanoteknoloji sayesinde hava araçları; performans, hız, güç ve güvenlik açısından üstün özelliklere sahip olurken bakım aralıkları arasındaki sürenin artması ile bakım maliyetlerinde önemli azalmalar olacaktır.”(ÖZER, 2019) Gelecekte metal malzemelerin kullanımının azalmasıyla, kompozit malzemelerin yanısıra nanoteknoloji yoğunlukta kullanılacaktır. Aynı zamanda uçak kanatlarının esneklik ve hafiflik konusunda gelişecek ve sürtünme gibi olumsuz etkilerin azalması sağlanacaktır.

5.KAYNAKÇA

1. Atalay B, Wamsley K. (09 Agu 2022) Leonardo da Vinci'nin defterlerinde neler var? <https://www.nationalgeographic.com/history/history-magazine/article/the-enigma-of-leonardo-da-vinci-the-original-renaissance-man->
2. Nat-Geo,2013.1001 ĞNVENTĞONS&AWESOME FACTS FROM MUSLIM CIVILIZATION <https://www.nationalgeographic.com/pdf/1001-muslim-inventions-ed-guide.pdf>
3. https://www.researchgate.net/figure/Scientific-illustration-on-the-flight-of-birds-Otto-Lilienthal-Der-Vogelflug-als_fig1_316633908
4. <https://www.britannica.com/biography/Otto-Lilienthal>
5. Britannica, (2024) The Editors of Encyclopaedia. "ornithopter". Encyclopedia Britannica, 5 Mar. 2024, <https://www.britannica.com/technology/ornithopter>. Accessed 2 May 2024.
6. TDK, (2024) Uçak <https://sozluk.gov.tr/>
7. NASA,(2024). 1903 Wright Flyer https://airandspace.si.edu/collection-objects/1903-wright-flyer/nasm_A19610048000
8. NASA,(2024). 1903 Wright Flyer https://airandspace.si.edu/collection-objects/1903-wright-flyer/nasm_A19610048000
9. Crouch Tom D. (4 Nis 2024) Wright'ın 1903 broşürü <https://www.britannica.com/topic/Wright-flyer-of-1903>
10. NASA,(2010). 1903 Wright Flyer <https://www.nasa.gov/image-article/wright-flyer/#:~:text=On%20Dec.,aerodynamic%20database%20of%20the%20Flyer.>
11. UTEĐ,(2023). Metal Kanatlar Hugo Junkers'in Anısına <https://www.uted.org/metalkanatlar#:~:text=Birinci%20D%C3%BCnya%20Sava%C5%9F%C4%B1'na%20giren,verdi%C4%9Fi%20tamamen%20metal%20u%C3%A7a%C4%9F%C4%B1n%C4%B1%20%C3%BCretti.>
12. Britannica E.(2024) Hugo Junkers-Alman uçak Tasarımcısı <https://www.britannica.com/biography/Hugo-Junkers>
- 13 Goyer I. (2022) Yıllar Ğçinde Çıĝır Açan Pistonlu Tek Motorlu Uçaklar <https://www.planeandpilotmag.com/news/pilot-talk/and-then-this-happened-piston-single-engine-breakthroughs/>
14. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Deperdussin_racer__Aero_and_Hydro_volume_1_pg_147.png
15. <https://www.history.navy.mil/content/history/museums/nnam/explore/collections/aircraft/s/sopwith-camel.html>
16. NASA,2015 Spad XIII "Smith IV" https://airandspace.si.edu/collection-objects/spad-xiii-smith-iv/nasm_A19200001000

17. Britannica E.(2024) Hugo Junkers-Alman uçak Tasarımcısı <https://www.britannica.com/biography/Hugo-Junkers>
18. NASA, Fokker Dr. I <https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/197402/fokker-dr-i/>
19. YUDAR S. (2023) Uçak Kanatlarının Değişiminin Geçmişten Geleceğe İncelenmesi <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2995310>
20. Britannica E.(18.03.2024) Hugo Junkers-Alman uçak Tasarımcısı <https://www.britannica.com/biography/Hugo-Junkers>
21. https://www.warbirds-aea.org/wp-content/uploads/2021/01/Albatros_10_1000X1000.jpg
22. ALTUNCUOĞLU N.(2022) KAYSERİ UÇAK FABRİKASI
23. JUNKERS, F13 <https://junkersaircraft.com/en/aircrafts/junkers-f13/#start>
24. NASA,Ford 5-AT Tri-Motor https://airandspace.si.edu/collection-objects/ford-5-tri-motor/nasm_A19740489000
25. NASA, B-2 <https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/195832/northrop-b-2-spirit/>
26. ÖZER Y. (2019) NANOTEKNOLOJİNİN ASKERİ UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/691976>

TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR VE HİDROJENİN HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANIMI

Seda Erkmen

Hasan Üye

Saadet Doğruel

ÖZET

Bu çalışma taşıtlarda doğrudan veya fosil yakıtlarla karıştırılarak kullanılmakta olan alternatif yakıtları göz önüne almaktadır. Bu araştırma kapsamında biyoyakıt kategorisine giren etanol, metanol ve biyodizel incelenmiştir. Biyoyakıtlar birincil ve ikincil biyoyakıtlar olarak ikiye ayrılırken, ulaşımda alternatif yakıt olarak kullanılanları ikincil biyoyakıt sınıflandırmasına girmektedir. Birincil biyoyakıtlar değiştirilmesi gerekmeden doğrudan ısıtma vs. amaçlarla kullanılabilirken, ikincil biyoyakıtlar birincil biyoyakıtların fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerle iyileştirilmesiyle elde edilir. Etanol ve metanol renksiz, kaynama ve donma sıcaklıkları birbirine yakın alkollerdir. Etanol motor performansını artırırken, metanol de vuruntu direnci özelliği sayesinde bu avantaja sahiptir. Biyodizelin en yaygın üretim yöntemi olan transesterifikasyon, trigliserit molekülünün alkol ve baz ile reaksiyona girerek, yağ esterleri ve gliserin oluşum sürecidir. Dizel yakıtına kıyasla işlenmesi, depolanması ve taşınması daha güvenilirdir. Çalışmada hava araçlarında kullanılmak üzere hidrojen alternatif yakıt olarak değerlendirilmiştir. Sıvı hidrojen günümüzde zaten uzay araçları ve roketlerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Kimyasal formülü LH_2 olan sıvı hidrojen, karbonsuz bir yakıt olduğu için karbondioksit emisyonu üretmez, tek yanma ürünü olarak su olduğundan temiz bir yanma sağlar. Islak yanma ile çalışan gaz türbinli motorlarda %90-100'e kadar hidrojen kapasitesine çıkılabilirken, kuru modda %30'lara çıkılabilmektedir. Motorları %100 oranında hidrojenle çalıştırabilmek için elektrolizle sağlanması gereken hidrojen miktarı çok yüksek güç ve fazla miktarda su gerektirmektedir. Gelecekte bu gücü ve su miktarını azaltacak yöntemler geliştirilebileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyoyakıt, Hidrojen, Emisyon, Fosil Yakıtlar, Kerosen

ALTERNATIVE FUELS USED IN VEHICLES AND THE USE OF HYDROGEN AS AN ALTERNATIVE FUEL IN AVIATION

ABSTRACT

This study considers alternative fuels used in vehicles, either directly or mixed with fossil fuels. Within the scope of this research, ethanol, methanol and biodiesel, which fall into the biofuel category, were examined. While biofuels are divided into primary and secondary biofuels, those used as alternative fuels in transportation are classified as secondary biofuels. Primary biofuels provide direct heating without needing to be modified, etc. Secondary biofuels are obtained by improving primary biofuels through physical, chemical and biological processes. Ethanol and methanol are colorless alcohols with boiling and freezing temperatures close to each other. While ethanol increases engine performance, methanol also has this advantage thanks to its knock resistance feature. Transesterification, the most common production method of biodiesel, is the process of reacting the triglyceride molecule with alcohol and base to form fatty esters and glycerin. It is more reliable to process, store and transport compared to diesel fuel. In the study, hydrogen was evaluated as an alternative fuel for use in aircraft. Liquid hydrogen is already used as fuel in spacecraft and rockets today. Liquid hydrogen, whose chemical formula is LH_2 , does not produce carbon dioxide emissions because it is a carbon-

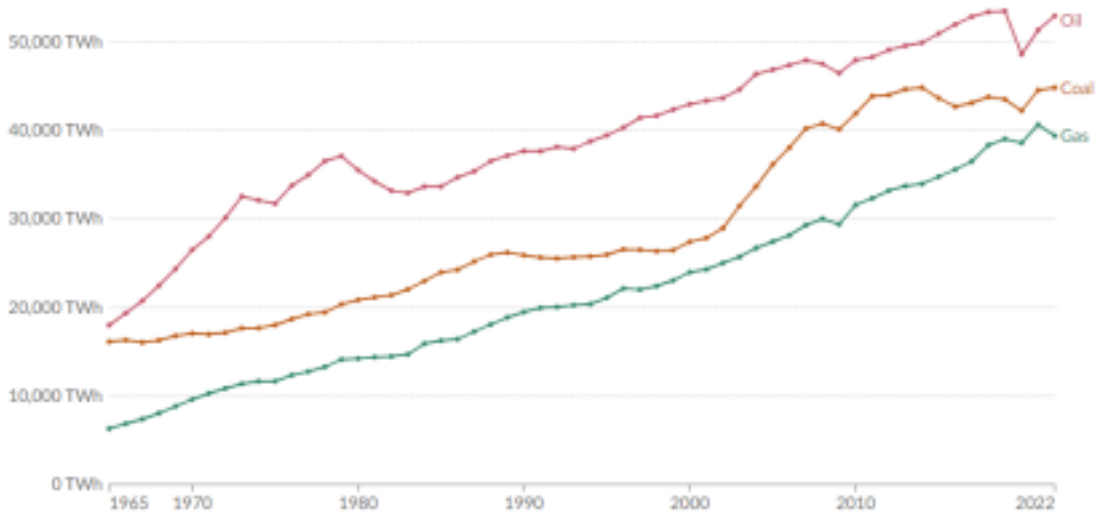
free fuel, and provides clean combustion since water is formed as the only combustion product. While gas turbine engines operating with wet combustion can reach up to 90-100% hydrogen capacity, it can go up to 30% in dry mode. In order to run engines with 100% hydrogen, the amount of hydrogen that must be provided by electrolysis requires very high power and a large amount of water. It is anticipated that methods may be developed to reduce this power and water amount in the future.

Keywords: Biofuel, Hydrogen, Emission, Fossil Fuels, Kerosene

1. Giriş

Elektrikli araçların kullanımı yaygınlaşmakta olsa dahi, günümüzde ulaşımda en önemli enerji kaynağı geçmişte olduğu gibi günümüzde de petrol türevleridir. Petrol ve doğal gaz başta olmak üzere fosil kaynaklı yakıtlara olan talebin 1980-2000 yılları arasında çok artmış olmasına karşın, rezerv sınırlılığı ve artan fiyatlar alternatif yakıt arayışlarını tekrar gündeme getirmektedir. Şekil 1’de 1965-

2022 yılları arasında kömür, petrol ve doğal gaz tüketim miktarları görülmektedir. Grafikte, süregelen alternatif yakıt arayışlarına karşın fosil yakıt tüketimi artışının devam ettiği görülmektedir. En çok tüketilen fosil yakıt geçmişten günümüze petrol olurken, 1965 yılından 2022 yılına kadarki süreçte yaklaşık 4 katına çıkmasıyla doğal gaz tüketimi en yüksek artış oranını gösterdiği göstermiştir [1]. Fosil yakıtların tüketim oranının hızlı artışı Şekil 1’de görülmekteyken, araştırmalar kömürün 216 yıllık ömrü olmasına karşın dünyamıza petrol rezervlerinin 40, doğalgaz rezervlerinin ise 62 yıl yeteceği sonucunu vermiştir [2]. Dünyada petrol rezervlerinin %64.5’i ulaşımda kullanıldığından, rezerv sorunu taşıtlarda alternatif yakıt arayışını gerektirmektedir.



Şekil 1. Yıllara Göre Fosil Yakıt Tüketimi [1]

Ülkemiz, 2022 yılında 3.58 milyon ton ham petrol üretimi yaparken, 33.49 milyon ton ham petrol ithalatı yapmıştır [3]. Üretimin 10 katı ham petrol ithalatı yapan ülkemiz için, yerine geçebilecek bir alternatif yakıt bulunması sonucu petrol kullanımının azaltılması, bu ithalata ayrılan bütçenin düşürülmesini ve enerji bağımsızlığını sağlayacaktır.

Fosil yakıtlar, kömür, petrol ve doğalgaz gibi organik maddelerin yıllar boyunca yer altında basınç ve sıcaklık altında ayrışması sonucu oluşan yanıcı bileşiklerdir. Bu yakıtların yanması,

atmosfere karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve diğer sera gazlarının salınmasına neden olur. 2018 yılında karbon emisyonları %2 artarak son 7 yılın en yüksek artışına ulaşmıştır [4].

Yeni yakıtların keşfedilmesi, günümüzde kullanılmakta olan içten yanmalı motorların performansını iyileştirmeyi ve örmünü uzatmayı sağlayabileceği gibi yeni teknolojilere de öncülük edebilir. Böylece enerji bağımlılığı, rezerv sorunu, sera gazı emisyonu sorunlarına çözüm getirilecektir.

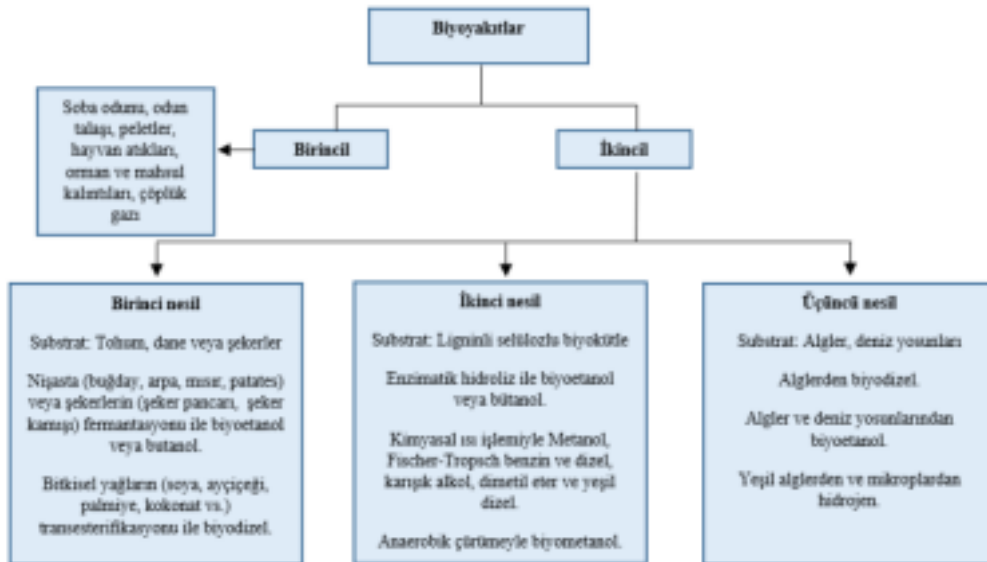
Hafif petrol ürünlerinden olan kerosen, havacılıkta çok yaygın kullanılan bir yakıttır. Kerosen depolama kolaylığı ve havacılık motorlarına yüksek yanma verimi sağlarken, petrol türevi olması dolayısıyla bahsedilen fosil yakıtların dezavantajlarına sahiptir.

Bu çalışmada taşıtlarda alternatif yakıt olarak birer biyoyakıt olan etanol, metanol ve biyodizel üzerinde durulacaktır. Havacılıkta ise hidrojenin alternatif yakıt olarak kullanılması incelenecek ve kerosene alternatif olup olamayacağı tartışılacaktır.

2. Biyoyakıtlar

Biyokütleden elde edilen biyoyakıtlar, temiz, çevreye dost ve verimli bir enerji kaynağıdır. Yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütle kalıntılarını ve atıkları azaltır. Zararlı (CH₄, CO₂, NO_x, SO_x gibi) emisyonları azaltır. Bunun yanında düşük pH ve füzyon sıcaklığı, yüksek yatırım maliyetleri, düşük enerji yoğunluğu ve biyoyakıt kaynaklarının sınırlı olması gibi dezavantajları bulunmaktadır [6]. Biyoyakıtlar katı, sıvı ve gaz yakıt olarak kullanılsa da ulaşım sektöründe sıvı yakıtlar kullanıldığından bu çalışmada sıvı yakıtların üzerinde durulmuştur. Sıvı biyoyakıtlar bitkisel yağlar, biyodizel ve biyoalkoller olarak sınıflandırılabilir. [5]

Biyoyakıtlar kendi içinde birincil ve ikincil olmak üzere ikiye ayrılırken ikincil biyoyakıtlar da 1., 2., ve 3. nesil olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Birincil biyoyakıtlar herhangi bir kimyasal işlem gerektirmeden kullanılabilirken, ulaşım sektöründe kullanılmakta olan etanol, metanol ve biyodizel de içeren ikincil biyoyakıtlar, birincil biyoyakıtların kimyasal işlemler uygulanarak iyileştirilmesiyle elde edilir. Biyoyakıtların sınıflandırması Şekil 2’de görülmektedir. İkincil biyoyakıtlar günümüze doğrudan veya fosil yakıtlarla karıştırılarak kullanılabilir. [5]



Şekil 2. Biyoyakıtların Sınıflandırılması [6]

2.1. Etanol

Etanol, şeker veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonundan elde edilen bir alkol çeşididir. Renksiz ve hafif kokuludur. Kimyasal formülü C_2H_5OH 'dır [7]. $-118\text{ }^{\circ}C$ donma ve $78\text{ }^{\circ}C$ kaynama sıcaklığına sahiptir. Tarım ürünlerinden, özellikle de şeker kamışı, şeker pancarı, patates ve tahıllardan üretilebilir. Birçok ülke, özellikle Brezilya, otomobillerde alternatif bir enerji kaynağı olarak etanol kullanmaktadır. Etanol genellikle benzinle karıştırılarak kullanılır ve bu karışımın oranı, depo kapaklarında ve akaryakıt istasyonlarının pompalarında belirtilir. Bazı ülkelerde, benzinin belirli bir yüzdesi etanol içermesi zorunludur. Etanol, motor performansını artırma ve emisyonları azaltma avantajlarına sahiptir. Ayrıca, yangın tehlikesi benzine göre daha düşüktür [8].

2.2. Metanol

Metanol, basit bir alkoldür ve hafif, uçucu, renksiz, yanıcı bir sıvıdır. Biyokütleden elde edilebildiği gibi kömür ve doğal gazdan olmak üzere fosil yakıtlardan da elde edilebilmektedir [7]. Kimyasal formülü CH_3OH olan metanolün donma sıcaklığı $-97.6\text{ }^{\circ}C$ ve kaynama sıcaklığı $65.1\text{ }^{\circ}C$ 'dir [8]. Donma ve kaynama sıcaklıklarının etanole yakın olmakla birlikte etanole kıyasla dezavantaj oluşturduğu görülmektedir. Metanol, vuruntuya dayanıklı olması sebebiyle sıkıştırma oranı yüksek motorlarda motor gücünde artış, daha yüksek sıkıştırma oranlarına olanak ve yakıt verimliliğinin artmasını sağlar. Tam yanma sağlayarak yanma partikülü oluşturmaz [7,8].

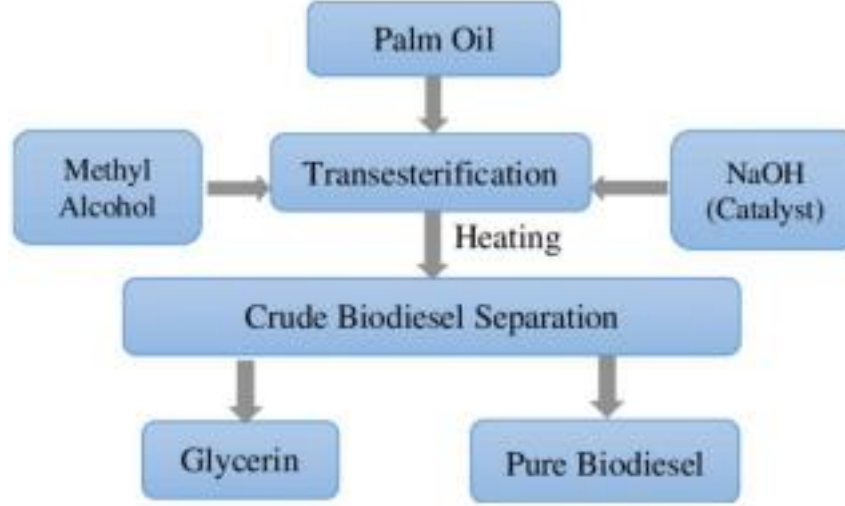
Özellik	Metanol	Etanol
Isıl verim	++	++
Soğuk start	-	--
Vuruntu dayanımı	++	++
Erken ateşleme	-	0
Malzeme dayanımı	--	-
Kirletici salınımı	++	+
Özgül motor gücü	++	++
Otomobilin sürülebilmesi	0	0

++: Çok iyi --: Çok kötü 0: Eşit +: İyi -: Daha kötü

Şekil 3. Etanol ve Metanolün Benzine Göre Avantaj ve Dezavantajları [11]

2.3. Biyodizel

Sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlar ve dizel yakıtlar için en uygun alternatif yakıt biyodizeldir. Biyodizel, yağlı tohum bitkilerinden veya hayvansal yağların katalizör yardımıyla reaksiyona girerek elde edilir. Bitkisel veya hayvansal yağlar, kısa zincirli alkollerle reaksiyona sokularak biyodizelle dönüştürülür. Biyodizel, araçlarda genellikle B5, B20, B50 ve B100 gibi karışımlar halinde yakıt olarak kullanılır. İsimlendirme, B5 %5 biyodizel ve %95 dizel içeren karışımı temsil edecek şekilde yapılmıştır. Biyodizelin enerji güvenliğini artırması, güvenlik faydaları sağlaması, hava kalitesini iyileştirmesi ve emisyonları azaltması gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca, biyodizel, dizel yakıtın kayganlığını artırarak hareketli parçaların erken aşınmasını önler ve setan sayısını yükseltir. Biyodizelin işlenmesi, depolanması ve taşınması dizel yakıtı kıyasla daha güvenilirdir [6].

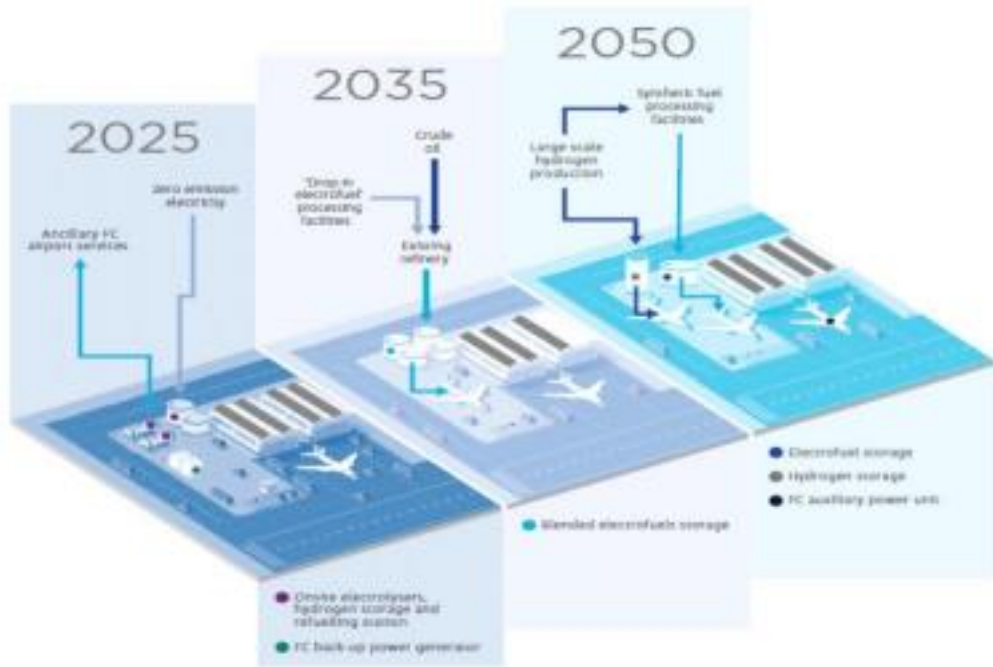


Şekil 4. Biodizelin Palmiye Yağından Üretim Süreci

3. Hidrojenin Havacılıkta Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması

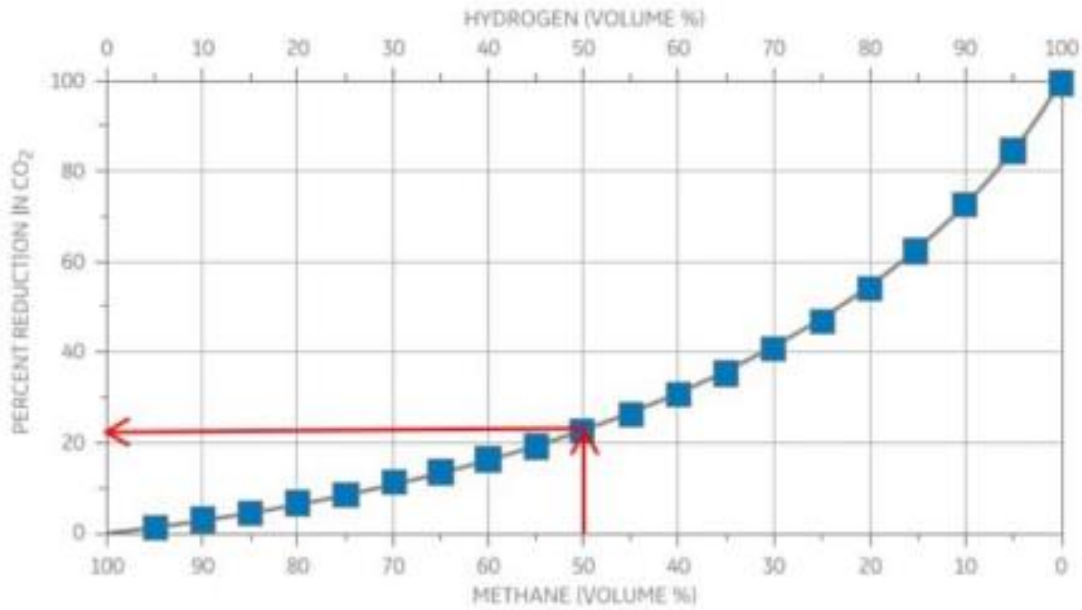
Hidrojen, karbonsuz bir yakıt olduğundan CO₂ emisyonu üretmez ve temiz bir yanma sağlar. Tam ve dengeli bir yanma reaksiyonunda tek yanma ürünü su olur. Hidrojene avantaj sağlayan bir diğer faktör de yüksek tutuşma sıcaklığıdır. Hidrojenin tutuşma sıcaklığı 858 K civarı ile benzinin tutuşma sıcaklığından (530 K) çok daha yüksektir [11].

Sıvı hidrojen (LH₂), uzay araçları ve roketlerde kullanılan temiz bir yakıttır. Bu sıvı form -253 °C gibi düşük sıcaklıklarda ve yüksek basınç altında elde edilir. Hidrojenin elektrolizle elde edilebilmesi için öncelikle su molekülü iyonlarına ayrılır. Elektroliz sırasında, bir elektrolit solüsyonunda, genellikle su içinde bulunan ve iyonlara ayrılabilen bir tuz çözeltisi, iki elektrot arasında bir güç kaynağına bağlı bir devre oluşturulur. Bir elektrot, hidrojen gazının çıkmasını sağlayan katot olarak adlandırılırken, diğer elektrot, oksijen gazının serbest kalmasını sağlayan anot olarak adlandırılır. Elektrik akımı, katot elektrotuna doğru hareket ederken su moleküllerini hidrojen (H₂) ve hidroksil (OH⁻) iyonlarına ayırır. Hidrojen gazı katot elektrotunda toplanırken, aynı anda hidroksil iyonları anot elektrotunda oksijen (O₂) ve su (H₂O) oluşturmak için birleşir. Sonuç olarak, elektroliz süreci hidrojen gazı (H₂) ve oksijen gazı (O₂) üretir. Hidrojen gazı, toplanarak sıvı hidrojen olarak depolanır ve daha sonra çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Hidrojen üretimi, elektroliz veya doğrudan termal dönüşüm yoluyla nükleer enerjiden olabileceği gibi, rüzgar veya güneş gibi yenilenebilir kaynaklardan da olabilir. Havacılık sektöründe planlanan hidrojen teknolojileri Şekil 5'te görülmektedir [10].



Şekil 5. Hidrojen Teknolojisinde Planlanan Gelişmeler

Şekil 5, CO₂ emisyonları ile hidrojen/metan yakıt karışımları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu ilişki doğrusal değildir çünkü gaz türbini sabit bir ısı girdisi gerektirir ve hidrojenin enerji yoğunluğu daha düşüktür, bu yüzden hidrojen içeren bir karışım daha az hidrojen içerir. CO₂ emisyonlarını azaltmak için önemli miktarda metanın (%50'den fazla) hidrojenle ikame edilmesi önemlidir. Örneğin, %50 hidrojen içeren bir karışımda, ısı içeriğinin %24'ü hidrojenden gelir ve bu da CO₂ emisyonlarında yaklaşık %20 azalmaya yol açar [10].



Şekil 5. CO₂ Emisyonları ile Hidrojen/Metan Yakıt Karışımları Arasındaki İlişki (%hacim) [10]

GE, hidrojen konsantrasyonu çok çeşitli olan yanma teknolojilerine sahiptir. Islak yanma ile günümüzde aeroderivatif motorlar %90, B/E-sınıfı ağır hizmet gaz türbinleri ise %100 hidrojen ile çalışabilmektedir. F-Sınıfı, 9FA motorları kuru modda yaklaşık %30 hidrojen içeriğiyle çalışabilirken, GE, HA-Sınıfının bile %50'ye kadar hidrojen operasyonu kapasitesine sahiptir. Şekil 6, GE'nin motorlarını tam yükte %100 hidrojenle çalıştırmak için hidrojen sağlamak üzere elektroliz için gereken güç ve su miktarını göstermektedir. Gelecekte elektrolizör verimliliğinin artırılması, güç ihtiyaçlarının bir kısmını azaltabilir, ancak hidrojen ekosistemi oluşturmak için büyük güç ve su kaynaklarına ihtiyaç duyulacaktır. GE'nin analizi, F veya H sınıfı gaz türbinlerine %100 hidrojen sağlamak amacıyla suyun elektrolizi için gereken gücün, gelecekte planlanan yenilenebilir enerjiden daha büyük olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, elektrik üretiminde kullanılmak üzere büyük miktarlarda hidrojen üreten bir enerji ekosistemi oluşturmak, çok daha büyük miktarlarda yenilenebilir enerji gerektirecektir [10].

Gaz Türbini	H₂ Üretmek İçin Gereken Su (m³/saat)	Gerekli Elektroliz Gücü (GWh)
GE-10	10	500
TM2500	27	1500
6B.03	37	2000
6F.03	68	3600
7F.05	172	9400
9F.04	212	11400
9HA.02	361	19500

Şekil 6. Hidrojenle Çalışan GE Motorları İçin Gereki Su ve Elektroliz Gücü [10]

Hidrojenin havacılık yakıtı olarak kullanılması, uçak ve motor tasarımlarında değişiklikler gerektirir. Yakıtın depolanması için farklı yerleşimler düşünülebilir, ancak bu, uçağın ağırlık merkezini etkileyebilir. Bir seçenek, yolcu kabının arkasında ve önünde tanklar bulunduraktır. Orta menzilli uçaklarda üstteki tank kullanıldığında enerji potansiyeli artabilir. Sıvı hidrojenin uygun şekilde depolanması için düşük sıcaklıklar gereklidir. Depolama teknolojisinin seçimi, hidrojen miktarı, depolama alanı ve enerji kullanımı gibi faktörlere bağlıdır. Depolama teknolojileri arasında sıkıştırma, sıvılaştırma ve kimyasal yöntemler bulunur. Bu teknolojiler, hidrojenin gaz veya sıvı formda depolanmasını sağlar [11].

4. Sonuç

Çalışmamızda biyoyakıtlardan etanol, metanol ve biyodizel taşıtlar için alternatif yakıt olarak incelenmiştir. Etanolün benzin ile karıştırılıp kullanılması incelenmiş ve litre başına daha az enerji sağladığı görülmüştür. Bu da araçların saf benzin kullanımına kıyasla daha sık yakıt ikmali gerektireceği anlamına gelir. Büyük çaplı etanol üretimi ve dağıtımı, zaman zaman yüksek maliyetlerle beraber gelir. Özellikle biyokütlenin toplanması, işlenmesi ve etanol üretimi oldukça karmaşık bir süreç olabilir. Saf etanol, düşük sıcaklıklarda başlangıç

sorunlarına neden olabilir. Özellikle soğuk iklimlerde, etanol bazlı yakıtların kullanımı araç performansını olumsuz etkileyebilir. Bu dezavantajlar, etanolün geniş çapta kullanılmasını kısıtlamaktadır.

Metanol ile karıştırılmış benzinlerde, alkol oranı, su miktarı, çevresel sıcaklık ve benzinin bileşimi gibi faktörlere bağlı olarak faz ayrışması meydana gelir. Faz ayrışması sonucunda, karışımla çalışan bir motorda düzensiz yanma, sarsıntılar ve ilk hareket zorlukları gibi sorunlar ortaya çıkar. Faz ayrışmasını engellemek için alkollü benzinlere çeşitli katkı maddeleri eklenmesi gerekmektedir.

Metanolün maliyetinin benzine göre daha yüksek olması ve yenilenemeyen doğal kaynakları kullanması nedeniyle uzun süreli kullanımı kısıtlıdır. Üretimi enerji dengesi negatif olduğundan, kullanılan enerji, üretilen metanolün yanmasıyla elde edilen enerjiden daha fazladır. Setan sayısı düşük olmasına rağmen oktan sayısı yüksek olduğundan, dizel motorlarda kullanımı sorunludur. Ayrıca enerji yoğunluğu düşük olduğundan, daha büyük ve ağır bir yakıt deposu gerektirir ve tıpkı etanol gibi soğuk havalarda motorun çalıştırılmasını zorlaştırabilir.

Biyodizel, dizelden %8 daha düşük bir enerji içeriğine sahiptir ve %5 verim kaybına neden olur. Bu durum, aynı araç menzili için biyodizel yakıt depolarının dizelden yaklaşık %15 daha ağır ve %9 daha büyük olması gerektiği anlamına gelir. Ayrıca biyodizel, dizelden daha pahalıdır.

Biyodizel de etanol ve metanol gibi düşük sıcaklıklarda motor sorunlarına neden olabilir; çünkü pullanma sıcaklığı -7°C iken biyodizelde $+3^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu durumda yakıt jelleşerek filtrelerin tıkanmasına ve akışın engellenmesine yol açar, bu da yakıt tüketimini artırır.

Bitkisel yağların yüksek viskozitesi, biyodizelin silindirlere enjekte edilmesi sırasında damlacık boyutunun büyümesine ve yanmanın tam gerçekleşmemesine neden olur. Bu durum, yanma odasında birikimlere, motor yağına karışarak yağın seyreltilmesine ve enjektörlerin tıkanmasına yol açabilir. Biyodizel yanma kalıntıları, sık filtre değişimlerine ve tank temizleme gereksinimlerine neden olabilir. Bu sorunu çözmek için biyodizel yakıtı, belirli oranlarda dizel yakıtla karıştırılır.

Kısa vadede, özellikle hidro-işlenmiş yenilenebilir jet yakıtlarının kullanımı, biyoyakıtların en muhtemel ve uygun seçeneği olarak öne çıkmaktadır. Bu yakıtlar, zaten önemli yatırımlara sahiptir ve geleneksel jet yakıtından SAF'ye geçiş, minimum değişiklik gerektirecektir. SAF teknolojisi oldukça olgunlaşmış durumda ve devam eden araştırma ve geliştirme için büyük fonlar almaktadır. Bu nedenle, biyoyakıtların ekonomik olarak kerosen ile rekabetçi hale gelmesi ve kerosen fiyatlarının artmasıyla birlikte, yakın gelecekte ticari uçuşlarda fosil yakıtlara alternatif olabileceği öngörülmektedir.

Sıvı hidrojen, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak dikkat çekerken, LH_2 ile çalışan uçakların gelecekte heyecan verici bir potansiyele sahip olduğunu gösteriyor. Ancak, LH_2 'nin ticari havacılıkta kullanılması büyük değişiklikler ve önemli yatırımlar gerektirecektir. Bu durum, en azından kısa vadede jet yakıtı olarak LH_2 'nin kerosenin yerini almasının pek olası olmadığı göstermektedir.

Kaynaklar(References)

1. Hannah Ritchie and Pablo Rosado (2017) - "Fossil fuels" Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/fossil-fuels' [Online Resource]
2. Aydın, D.S. (2014). Nükleer enerji 2023 yılında Dünya'nın en büyük ilk 10 ekonomisi arasında yer almayı hedefleyen Türkiye Cumhuriyeti'nin enerji ihtiyacına çare olabilir mi?
3. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Petrol: <https://124.im/AW16>
4. BP Statistical Review of World Energy (2019): <https://124.im/Fusr>
5. Yılmaz, N., & Atmanlı, A. (2016). Havacılıkta alternatif yakıt kullanılmasının incelenmesi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 3-10.
6. Işık, S., & Yavuz, S. (2022). Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 193-201.
7. Bayrakçeken, H., & Kuş, R. (2006). TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 125-144.
8. Ugurlu, A., & Oztuna, S. (2015). A comparative analysis study of alternative energy sources for automobiles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 11178-11188.
9. Karaosmanoğlu, F. (1990). *Alkollü benzinlerin alternatif motor yakıtı olarak değerlendirilmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
10. AFRY White Paper (2022): <https://124.im/GnIz9>
11. Yusaf, T., Fernandes, L., Abu Talib, A. R., Altarazi, Y. S., Alrefae, W., Kadrigama, K., ... & Laimon, M. (2022). Sustainable aviation—Hydrogen is the future. *Sustainability*, 14(1), 548.

FARKLI HAVA KOŞULLARININ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ebrar COŞKUN
Sezai Alper TEKİN

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım
Mühendisliği Kayseri/Türkiye

ÖZET

Yakın geçmişteki teknolojik yenilikler ve hızla meydana gelen gelişmeler sonucu ortaya çıkan sistemlerden en öne çıkanlardan biri olan İnsansız Hava Araçları (İHA) günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. İlk olarak keşif, gerçek zamanlı görüntü istihbaratı gibi görevlerde kullanılan İHA'lar yapılan çalışmalarla birlikte çok daha farklı görevlerde kullanılmaya başlanmıştır. Günlük kullanımlardan mühimmatlı görevler icra eden İHA'lara kadar çok geniş bir alanda tercih edilmektedirler. İHA'ların alışlagelmiş insanlı sistemlerden çok daha farklı olmaları sebebiyle kullanımda sorunlar yaşanabilmektedir. Bu sorunların başında öngörülemediği hava koşullarında mevcut İHA sistemlerinin yetersizliği gelmektedir. Bu çalışma belirli hava koşullarının İHA sistemlerini nasıl etkilediği ve bu etkilerin ne gibi çözüm önerileriyle giderilebileceği doğrultusunda sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *İnsansız Hava Araçları (İHA), Hava Koşulları, Pil Ömrü, Kanat Profili, Uçuş Görünürlüğü*

1. GİRİŞ

İnsansız hava aracı (İHA) bazı durumlarda İngilizce ismi olan drone ile de karşımıza çıkmaktadır. Bir tür uçan araç olan İHA'ların en temel özelliği içerisinde bir insan bulundurmadan, yer tabanlı bir kontrolör aracılığıyla iletişimin sağlanmasıdır. Temel olarak baktığımızda İHA'ları ikiye ayırabiliriz. Uzaktan kumanda edilerek, bir kontrolör yardımıyla uçanlar ve kendiliğinden belli bir uçuş planı üzerinden otomatik olarak hareket edebilenler. İHA'lar keşif, savunma amaçlarıyla çokça kullanılan sistemlerdir.

Son yıllarda gerçekleşen teknolojik ilerlemeler insansız hava araçlarının tarihinin oldukça kısa olduğu algısını yaratsa da insansız hava araçlarının ilk kullanımı insanlı uçaklardan öncesine dayanmaktadır. İnsansız hava araçlarına dair ilk kullanım olarak 1849 yılında Avusturyalıların Venedik şehrine yolladığı paylatıcı yüklü balonlar kabul edilmektedir. [1]

Yakın gelecekte itibaren insansız hava araçları sivil ve askeri birçok görevde kullanılmaya başlanmıştır. 2000'li yıllardan itibaren insansız hava araçları yaygınlaşmış ve askeri amaçların yanı sıra birçok sivil görev için de kullanılmaya başlanmıştır. Bu insansız hava araçlarının tasarımında ortaya koyulan konseptler bugün hala devam etmektedir. İnsansız hava araçlarının insan operatör taşımadan, uzaktan veya otonom olarak kontrol edilebilmesi maliyet ve emniyet yönünden insanlı uçaklara göre üstünlükler taşımaktadır. Günümüzde

İnsansız hava araçları ile, insan pilotların uçmakta zorlanacağı menziller ve havada kalma süreleri, otonom rota kontrolü yapılarak belirli bir rota takibi ile uçulabilmekte, bu tür gözlem görevleri kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. İnsansız hava araçları marketi sadece askeri olarak değil, sivil olarak da hızla büyümektedir. Sivil insansız hava aracı platformları trafik gözlem, afet yönetimi, altyapı incelemesi, kolluk kuvvetleri ve tarımsal rekolte tahmini gibi amaçlarla kullanılmaktadır. İnsansız hava araçları sayesinde düşük operasyonel maliyet ile aynı irtifadan belli süre aralıklarıyla rutin olarak görüntü kaydedebilmektedir. Bu işlemin sonucunda görüntü işleme metotları ile topografik haritalama gerçekleştirilebilmektedir. İnsansız hava araçları gösterilen gelişim sonucu çok çeşitli boyutlarda üretilmektedir. İnsansız hava araçlarında tek göreve odaklı mikro hava araçlarından, birçok görevi bir arada gerçekleştirebilen akıllı otonom sistemlere kadar büyük çeşitlilikler görülebilmektedir. [2]

1.1 Temel İHA Bileşenleri

İHA'lar temel olarak;

- Ana gövdeyi oluşturan iskelet, kanat, pervane, motor ve batarya
- Kontrol birimini oluşturan elektronik algılayıcılar, haberleşme elektroniği, GNSS •

Kullanım amacına yönelik olarak sensör, kamera, algılayıcılar

- İHA planlama, uçuş ve yönetimi amaçlı haberleşme, yazılım ve donanım

Parçalarından oluşmaktadır.

2. FARKLI HAVA KOŞULLARININ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINA OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

İHA'lar her ne kadar teknolojinin de ilerlemesiyle birlikte gelişmeler gösterecekler de halen halihazırda eksiklikleri mevcuttur. Bunların başında belirli hava şartlarında İHA'ların ne tür davranışlar sergilediğinin kontrollü bir şekilde takibinin yapılabilmemesi çözüm önerilerinin sunulmaması gelmektedir. Bu konuda yürütülen çalışmaların ve açık kaynakların yetersizliği tespit edilerek farklı hava koşulları İHA'ları nasıl etkiler sorusuna cevap olması mahiyetinde bu çalışma yürütülmüştür. Peki belirli hava koşullarının İHA'lar üzerindeki etkisi nedir?

Genel itibari ile İHA'ların aşırı sıcak havalarda yapılacak uçuşlardan uzak tutulması tavsiye edilir çünkü ısının İHA'nın çeşitli kısımları üzerinde olumsuz etkileri olabilir. Sıcak havanın yoğunluğu azdır ve bu durumda da İHA pervaneleri kaldırma kuvveti oluşturmada zorlanır. Buna bağlı olarak İHA bataryası kaldırma kuvveti oluşturmaya çalışırken aşırı ısınabilir ve bu durumda uçuş süresinde kısalmalar, aşırı ısınan bataryalarda patlamalar sonucunda İHA'da ciddi hasarların meydana geldiği senaryolarla karşılaşılabilir. İHA'da meydana gelen aşırı ısınma kablolu bağlantılara veya elektronik aksamına zarar verebilir. Sıcak havalarda aşırı ısınmayı engellemenin önüne geçmek için İHA gövdesinde beyaz gibi ısıyı çok çabuk emmeyen renkler tercih edilebilir. Sıcak havalarda düzenlenen bir uçuş senaryosunda uçuş senaryosunu güvenli kılmak ve uçuş süresini uzatmak adına İHA ve pili daha serin tutmak için çalışmalar yapılabilir. Birçok İHA'da parlak/yansıtıcı yüzeylere duyarlı IR sensörleri

bulunur. Yansıtıcı yüzeyler sensörlerin mesafeyi yanlış algılamasına, yanıltıcı sonuçlar vermesine sebep olabilir ve bu da en kötü senaryoda çarpışmalara sebep olabilmektedir. Güneşli havalarda yansıtıcı yüzeylerden uzak konumlarda uçuş gerçekleştirmek uçuş güvenliği üzerinde etkisi olabilecek etkenlerdendir. [3]

Yağmurun İHA üzerindeki etkisi İHA'nın türüne bağlı olarak değişmektedir. Bazı İHA'lar su geçirmezdir bu nedenle büyük sıkıntılar yaşanmaz ancak İHA'ların kuru tutulması tavsiye edilir. Yağmurlu havada uçurulan İHA düşme riski altındadır. Yağmur suyu nedeniyle elektrik bileşenlerinde kısa devre meydana gelme olasılığı yüksektir. İHA tasarımı suya duyarlılığı belirleyen bir husustur. Örneğin İHA üzerindeki havalandırma delikleri ne kadar büyükse su motora o kadar kolay ulaşacaktır. Su doğrudan güç panosuna ulaşarak kısa devreye sebep olabilir ve devre kartının bileşenlerini yakarak veya kabloları eriterek hasara sebep olur. Bu gibi hasarların önüne geçmek adına hava deliklerinin boyutunda yapılacak küçük değişimler, suya dayanıklı malzeme seçimi yağmurlu havalardaki uçuş senaryolarında artı sağlayabilir. [3]

Nem, yağmurun İHA üzerindeki etkilerinin daha uzun vadede meydana geldiği hava koşuludur. Nem seviyesinin yüksek olduğu ortamlarda gerçekleştirilen uçuşların ardından İHA'nın temizlenmesi uzun vadeli hasarları önlemek adına kritiktir. Yüksek nem İHA'nın elektrik aksamına zarar verebilir, uzun vadede korozyon meydana gelmesine sebebiyet verebilir.

Rüzgarlı havalarda uçuş tehlikeli olabilir ancak yine de İHA moduna, rüzgar hızına bağlı olarak uçuşlar düzenlenebilir. Uçuş öncesinde anemometre kullanarak rüzgar hızını, yönünü ve basıncını ölçmek koruyucu bir önlem olabilir. Yatay eğimi nedeniyle İHA ileri yönde hareket ediyormuş gibi görünse de rüzgar yönünün tersinde kaldığında bir kuvvete maruz kalacaktır ve İHA bunu tolere etmeye çalışırken havada asılı kalacaktır. Ayrıca pervaneler ve motorlar tarafından daha yüksek elektrik gücüne olan talep yüzünden kuvvetli rüzgarlarda uçarken güç tüketiminin fazla olması önüne geçilmesi gereken farklı bir sorundur. Görüntü almayı amaçlayan operasyon senaryolarında savrulma ya da sürüklenme durumlarında stabil ve istenen kalitede görüntü olabilmek için İHA kararlılığının sağlanması önemli etkidir. İHA'lar rüzgara karşı hassastırlar ve uçuş performansı üzerinde etkilidirler. İHA'nın boyutu ya da kanat profili rüzgara dayanmak için kritik rol oynayabilir. İHA'nın yük taşıdığı senaryolarda ise İHA üzerindeki ağırlık dağılımı değiştikçe ağırlık merkezi ayarları değişebilir ve bu da İHA'nın dengesinin bozulmasına daha kötü senaryoda da çarpma potansiyeline sahiptir. Bundan ötürü taşınan yükün doğru ve olması gerektiği gibi sabitlendiklerinden emin olmak gerekir. [6]

Soğuk hava koşullarında İHA'ların ilk etkilenen bölümleri pilleri olmaktadır ve bu durum dolayısıyla uçuş sürelerinde azalma gözlemlenmektedir. Modern İHA'larda soğuk havalarda daha hızlı boşalma eğilimi gösteren LiPo piller kullanılmaktadır. Bu hızlı boşalma eğiliminin sebebi ortamın soğumasıyla beraber kimyasal aktivitelerin azalmasıdır. Bu durumda İHA havada yeterince uzun süre kalamaz bunun bir sonucu olarak da sistemle bağlantının kopması ya da kaybolması söz konusu olabilir. Bunun önüne geçmek adına kendinden ısınan piller ya da pil ısıtıcıları kullanılabilir ya da yeni sistemler geliştirilebilir. Aynı zaman da özellikle kış ayları baz alındığında sis ve kar yağışı dolayısıyla görüş mesafesi genellikle düşüktür bu da düşük görünürlüğe sebep olacaktır. Özellikle görüntü almak için bir uçuş düzenlenecekse kamera tam kapasiteyle kullanılamayacaktır. Donma noktasının altındakisıcaklıklarda düzenlenecek uçuş senaryolarında pervanelerde buzlanma riski ve pillerin soğuk dolayısıyla hızlı boşalması göz önünde bulundurulması gereken etkenlerdendir. [5]

Yüksek irtifalarda düzenlenen uçuş senaryolarında hava yoğunluğunun düşük olması mutlaka dikkat edilmesi gereken durumlardandır. Hava yoğunluğunun az olması motorun ve pervanelerin havadaki hareket karakteristiğini etkileyebilir. Hava yoğunluğu az olduğunda pervaneler daha az kaldırma kuvveti üretir, daha fazla motor itki kuvvetine ihtiyaç duyulabilir.

Yüksek irtifada gerçekleştirilecek uçuşlara özel olarak farklı eğitim ve açıklığa sahip pervaneler geliştirilebilir.

Uçuşun güvenliği açısından iyi bir görüş açıklığı kritiktir. Sis/pus gibi görüşü etkileyen durumlarda uçuş gerçekleştirmek İHA kontrolünü kaybetmeye, çarpma veya çarpışmalara, ve İHA'yı kaybetmeye sebebiyet verebilir. Görüntü olmak amacıyla düzenlenecek uçuş senaryolarında kameranın tam kapasiteyle kullanılamamasına sebebiyet verebilir. [7]

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Farklı hava koşullarında İHA'ların sergilediği davranışlar incelenmiştir. Edinilen bilgiler ve yapılan araştırmalar sonucu olarak bu çalışma sunulmuştur. Edinilen bilgiler ışığında soğuk hava koşullarında İHA'ların ilk etkilenen bölümleri pilleri olmaktadır ve bu durum dolayısıyla uçuş sürelerinde azalma gözlemlenmektedir. Modern İHA'larda soğuk havalarda daha hızlı boşalma eğilimi gösteren LiPo piller kullanılmaktadır. Bu hızlı boşalma eğiliminin sebebi ortamın soğumasıyla beraber kimyasal aktivite azalmasıdır. Bu durumda İHA havada yeterince uzun süre kalamaz bunun bir sonucu olarak da sistemle bağlantının kopması ya da kaybolması söz konusu olabilir. Kendinden ısıtmalı piller ya da pilin ısısının korunmasını sağlayan yeni sistemlerin geliştirilmesi bu sorunun önüne geçebilecek potansiyelindedir. Aynı zamanda özellikle kış ayları baz alındığında sis ve kar yağışı dolayısıyla görüş mesafesi genellikle düşüktür bu da düşük görünürlüğe sebep olacaktır. Özellikle görüntü almak için bir uçuş düzenlenecekse kamera tam kapasiteyle kullanılamayacaktır. İHA'lar rüzgara karşı hassastır ve uçuşun meteorolojik koşulları da dahil olmak üzere çeşitli faktörler İHA performansını etkiler. İHA'nın boyutu ya da kanat profili rüzgara dayanmak için kritik rol oynayabilir. Rüzgarlı havalarda İHA'larda sürüklenme veya çarpmalar gözlemlenebilmektedir. İHA'nın bir yük taşıdığı senaryolarda ise İHA üzerindeki ağırlık dağılımı değiştikçe ağırlık merkezi ayarları değişebilir ve bu da İHA'nın dengesinin bozulmasına daha kötü bir senaryoda da çarpma potansiyeline sahiptir. Yük taşıma görevi icra edilen senaryolarda yükün mutlaka doğru bir şekilde sabitlenmesi gerekmektedir.

Hava durumu İHA uçuşu üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. İHA işlevselliği ve uçuş güvenliği hava koşullarına büyük oranda bağlıdır. Hava koşullarının İHA performansı ve uçuşunu etkileyen en önemli faktörlerden olduğu uçuş operasyonlarından önce mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Gerekli önlemler alındığı takdirde her koşulda uçuşlarını ve görevlerini gerçekleştirebilecek İHA'lar mümkündür. Belirli hava koşullarında saptanan problemler üzerine iyileştirme çalışmaları yürütülerek güvenli bir şekilde, hava koşullarından kaynaklanan olumsuz etkiyi en aza indirerek uçuş gerçekleştirmek mümkündür.

KAYNAKÇA

- 1) Fatif TUNA: Increasing drones' combat effectiveness: An alternative analysis for integration into comprehensive military and technological systems
- 2) Vaishani Gautam: Smart Agriculture: The Age of Drones in Agriculture
- 3)<https://thecompletedrone.com/how-do-weather-conditions-affect-drone-flying-and-what-precautions-should-a-beginner-take/>
- 4) Cengiz KARAAĞAÇ: Geleceğin İnsansız Aracı İHA Uçuş Sistemlerinde Uçuş Emniyeti
- 5) <https://www.copter.bg/en/blog/does-cold-weather-affect-drones>
- 6) Hazard Detection and Forecasting Capabilities: Weather Guidance for Uncrewed Aircraft Systems (UAS)
- 7) Danışman VURAL, Robert F. DELL, Erkan KOSE: Locating unmanned aircraft systems for multiple missions under different weather conditions

TEK KULLANIMLIK KULLAN AT ASKERİ YÜK PARAŞÜT SİSTEMLERİ

Ebru BAHÇECİOĞLU

GİRİŞ

Tek kullanımlık askeri yük paraşütleri, genellikle askeri operasyonlarda askeri ekipmanların veya malzemelerin belirli bir bölgeye hızlı ve güvenli bir şekilde indirilmesi için kullanılan özel paraşüt sistemleridir. Bu paraşütler, hava indirme operasyonlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır ve bir kez kullanıldıktan sonra atılabilir veya imha edilebilirler.

Tek kullanımlık askeri yük paraşütlerinin genellikle aşağıdaki özelliklere sahip olmaları beklenir:

1. Dayanıklılık: Askeri yük paraşütleri, taşınacak olan ekipmanın ağırlığına ve hava koşullarına dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu paraşütler, çeşitli ortamlarda kullanılmak üzere sert malzemelerden yapılmış olabilir.

2. Hızlı Açılma: Acil durumlarda hızlı bir şekilde açılabilme yeteneği önemlidir. Bu paraşütler, genellikle otomatik açılma mekanizmalarıyla donatılmıştır, böylece yük hızla indirilebilir.

3. Doğruluk ve Hassasiyet: Askeri operasyonlarda, yüklerin belirli bir bölgeye doğru ve hassas bir şekilde indirilmesi önemlidir. Bu nedenle, paraşüt sistemlerinin doğruluk ve hassasiyet konusunda yüksek bir performans göstermesi beklenir.

4. Kolay Kullanım ve Taşınabilirlik: Askeri personelin bu paraşütleri kolayca kullanabilmesi ve taşıyabilmesi önemlidir. Bu nedenle, paraşüt sistemleri genellikle hafif ve taşınabilir olabilir.

Bu tür paraşütler, lojistik destek, acil yardım operasyonları, askeri malzeme tedariki ve benzeri görevlerde yaygın olarak kullanılabilir. Ancak, kullanıldıktan sonra genellikle geri dönüştürülmezler ve yeniden kullanılmazlar.

Askeri Yük Paraşütlerinin Sınıflandırılması

Askeri yük paraşütleri genellikle belirli amaçlara ve taşınacak yüklerin özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Yaygın olarak kullanılan 6 grup:

1. Hafif Yük Paraşütleri:

- Genellikle küçük ekipmanlar , silahlar, ilaçlar, yiyecek gibi hafif ve taşınabilir malzemelerin indirilmesi için kullanılır.
- MC-4 Parafoil, MS-5 Cargo Parachute bu grubun örnekleridir.

2. Orta Ağırlık Yük Paraşütleri:

- Mühimmat, taşınabilir araçlar, lojistik malzemeler gibi yüklerin indirilmesi için kullanılır.
- ATP-14 Parachute, G-12 Cargo Parachute bu grubun örnekleridir.

3. Ağır Yük Paraşütleri:

- Büyük ve ağır yüklerin indirilmesi için kullanılır. Araçlar, silah sistemleri, yakıt tankları örnekleridir.
- G-11 Cargo Parachute, Low Altitude Parachute Extraction system bu gruba

4. Hassas İndirme Sistemleri:

- GPS ve diğer navigasyon sistemleriyle entegre edilmiş paraşüt ailesidir. Belirli hedeflere indirme yapmak için kullanılırlar.

- JPADS bu grubun en önemli üyesidir.

5. Tek Kullanımlık Yük Paraşütleri:

- Bir defa kullanıldıktan sonra atılan ve genellikle operasyonel alanlarda lojistik destek sağlamak için kullanılan paraşütlerdir.
- TAFAMS, Individual Airdrop System.

6. Hava İndirme Operasyonları için Özel Paraşütler:

- Özel kuvvetler veya stratejik operasyonlar için tasarlanmış özel paraşüt sistemleridir. • HALO (high altitude low opening) Parachute ve HAHO (high altitude high opening) parachute örnekleridir.

Yukarıdaki sınıflandırma amaç ve yükün özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Paraşütleri irtifaya göre sıralamak istersek düşük irtifa 500-1.200 feet, orta irtifa 2.000-3.000 feet ve yüksek irtifa genellikle 15.000 feet ve üzeri indirme yapacak şekilde tasarlanmışlardır. İrtifaya göre paraşüt örnekleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

İrtifaya Göre

Düşük İrtifa

Low-Cost, LCLA parafoil System

CDS Container Delivery System

JPADS Ultra

Lighweight

Container Delivery System-Extracted (CDS-X)

CDS G-12 Cargo Parachute

Orta İrtifa

MC-4 Parafoil

MS-5 Cargo

Parachute

ATP-14 Parachute

Yüksek İrtifa

High Altitude High Opening Parachute

High Altitude Low Opening Parachute

MC-6 HALO

Parachute

Paraşütün Geliştirilmesi:

Paraşütler malzeme, tasarım ve teknolojiadaki ilerlemeler sayesinde zaman içinde sürekli olarak iyileştirilmektedir. Paraşütlerin geliştirilmesi, performans, güvenlik ve güvenilirliği artırmayı hedefleyen çeşitli temel ilkeleri kapsamaktadır. Örnek göstermek istersek:

- **Malzeme İnovasyonu:** Paraşüt geliştirmede odaklanılan alanlardan biri ileri malzemelerin kullanılmasıdır. Dayanıklılık, yırtılmaya karşı direnç ve daha iyi aerodinamik özellikler malzemede aranan özellikler arasında gösterilebilirler. Türlü çevresel koşullara ve streslere dayanabilecek daha gelişmiş malzemeler geliştirmek için araştırmalar devam etmektedir.
- **Aerodinamik Tasarım:** Paraşüt tasarımı performansta kritik bir rol oynar. Biz mühendisler paraşüt şekillerini ve konfigürasyonlarını optimize etmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonlarını ve rüzgar tüneli testlerini kullanırız. Amaç sürüklenmeyi azaltmak, iniş sırasında dengeyi artırmak ve kontrollü bir iniş sağlamaktır. Kanopi şekli, boyutu ve süspansiyon hattı düzenlemesindeki değişikliklerin tümü bir paraşütün aerodinamiğini etkilemektedir.
- **Güvenlik Faktörü:** Geliştirme çalışmaları ayrıca güvenlik özelliklerinin iyileştirilmesine de odaklanmaktadır. Buna, güvenilirliği artırmak ve arıza risklerini azaltmak için çift paraşüt

veya yedek paraşüt gibi yedek paraşüt sistemlerinin dahil edilmesi de dahildir. Otomatik açılma sistemleri ve acil durum kesme mekanizmaları, paraşüt operasyonları sırasında kullanıcı güvenliğini artırmak için tasarlanmaktadır.

- **Test ve Doğrulama:** Paraşütlerin sıkı güvenlik ve performans isterlerini karşıladıklarından emin olmak için test ve doğrulama prosedürlerinden geçirilir. Bunlar statik testlerini, düşme testlerini ve çeşitli çevresel koşullar altında saha denemelerini içermektedir. Testler olası sorunların belirlenmesine, tasarımların iyileştirilmesine ve yeni paraşüt teknolojilerinin etkinliğinin doğrulanmasına yardımcı olmaktadır.
- **Yenilikçi Ekipman Entegrasyonu:** Paraşütler genellikle askeri veya sivil operasyonlarda kullanılan diğer yenilikçi ekipman ve sistemlerle sorunsuz bir şekilde entegre olacak şekilde geliştirilirler. Bu, optimum işlevsellik ve birlikte çalışabilirlik sağlamak için hava dağıtım platformları, kargo konteynerleri veya personel koşum takımları ile uyumluluğu içerebilir.
- **Ar-Ge:** Devam eden Ar-ge araştırmaları paraşütler için geleneksel kullanım alanlarının ötesinde yeni uygulamalar keşfetmektedir. Buna yüksek irtifa operasyonları, hassas kargo teslimatı veya acil tahliye senaryoları için özel paraşütler geliştirmek de dahildir. Drone teknolojisindeki gelişmeler de drone paraşüt kurtarma sistemleri gibi yeni paraşüt uygulamalarına ilham vermektedir.

Paraşütler malzeme, tasarım ve teknolojideki ilerlemeler sayesinde zaman içinde sürekli olarak geliştirilmektedir. Paraşütlerin geliştirilmesi, performans, güvenlik ve güvenilirliği artırmayı amaçlayan çeşitli temel unsurları içerir.

Günümüzde askeri lojistik operasyonlarda kullanılmak üzere üzerinde çalışılan ve geliştirilen tek kullanımlık yük paraşütleri çeşitli teknolojik gelişmelerle birlikte sürekli olarak yenilenmektedir. Aktif olarak üzerinde iyileştirmeler ve geliştirmeler yapılan bazı paraşütler şu şekilde yer almaktadır:

Next Generation Parachute (NextGen), ABD ordusu ve diğer ülkelerde bu paraşüt sisteminin bir sonraki nesli için çalışılmaktadır. Bu sistemler daha hafif, daha güvenli ve daha hassas inişler sağlamak için tasarlanmıştır. Yeni malzemelerin ve teknolojilerin kullanılmasıyla performansı ve dayanımı artırılmaya çalışılmaktadır.

Advanced Parafoil System daha karmaşık hava koşullarında daha iyi performans göstermek üzere tasarlanmıştır. Yüksek manevra kabiliyeti ve hassas iniş yetenekleri için çalışmalar devam etmektedir.

Smart Parachute System, GPS ve diğer sensörlerle entegre edilerek otomatik iniş kontrolü ve hedefe doğru yönlendirme yetenekleri sunmaktadır. Bu sistemlerin geliştirilmesiyle operatör müdahalesi azaltılarak daha güvenli ve etkili inişler sağlanması için çalışmalar sürdürülmektedir.

Miniature / Micro Parafoils özellikle özel kuvvetler veya küçük ekipmanların hava indirme operasyonlarında kullanılmak üzere geliştirilmektedirler. Daha taşınabilir ve esnek çözümler sunmak için çalışmalar devam etmektedir.

Low-Cost Parafoil Systems, lojistik maliyetleri düşürmek ve daha geniş kullanım alanlarına olanak sağlamak üzere araştırılmaktadır.

Bu sistemler askeri lojistik operasyonlarda yüklerin daha güvenli ve daha hassas bir şekilde indirilmesini sağlamak üzere geliştirilmişlerdir. Yenilikçi malzeme, sensör ve navigasyon sistemleri gibi teknolojilerin kullanımıyla birlikte askeri yük paraşütleri sürekli olarak geliştirilmektedir.

Bunlar sadece bazı örneklerdir ve farklı ülkelerde ve zamanlarda daha fazla farklı paraşüt sistemleri geliştirilmiştir. Her biri belirli görev ve ihtiyaçlara yanıt verecek şekilde tasarlanmıştır. Türk Silahlı Kuvvetleri ve Hava Komutanlıkları bu sistemlerden 'T-10 Paratroop Parachute, MC-6 HALO, T-11 Troop Parachute ve TAMİP' paraşütlerini kullanmaktadır.

Özetle, askeri alanda kullanılan yük paraşütleri olağanüstü durumlar gerçekleşmedikçe tekrar kullanılabilme fırsatı sunan paraşütlerdir. Ancak bu paraşütler görevinin sona ermesiyle birlikte toplanması için gerek sahaya personel çıkartılması, gerek zaman açısından gerekse maddi açıdan kayıp yaratmaktadır. Bu koşullar ele alındığı zaman aynı görevi yerine getirecek daha uygun maliyetli bir kullan at paraşüt geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur.

Bu çalışma kapsamında önerilen kullan at paraşüt projesiyle birlikte sıcak bölgelere asker çıkartılmayacak bu sayede paraşütü kurtarma ihtiyacını ortadan kaldırarak kara kuvvetlerinin güvenliğinin artırılması, zaman açısından kaybın sıfırlanması ve daha ucuz malzemeyle maddi anlamda kazanç sağlanacaktır. Günümüz harekât durumunu hızlandırması açısından kritik öneme sahip olmakla birlikte yerli ve milli olması hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] T., L. ve A., B. (2006). Capabilities of deployment tests at dnw-nwb. Fluid Dynamics Of Personnel And Equipment Precision Delivery From Military Platforms (Pp. 10-1 To 10-12).
- [2] Taylor, A. P. (2002). Developments in the application of ls-dyna to fluid structure interaction (fsi) problems in recovery system design and analysis. 7Th International Ls-Dyna Users Conference, Detroit.
- [3] B., T. (2006). The application of a new material porosity algorithm for parachute analysis. 9Th

International Ls-Dyna Users Conference, Detroit.

[4] B., T. ve Etc., C. R. (2010). Development of parachute simulation techniques ls-dyna. 11Th International Ls-Dyna Users Conference. Detroit.

[5] Garrec, M. L., Poncet, A. ve Lapoujade, V. (2019). Parachute deployment simulations using ls-dyna icfd solver and strong fs1 coupling. 12Th European Ls-Dyna Conference, Koblenz, Germany.

Benzinli Bir Motora Doğalgaz İlavesinin Motor Performans Ve Emisyonlar Üzerine Etkisinin Araştırılması

Nafiz KAHRAMAN¹, Gökhan KURTULUŞ¹, Serpil ÖZKILIÇ², Talip AKBIYIK³,

¹ Havacılık Ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri 38280, Türkiye

² Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri 38280, Türkiye

³ Motorlu Araçlar Ve Ulaştırma Teknolojisi Bölümü, Aksaray Üniversitesi, Aksaray 68100, Türkiye

İçten yanmalı motorlarda genellikle petrol kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Petrol kökenli yakıtlar artık emisyonlar açısından Euro standartlarını sağlamakta zorlanmaktadır. Bu yüzden farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan biride yakıtların içerisine doğalgaz ilave edilmesi emisyonları azaltma ve motor performansını artırmada fayda sağlayabilmektedir. Yapılan deneysel çalışmada benzin yakıtı kullanan bir motorun emme havası içerisine farklı oranlarda (50, 100, 150 ve 200 g/h) doğalgazın farklı tork değerlerinde (5, 10, 15 ve 20 Nm) sabit 3000 devirde ilavesinin motor performansı ve emisyonları incelenmiştir. Çalışmada kullanılan motor Lombardini LGW 523 MPI benzinli iki silindri bir motordur. Deneysel sonuçlar incelendiğinde benzin yakıtına doğalgaz ilavesi yakıt tüketimini azaltmıştır. Özgül yakıt tüketiminde de en düşük değerler en fazla doğalgaz ilavesinde olmuştur. Emisyonlarda tork artışı ile azalma gerçekleşmiştir. Doğalgaz ilave oranı arttıkça termal verim artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Benzin, doğalgaz, Özgül yakıt tüketimi

1. GİRİŞ

Otomobil teknolojisinin en temel problemlerinden birini yakıtlar oluşturmaktadır. Geleneksel yakıtlara alternatif olacak veya onlarla birlikte kullanılacak yakıtlar ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu alternatif yakıtlar motor üzerinde değişiklik yapılmadan yada az değişiklik yapılarak kullanılmalıdır. Benzin ve motorin dışındaki bütün sıvı yakıtlar ve gaz yakıtlar alternatif yakıt olarak kabul edilir. Gaz yakıtlar, mevcut yakıtlara alternatif olarak çevresel ve ekonomik faydalar sağladıkları için içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. Doğalgaz bu özelliğinden dolayı ulaşım sektöründe de yaygınlaşmaya başlamıştır. Kıvılcım ateşlemeli motorlarda doğalgaz kullanımı önemli düzeyde yaygınlaşmıştır. Bu nedenle bu gaz halindeki yakıtın kullanımı ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Gonca ve ark. yapılan çalışmalarında buji ile ateşlemeli bir motorda benzin, izo-oktan, benzen, toluen, heksan , etanol ve metanol yakıtlara sıvılaştırılmış hidrojen, metan, bütan , propan ilavesinin güç değişimi, efektif basınç, ısı verim, ekserji verimini incelemişlerdir. Yakıt katkı maddeleri oranları kütlece %10 ila %50 arasında değişmektedir. Sonuç olarak hidrojen, metan, bütan, propan oranlarının motorun performansını belirgin şekilde etkilediğini belirtmişlerdir[1]. Akbiyık ve Ark. çalışmada buji ile ateşlemeli bir motorda yakıt olarak benzin ve doğal gaz kullanılması

durumunda, yağlama yağına bor katkı ilavesinin motor performansına ve emisyonlara etkisini araştırmışlardır. Deney sonuçlarında, motorda yakıt olarak benzin ve doğal gaz kullanıldığında, yağlama yağında bor katılmasında özgül yakıt tüketiminde ortalama %2,4-8 oranında azalmaya neden olduğunu ortaya koymuştur. Yağlama yağında bor katkı kullanımının NO_x emisyonlarında %11,4-12.9 oranında önemli bir azalmaya neden olduğu ve diğer emisyonlarda belirgin bir değişiklik olmadığını tespit etmişlerdir[2].

Chen ve ark. çalışmada doğal gaz/metanol ve doğal gaz/benzin ile çalışan çift yakıtlı bir motorun yanma özellikleri ve performansı özelliklerini karşılaştırmışlardır. Tüm deneyleri, 1600 d/d motor hızında gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, hem metanol hem de benzin ilavesinin, doğal gazın yanma oranını hızlandırdığını, doğal gaz/metanol karışımı için fren termal verimliliği (BTE) %27,3'ten %28,1'e yükseldi ancak doğal gaz/benzin karışımı için BTE %27,3'ten %25,5'e düştüğünü ifade etmişlerdir. Doğal gaz motorlarının toplam hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonları metanol eklenerek düştüğünü ve benzinde yükseldiğini belirtmişlerdir[3,4,5,6].

Örs ve ark. çalışmada SI motorunda etanol ve metanol ilavesinin motor performansı, yanma ve emisyonlar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneyleri, tam motor yükünde farklı motor devirlerinde tek silindirli, dört zamanlı bir SI motorunda gerçekleştirmişlerdir. Test yakıtlarını, benzine %10 etanol ve metanol ilavesi ile hazırlamışlardır. Deney sonuçlarında göre metanol ilavesi etanol ilavesine göre değerlerini %10,3 arttırırken, bte değerlerinde %6,12 azalmaya sebep olduğunu bildirmişlerdir. Metanol ilavesi CO₂, CO, HC ve NO_x emisyonlarını etanol ilavesine göre sırasıyla %6,48, %26,6, %4,75 ve %9,16 oranında azaltmasına rağmen, oksijen içeriği etanolde daha yüksek olduğu için %15,3 daha yüksek oksijen emisyon değerlerine sahip olduğunu bildirmişlerdir [7].

2 MATERYAL VE METOD

2.1. Deney Düzenegi

Deney düzeneginde motor yükü ve hızının değişimini sağlayan Eddy Current dinamometre, egzoz gazındaki emisyon miktarlarını belirlemek için BOSCH BEA 060 egzoz emisyon cihazı ve yanma havası içerisine eklenecek gaz halindeki yakıtı miktarını belirlemede Alicat kütle akış kontrollü gaz debimetresi kullanılmıştır.

Benzinli bir motorda benzin ve doğal gaz yakıt kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin incelendiği bu çalışmada motor olarak Lombardini LGW 523 MPİ motor kullanılmıştır. Motorun teknik özellikleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Lombardini LGW 523 MPI motorunun spesifik özellikleri [2]

Motor Tipi	Birim	Değer
Silindir sayısı	adet	2
Silindir çapı	mm	72
Strok	mm	62
Silindir hacmi	cc	505
Sıkıştırma oranı		10, 7:1
Maksimum devir	d/d	5500
Maksimum güç(5000 d/d)	kW/HP	15/20.4
Maksimum tork (2150 d/d)	Nm	34
Motor ağırlığı	kg	52

2.2. Test Metodu

Bu çalışmada benzin yakıtı kullanılan bir motorda emme havası içerisine farklı oranlarda (50, 100, 150 ve 200 g/s) doğalgazın farklı tork değerlerinde (5, 10, 15 ve 20 Nm) sabit 3000 devirde ilavesinin gerçekleştirilip, motor performansı ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Deneylerden önce test motoru rejim sıcaklığına ulaşana kadar rölantide çalıştırıldı. Motor rejim sıcaklığına ulaştıktan sonra maksimum yük değerine kadar Eddy Current dinamometre ile yük kademeli olarak artırılmış ve belirtilen torklarda test edilmiştir. Deneylerde tüketilen benzin yakıtı miktarını Krohne marka Optimass 3300C S03 tipi sıvı akış metre ile ölçülmüştür. Yanma havası ile karışması için emme havasına gönderilen doğalgaz miktarı Alicat gaz kütle akış metre ile sağlanmıştır.

Deneyler sabit motor devrinde ve sabit torklar da 4 farklı yakıt ilavesi için yapılmıştır. Deneylerde motor 3000 rpm de sabit tutulmuştur. Yanma havası içerisine 50, 100, 150 ve 200 g/h doğalgaz ilave edilmiş ve bu 4 farklı tork değerinde test edilmiştir. Motor her bir yakıt için 5, 10, 15 ve 20 Nm torklarda test edilmiştir. Kullanılan doğalgazın %90,8'ini metan oluşturmaktadır. Doğalgaz yakıtın içeriği Tablo 2 de verilmiştir.

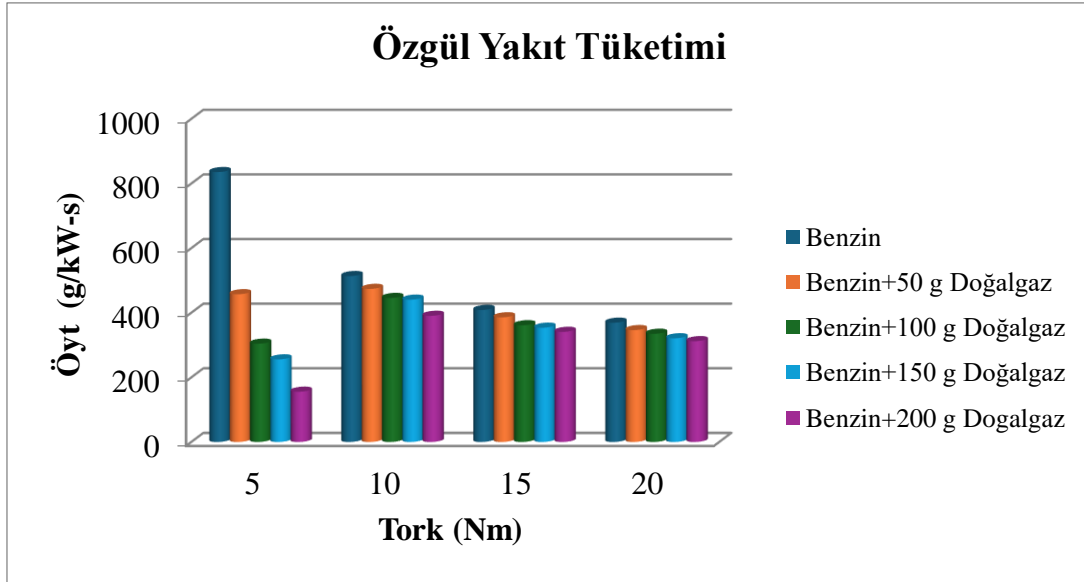
Tablo 2. Doğalgaz içeriği [2]

Kimyasal Bileşen	Kimyasal Formül	Oran (%)
Methan	CH_4	90.8

Ethan	C_2H_6	3.6
Propan	C_2H_8	1.1
Butan	C_4H_{10}	0.4
Pentan	C_5H_{12}	0.1
Nitrogen	N_2	3.5
Karbon Dioksit	CO_2	0.4

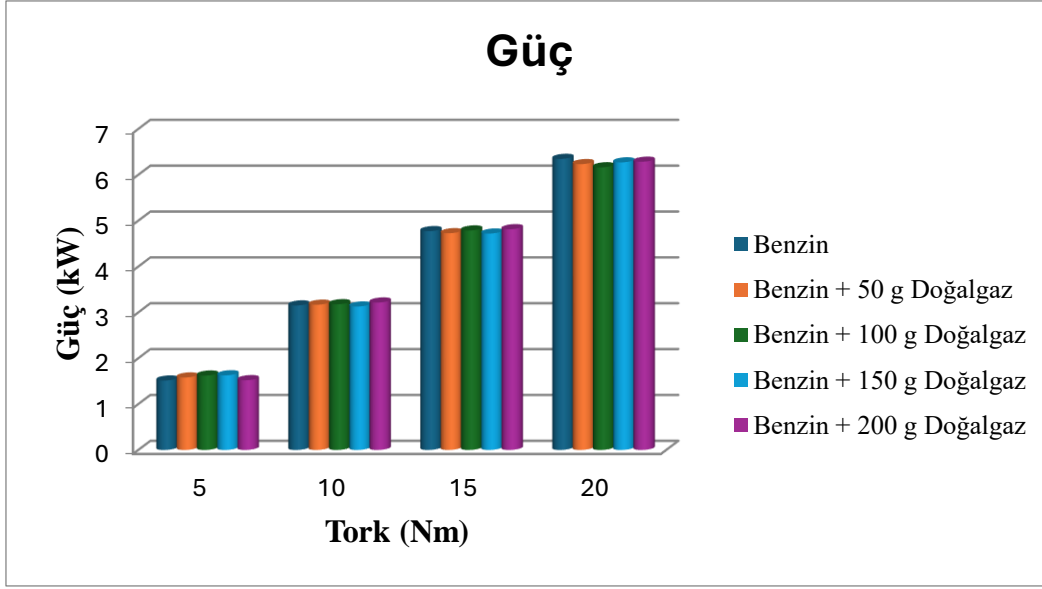
3. SONUÇLAR

Şekillerde 5 farklı yakıtın 3000 d/d'daki farklı tork değerlerindeki değişim verilmiştir. Özgül yakıt tüketimi birim güç başına tüketilen yakıt miktarını göstermektedir. Benzin ve doğalgaz karışımları ile yapılan çalışmaların ÖYT değişimleri Şekil 1'de verilmiştir. Benzine kıyasla sıkıştırılmış doğalgaz yakıtların ısı değerlerinin yüksek olması ve stokiometrik Y/H oranlarının yüksek olması aynı çıkış gücü için daha az yakıt kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu da tüm tork değerlerinde benzin yakıtı ile yapılan deneylerdeki ÖYT değerleri daha yüksektir. Tork değerinin artması ile özgül yakıt tüketimi değeri azalmıştır.



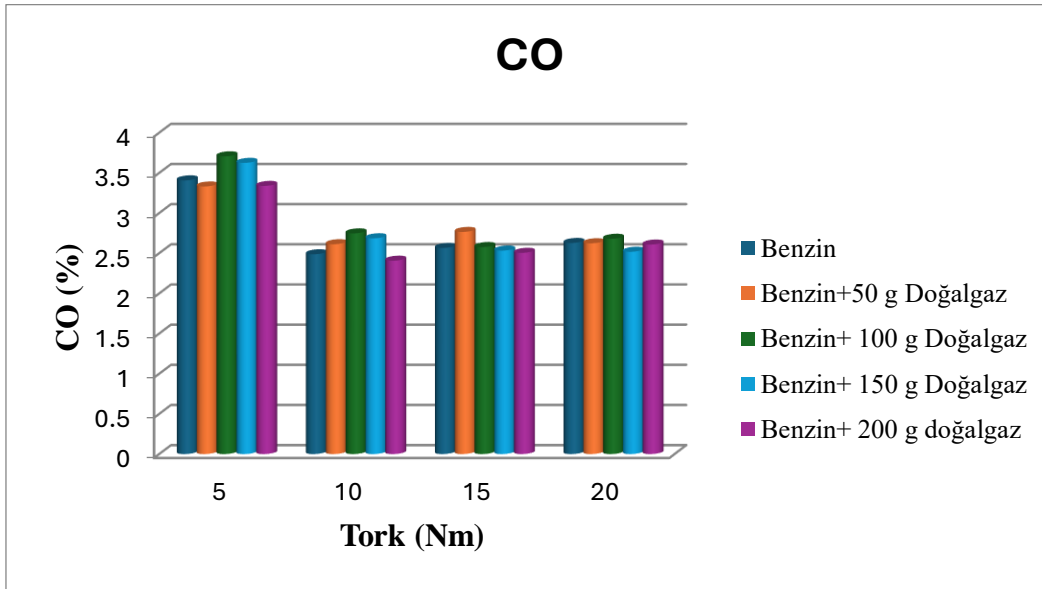
Şekil 1. Torka bağlı ÖYT değişimi

Motorlarda güç torka ve devire göre değişiklik göstermektedir. Yapılan deneylerde devir ve tork sabit olduğu için güç değerleri aynıdır ama küçük farklılıklar vardır buda deneylerde müsaade edilen sınırlardan kaynaklanmaktadır. Torka bağlı güç değişimi Şekil 2 de verilmiştir.



Şekil 2. Torka bağlı güç değişimi

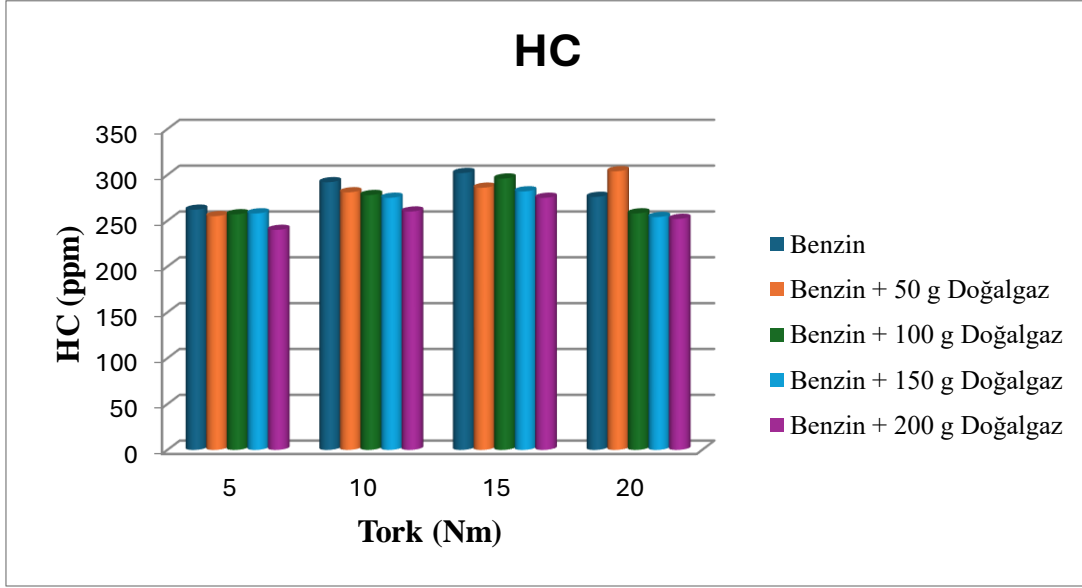
Şekil 3 incelendiğinde, CO' in artan tork değerleriyle azaldığı görülmektedir. Artan tork değeri ile silindirlere giren hava hızının artması, yanma odasındaki türbülansı artıracığından daha homojen bir karışım oluşur. Bu da yakıtın yanmasını iyileştireceğinden yüksek tork değerlerinde CO'de düşme görülür. Doğalgaz ilavesi CO emisyonlarında azalmalara sebep olmuştur. Yüksek tork değerlerinde artan basınç ve sıcaklıkla beraber yanma iyileşmekte ve CO emisyonu azalmaktadır.



Şekil 3. Torka bağlı CO değişimi

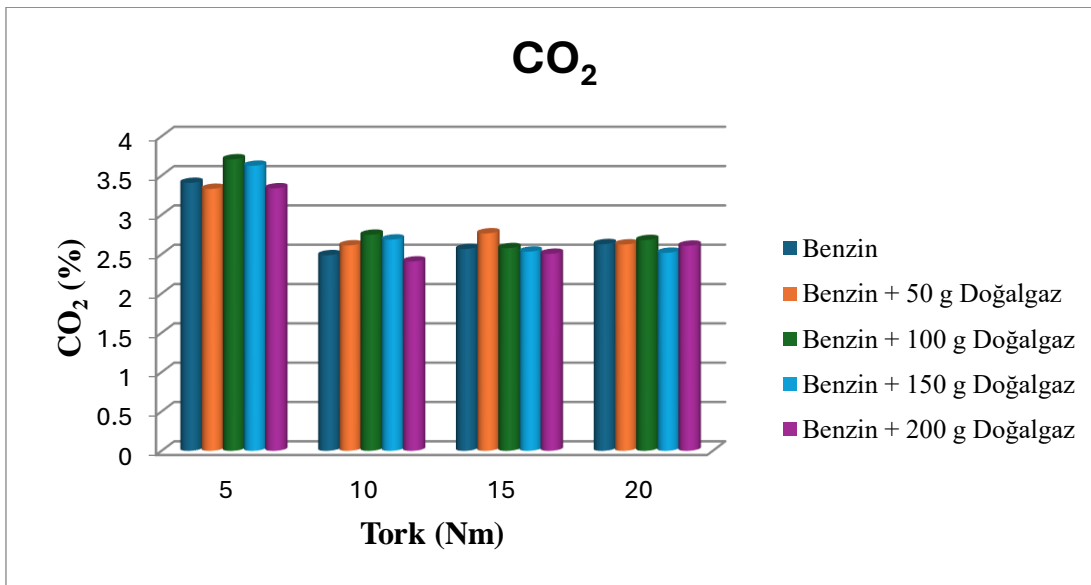
Şekil 4'de benzin ve doğalgaz ile yapılan çalışmada ölçülen HC emisyonları verilmiştir. Hidrokarbon emisyonunu, yanmadan egzozdan atılan yakıt oluşturur. Şekil 4 incelendiğinde, tork arttıkça HC emisyonları artmaktadır. En yüksek HC emisyonları benzin yakıtındadır. Doğalgazın alt ısıl değeri ve

stokiyometrik H/Y oranı benzine göre yüksek olduğu için benzine eşdeğer ısı miktarını ve stokiyometrik karışımı sağlayabilmek için silindire daha az yakıt gönderilmekte ve HC emisyonları azalmaktadır. Bunun yanı sıra artan tork değerleri ile birlikte HC emisyonunda bir miktar artmaya sebep olmaktadır.



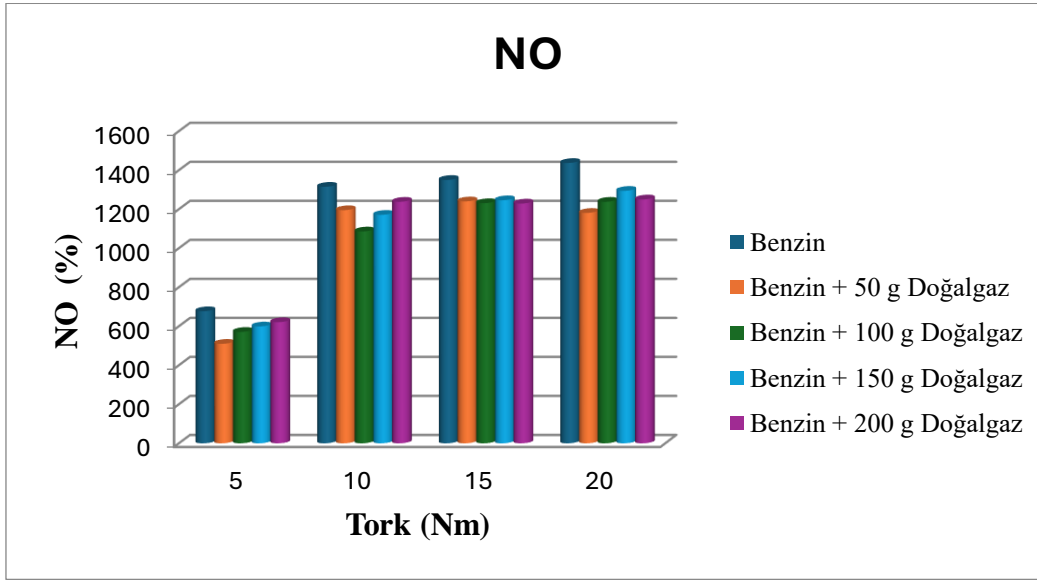
Şekil 4. Torka bağlı HC değişimi

Şekil 5’de farklı tork değerlerindeki yakıtlar için CO₂ emisyonu değişimlerini göstermektedir. CO₂, küresel ısınmaya neden olan bir gazdır. İçerisinde karbon atomu az olan veya olmayan yakıtlar CO₂ emisyonu bakımından tercih edilmektedir. Şekil 5’deki grafik incelendiğinde, doğalgaz karışımlarında CO₂ emisyonlarında artmakta yada sabit kalmaktadır. Tork değerinin artması ile CO₂ emisyonları benzine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Doğalgaz ilavesinde CO₂ emisyonundaki artışın nedeni yanma veriminin iyileşmesinden kaynaklanmaktadır.



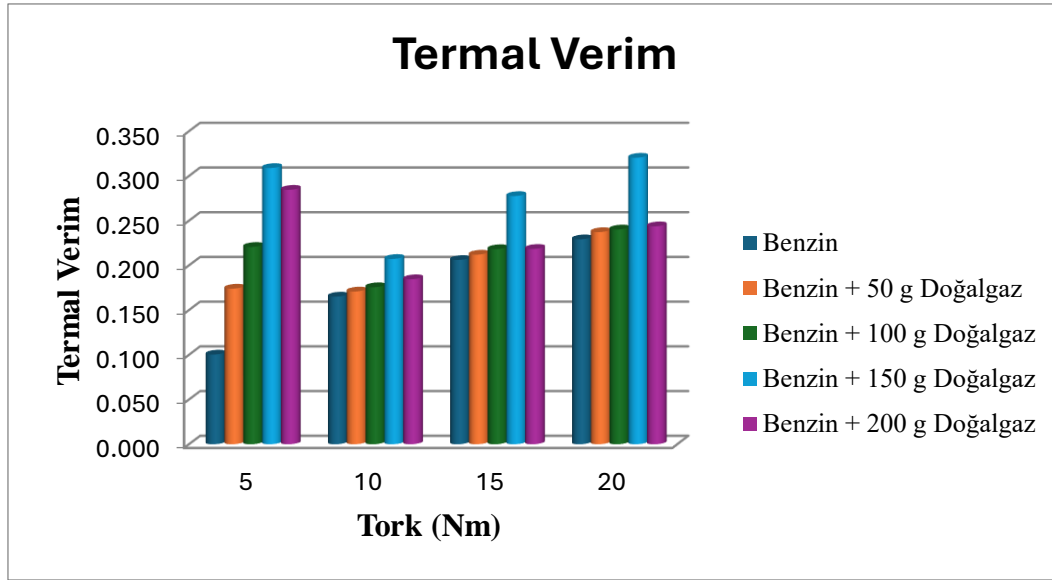
Şekil 5. Torka bağlı CO₂ değişimi

Farklı tork değerlerindeki her bir yakıt için NO emisyonu değişimleri Şekil 6’da verilmiştir. Şekil 6’daki grafik incelendiğinde doğalgaz ilaveli yakıtlarda benzine göre NO emisyonunun daha az olduğu görülmektedir. Her bir yakıt türünde de NO emisyonu artan motor yüküyle birlikte artış göstermektedir. Maksimum torkta silindire en fazla dolgu alınmakta ve sıcaklıklar artmaktadır. Yüksek sıcaklıklar NO emisyonunun artmasına sebep olmaktadır. Doğalgazlı yakıtlarla yapılan çalışmalarda NO emisyonunun düşük çıkmasının nedeni, doğalgazın buharlaşma ısısının yüksek olmasından dolayı karışımı soğutması ve sonuçta çevrim sıcaklığını düşürmesidir.



Şekil 6. Torka bağlı NO değişimi

Termal verimin yakıtlara ve tork değerlerine bağlı değişimi Şekil 7’de gösterilmiştir. Tork değerlerinin artması ile termal verim değerleri artmıştır. Yakıt içerisindeki doğalgaz oranı arttıkça termal verim değeri artmıştır. Termal verim açısından incelendiğinde en yüksek termal verim değerleri Benzin + 150 g doğalgaz yakıtı ile elde edilmiştir.



Şekil 7. Torka bağlı NO değişimi

4. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Çalışmamızda su soğutmalı, iki silindirli ve lambda kontrollü elektronik yakıt püskürtme sistemine sahip Lambordini marka LGW 523 model benzinli motor için performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. Değişik oranlarda benzin ve doğalgaz karışımlarından oluşan yakıtlar ile benzin yakıtı ile yapılan deneyler kıyaslanmıştır. Deney motoru 5 Nm ile 20 Nm tork aralığında 5 Nm aralıklarla dört farklı torkta çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar kısaca şöyledir:

- Özgül yakıt tüketimi tork değeri arttıkça düşmüştür. En yüksek özgül yakıt tüketimi değeri 200 g doğalgaz ilavesinde elde edilmiştir. Doğalgaz yakıtının ısıl değerinin yüksek olması sabit tork değerinde daha az yakıt kullanımına sebep olmuş ve özgül yakıt tüketimi miktarı azalmıştır.
- Yapılan deneylerde devir ve tork sabit olduğu için güç değerleri aynıdır ama küçük farklılıklar vardır buda deneylerde müsaade edilen sınırlardan kaynaklanmaktadır.
- CO emisyonları incelendiğinde doğalgaz ilavesi CO emisyonu üzerinde etki etmiştir. Yüksek tork değerlerinde artan basınç ve sıcaklıkla beraber yanma iyileşmekte ve CO emisyonu azalmaktadır.
- Doğalgazın alt ısıl değeri ve stokiyometrik H/Y oranı benzine göre yüksek olduğu için benzine eşdeğer ısı miktarını ve stokiyometrik karışımı sağlayabilmek için silindire daha az yakıt gönderilmekte ve HC emisyonları azalmaktadır. Bunun yanı sıra artan tork değerleri ile birlikte HC emisyonunda bir miktar artmaya sebep olmaktadır.
- Tork değerinin artması ile CO₂ emisyonları benzine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Doğalgaz ilavesinde CO₂ emisyonundaki artışın nedeni yanma veriminin iyileşmesinden kaynaklanmaktadır.
- Her bir yakıt türünde de NO emisyonu artan motor yüküyle birlikte artış göstermektedir. Maksimum torkta silindire en fazla dolgu alınmakta ve sıcaklıklar artmaktadır. Yüksek

sıcaklıklar NO emisyonunun artmasına sebep olmaktadır. Doğalgazlı yakıtlarla yapılan çalışmalarda NO emisyonunun düşük çıkmasının nedeni, doğalgazın buharlaşma ısısının yüksek olmasından dolayı karışımı soğutması ve sonuçta çevrim sıcaklığını düşürmesidir.

İçten yanmalı motorlar; özellikle lojistik sektöründe ulaşım araçlarının enerji ihtiyaçlarını karşılamak için tercih edilen motorlardır. Ek olarak iş makineleri ve mobil cihazlarında enerji kaynağı genelde içten yanmalı motorlardır. İçten yanmalı motorların enerji ihtiyacı en sık petrol ürünlerinden karşılanmaktadır. Mevcut kaynakların verimli kullanılması, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji üretim ve tüketimi için oldukça önemlidir.

Farklı özellikteki motorlarda, enerji kaybı sonucu açığa çıkan emisyon miktarlarının saptanması için, enerji analizine göre daha realist sonuçlar veren ekserji analizinin uygulanması tavsiye edilebilir. Bu konuya yönelik yapılan çalışmaların gelecekte bilim insanlarının gündeminde olacağı öngörülmektedir.

REFERENCES

1. Gonca, G., Sahin, B., Hocaoglu, M. F., 2021, Influences of hydrogen and various gas fuel addition to different liquid fuels on the performance characteristics of a spark ignition engine, International Journal Of Hydrogen Energy, 47(2022) 12421-12431, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.09.029>
2. Akbiyik, T., Kahraman, N., Taner, T., 2022, Investigation Of The Effect Of Boron Additive To Lubricating Oil On Engine Performance, Exhaust, And Emissions, Fuel, Volume 312, 15 March 2022, 122931 <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122931>
3. Chen, Z., Zhang, T., Wang, X., Chen, H., Geng, L., Zhang, T., 2021, A Comparative Study Of Combustion Performance And Emissions Of Dual-Fuel Engines Fueled With Natural Gas/Methanol And Natural Gas/Gasoline, Energy, Volume 237, 15 December 2021, 121586, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121586>
4. Chen, Z., Wang, L., Zhang, Q., Zhang, X., Yang, B., Zeng K., 2019, Effect of Spark Timing and Methanol Addition on Combustion Characteristics and Emissions of Dual-Fuel Engine Fueled With Natural Gas and Methanol Under Lean Burn Condition, Energy Conversion and Management, Volume 181, 1 February 2019, Pages 519-527, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.040>
5. Chen, Z., Wang, L., Zeng K., 2019, A Comparative Study on The Combustion and Emissions of Dual Fuel Engine Fueled with Natural Gas/Methanol, Natural Gas/Ethanol, and Natural Gas/n-Butanol, Energy Conversion and Management, Volume 192, 15 July 2019, Pages 11-19, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.04.011>
6. Wang, L., Chen, Z., Zhang, T., Zeng K., 2019, Effect of Excess Air/Fuel Ratio and Methanol Addition on The Performance, Emissions,

and combustion characteristics of A Natural Gas/Methanol Dual-Fuel Engine, Fuel, Volume 255, 1 November 2019, 115799, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115799>

7. Örs, İ., Sayın, B., Cıvıvız, M., 2020, A Comparative Study of Ethanol and Methanol Addition Effects on Engine Performance, Combustion and Emissions in the SI Engine, International Journal of Automotive Science And Teknology, Volume 4, Issue 2, 59 - 69, 30.06.2020, <https://doi.org/10.30939/ijastech..713682>

OTOMASYON SİSTEMLERİ

Mehmet Fatih ASLAN

ÖZET

Otomasyon sistemleri, teknolojik bir sistemdir. İnsan müdahalesine ihtiyaç duymadan bir sürecin veya sistemin otomatik olarak çalışmasını sağlar. Bu sistem genellikle yazılım ve donanım bileşenlerini içerir ve çeşitli görevleri, işlemleri veya iş akışlarını otomatikleştirebilir. Otomasyon, iş verimliliğini artırır, hata oranını düşürür, verimliliği artırır, işlemlerin kayıt altında tutulmasına olanak sağlar ve insanların daha stratejik veya yaratıcı görevlere odaklanmasına olanak tanır. Endüstriyel üretimin her alanında, iş süreçlerine, ev otomasyonunda, yazılım geliştirmede ve pek çok alanda kullanılmaktadır. Örneğin, fabrikalarda robotlar tarafından gerçekleştirilen montaj işlemleri veya ofis ortamlarında tekrarlayan görevlerin yazılım aracılığıyla otomatik hale getirilmesi gibi çeşitli uygulamalara sahiptir. Otomasyon, zaman, maliyet ve kaynak tasarrufu sağlar. Günümüzün teknolojik ilerlemesinde önemli bir rol oynar.

Otomasyon Nedir?

Otomasyon, iş süreçlerinin veya sistemlerin insan müdahalesi olmadan otomatik olarak gerçekleştirilmesini sağlayan bir sistem veya teknoloji olarak tanımlanabilir. Otomasyon genellikle tekrar eden görevleri veya işlemleri verimli bir şekilde gerçekleştirmek için kullanılır ve insan hatasını azaltabilir. Otomasyon, endüstriyel üretimden ofis işlerine, bilgi teknolojilerinden ev aletlerine kadar birçok alanda kullanılabilir.

Bir otomasyon sistemi, bir veya daha fazla bileşenin (genellikle yazılım ve donanım kombinasyonu) bir araya gelerek belirli bir görev veya süreci gerçekleştirmesi için tasarlanmıştır. Bu sistemler, sensörler, kontrol sistemleri, robotlar, yazılımlar ve veri işleme teknikleri gibi çeşitli teknolojileri içerebilir.

Otomasyon, birçok alanda kullanılmalıdır çünkü bir dizi önemli avantaj sunar:

Verimlilik Artışı: Otomasyon, tekrar eden ve zaman alıcı işleri otomatikleştirerek verimliliği artırır. İnsanların yapılan işlere daha az müdahale etmesi, süreçlerin daha hızlı ve daha düzenli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar.

Maliyet Tasarrufu: Otomasyon, işgücü maliyetlerini azaltabilir. Teknolojinin tekrar eden işleri yapması, işletmelerin daha az çalışanla daha fazla iş yapmasını sağlayabilir. Ayrıca, insan hatası nedeniyle oluşabilecek maliyetli hataları da azaltabilir.

Kalite ve Doğruluk: Otomasyon, süreçlerdeki tutarsızlığı ve hataları azaltabilir. Özellikle üretimde kullanıldığında, otomasyonun doğruluk ve kaliteyi artırdığı görülür. Aynı şekilde, veri işleme ve raporlama gibi işlemlerde de doğruluk ve tutarlılık sağlayabilir.

İnsan Kaynakları Yönetimi: Otomasyon, insanların daha stratejik ve yaratıcı görevlere odaklanmalarını sağlayarak işgücü yönetimini iyileştirebilir. İnsanların tekrarlayan işlerle uğraşmak yerine, daha değerli işlere odaklanmaları iş memnuniyetini artırabilir.

Daha Hızlı Karar Verme: Otomasyon, verileri hızla analiz edebilir ve anlamlı bilgiler üretebilir. Bu da yöneticilerin daha hızlı ve bilgiye dayalı kararlar almasına olanak tanır.

Güvenlik ve İş Sağlığı: Otomasyon, tehlikeli veya zararlı koşullarda çalışma ihtiyacını azaltabilir. Örneğin, endüstriyel robotlar tehlikeli işleri insanların yerine getirmesini sağlayabilir ve bu da iş güvenliğini artırabilir.

Rekabet Üstünlüğü: Otomasyon, işletmelerin rekabet avantajı elde etmelerine yardımcı olabilir. Daha hızlı, daha düşük maliyetli ve daha doğru işlemler yapabilen işletmeler, pazarda daha rekabetçi olabilirler.

Otomasyonun bu avantajları, birçok sektörde ve işletmede kullanılmasını motive eder. Ancak otomasyonun doğru şekilde uygulanması ve yönetilmesi önemlidir. Uygun bir planlama ve yatırım ile otomasyon, işletmeler için önemli faydalar sağlayabilir.

Otomasyon Hangi Alanlarda Kullanılır?

Otomasyon günümüzde birçok farklı alanda kullanılmaktadır ve birçok sektörde önemli avantajlar sağlamaktadır. İşte otomasyonun sıkça kullanıldığı bazı alanlar:

Üretim ve Endüstriyel İşlemler: İmalat endüstrisi, otomasyonun en yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biridir. Endüstriyel robotlar, otomatik montaj hatları, CNC makineleri, otomatik depolama ve lojistik sistemleri gibi otomasyon teknolojileri, üretim süreçlerini hızlandırır, verimliliği artırır ve kaliteyi sağlar.

Lojistik ve Dağıtım: Otomasyon, depo yönetimi ve lojistik süreçlerinde önemli rol oynar. Otomatik depo rafları, taşıma sistemleri, otomatik paketleme ve paletleme makineleri, lojistik merkezlerinde verimliliği artırır ve hata oranını azaltır.

Bina Otomasyonu (HVAC, Aydınlatma, Güvenlik): Bina otomasyon sistemleri, ısıtma, havalandırma, klima (HVAC) sistemlerini yönetmek, aydınlatma sistemlerini kontrol etmek ve güvenlik sistemlerini entegre etmek için kullanılır. Bu sayede enerji tüketimi optimize edilir ve konfor artırılır.

Bilgi Teknolojileri ve Yazılım Geliştirme: Yazılım otomasyonu, yazılım geliştirme süreçlerini hızlandırmak için kullanılır. Otomatik test araçları, dağıtım araçları, sürekli entegrasyon ve dağıtım (CI/CD) gibi uygulamalar, yazılım süreçlerini otomatikleştirir ve hata oranını azaltır.

Satış ve Pazarlama: Otomasyon, CRM (Müşteri İlişkileri Yönetimi) sistemleri, e-posta pazarlama otomasyonu, dijital reklam yönetimi gibi satış ve pazarlama süreçlerini iyileştirmek için kullanılır. Bu sayede müşteri ilişkileri yönetimi ve satış hunisi otomatikleştirilir.

Finans ve Bankacılık: Finans sektöründe otomasyon, işlemlerin hızlı ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır. Otomatik ödeme sistemleri, risk yönetimi yazılımları, hesap işlemleri otomasyonu gibi uygulamalar finansal süreçleri optimize eder.

Sağlık ve Tıp: Sağlık sektöründe, otomasyon hastane yönetimi, hasta kayıt ve takip sistemleri, laboratuvar testleri, ilaç dağıtımı gibi birçok alanda kullanılır. Bu sayede sağlık hizmetlerinin verimliliği artırılır ve hatalar azaltılır.

Eğitim: Eğitim sektöründe, öğrenci yönetim sistemleri, sınav otomasyonu, e-öğrenme platformları gibi uygulamalar kullanılır. Özellikle büyük eğitim kurumları ve online eğitim platformları otomasyondan yararlanır.

Bu alanlar dışında tarım, otomotiv, enerji, turizm, eğlence ve birçok sektörde otomasyon teknolojileri kullanılmaktadır. Otomasyon, iş süreçlerini optimize etmek, hataları azaltmak, verimliliği artırmak ve rekabet avantajı sağlamak için geniş bir yelpazede uygulama alanı bulmaktadır.

Bir Otomasyon Sisteminde Neler Kullanılır?

Bir otomasyon sistemi genellikle bir dizi bileşenden oluşur ve belirli bir işlevi veya süreci otomatikleştirmek için bir araya getirilmiş teknolojilerden oluşur. Otomasyon sistemleri genellikle şunları içerir:

Sensörler: Otomasyon sistemleri genellikle çevresel değişkenleri algılamak için çeşitli sensörler kullanır. Bu sensörler sıcaklık, basınç, hareket, nem, ışık seviyeleri gibi çeşitli fiziksel veya kimyasal değişkenleri ölçebilir. Sensörler, sistemdeki belirli koşulları algılar ve bu bilgiyi diğer bileşenlere ileterek tepki oluşturmalarını sağlar.

Kontrol Sistemleri: Otomasyonun merkezi bileşeni genellikle bir kontrol sistemi veya kontrolör içerir. Bu kontrolör, sensörlerden gelen verileri işler, belirli koşullara göre kararlar alır ve ardından işlem yapacak diğer bileşenleri yönetir. Kontrol sistemleri genellikle programlanabilir mantık kontrolörleri (PLC), mikrodenetleyiciler veya bilgisayar tabanlı kontrol sistemleri olabilir.

Eylem Cihazları: Otomasyon sistemi, kontrol sistemi tarafından verilen kararlar doğrultusunda fiziksel eylemler gerçekleştirmek için çeşitli eylem cihazlarını kullanır. Örneğin, endüstriyel robotlar, valfler, motorlar, aktüatörler ve diğer mekanik veya elektriksel cihazlar bu kategoriye girer. Bu cihazlar, belirli bir işleve veya sürece müdahale etmek için kullanılır.

Veri İşleme ve Yazılım: Otomasyon sistemleri genellikle veri işleme yeteneklerine sahip bilgisayar veya yazılım bileşenleri içerir. Bu bileşenler, verileri analiz eder, kararlar alır, süreçleri yönetir ve gerekirse insan operatörlerine bilgi sağlar. Otomasyon sistemlerinde kullanılan yazılım, genellikle özelleştirilmiş bir kontrol ve izleme arayüzü sunar.

Ağ ve İletişim Teknolojileri: Otomasyon sistemleri genellikle bir ağ üzerinden birden fazla bileşen arasında iletişim sağlar. Ethernet, Modbus, Profinet, Profibus gibi endüstriyel iletişim protokolleri bu amaçla kullanılır. Böylece, farklı cihazlar arasında veri alışverişi ve koordinasyon sağlanır.

İnsan-Makine Arayüzü (HMI): Bazı otomasyon sistemleri, insan operatörlerin sistemi izlemesini, yönetmesini ve etkileşimde bulunmasını sağlayan bir arayüze sahiptir. Bu arayüzler genellikle dokunmatik ekranlar veya bilgisayarlar üzerinde çalışan yazılım uygulamaları olabilir.

Otomasyon sistemleri, belirli bir endüstri veya uygulama için özelleştirilebilir ve farklı teknolojileri içerebilir. Örneğin, endüstriyel otomasyon sistemleri, fabrika üretim süreçlerini yönetmek için büyük ölçekli kontrol sistemleri ve robotlar içerebilirken, ofis otomasyon sistemleri daha çok yazılım ve veri işleme odaklı olabilir. Her bir otomasyon sistemi, belirli bir amaca yönelik olarak tasarlanır ve bu bileşenleri kullanarak işlevini yerine getirir.

PLC Nedir?

PLC (Programlanabilir Mantık Kontrolcüsü), endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılan bir tür bilgisayar kontrol cihazıdır. PLC'ler, endüstriyel süreçleri otomatikleştirmek ve kontrol

etmek için tasarlanmıştır. Genellikle fabrika otomasyonunda, üretim hatlarında, endüstriyel makinelerde, bina otomasyonunda (HVAC sistemleri, aydınlatma kontrolü, güvenlik sistemleri vb.) ve diğer endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

PLC'ler, fiziksel giriş ve çıkışlara (sensörler, anahtarlar, aktüatörler vb.) bağlanarak endüstriyel süreçleri izleyebilir, kontrol edebilir ve otomatik olarak yönetebilirler. Bu cihazlar genellikle endüstriyel ortamlar için dayanıklı, güvenilir ve esnek yapıda tasarlanmıştır.

PLC'lerin temel bileşenleri şunlardır:

CPU: PLC'nin işlemci birimidir. Programlanabilir mantık kontrolcüsü, programın çalıştığı ve giriş/çıkışları kontrol ettiği ana bileşendir. CPU, programı yürüten ve giriş/çıkışları işleyen bir mikrodenetleyici veya mikroişlemci içerir.

Giriş Modülleri: Sensörlerden veya diğer cihazlardan gelen dijital veya analog sinyalleri okuyan ve CPU'ya ileten donanım bileşenleridir. Giriş modülleri, birçok farklı tipte giriş sinyali (örneğin, basınç sensörü, sıcaklık sensörü, anahtar durumu vb.) işleyebilir.

Çıkış Modülleri: PLC'den endüstriyel aktüatörlere veya diğer cihazlara çıkış sinyali gönderen donanım bileşenleridir. Çıkış modülleri, röleler, transistörler veya triyaklar gibi çıkış sürücülerini içerebilir.

Programlama Yazılımı: PLC'leri programlamak için kullanılan özel yazılım araçlarıdır. Programlama yazılımı, kullanıcıların PLC'ye belirli bir mantıksal kontrol programı yüklemelerini sağlar. Programlama genellikle grafiksel veya metin tabanlı bir programlama dili kullanılarak yapılır.

Hmi Nedir?

HMI (İnsan Makine Arayüzü), insanların elektronik sistemlerle etkileşimde bulunmasını sağlayan bir teknolojidir. Genellikle endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılan bir terimdir ve operatörlerin makine veya süreçleri izlemesine, kontrol etmesine ve yönetmesine olanak tanır. HMI, kullanıcıların verileri görsel olarak görüntülemesini, veri girişi yapmasını ve sistemlerin durumunu takip etmesini sağlar.

HMI'nin temel amacı, karmaşık ve otomatikleştirilmiş sistemlerin insanlar tarafından anlaşılabilir ve yönetilebilir olmasını sağlamaktır. HMI sistemleri, bir dizi bileşeni içerir ve genellikle bir bilgisayar veya dokunmatik ekran aracılığıyla çalışır. İşlevsel olarak HMI sistemleri, aşağıdaki bileşenleri içerebilir:

Görsel Ekranlar: HMI sistemleri, operatörlere makine veya süreçlerle ilgili bilgileri görsel olarak sunar. Bu ekranlar genellikle grafiksel kullanıcı arayüzleri (GUI) olarak tasarlanmıştır ve renkli grafikler, semboller, metinler ve sayısal veriler içerebilir.

Dokunmatik Ekranlar: Çoğu modern HMI sistemi, operatörlerin dokunmatik ekranlar aracılığıyla bilgilere erişmesine ve kontrol etmesine izin verir. Bu şekilde, operatörler makineyi veya süreci parmaklarını kullanarak etkileşimli olarak yönetebilirler.

Veri Toplama ve İzleme: HMI, sensörlerden veya kontrol cihazlarından gelen verileri toplar, işler ve görsel olarak sunar. Bu veriler, makine performansı, üretim verimliliği, sıcaklık, basınç, hız, akım gibi çeşitli parametreleri içerebilir.

Alarm ve Olay Bildirimi: HMI sistemleri, sistemdeki önemli olayları veya hata durumlarını operatörlere bildirir. Alarm ve uyarılar, görsel veya sesli sinyallerle operatörlere iletilir.

Kullanıcı Girişi ve Kontrol: Operatörler, HMI arayüzü aracılığıyla sistem parametrelerini ayarlayabilir, komutlar verebilir ve süreçleri kontrol edebilir. Bu girişler, dokunmatik ekranlar, klavye veya fare kullanılarak yapılabilir.

Trend Analizi ve Veri Kaydı: HMI sistemleri, sistem performansını zamanla izlemek için trend analizi yapabilir ve verileri kaydedebilir. Bu veriler, daha sonra analiz edilerek sistem optimizasyonu veya sorun giderme için kullanılabilir.

HMI sistemleri, endüstriyel otomasyon, üretim, enerji, ulaşım, su arıtma, bina otomasyonu gibi çeşitli sektörlerde kullanılır. Operatörlerin üretim süreçlerini izlemesini, hataları tespit etmesini, verimliliği artırmasını ve güvenliği sağlamasını sağlarlar. HMI, endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar gibi ileri üretim sistemlerinde önemli bir rol oynar ve otomasyon teknolojilerinin gelişiminde önemli bir unsurdur.

Analog ve Dijital Veri Nedir?

Analog ve dijital veri, bilgiyi farklı şekillerde temsil eden ve işleyen iki temel veri türüdür. Bu terimler, veri iletimi, depolama ve işleme süreçlerinde kullanılan kavramlardır. İşlevsel olarak farklıdırlar ve hangi türün kullanılacağı, belirli bir uygulamanın gereksinimlerine bağlıdır. İşte analog ve dijital veri kavramlarının tanımları ve farkları:

Analog Veri:

Analog veri, sürekli bir aralıkta değerler alabilen ve bu değerleri sürekli bir şekilde temsil eden veri türüdür. Analog veri, fiziksel olayların sürekli değişen özelliklerini (örneğin, sıcaklık, basınç, ses, ışık yoğunluğu) ölçmek veya ifade etmek için kullanılır.

Analog veri özellikleri şunlardır:

Sürekli bir aralıkta değer alır.

Genellikle fiziksel büyüklüklerin doğrusal olarak değişen bir sinyal ile temsil edilir.

Analog veri, gerçek dünyadaki doğrusal veya doğrusal olmayan süreçlerden elde edilir.

Örneğin, bir termometre sıcaklık ölçümünü analog bir şekilde gerçekleştirir. Sensörden gelen sinyal, sıcaklık değerine doğrusal olarak karşılık gelir (örneğin, 0°C ile 100°C arasında bir voltaj aralığı).

Dijital Veri:

Dijital veri, belirli sayısal değerler veya semboller kullanılarak temsil edilen ve bu değerlerin ayrık (kesikli) bir formatta iletilen veri türüdür. Dijital veri, genellikle bilgisayarlar ve dijital elektronik cihazlar tarafından işlenebilir ve depolanabilir.

Dijital veri özellikleri şunlardır:

Belirli sayısal değerler veya semboller ile temsil edilir (genellikle 0 ve 1).

Dijital veri, belirli bir hassasiyet ve doğrulukla ölçülür ve işlenir.

Dijital veri, matematiksel operasyonlara (örneğin, toplama, çıkarma, çarpma) tabi tutulabilir.

Örneğin, bir dijital fotoğraf piksellerden oluşur ve her piksel belirli bir renk değerini (RGB bileşenleri) sayısal olarak temsil eder. Bu sayısal değerler bilgisayarlar tarafından işlenerek görüntü oluşturulur.

Farklar:

Temel Temsiliyet: Analog veri sürekli bir aralıkta değerler alırken, dijital veri belirli sayısal değerler veya semboller ile temsil edilir.

İşleme Yeteneği: Dijital veri, matematiksel işlemlere (örneğin, sayısal işlemler) tabi tutulabilirken, analog veri genellikle analog devrelerde işlenir.

Hata ve Gürültü: Dijital veri, belirli bir hassasiyetle işlendiği için daha az hata ve gürültüye sahiptir. Analog veri ise sinyal gürültüsüne daha duyarlı olabilir.

Hangi tür verinin kullanılacağı, uygulamanın gereksinimlerine bağlıdır. Örneğin, bilgisayarlar ve dijital cihazlar genellikle dijital veri ile çalışırken, doğrusal ölçüm sistemleri (örneğin, ses veya sıcaklık ölçümü) genellikle analog veri kullanır.

Sensörler ve Sensör Çeşitleri Nelerdir?

Sensörler, çevredeki fiziksel veya kimyasal değişiklikleri algılayan ve bu değişiklikleri elektriksel sinyallere dönüştüren cihazlardır. Sensörler, çeşitli endüstriyel, bilimsel, tıbbi ve günlük yaşam uygulamalarında kullanılırlar ve otomasyon sistemlerinde önemli bir rol oynarlar. Sensörler, çeşitli parametreleri ölçmek ve izlemek için tasarlanmıştır. İşte yaygın olarak kullanılan bazı sensör türleri ve bunların ne tür değişkenleri ölçtükleri:

Işık Sensörleri (Fotodiyot, Fototransistör): Işık sensörleri, çevredeki ışık seviyelerini algılar. Bu sensörler, ışık yoğunluğunu ölçmek veya nesnelerin varlığını tespit etmek için kullanılır. Fotodiyotlar ve fototransistörler, ışığa maruz kaldıklarında elektriksel sinyal üreten yarı iletken cihazlardır.

Sıcaklık Sensörleri (Termistörler, Termokupl): Sıcaklık sensörleri, çevredeki sıcaklık değişikliklerini ölçer. Termistörler (örneğin NTC, PTC) ve termokupller, sıcaklıkla değişen elektriksel direnç veya voltaj üreten sensörlerdir.

Basınç Sensörleri: Basınç sensörleri, ortamdaki basıncı ölçer. Bu sensörler, sıvı veya gaz basıncını izlemek için kullanılır. Piezoelektrik sensörler, strain gauge sensörler ve kapasitif basınç sensörleri gibi çeşitli tipleri bulunmaktadır.

Hareket Sensörleri (PIR Sensörler, Ultrasonik Sensörler): Hareket sensörleri, çevredeki hareketleri algılar. PIR (Passive Infrared) sensörler, insan veya hayvan hareketlerini termal radyasyonu algılayarak tespit eder. Ultrasonik sensörler ise ses dalgalarını kullanarak nesnelerin uzaklığını veya hareketini ölçer.

Manyetik Sensörler: Manyetik sensörler, manyetik alanları algılar. Hall etkisi sensörleri, manyetik alanın şiddetini veya yönünü ölçmek için kullanılır. Manyetik yaklaşım sensörleri ise manyetik alanın değişimini algılayarak nesnelerin varlığını tespit eder.

Akım Sensörleri: Akım sensörleri, elektriksel akımı ölçer. Akım transformatörleri veya Rogowski bobinleri gibi sensörler, bir devreye akan akımı izlemek ve ölçmek için kullanılır.

Kimyasal Sensörler: Kimyasal sensörler, çevredeki kimyasal bileşenleri algılar. Gaz sensörleri ve pH sensörleri gibi kimyasal sensörler, gazların varlığını veya sıvıların pH seviyesini ölçmek için kullanılır.

Konum Sensörleri (GPS, Jiroskop): Konum sensörleri, bir nesnenin konumunu veya hareketini belirler. GPS sensörleri, global konum bilgisini sağlar. Jiroskoplar ise cihazın konumunu ve eğimini ölçmek için kullanılır.

Sensörler, çeşitli endüstriyel ve tüketici uygulamalarında kullanılarak çevresel koşulları izlemeye, veri toplamaya ve otomatik sistemlerin çalışmasını sağlamaya yardımcı olur. Bu sensörlerin kullanımıyla, verimlilik artırılabilir, enerji tüketimi optimize edilebilir ve güvenlik önlemleri geliştirilebilir.

Elektrik Motorları ve Elektrik Motor Sürücüsü Nedir?

Elektrik Motorları:

Elektrik motorları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren cihazlardır. Elektrik motorları, manyetik alanlar aracılığıyla dönen bir mil üzerindeki mekanik işi yaparlar. Genellikle elektrik motorları, doğru akım (DC) veya alternatif akım (AC) elektrikle çalışabilirler.

Elektrik motorları çeşitli tiplerde olabilir:

Doğru Akım (DC) Motorları: DC motorları, doğru akım ile çalışır ve genellikle fırçalı veya fırçasız olarak tasarlanmıştır. Fırçalı DC motorlar, fırçalar aracılığıyla rotorun manyetik alanını değiştirirken, fırçasız DC motorlar fırça kullanmadan elektronik olarak komütatörü kontrol eder.

Alternatif Akım (AC) Motorları: AC motorları, alternatif akım ile çalışır ve endüksiyon motorları, senkron motorlar veya AC servo motorları gibi farklı tiplerde olabilir. AC motorları genellikle endüstriyel uygulamalarda kullanılır.

Üniversal Motorlar: AC ve DC voltajlarla çalışabilen motorlardır. Bu motorlar, küçük ev aletleri ve el aletlerinde sıklıkla kullanılır.

Elektrik motorlarının temel özellikleri şunlardır:

Mekanik güç üretirler ve döner hareket sağlarlar.

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürler.

Elektrik Motor Sürücüleri (Motor Sürücüleri):

Elektrik motor sürücüleri (veya motor sürücüleri), elektrik motorlarını kontrol eden ve yöneten elektronik cihazlardır. Motor sürücüleri, motor hızını, torkunu ve yönlendirilmesini hassas bir şekilde kontrol ederek motorun performansını optimize ederler.

Motor sürücülerinin temel görevleri şunlardır:

Motorun hızını ve torkunu kontrol ederler.

Motorun çalışma parametrelerini ayarlarlar (örneğin, hız, tork, ivme).

Motorun enerji verimliliğini artırmak için enerji geri kazanımını sağlarlar.

Motorun korunmasını sağlarlar (aşırı akım, aşırı ısınma gibi durumlarda koruma sağlarlar).

Motor sürücüleri genellikle bir mikrodenetleyici veya dijital sinyal işlemci (DSP) ile kontrol edilirler ve hızlı ve hassas motor kontrolü sağlarlar. Motor sürücüleri, endüstriyel robotlar, CNC makineleri, taşıma sistemleri, pompa sistemleri, fanlar ve diğer otomasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar.

İlişki:

Elektrik motorları, mekanik iş yapmak için enerji sağlarlar; motor sürücüleri ise bu motorların hızını, torkunu ve yönlendirilmesini kontrol ederler. Motor sürücüleri, motorların daha verimli, güvenli ve yönetilebilir bir şekilde çalışmasını sağlarlar. Birlikte kullanıldıklarında, elektrik motorları ve motor sürücüleri birçok endüstriyel uygulamanın temelini oluştururlar.

Endüstriyel Haberleşme ve Türleri Nedir?

Endüstriyel haberleşme, endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılan cihazlar arasında veri iletişimi sağlayan bir teknoloji ve süreçler bütünüdür. Bu sistemler, fabrikalar, tesisler, enerji santralleri, su arıtma tesisleri gibi endüstriyel ortamlarda kullanılan karmaşık otomasyon sistemlerinin verimli bir şekilde çalışmasını sağlarlar. Endüstriyel haberleşme genellikle güvenilirlik, hız, verimlilik ve uyumluluk gibi özellikler üzerinde odaklanır. İşte endüstriyel haberleşme ve yaygın olarak kullanılan türleri:

Endüstriyel Haberleşme Türleri:

Profibus (Process Field Bus):

Profibus, endüstriyel otomasyon sistemlerinde sıklıkla kullanılan bir haberleşme protokolüdür. Veri iletimi için hem seri (RS-485) hem de Ethernet tabanlı (Profinet) versiyonları bulunur. Profibus, sensörler, aktüatörler, PLC'ler ve diğer cihazlar arasında veri transferini sağlar.

Modbus:

Modbus, endüstriyel cihazlar arasında seri iletişim protokolü olarak yaygın olarak kullanılan açık bir standarttır. RS-232 veya RS-485 gibi fiziksel katmanlarda çalışabilir ve veri okuma/yazma işlevleri için kullanılır. Modbus, birçok endüstriyel cihaz ve kontrol sistemleri tarafından desteklenir.

Profinet:

Profinet, Ethernet tabanlı bir endüstriyel haberleşme protokolüdür. Gerçek zamanlı iletişim sağlar ve endüstriyel otomasyon sistemlerinde yüksek performanslı veri iletimi için kullanılır. Profinet, PLC'ler, HMI'ler, sürücüler ve diğer cihazlar arasında iletişimi kolaylaştırır.

Ethernet/IP:

Ethernet/IP, endüstriyel Ethernet tabanlı bir haberleşme protokolüdür. TCP/IP üzerinde çalışır ve veri paylaşımı için açık bir standart sağlar. Ethernet/IP, endüstriyel otomasyon sistemlerinde geniş kapsamlı bir iletişim çözümü sunar.

OPC (Open Platform Communications):

OPC, endüstriyel otomasyon sistemlerinde farklı cihazlar arasında veri paylaşımı sağlayan açık bir standarttır. OPC, farklı protokoller arasında köprü görevi görerek veri entegrasyonunu kolaylaştırır.

EtherCAT:

EtherCAT, endüstriyel otomasyon sistemlerinde gerçek zamanlı veri iletişimi için kullanılan yüksek performanslı bir Ethernet tabanlı haberleşme protokolüdür. EtherCAT'in gerçek zamanlı iletişim sağlaması ve yüksek hızlı veri iletimi özellikleriyle endüstriyel uygulamalarda tercih edilir.

Bu endüstriyel haberleşme protokolleri ve teknolojileri, farklı uygulama ve sistem gereksinimlerine göre tercih edilir. Her protokolün avantajları, dezavantajları ve özel kullanım alanları bulunmaktadır. Haberleşme ağı seçimi, güvenilirlik, performans, maliyet ve sistem entegrasyonu gibi faktörlere göre yapılır.

Endüstriyel Otomasyon Uygulamaları

Endüstriyel otomasyon, birçok endüstriyel sektörde farklı uygulamalarla kullanılan geniş kapsamlı bir teknoloji alanıdır. Bu teknolojilerin kullanımı, üretim süreçlerini otomatikleştirmek, verimliliği artırmak, kaliteyi iyileştirmek ve maliyetleri düşürmek için tasarlanmıştır. İşte endüstriyel otomasyonun çeşitli uygulama örnekleri:

Otomatik Üretim Hatları:

Otomasyon, fabrikalarda üretim hatlarını otomatikleştirmek için kullanılır. Bu hatlar, malzemelerin taşınması, işlenmesi ve montajı gibi işlemleri otomatik olarak gerçekleştirir. Otomatik üretim hatları, üretkenliği artırırken insan işçilerini tekrarlayan ve tehlikeli görevlerden kurtarır.

Endüstriyel Robotlar:

Robotik otomasyon, endüstriyel robotların kullanımıyla gerçekleşir. Robotlar, montaj, kaynak, paketleme, paletleme, boya ve diğer işlemlerde kullanılarak üretim süreçlerini otomatikleştirir ve optimize eder.

Akıllı Kontrol Sistemleri:

Endüstriyel tesislerde kullanılan akıllı kontrol sistemleri, sensörlerden gelen verileri analiz ederek üretim süreçlerini optimize eder. Bu sistemler, otomatik kararlar alarak üretim hızını artırır ve hataları en aza indirir.

Otomatik Depolama ve Lojistik Sistemleri:

Otomasyon, depolama ve lojistik süreçlerini iyileştirmek için kullanılır. Otomatik depolama sistemleri, paletleme robotları, konveyör sistemleri ve otomatik taşıma araçları gibi teknolojiler, malzeme yönetimini ve dağıtımını optimize eder.

Endüstriyel Sensörler ve Veri Analizi:

Sensörler ve veri toplama sistemleri, üretim süreçlerindeki değişkenleri izler ve verileri analiz eder. Bu veriler, üretim performansını değerlendirmek, kalite kontrolünü sağlamak ve öngörücü bakım yapmak için kullanılır.

Enerji Yönetimi ve Otomasyonu:

Endüstriyel tesislerde enerji tüketimini optimize etmek için otomasyon kullanılır. Akıllı enerji yönetimi sistemleri, enerji verimliliğini artırırken işletme maliyetlerini düşürür.

Güvenlik Sistemleri:

Endüstriyel otomasyon, iş sağlığı ve güvenliği için de kullanılır. Otomatik acil durum durdurma sistemleri, alarm sistemleri ve güvenlik kameraları gibi teknolojiler, işyeri güvenliğini sağlar.

Su ve Atık Su Arıtma Sistemleri:

Otomasyon, su ve atık su arıtma tesislerinde kullanılır. Bu sistemler, suyun arıtılması, proses kontrolü ve atık yönetimi için otomatikleştirilmiş çözümler sunar.

Gıda ve İçecek Endüstrisi Otomasyonu:

Gıda ve içecek üretim tesislerinde otomasyon, hijyen standartlarını sağlamak, üretim süreçlerini optimize etmek ve ürün kalitesini artırmak için kullanılır.

Endüstriyel otomasyonun uygulama alanları, endüstriyel süreçlerin karmaşıklığına ve gereksinimlerine bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Her bir uygulama alanı, teknolojinin farklı yönlerini ve otomasyonun getirdiği avantajları gösterir.

Kaynakça

- 1- Western Area Power Administration, 1997. How programmable logic controllers open new automation opportunities. Electrical World, 211, 46, New York.
- 2- KIRRMANN, H., 2003. Field Bus Types, EPFL Industrial Automation. ABB Research Center, Baden, Switzerland.
- 3- IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (Volume: 10, Issue: 4, October 2013)
- 4- 2013 IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)

İNSANSIZ HAVA ARACI İÇİN ROTA TAYİNİ

Mustafacan TAŞANLIGİL

ÖZET

Son yıllarda teknolojik gelişmelerin şaşırtıcı derece ilerlemesiyle birlikte, insansız hava araçlarını daha etkin ve verimli kılmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Araç rotalama problemi, belirtilen bir yeri referans noktası tayin ederek ve bu referans noktasından başlayarak, belirli sayıda aracın, belirli sayıda rotayı ziyaret ederken en az sayıda araç kullanıp, kısa zamanda toplam maliyeti minimize etmek ve en verimli rota planını oluşturma problemidir. Bu çalışmada, insansız hava araçlarını hava kuvvetleri bünyesinde kullanan, görev için keşif amacıyla belirlenen çeşitli konum ve koordinatları çabuk, etkin ve doğru bir biçimde veriyi elde etmek için belirlenen bir örnek incelenmiş olup, bu örneğe bağlı olarak genetik algoritma ve araç rotalama problemlerinden bahsedilecektir. Bahsedilen bu örnek, Genetik Algoritmayı esas alarak, internet üzerinden çevrimiçi bir şekilde konum veya koordinatları Google Maps'ten alıp Delphi ortamına aktararak bunları veri paketleri haline getirmektedir. Bu veri paketleri ise Matlab Simulink içerisinde depolanmaktadır. Her bir insansız hava aracı, bu veri paketlerini girdi olarak alıp kendisine en uygun rotayı oluşturmak üzere hesaplamaktadır.

Anahtar kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Genetik Algoritma, Araç Rotalama Problemi

ABSTRACT

With the surprising progress of technological developments in recent years, various studies have been carried out to make unmanned aerial vehicles more effective and efficient. Vehicle routing problem is the problem of determining the reference point of a specified place and starting from this reference point, using the minimum number of vehicles while visiting a certain number of routes, minimizing the total cost in a short time and creating the most efficient route plan. In this study, an example of using unmanned aerial vehicles within the air force, where various locations and coordinates are determined for reconnaissance purposes, to obtain data quickly, effectively and accurately, will be examined, and genetic algorithm and vehicle routing problems will be discussed based on this example. This example, based on the Genetic Algorithm, takes the location or coordinates from Google Maps online over the internet and transfers them to the Delphi environment and turns them into data packages. These data packages are stored in Matlab Simulink. Each unmanned aerial vehicle takes these data packages as input and calculates them to create the most suitable route for itself.

Keywords: Unmanned aerial vehicle, Genetic Algorithm, vehicle routing problem

GİRİŞ

Günümüzde, hatta ilerleyen zamanlarda teknolojinin de evrim geçirmesiyle birlikte insansız hava araçlarının vazgeçilmez bir teknoloji harikası olduğu anlaşılmıştır. İnsansız hava araçlarının geniş bir kullanım yelpazesine sahip olmasıyla birlikte hem sivil alanda hem de askeri alanda geniş bir yankı uyandırmıştır. İnsansız hava araçlarının, değişen koşullara çabuk ve etkili bir şekilde uyum sağlama kabiliyetinin arkasında yatan en önemli hususlardan biri, etkin bir planlama ve uçuş kontrolü sistemidir. Bu bağlamda, bu teknoloji harikasının askeri alanda mühim bir görevdeyken, insansız hava aracının kontrolü bizzat insan elinde olmayıp

dolaylı yönden olması ve görev esnasında insan kaybının ise bulunmaması, istenilen irtifalara çıkıp belirtilen menzillere uzanmasıyla da büyük bir avantaja sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yine askeri alanda, gözlem amacıyla belirlenen bir konum veya koordinatlar, ivmeli ve doğru bir biçimde aktarılması görev açısından önem arz etmektedir. Hava Kuvvetleri'nde göz önünde bulundurulmuş iki önemli etken vardır. Bunlardan ilki tam başarı iken ikincisi ise zamanlamadır. Bu bağlamda, belirlenen bir koordinatın gözetleme süresi belirlenen skala içerisinde olmalıdır. Bu süre, belirlenen skala içerisinde olmayıp daha uzun olması durumunda ise elde edilecek verilerin sağlıklı olmaması, büyüklüğü ve süresi açısından işin içinden çıkılamayacak bir boyuta ulaşmasına sebep olacaktır. Keşif için veya gözlem için belirlenen konumların artması ve havalanacak olan insansız hava aracının sayısının da artmasıyla birlikte elde edilecek veri paketlerin çözümü ise üstel olarak artacaktır. Ve böylece ortaya çıkacak olan çözüm sonucu ve süresi kabul edilebilir düzeyde olmayacaktır. Bu sorunu aşmak için ise Araç Rotalama Problemi devreye girmektedir. Araç rotalama problemi, belirlenecek olan bir hedef noktasından başlayarak, diğer hedef noktalarına kadar olan mesafe, zaman ve maliyet açısından eniyilemeyi sunan bir problemdir. Araç rotalama probleminde, hedef sayısındaki artış üstel olarak çözüm sonucuna yazılmaktadır. Araç rotalama problemi gibi problemleri çözmek için kesin algoritmaları kullanmak genellikle uygun olmayıp, sezgisel veya meta-sezgisel metotlar kullanarak problemlerin çözümüne ulaşılmıştır. Bu metotlar genellikle problemi daha küçük parçaya bölen ve ardından bu parçaları optimize eden bir yaklaşım içermektedir. Genetik algoritma ise bu metotlar arasında dahil olup, tek bir çözüm üretmek yerine, bir çözüm kümesi bulup o çözüm kümesinde geniş bir alanda gezinme ve daha iyi çözümlere ulaşma olasılığını da arttırmaktadır.

Bu çalışma için, belirlenen bir örnekte kullanılan araç rotalama problemi ve genetik algoritma ile ilgili bilgiler verilecek olup genetik algoritma ve araç rotalama problemi bir örnek üzerinden anlatılacaktır.

İNSANSIZ HAVA ARACI

TANIM

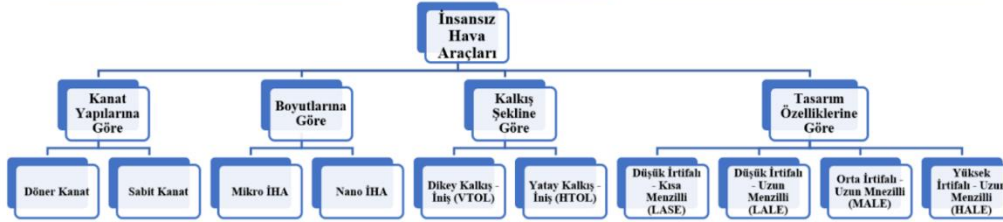
İnsansız hava aracı, doğrudan herhangi bir insan müdahalesi olmadan uçabilen, genellikle uzaktan kumanda veya önceden programlanmış bir rota üzerinden otomatik bir şekilde uçabilen bir hava aracıdır. İnsansız hava araçları genellikle farklı boyutlarda ve farklı tasarımlarda olup çeşitli amaçlar içerisinde kullanılmaktadır. Bu amaçlara örnek olarak sivil ve askeri alanlardan bahsedilebilmektedir. Askeri alanda kullanılan insansız hava araçları, belirtilen bir coğrafi bölgeyi keşif amacıyla gözetleme, gözetlendikten sonra haritalama ve belirlenen coğrafi bölgede arama kurtarma gibi çeşitli faaliyetlerin sorumluluğunu üzerine almaktadır. İnsansız hava aracı bünyesinde faydalı yük taşıyabileceği gibi mühimmat da taşıyabilmekte olup, görev esnasında görevdeki operasyona bağlı olarak insan kaybı riski olmaksızın kendini imha etme özelliği de bulunmaktadır. Bu gibi avantajlara sahip olmasından dolayı neredeyse hemen hemen bütün ülkeler ya insansız hava aracı alımına ya da üretimine geçmiştir.

İNSANSIZ HAVA ARACININ SINIFLANDIRILMASI

İnsansız hava araçlarının sınıflandırılması işleminde herhangi bir standart kategorize işlemi bulunmayıp, sivil insansız hava araçları için, her ülke kendi havacılık otoritesi tarafından bir standart belirleyip kendi insansız hava araçlarını o standart işlemine göre sınıflandırmışlardır. İnsansız hava araçları öncelikle dört ana gruba ayrılmıştır. Birincisi kanat yapılarına göre, ikincisi boyutlarına göre, üçüncüsü kalkış şekillerine göre ve sonuncusu ise tasarım özelliklerine göre sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Kanat yapılarına göre olan sınıf kendi ise, döner kanat ve sabit kanat olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Boyutlarına göre olan sınıf ise mikro ve nano olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kalkış şekillerine göre olan sınıf ise dikey kalkış

(VTOL) ve yatay kalkış (HTOL) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Son olarak tasarım özelliklerine göre olan sınıf ise dörde ayrılmaktadır. Düşük irtifalı kısa menzilli (LASE), düşük irtifalı uzun menzilli (LALE), orta irtifalı uzun menzilli (MALE), yüksek irtifalı uzun menzilli (HALE).

Böylece insansız hava araçlarının sınıflandırılmasında sabit bir standart yerine bünyesinde bulunan farklı konfigürasyonlarla bir sıralama karşımıza çıkmaktadır.



ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

TANIM

Araç Rotalama Problemi (ARP), belirli sayıda aracın belirli sayıda konumu ziyaret ederken, belirli kısıtlar altında (mesela, araç kapasitesi, süre) toplam maliyeti minimize etmek için en etkili rota planını oluşturma problemini ifade etmektedir. Temel amaç, her konumu ziyaret eden ve başlangıç noktasına geri dönen optimal rota planını bulmaktır. Bu, araçların yakıt ve zaman gibi kaynakları en etkili şekilde kullanmasını sağlamaktadır.

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ FORMÜLLERİ

Araç Rotalama Probleminde,

- Birinci şehir depo olmak üzere n adet şehir veya hedef sayısı,
- m adet araç,
- S hedefler serisinin alt seti
- $|S|$, S alt setindeki hedef sayısı
- her bir aracın kapasitesi C
- i noktasından j noktasına olan mesafe x_{ij} olarak belirtilir ve rota belirlenirken,

Her bir şehre yalnız bir defa gidilip her bir araç ise hareket etmeden önce aynı depodan başlar ve aynı depoda rotayı bitirir. Belirlenen rota için çeşitli kısıtlar mevcuttur.

Araç rotalama problemine ait genel matematiksel eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\min Z = \sum_{i,j} c_{ij} \sum_k x_{ijk}$$

Rota için belirlenen kısıtlar ise;

$$\sum_k y_{ik} = \begin{cases} 1, & i = 2, \dots, n \\ m, & i = 1 \end{cases}$$

$$\sum_j x_{ijk} = y_{ik} \quad i = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \text{tüm } S \subseteq \{2, \dots, n\} \quad k = 1, \dots, m$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, m$$

Burada belirtilen ilk kısıt, her bir müşteri için sadece bir araç verilmesi, ikinci kısıt ise müşteri için gelen aracın tekrar gitmesini ifade etmekte olup üçüncü kısıt ise SSP (seyyar satıcı problemi) alt tur eleme kısıdı olarak ifade edilmektedir.

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{k aracı } i \text{ düğümünden hemen sonra } j \text{ düğümüne giderse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$
$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{k aracı } i \text{ düğümünü ziyaret ederse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

GENETİK ALGORİTMA

Genetik Algoritma, doğal seleksiyon ilkesini taklit eden ve bilgisayar ortamında kullanılan bir optimizasyon yöntemi olup, potansiyel çözümleri temsil eden bir popülasyon oluşturmaktadır. Bu popülasyon üzerinde genetik operatörler kullanarak yeni çözümler oluşturmaktadır. Böylece genetik algoritma, problemin en iyi çözümüne yaklaşmayı esas almaktadır. Genetik algoritma sadece tek bir çözüm yolu bulmayı, bir çözüm kümesi oluşturmaktadır. Oluşturulan bu çözüm kümesinde ise elde edilen sonuçlar birbirinden bağımsız olup, elde edilen birçok nokta değerlendirilip sonucun bütünsel bir vaziyette çözüme kavuşmasını sağlamaktadır.

GENETİK ALGORİTMA ADIMLARI

- Çözüm uzayındaki çözümler, dizi olarak kodlanmaktadır.
- Başlangıç popülasyonu genellikle rastsal olarak belirlenmektedir.
- Uygunluk değeri hesaplama işlemi, kodlanan dizinin kalitesine göre gerçekleştirilmektedir.
- Dizi rastsal olarak çoğalma işlemine tabii tutulmaktadır.
- Çoğalma işleminden sonra mutasyona tabii tutularak, uygunluk değeri gözlemlenmektedir.
- Bu iterasyon, çözüm uzayındaki optimum noktaya gelene kadar devam eder.

GENETİK ALGORİTMA PARAMETRE BELİRLENMESİ

Genetik algoritmanın performansı, tek bir ölçütle sınırlı kalmayıp seçilecek olan operatörlerin tipi, büyüklüğü gibi çeşitli faktörlerle iç içe olduğu için genetik algoritmaların çalışmasını doğrudan etkileyecektir. Nitekim büyük olan bir çözüm uzayında uzun sürecek arayışlar gerçekleştirilebileceği gibi daha küçük çözüm uzayında ise kısa süreli arayışlar mevcut olup çözümün sonucunda ise verimli olmayan sonuçlar da elde edilebilmektedir. Bu bağlamda problemin çözümünde, sağlıklı sonuçlar elde etmek için genetik algoritmayı etkileyen sebepler daha hassas bir şekilde incelenmelidir.

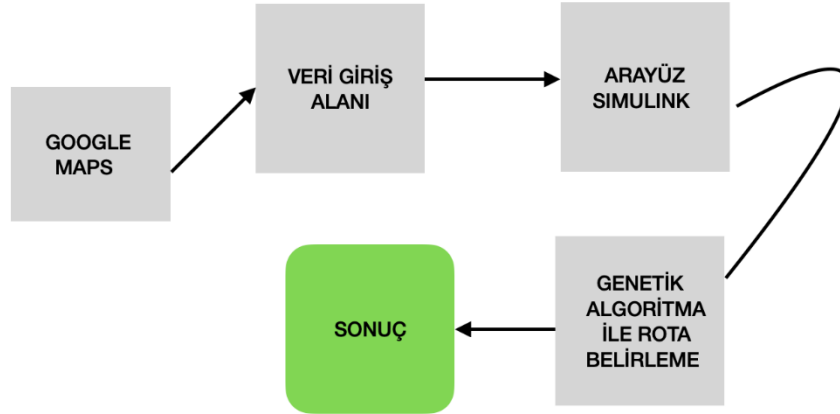
- Popülasyon Boyutu: Çözümün elde edilmesi açısından, popülasyon boyutunun belirlenmesi önemli bir adım olarak düşünülebilmektedir. Boyut büyüdüğü zaman süre uzayacağı gibi, boyut küçüldüğünde ise genetik algoritma bir değerde tıkanabilmektedir.
- Çaprazlama: Çaprazlama için belirlenen hedef, çaprazlanacak olan kromozomların niteliğini, özelliğini birleştirmek ve daha iyi kromozom elde etmek iken olması iken çaprazlamanın artması ise belirlenen kromozoma ait belirli niteliğin kaybolmasına zarar görmesine neden olacaktır.
- Mutasyon: Mutasyondaki asıl amaç çeşitliliği sağlamaktır. Fakat mutasyonun artması, genetik algoritmanın istenilen duruma gelmesini engelleyebilmektedir.

- Kuşak Aralığı: Kuşak aralığı, her bir kuşaktaki yeni kromozom oranını belirtmekte olup genetik operatörler için seçilen kromozom sayısını belirtmektedir. Kuşak aralığının yüksek bir değerde olması, çok fazla kromozom sayısının yer değiştirdiğini göstermektedir.
- Seçim Stratejisi: Eski nesli yenilemenin farklı yolları mevcuttur. Kuşaksal stratejide, şu anda bulunan kromozomlar yavru kromozomlar ile değiştirilmektedir. Bu işlemde en iyi kromozom da ortadan kaybolur ve nesilden nesile aktarılamaz. Bu işlemde elitist denilen bir strateji kullanılır, bu stratejide en iyi olarak belirlenen kromozom hiçbir zaman yenilenmeyip sadece kötü kromozomlar belirlenip yeni kromozomlar ile değiştirilir.
- Ölçekleme: Genetik algoritmanın etkin bir şekilde sonuçlanması için seçilecek olan ölçeklendirme işlemi doğrusal ve üstel olarak ikiye ayrılır ve tercihe göre seçilmektedir.

GENETİK ALGORİTMA VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ KULLANILARAK ROTA TAYİNİ YAPILMASI

Hava Kuvvetlerinde, insansız hava araçlarını optimum bir şekilde kullanabilmek adına, genetik algoritma esaslı yöntemler geliştirilmiştir. Gözlem amacıyla belirlenen, coğrafi koordinatları çevrim içi olarak TCP bağlantısı ile Google Maps API'lerinden alıp Borland Delphi 7.0 ortamına aktararak bir bilgi-veri paketi haline getirmektedir. Daha sonra bu bilgi paketini Matlab Simulink içerisinde işlenebilmesi için bir arayüz oluşturulmuştur.

Genetik algoritma, bu veri-bilgi paketlerini girdi olarak alıp, eniyileyip insansız hava araçları için optimum rotayı belirlemektedir.



Bu oluşturulan arayüzde ise, toplam insansız hava aracı, her bir insansız hava aracına ait görüntü kayıt süresi ve belirlenen hedefin ne kadar süre içerisinde kayıt altına alacağı görülmektedir.

Mouse Position : 592 741
 Current Coordinate : 40.657974 29.110681
 Center Map : 40.969961 28.843986

Total UAV Count :
 Each UAV Capacity : minutes

10 Longitude Latitude Demand
 Target

41.0271229365609,28.909972560000,10
 41.0890928864775,28.777999440000,20
 40.9133332871452,28.750505040000,30
 40.8973065759599,28.708346960000,25
 40.7680244390651,28.838487120000,15
 40.7402448063439,28.678103120000,20
 40.7071229365609,29.146424400000,10
 40.7167389632721,29.133593680000,30
 40.6868224357262,29.202329680000,25
 40.6857539883139,29.247237200000,15

G.S.

İlk adım popülasyonu Rassal yöntemi ile belirlenip, iki ebeveyn çaprazlanmış daha sonra ise mutasyona uğratılmıştır. Ve böylece istenilen optimum en iyi çözümü bulunana dek bu süreç devam etmiştir. Durdurma kriteri olarak belirlenen en iyi rota, bulunduğu anda ise süreç bitmiş olup sonuç ekrana yansıtılacaktır.

BELİRLENEN HEDEF SAYISI	İNSANSIZ HAVA ARACI SAYISI	MİNİMUM MESAFE (NM)	YİNELEME SAYISI	SÜRE (SN)
15	3	668.3	3940	113.15
15	5	715.5	4188	114.32
15	10	720.1	4493	114.91
30	3	884.3	4818	115.25
30	5	816.9	4606	116.33
30	10	903.8	4678	117.97
45	3	1055.2	5165	154.65
45	5	1049.6	5258	163.89
45	10	1098.3	5696	186.38
60	3	2011.2	5601	201.37
60	5	1970.8	5714	219.62
60	10	1955.7	5653	243.15

Bu tablo için; 6000 iterasyon sayısı, 80 popülasyon boyutu, 15,30,45,60 hedef sayısı, 3,5,10 insansız hava aracı sayısı olarak belirtilmiştir.

Yukarıdaki tablo incelendiğinde, belirlenen hedef sayısının artması, çözüm için gerçekleştirilecek çözüm uzayının arayış süresini de arttırmaktadır. Aynı şekilde, insansız hava aracı sayısının da artması çözüm uzayında üstel olarak da artışa sebep olacaktır.

Yukarıdaki tabloya göz atıldığında, 15 ve 30 olarak belirlenen hedef sayısının, insansız hava araçları sayılarının da farklı olduğu süreler incelendiğinde ve 30 ila 45 olarak belirlenen hedef sayısının ve yine aynı şekilde farklı insansız hava araçlarının olduğu kısımlardaki süreler bakıldığında, 15 ve 30 olarak belirlenen hedeflerin ortalama süresi, 45 ve 60 olarak belirlenen hedeflerin ortalama süresinden hem daha düşük hem de birbirine daha yakın olduğu ortaya konmuştur. Hedef sayısı 45 ve 60 olan kısımlardaki süre artışı ve insansız hava aracındaki artışa bağlı olarak ciddi belirginlikler ortaya çıkmıştır.

Mesafelere göz atacak olursak, 15 adet hedef için belirlenen 3 insansız hava aracının mesafesi, 30 ve 45 adet hedef için belirlenen 5 insansız hava aracı ve 60 adet belirlenen hedef için 10 adet insansız hava aracının mesafeleri incelendiğinde diğer insansız hava araçları sayısına oranla daha verimli sonuç elde edildiği gözlemlenmiştir. Az hedef için az insansız hava aracı, çok hedef için ise daha çok insansız hava aracının efektif olduğu ortaya çıkmıştır.

Araç rotalama problemi göz önünde bulundurularak, her bir insansız hava aracı aynı noktadan havalanıp tekrar aynı noktaya geleceğinden dolayı az sayıda belirlenen hedeflere az sayıda insansız hava aracı tahsis edilirse süreç bir o kadar başarılı olarak gerçekleşir.

Belirlenen insansız hava aracı sayısı az olup, belirlenen hedef sayısı fazla olduğunda, insansız hava aracının keşif yapması çözüm uzayını büyüteceğinden dolayı sağlıklı sonuçlarla karşılaşılmaz.

SONUÇ

Sonuç olarak, insansız hava araçlarının önemli bir görevdeyken belirlenen konumların keşfi gerçekleştirilirken, insan kaybı riski olmaksızın ve gerektiğinde insansız hava aracının kendi kendini imha etmesi, insansız hava araçlarının avantajlarından bir tanesidir. İnsansız hava araçlarının görev esnasında gözetleme sırasında hızlı ve net bilgi alması ve aktarması görevin ilerleyişi açısından önem arz etmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı genetik algoritma esaslı bir arayüz kullanılarak insansız hava araçlarının etkin ve etkili bir rota bulmasına ve görevin başarılı şekilde sonlanmasına olanak sağlamaktadır.

Bu örnekte elde edilen sonuç, meta-sezgisel problem çeşidi olan genetik algoritmanın, çözüm için belirlenen çözüm uzayında tek bir çözüm bulmayıp bir çözüm kümesi bulup çözümün daha geniş bir perspektifte ele alınmasını sağlayarak, belirlenen herhangi bir problemin çözümünde, problemin çözümüne dair özel bir veriye ihtiyaç duymadan çalışabilmesi ve değişen koşullara göre hızlı bir şekilde uyum sağlamasıyla avantajını ön plana çıkarmıştır.

Araç rotalama probleminde ise, kaynakların verimli kullanılması, planlama ve operasyonel verimliliği ile ön plana çıkmış olup optimum rotaları kullanarak problem çözümünün belirlenen zaman aralığında gerçekleşmesiyle verilerin hızlı şekilde elde edilmesinde kolaylık sağlar.

KAYNAKÇA

- İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİYLE ÇOKLU HEDEFLERE PLANLANMASI Hv.Pl.t.Yzb. Baha PAKKAN* HHO Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü 34149, Yeşilyurt / İSTANBUL bpakkan@hho.edu.tr Geliş Tarihi: 25 Ağustos 2009, Kabul Tarihi 30 Ocak 2010 Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Yb. Murat ERMİŞ Hava Harp Okulu Dekanlığı 34149, Yeşilyurt / İSTANBUL m.ermis@hho.edu.tr
- Eryavuz, M., Gencer, C., 2001. Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama, Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yayınlanmamış Y. Lisans Tezi, Isparta.
- Şeker, Ş., 2007. Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencere Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınlanmamış Y.Lisans Tezi, İstanbul.
- Kaplankıran, Ö., 2007. Mini İnsansız Hava Aracı Etrafındaki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Hava Harp Okulu, Yayınlanmamış Y.Lisans Tezi, İstanbul.
- ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ VE ZAMAN PENCERELİ STOKASTİK ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNE GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI Endüstri Mühendisi Şükran ŞEKER YÜKSEK LİSANS TEZİ
- Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Cilt XXI, Sayı 1, 2002, s. 129-152 GENETİK ALGORİTMALAR ve UYGULAMA ALANLARI Gül Gökay EMEL* Çağatan TAŞKIN**
- S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.5, s.4, ss. 511-535, 2017 Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech., v.5, n.4, pp. 511-535, 2017 ISSN: 2147-9364 (Elektronik) DOI: 10.15317/Scitech.2017.109 İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI: TARİHÇESİ, TANIMI, DÜNYADA VE TÜRKİYE'DEKİ YASAL DURUMU 1Muzaffer KAHVECİ, Nazlı CAN2
- DİNAMİK İNSANSIZ HAVA SİSTEMLERİ ROTA PLANLAMASI LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE İNSANSIZ HAVA SİSTEMLERİ ÇALIŞMA ALANLARI LITERATURE REVIEW OF DYNAMIC UNMANNED AERIAL SYSTEM ROUTING PROBLEMS AND PROPOSALS FOR FUTURE STUDIES OF UASs Cihan ERCAN1*, Cevriye GENCER2
- V. INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND VOCATIONAL STUDIES CONGRESS – ENGINEERING (BILMES EN 2020) FULL TEXT BOOK DECEMBER 2020
- UÇAK BAKIM ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN YENİ BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI Kübra Gülnaz BÜLBÜL DOKTORA TEZİ
- İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (İHA) ‘ NIN KAPSAMLI SINIFLANDIRMASI VE GELECEK PERSPEKTİFİ Emrah YİĞİT 1, Işıl YAZAR2, T. Hikmet KARAKOÇ3

FUZZY LOGIC APPLICATIONS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS IN UNMANNED AERIAL VEHICLES DESIGN

Mücahit İRGİN

1. Introduction

1.1. Background

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), commonly known as drones, have revolutionized numerous fields, including military, agriculture, environmental monitoring, and delivery services. The evolution of UAVs has been marked by significant advancements in control systems, sensor technologies, and computational capabilities. At the heart of these advancements lies the integration of Artificial Intelligence (AI) and Fuzzy Logic (FL), which enhance the autonomous capabilities of UAVs, making them smarter and more reliable.

1.2. Purpose

This essay aims to explore the role of Fuzzy Logic and AI tools in the design and development of UAVs. By examining the principles and applications of these technologies, we seek to understand how they contribute to the effectiveness and efficiency of UAV systems.

1.3. Scope

The scope of this essay includes an overview of Fuzzy Logic and AI, their applications in UAV navigation, collision avoidance, and payload management, the integration of these technologies, and future trends in the field. Case studies will be presented to illustrate successful implementations and the lessons learned from these experiences.

2. Fuzzy Logic Basics

2.1. Definition

Fuzzy Logic is a mathematical framework introduced by Lotfi Zadeh in 1965, designed to handle the concept of partial truth. Unlike traditional binary logic that operates on precise and definite true or false values, Fuzzy Logic allows for a continuum of truth values between 0 and 1. This approach is particularly useful in systems where information is incomplete, uncertain, or imprecise. In essence, Fuzzy Logic models the

kind of reasoning that is common in human decision-making, where linguistic terms like "somewhat," "moderately," and "very" are often used instead of absolute values.

2.2. Principles

The principles of Fuzzy Logic are grounded in the concepts of fuzzy sets, membership functions, and fuzzy rules. These components work together to process input data and produce meaningful outputs in situations where traditional binary logic would fall short.

2.2.1. Fuzzy Sets

A fuzzy set is a class of objects with a continuum of grades of membership. Unlike classical sets, where an element either belongs or does not belong to a set (membership value of 1 or 0), fuzzy sets allow for partial membership, where elements can belong to a set to varying degrees.

This is represented by a membership function, which assigns a grade (between 0 and 1) to each element, indicating its degree of membership in the fuzzy set.

2.2.2. Membership Functions

Membership functions are crucial in Fuzzy Logic as they define how each point in the input space is mapped to a membership value between 0 and 1. Common types of membership functions include triangular, trapezoidal, and Gaussian functions. These functions are chosen based on the nature of the data and the specific requirements of the application.

2.2.3. Linguistic Variables

Linguistic variables are variables whose values are words or sentences from a natural language, rather than numerical values. For example, in a temperature control system, the linguistic variable "temperature" might have values such as "cold," "warm," and "hot." These qualitative descriptions are then translated into fuzzy sets using membership functions.

2.2.4. Fuzzification

Fuzzification is the process of converting crisp input values into fuzzy sets. This involves determining the degree to which these inputs belong to each relevant fuzzy set using membership functions. For instance, if the input temperature is 25°C, fuzzification might determine that it is 0.6 "warm" and 0.4 "hot."

2.2.5. Fuzzy Inference

Fuzzy inference is the process of formulating the mapping from a given input to an output using fuzzy logic. This involves the application of a set of fuzzy rules, which are typically in the form of IF-THEN statements. For example, a rule might state, "IF temperature is warm AND humidity is high, THEN fan speed should be moderate." The rules are applied to the fuzzified inputs to produce a fuzzy output.

2.2.6. Defuzzification

Defuzzification is the process of converting the fuzzy output of the inference engine into a crisp value. This step is necessary because the final output needs to be a specific action or decision. Common defuzzification methods include the centroid method, which calculates the center of the area under the fuzzy set, and the maximum membership method, which selects the output value with the highest membership degree.

By leveraging these principles, Fuzzy Logic systems can handle complex and uncertain environments more effectively than traditional binary logic systems. This makes them particularly useful in applications such as control systems, decision making processes, and pattern recognition, where precision and adaptability are crucial.

3. Artificial Intelligence in UAV Design

3.1. Overview

Artificial Intelligence (AI) in UAV design encompasses a broad spectrum of technologies and methodologies that enable UAVs to perform tasks autonomously, learn from experience, and adapt to new situations. The primary AI technologies used in UAVs include machine learning, neural networks, computer vision, and expert systems. These technologies work together to

process vast amounts of data from various sensors, make real-time decisions, and execute complex missions without human intervention.

Machine Learning

- : Machine learning algorithms allow UAVs to learn from data and improve their performance over time. Supervised, unsupervised, and reinforcement learning are commonly used in UAV applications to optimize flight paths, identify objects, and make strategic decisions.

Neural Networks

- : Neural networks, especially deep learning models, are employed for tasks such as image and video recognition, navigation, and collision avoidance. They enable UAVs to process and interpret complex sensory inputs like camera feeds and LiDAR scans.

Computer Vision

- : Computer vision techniques enable UAVs to understand and interpret visual information from onboard cameras. This is critical for

applications like obstacle detection, target tracking, and environmental mapping.

Expert Systems

- : Expert systems use rule-based reasoning to simulate the decision-making ability of a human expert. They are used for mission planning, system diagnostics, and real-time decision-making under predefined conditions.

3.2. Importance

The integration of AI into UAV design is pivotal for several reasons, fundamentally enhancing the capabilities, efficiency, and scope of UAV operations.

3.2.1. Enhanced Autonomy

AI technologies empower UAVs to operate autonomously, reducing or eliminating the need for human pilots. This autonomy enables UAVs to perform complex missions such as search and rescue, environmental monitoring, and agricultural surveying in remote or hazardous environments where human presence is impractical or dangerous.

3.2.2. Improved Decision-Making

AI algorithms can process and analyze data faster and more accurately than humans, leading to better decision-making. For instance, AI can quickly analyze sensor data to detect and avoid obstacles, select optimal flight paths, and adapt to changing environmental conditions in real-time. This level of responsiveness is crucial for the safe and efficient operation of UAVs.

3.2.3. Increased Operational Efficiency

AI-driven UAVs can optimize their operations to conserve energy, reduce flight time, and maximize payload capacity. Machine learning algorithms can predict and adjust for variables such as wind speed, battery life, and traffic patterns, ensuring that UAVs complete their missions more efficiently and with greater precision.

3.2.4. Scalability and Versatility

AI enhances the scalability and versatility of UAV operations. Autonomous UAVs can be deployed in large numbers for applications like agricultural monitoring or package delivery, where manual control of each UAV would be infeasible. Additionally, AI allows UAVs to adapt to various tasks and environments, making them versatile tools across multiple industries.

3.2.5. Enhanced Safety

AI contributes significantly to the safety of UAV operations. Through continuous learning and real-time data processing, AI systems can predict and mitigate risks more effectively than human operators. For example, AI can predict potential collisions based on flight patterns and take preemptive action to avoid accidents. This capability is especially critical in densely populated or high-traffic areas.

3.2.6. Innovation and Future Applications

The application of AI in UAV design drives innovation, leading to new and emerging uses for UAVs. For example, AI-powered UAVs are being developed for urban air mobility, delivering medical supplies in emergency situations, and conducting detailed environmental assessments. The ongoing advancements in AI technologies promise to expand the horizons of what UAVs can achieve, fostering innovation across various sectors.

In summary, AI plays a crucial role in the design and operation of UAVs, enhancing their autonomy, decision-making capabilities, operational efficiency, and safety. The continuous integration and advancement of AI technologies in UAV systems are set to transform industries and open up new possibilities for the application of UAVs in both civilian and military contexts.

4. Fuzzy Logic Applications in UAV Design 4.1. Navigation Systems

Fuzzy Logic plays a critical role in enhancing the navigation systems of UAVs. Traditional navigation systems rely heavily on precise data and clear-cut rules, which can be problematic in uncertain or dynamic environments. Fuzzy Logic addresses these issues by handling imprecise and ambiguous information, making UAV navigation more robust and adaptable.

4.1.1. Path Planning

In path planning, Fuzzy Logic systems consider multiple factors such as distance to the target, obstacles, wind conditions, and battery life. By processing these inputs, fuzzy controllers can generate optimal paths that balance efficiency and safety. For

example, a fuzzy rule might state: "IF the obstacle is near AND the target is far, THEN increase altitude moderately." Such rules enable the UAV to navigate complex environments smoothly.

4.1.2. Environmental Adaptation

Fuzzy Logic helps UAVs adapt to varying environmental conditions. For instance, in adverse weather conditions, such as high winds or rain, fuzzy controllers can adjust

flight parameters to maintain stability. A fuzzy system can continuously assess the severity of environmental factors and adjust the UAV's speed, altitude, and orientation accordingly to ensure safe and stable flight.

4.1.3. Sensor Fusion

Fuzzy Logic is effective in sensor fusion, combining data from multiple sensors (e.g., GPS, IMU, and cameras) to provide a comprehensive understanding of the UAV's position and surroundings. This integrated approach allows for more accurate navigation decisions, especially in scenarios where individual sensors may provide conflicting or incomplete data.

4.2. Collision Avoidance

Collision avoidance is one of the most critical applications of Fuzzy Logic in UAVs. Traditional collision avoidance systems can struggle with real-time decision-making in unpredictable environments, but Fuzzy Logic offers a more flexible and responsive approach.

4.2.1. Real-Time Obstacle Detection

Fuzzy Logic enables real-time detection and response to obstacles. Using inputs from various sensors such as LiDAR, ultrasonic sensors, and cameras, a fuzzy collision avoidance system evaluates the risk of collision and makes immediate adjustments to the UAV's flight path. For example, a rule might be: "IF obstacle distance is very close AND speed is high, THEN decrease speed sharply."

4.2.2. Dynamic Environment Handling

Fuzzy systems are particularly adept at handling dynamic environments where obstacles move unpredictably, such as urban areas with vehicles and pedestrians. The fuzzy controller can continuously update its rules based on real-time sensor data to navigate around moving obstacles safely.

4.2.3. Cooperative Collision Avoidance

In scenarios involving multiple UAVs, fuzzy logic can facilitate cooperative collision avoidance. By sharing positional data and intentions among UAVs, a fuzzy system can predict potential collisions and coordinate maneuvers to avoid them. This is crucial for operations like drone swarms or delivery fleets operating in shared airspace.

4.3. Payload Management

Efficient payload management is essential for optimizing the performance and stability of UAVs, particularly in commercial applications like delivery and agriculture. Fuzzy Logic contributes significantly to this aspect by providing flexible and adaptive control mechanisms.

4.3.1. Load Balancing

Fuzzy Logic helps maintain the UAV's balance and stability by adjusting flight parameters based on the distribution and weight of the payload. For instance, a fuzzy system might adjust the throttle and tilt angles if it detects an imbalance in the payload distribution. A typical rule could be: "IF payload weight is heavy on the left side, THEN tilt right slightly."

4.3.2. Battery Management

Managing battery life efficiently is critical when carrying payloads. Fuzzy Logic systems can optimize power consumption by adjusting the UAV's speed and flight path based on the remaining battery life and the payload's weight. For example: "IF battery level is low AND payload is heavy, THEN reduce speed and take the shortest path."

4.3.3. Delivery Precision

For delivery UAVs, precision in payload deployment is crucial. Fuzzy Logic can enhance delivery accuracy by adjusting the release mechanism based on factors such as altitude, wind speed, and target location. A fuzzy rule might be: "IF target is very close AND wind speed is low, THEN release payload gently."

In conclusion, Fuzzy Logic significantly enhances the capabilities of UAVs in navigation, collision avoidance, and payload management by providing flexible, adaptive, and robust control mechanisms. These applications demonstrate the value of Fuzzy Logic in dealing with the uncertainties and complexities inherent in UAV operations, making UAVs safer, more efficient, and more reliable in various applications.

5. Integration of AI and Fuzzy Logic

5.1. Benefits

The integration of Artificial Intelligence (AI) and Fuzzy Logic in UAV design brings numerous benefits, enhancing the capabilities and performance of UAV systems significantly.

5.1.1. Enhanced Decision-Making

Combining AI and Fuzzy Logic leads to more robust decision-making processes. AI algorithms, particularly those based on machine learning and neural networks, can handle vast amounts of data and recognize complex patterns. Fuzzy Logic, on the other hand, excels at managing uncertainty and imprecision. Together, they enable UAVs to make nuanced decisions based on both precise data and ambiguous information, improving their ability to navigate complex environments and respond to dynamic situations.

5.1.2. Improved Autonomy

The synergy between AI and Fuzzy Logic enhances the autonomy of UAVs. AI can provide predictive insights and learn from past experiences, while Fuzzy Logic offers flexible control mechanisms that adapt to real-time conditions. This integration allows UAVs to operate more independently, handling tasks such as navigation, collision avoidance, and payload management with minimal human intervention.

5.1.3. Increased Reliability and Safety

Integrating AI with Fuzzy Logic increases the reliability and safety of UAV operations. AI algorithms can predict potential failures and optimize maintenance schedules, while Fuzzy Logic can manage uncertain situations to maintain stable and safe operations. This combined approach ensures that UAVs can handle unexpected events, such as sudden weather changes or sensor malfunctions, more effectively.

5.1.4. Greater Efficiency

Efficiency in UAV operations is significantly enhanced through the integration of AI and Fuzzy Logic. AI optimizes resource use by learning the most efficient flight paths and operational strategies. Fuzzy Logic ensures that the UAV can adapt these strategies in real-time to cope with variations in environmental conditions and mission requirements, leading to more efficient energy use and reduced operational costs.

5.1.5. Versatile Applications

The combination of AI and Fuzzy Logic makes UAVs more versatile, capable of performing a wide range of tasks across different industries. For instance, in precision agriculture, AI can analyze crop health data while Fuzzy Logic adjusts the UAV's actions based on real-time environmental conditions. In logistics, AI can plan delivery routes while Fuzzy Logic ensures stable flight despite varying payload weights and wind conditions.

5.2. Challenges

Despite the substantial benefits, integrating AI and Fuzzy Logic in UAV design also presents several challenges.

5.2.1. Complexity of Design and Implementation

The integration of AI and Fuzzy Logic systems is inherently complex. It requires a deep understanding of both fields, as well as expertise in combining them effectively. Designing such integrated systems involves developing sophisticated algorithms, ensuring seamless communication between AI and Fuzzy Logic components, and fine-tuning their interaction for optimal performance.

5.2.2. Computational Demands

AI and Fuzzy Logic systems, especially when integrated, can be computationally intensive. AI algorithms, particularly those involving deep learning, require significant processing power and memory. Fuzzy Logic, while generally less demanding, adds to the computational load when handling real-time data from multiple sensors. This necessitates powerful onboard processors, which can increase the UAV's weight and power consumption, potentially affecting flight performance and battery life.

5.2.3. Data Dependency

AI systems, particularly those based on machine learning, rely heavily on large datasets for training and optimization. Obtaining high-quality, representative datasets for UAV applications can be challenging. Additionally, the integration with Fuzzy Logic requires that these datasets not only be comprehensive but also annotated in ways that the Fuzzy Logic system can utilize effectively. Ensuring that the AI models remain relevant and accurate as environmental conditions and mission parameters change over time also poses a challenge.

5.2.4. Integration Complexity

Ensuring seamless integration between AI and Fuzzy Logic systems can be difficult. These systems need to communicate and operate harmoniously to achieve the desired outcomes. This involves not only technical integration but also the alignment of their operational paradigms. For example, AI's probabilistic models and Fuzzy Logic's rule-based systems must be coordinated in a way that avoids conflicts and ensures smooth decision-making processes.

5.2.5. Real-Time Processing

UAVs operate in dynamic environments where real-time processing is crucial. The integrated AI and Fuzzy Logic system must be capable of processing data and making decisions almost instantaneously. Achieving this level of performance requires highly

optimized algorithms and efficient use of computational resources, which can be technically challenging to develop and implement.

In summary, while the integration of AI and Fuzzy Logic in UAV design offers significant benefits in terms of enhanced decision-making, autonomy, reliability, efficiency, and versatility, it also presents challenges related to design complexity, computational demands, data dependency, integration, and real-time processing. Addressing these challenges is crucial for fully realizing the potential of this powerful combination in UAV applications.

5.2. Challenges

Despite the benefits, integrating AI and Fuzzy Logic presents challenges:

Complexity

- : The combined system can be complex to design and implement, requiring extensive expertise in both AI and Fuzzy Logic.

Computational Demands

- : These systems can be computationally intensive, necessitating powerful onboard processors.

Data Dependency

- : AI algorithms require large datasets for training, which can be challenging to obtain for certain UAV applications.

6. Case Studies

6.1. Successful Implementations

One notable case study is the use of AI and Fuzzy Logic in the development of autonomous delivery drones by companies like Amazon and Google. These drones utilize AI for route planning and Fuzzy Logic for real-time navigation and obstacle avoidance. The success of these implementations demonstrates the practical viability of integrating these technologies in commercial UAVs.

6.2. Lessons Learned

From these case studies, several lessons can be drawn:

Importance of Robust Training Data

- : High-quality, diverse datasets are crucial for training AI algorithms effectively.

Need for Redundancy

- : Incorporating redundancy in sensor systems and control algorithms enhances reliability and safety.

Continuous Learning and Adaptation

- : Implementing continuous learning mechanisms allows UAVs to adapt to new environments and challenges over time.

7. Future Trends

7.1. Innovations

Future innovations in UAV design are likely to focus on enhancing the integration of AI and Fuzzy Logic. This includes developing more efficient algorithms, leveraging edge computing to process data closer to the source, and improving sensor technologies to provide more accurate inputs for decision-making.

7.2. Research Directions

Key research directions include:

Swarm Intelligence

- : Investigating how multiple UAVs can collaborate autonomously using AI and Fuzzy Logic.

Advanced Sensor Fusion

- : Combining data from multiple sensor types to improve situational awareness and decision-making.

Human-AI Interaction

- : Exploring ways to enhance the interaction between human operators and autonomous UAV systems, ensuring that human oversight remains effective.

Conclusion

The integration of Fuzzy Logic and AI in UAV design marks a significant advancement in the field, enabling the development of more autonomous, reliable, and efficient drones. As these technologies continue to evolve, they will unlock new possibilities for UAV applications, driving innovation and enhancing the capabilities of these versatile aerial systems. The future of UAVs lies in the seamless integration of AI and Fuzzy Logic, paving the way for smarter and more capable autonomous systems.

REFERENCES

1. Gupta, J. R., & Shrivastava, A. (2017). Fuzzy Logic Control and AI Techniques for UAV. *International Journal of Control Theory and Applications*, 10(37), 369-378.
2. Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1- 13.
3. Maza, I., Caballero, F., Capitan, J., & Merino, L. (2011). Integration of artificial intelligence algorithms in unmanned aerial vehicles. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 6626-6634.
4. Morales, J. F., Rodríguez, F. J., Montano, J. L., Guzmán, J. L., & Romero, E. (2018). Fuzzy Logic Control and AI Techniques in UAVs to Improving Efficiency and Performance in Autonomous Systems. In A. I. Dounis & J. F. Panagiotou (Eds.), *Unmanned Aerial Vehicles* (pp. 121-142). IntechOpen.

<https://doi.org/10.5772/intechopen.74123>

5. Wang, L. X., & Mendel, J. M. (1992). Fuzzy basis functions, universal approximation, and orthogonal least-squares learning. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 3(5), 807-814.
6. Yang, G., & Wang, J. (2012). Advances in Fuzzy Logic Control and AI Techniques for UAVs. In J. A. Garzón Ramos (Ed.), *Unmanned Aerial Vehicles: Applications and Future Potential* (pp. 131-146). Nova Science Publishers, Inc.
7. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. 8. Zadeh, Lotfi A. "Fuzzy sets." *Information and control* 8.3 (1965): 338-353.
9. Mamdani, Ebrahim H., and S. Assilian. "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller." *International Journal of Man-Machine Studies* 7.1 (1975): 1-13.
10. Kosko, Bart. "Fuzzy systems as universal approximators." *IEEE transactions on computers* 43.11 (1994): 1329-1333.
11. Thrun, Sebastian, Wolfram Burgard, and Dieter Fox. *Probabilistic robotics*. MIT press, 2005.
12. Sutton, Richard S., and Andrew G. Barto. *Reinforcement learning: An introduction*. MIT press, 2018.
13. Bishop, Christopher M. *Pattern recognition and machine learning*. springer, 2006.
14. Ruspini, Enrique H. "Fuzzy logic, intelligence, control, and information." *Fuzzy sets and systems* 4.3 (1980): 185-194.
15. Lozano, Rogelio, and Emilio Jiménez. "Fuzzy logic versus probability and statistics." *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 3.3 (1995): 245-261.
16. "Applications of Fuzzy Logic in UAV Navigation Systems." *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 21.4 (2013): 630-640.
17. Tanaka, Kazuo, and Hua O. Wang. *Fuzzy control systems design and analysis: a linear matrix inequality approach*. John Wiley & Sons, 2001.
18. "Artificial Intelligence in Unmanned Aerial Vehicles: A Survey." *Journal of Aerospace Information Systems* 11.6 (2014): 352-361.
19. Ferguson, Dave, and David Strobl. *Building a Quadcopter with Fuzzy Logic*. O'Reilly Media, 2016.
20. "Intelligent Collision Avoidance System for UAVs using Fuzzy Logic." *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics* (2018): 1234-1241.
21. Wang, Lipo. "Unmanned aerial vehicle trajectory planning using a new fuzzy logic approach." *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 25.4 (2017): 949-959

HAVADAN ALINAN GÖRÜNTÜLERİN YAPAY ZEKA İLE SINIFLANDIRILMASI

Özge Duman

- Havadan alınan görüntülerin yapay zeka ile sınıflandırılması için iki temel yöntem kullanılır:
- 1. Gözetimli Öğrenme: Bu yöntemde, önceden etiketlenmiş bir görüntü veri kümesi kullanılır. Yapay zeka modeli, bu veri kümesini kullanarak görüntülerdeki nesnelere ve özelliklere tanımayı öğrenir. Gözetimli öğrenme yönteminin en yaygın kullanılan türleri şunlardır:
- Destek Vektör Makineleri (SVM): SVM, görüntülerdeki nesnelere ve özelliklere sınıflandırmak için hiperdüzlemler kullanır.
- Karar Ağaçları: Karar ağaçları, görüntülerdeki nesnelere ve özelliklere sınıflandırmak için bir dizi kural kullanır.
- En Yakın Komşu (KNN): KNN, bir görüntüyü sınıflandırmak için, ona en yakın olan önceden etiketlenmiş görüntülerin sınıflarını kullanır.
- 2. Gözetimsiz Öğrenme: Bu yöntemde, önceden etiketlenmiş bir görüntü veri kümesi kullanılmaz. Yapay zeka modeli, görüntülerdeki nesnelere ve özelliklere kendi kendine keşfeder ve sınıflandırır. Gözetimsiz öğrenme yönteminin en yaygın kullanılan türleri şunlardır:
- K-Ortalama Kümeleme:

K-ortalama kümeleme, görüntülerdeki nesnelere ve özelliklere benzerliklerine göre gruplara ayırır.

- Hiyerarşik Kümeleme:

Hiyerarşik kümeleme, görüntülerdeki nesnelere ve özelliklere bir hiyerarşik yapıya göre gruplara ayırır.

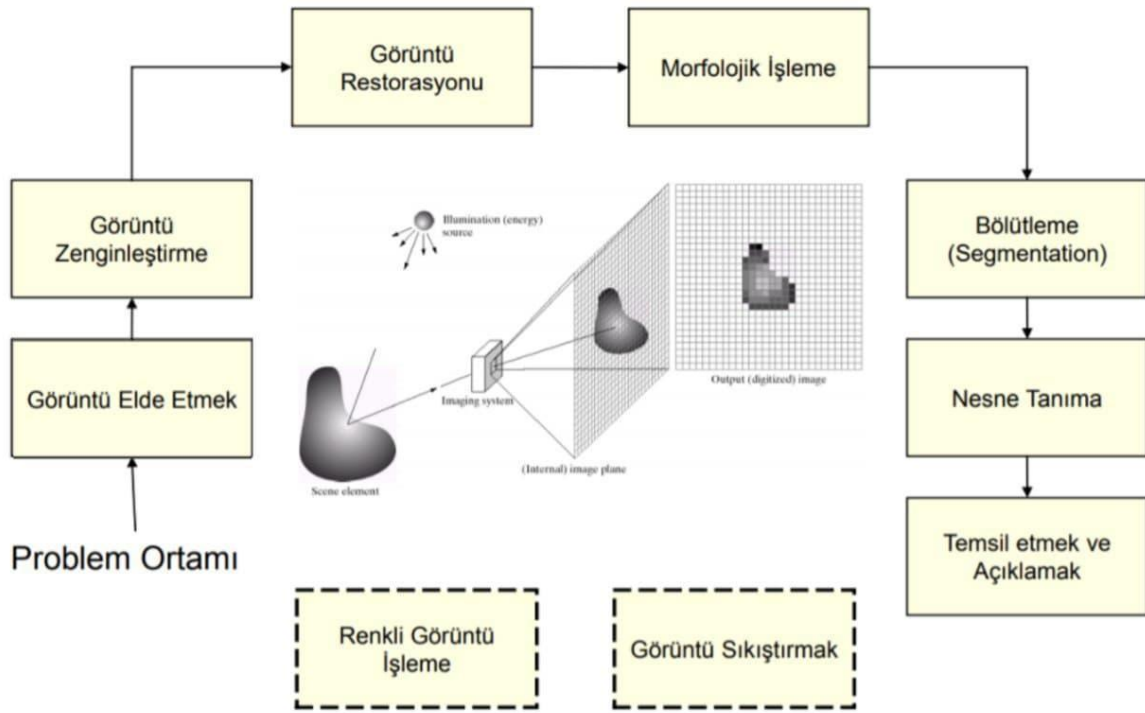
- Derin Öğrenme:

Derin öğrenme, görüntülerdeki nesnelere ve özelliklere sınıflandırmak için yapay sinir ağları kullanır.

Havadan alınan görüntülerin yapay zeka ile sınıflandırılmasının birçok avantajı vardır. Bu yöntemler, insan gözünden daha hızlı ve daha doğru bir şekilde sınıflandırma yapabilir. Ayrıca, büyük miktarda görüntüyü hızlı bir şekilde işleyebilirler.

- Havadan alınan görüntülerin yapay zeka ile sınıflandırılmasının bazı dezavantajları da vardır. Bu yöntemler, önceden etiketlenmiş bir görüntü veri kümesi gerektirir. Ayrıca, bu yöntemler karmaşık ve pahalı olabilir. Havadan alınan görüntülerin yapay zeka ile sınıflandırılması, birçok alanda önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntemlerin gelişmesi ile birlikte, bu alanlarda daha da fazla ilerleme kaydedilmesi beklenmektedir.





Görüntü İşleme Metotları

Görüntü işleme teknikleri görüntülerin nasıl alındığına, renk skalalarına, görüntü işleme tekniğinin kullanım amacına bağlı olarak değişmektedir. 2 boyutlu olarak alınan görüntüler için (x,y) koordinat sistemi üzerinde çalışırken 3 boyutlu olarak alınan görüntüler için (x,y,z) koordinat sisteminin üzerinde çalışılmaktadır. Örneğin, renkli olarak alınan görüntülerde renk çeşitleri için geliştirilen teknik sistemler kullanılırken (CCM- Color Co-Occurrence Matrix), gri seviye görüntülerde daha başka ve farklı teknik sistemler kullanmak gerekmektedir. (GLCM- Gray Level Co-Occurrence Matrix.)

HOG (Histogram of Oriented Gradients)

Yönlendirilmiş gradyanların histogramı (HOG), alınan görüntülerde bulunan nesnelere algılanması amacı doğrultusunda bilgisayarla görme ve görüntü işleme sisteminde kullanılan bir özellik tamamlayıcısıdır. Teknik, bir görüntünün belli başlı kısımlarında gradyan oryantasyonunun oluşum aşamalarını sayar. Bu yöntem, kenar oryantasyon histogramlarına, ölçekle değişmeyen özellik dönüşümü tamamlayıcılarına ve şekil bağlamlarına benzer, ancak eşit aralıklı hücrelerden oluşan yoğun bir ızgarada hesaplanması ve gelişmiş doğruluk için örtüşen yerel kontrast normalizasyonu kullanması bakımından farklılık gösterir.

GLCM (Gray Level Co-Occurrence Matrix)

Piksellerin uzamsal ilişkisini göz önünde bulunduran dokuyu incelemenin istatistiksel bir yöntemi, gri düzey uzamsal bağımlılık matrisi olarak da bilinen gri düzey eş oluşum matrisidir (GLCM). GLCM işlevleri, bir görüntü alındığı zaman belirli değerlere ve belirli bir uzamsal ilişki içerisinde olan piksel çiftlerinin sıklığını hesaplayarak, bir GLCM oluşturur ve ardından bu matrizen istatistiksel ölçüleri çıkararak görüntünün dokusunu karakterize eder.

GLCM algoritması sayesinde çokça öznitelige sahip olmak mümkün hale gelmektedir. Bunlardan en yaygın olan 4 öznitelik şunlardır:

CCM (Color Co-Occurrence Matrix):

Birlikte oluşum matrisi veya birlikte oluş dağılımı, alınan bir görüntü üzerinde birlikte oluşan piksel değerlerinin belirli bir renk dağılımı olarak tanımlanan matristir.

PCA (Principal Components Analysis):

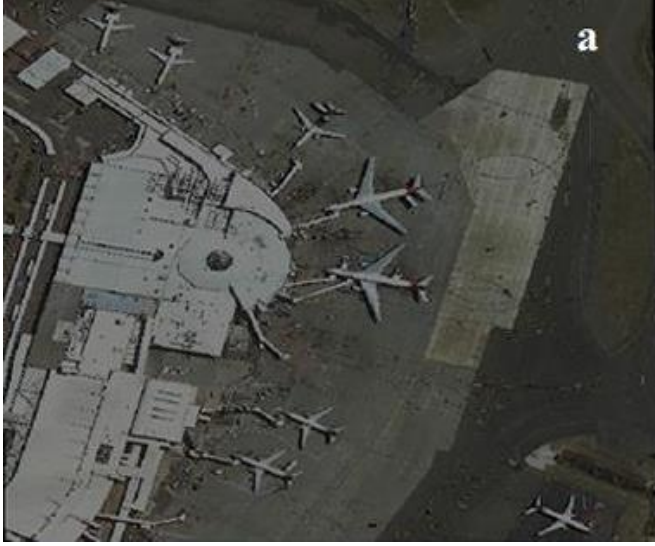
PCA, çok sık olarak kullanılan boyut azaltma tekniğinden biridir.

SIFT (Scale Invariant Feature Transform):

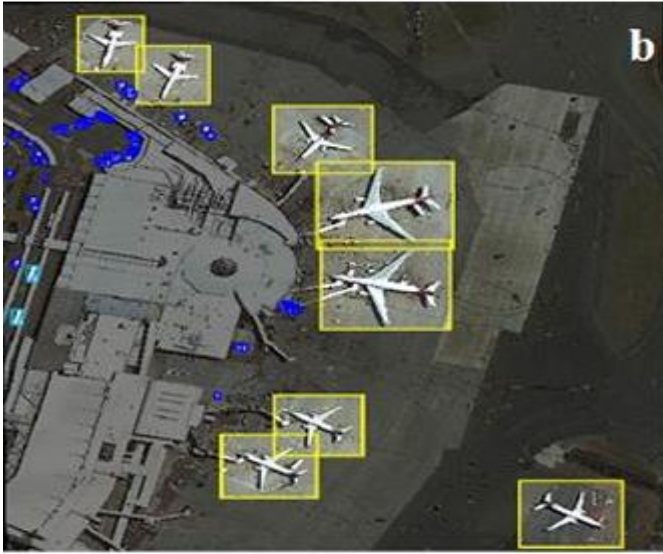
Alınan görüntülerden bazıları dönüşle değişmezler, yani görüntü döndürülse bile aynı köşeleri bulmak zorlaşmaz.

SURF (Speeded-up Robust Features)

- Bilgisayarla görmede, hızlandırılmış sağlam özellikler(SURF), patentli bir yerel özellik olarak algılayıcı ve tanımlayıcıdır. Nesne tanıma, görüntü kaydı alma, sınıflandırma yapma veya 3B yeniden yapılandırma gibi görevler için kullanılabilir.
- *Havadan Görüntülerin Yapay Zeka ile Sınıflandırılmasının Kullanım Alanları:*
- *Şehir planlama*
- *Tarım*
- *Arazi kullanımı*
- *Ormanlık*
- *Afet yönetimi*
- *Güvenlik ve gözetleme*
- *Harita yapımı*
- *Ulaştırma*
- *Arkeoloji*
- *Madencilik*
- *Çevre koruma*



Etiketsiz Görüntü

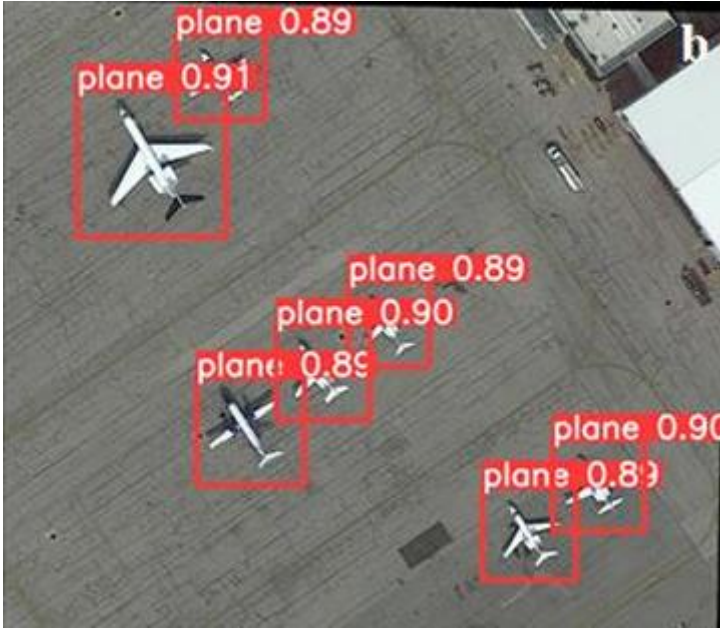


Etiketli Görüntü

- *Havadan Görüntülerin Yapay Zeka ile Sınıflandırılmasının Avantajları:*
- *Hızlı ve doğru sınıflandırma*
- *Büyük miktarda görüntüyü hızlı bir şekilde işleme*
- *İnsan gözünden daha fazla ayrıntı algılama*
- *Nesnelerin ve özelliklerin konumlarını ve boyutlarını belirleme*
- *Görüntülerdeki değişiklikleri zaman içinde izleme*



Etiketli Test Görüntüsü



Tahmini Çıktı Görüntüsü

- *Havadan Görüntülerin Yapay Zeka ile Sınıflandırılmasının Dezavantajları:*
- *Önceden etiketlenmiş bir görüntü veri kümesi gerektirmesi*
- *Karmaşık ve pahalı olması*
- *Yapay zeka modellerinin eğitilmesi için uzun zaman ve kaynak gerektirmesi*
- *Yapay zeka modellerinin hatalara açık olması*

- *Havadan Görüntülerin Yapay Zeka ile Sınıflandırılmasının Geleceği:*

- *Havadan alınan görüntülerin yapay zeka ile sınıflandırılması, birçok alanda önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntemlerin gelişmesi ile birlikte, bu alanlarda daha da fazla ilerleme kaydedilmesi beklenmektedir.*
- *Gelecekte, havadan alınan görüntülerin yapay zeka ile sınıflandırılması için daha yeni ve daha gelişmiş yöntemler geliştirilecektir.*
- *Bu yöntemler, daha hızlı, daha doğru ve daha az maliyetli olacaktır. Ayrıca, bu yöntemler daha geniş bir yelpazede uygulama alanı bulacaktır.*

KAYNAKÇA

chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1662082

<https://medium.com/t%C3%BCrkiye/g%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BC-i-%CC%87%C5%9Fleme-tekniklerinde-yapay-zeka-kullan%C4%B1m%C4%B1-24101616cc97>

<https://avesis.marmara.edu.tr/yonetilen-tez/16a28d21-09b2-493c-99f9-0226e74c8d78/insansiz-hava-araci-ile-elde-edilen-goruntulerin-derin-ogrenme-yontemleri-ile-analizi>

<https://acikkaynak.bilecik.edu.tr/xmlui/handle/11552/2698>

chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.ee.hacettepe.edu.tr/~eyuksel/Publications/2019_TUFUAB_derinOgrenmeuzaktanAlgilama.pdf

<https://ayyucekizrak.medium.com/yapay-zeka-kullan%C4%B1m-alanlar%C4%B1-ve-uygulamalar%C4%B1na-derinlemesine-bir-bak%C4%B1%C5%9F-d0fecaf7f61b>

<https://www.etu.edu.tr/tr/bolum/yapay-zeka-muhendisligi/arastirma-konulari>

<https://polen.itu.edu.tr/items/5b4c02b8-0901-414f-aa34-a28a0c79a8f3>

KOMPOZİT BİLEŞENLERDEN OLUŞTURULMUŞ UÇAK BATARYASI TASARIMI VE ANALİZİ

Resul DEMİR

Doç. Dr. Murat AYDIN

Uçak Mühendisliği (Doktora) Bölümü, Erciyes Üniversitesi, 38030, Kayseri, Türkiye

ÖZET

Günümüzde hava araçlarının performansları ve emisyonları dikkate alındığında verim açısından çevreye olan etkileri üzerinde çözüm üretilmesi gereken bir konudur. Bu amaçla daha çevre dostu ve yenilikçi bir çözüm olarak uçakların tahrik sisteminde elektrik gücünün kullanımına karar verilmiştir (Yıldız & Karakoç, 2017). Uçuş süresince elektrik enerjisinin ihtiyaç halinde kullanımı ve depolanması istenmektedir. Sistemde üretim ve tüketim eş zamanlı olarak yapılmalıdır. Bu nedenle uçaklarda enerji depolama birimi olarak performans etkin bataryalar kullanılmalıdır.

Uçak bataryalarında ağırlık önemli bir etkidir. Gelişen teknoloji ile birlikte hibrit elektrik itki sistemleri kullanılan uçak tasarımları görmekteyiz. Sistemin kalkış ağırlığının azaltılması menzilin artmasına neden olmaktadır. Özellikle troposfer ile stratosfer arasında hibrit itki sistemleri içten yanmalı motorlara göre daha avantajlıdır.

Daha güçlü ve daha hafif bataryaların geliştirilmesi hibrit elektrikli uçakların kabul görmesine yardımcı olacaktır. Batarya teknolojisindeki gelişmeler, hibrit elektrikli uçakların yakıt ikmali yapmadan daha uzun uçuş yapmalarına imkân oluşturabilir (Rendón vd., 2021). Bu noktada batarya tasarımında kullanılan malzemeler ve hücre hayli önem taşımaktadır. Polimer kompozitler gibi yüksek mukavemetli, hafif, yüksek sıcaklıklarda çalışabilen, elektriksel yalıtkanlığı olan, korozyon dayanımı yüksek malzemeler dağıtılmış elektrikli itki sistemlerinde yeni uçak tasarımlarının ağırlığını azaltabilir.

Bu çalışmada uçaklarda kullanılan bataryanın kompozit bileşenlerle geliştirilmesi, mekanik tasarımı, yapısal ve termal analizi çalışılacaktır. Elde edilen veriler ile kavramsal tasarım fazında bataryanın ağırlığına yönelik öngörü ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip pillerin kullanımı mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Li-Ion, Karbon Fiber, Kompozit, Batarya, Hibrit Elektrikli Uçak, Termal Yönetim, Sonlu Elemanlar Analizi

ABSTRACT

Today, considering the performance and emissions of aircraft, their impact on the environment in terms of efficiency is an issue that needs to be solved. For this purpose, it was decided to use electric power in the propulsion system of aircraft as a more environmentally friendly and innovative solution (Yıldız & Karakoç, 2017). It is desired to use and store electrical energy when needed during the flight. In the system, production and consumption must be done

simultaneously. For this reason, performance efficient batteries should be used as energy storage units in aircraft.

Weight is an important factor in aircraft batteries. With developing technology, we see aircraft designs using hybrid electric propulsion systems. Reducing the take-off weight of the system increases the range. Especially between the troposphere and stratosphere, hybrid propulsion systems are more advantageous than internal combustion engines.

The development of more powerful and lighter batteries will help hybrid electric aircraft gain acceptance. Developments in battery technology may enable hybrid electric aircraft to fly longer without refueling (Rendón et al., 2021). At this point, the materials and cells used in battery design are very important. High-strength, lightweight, high-temperature, electrically insulating and corrosion-resistant materials such as polymer composites can reduce the weight of new aircraft designs in distributed electric propulsion systems.

In this study, the development, mechanical design, structural and thermal analysis of the battery used in aircraft with composite components will be studied. With the data obtained, it will be possible to predict the weight of the battery and use batteries with higher energy density in the conceptual design phase.

Keywords: Li-Ion, Carbon Fiber, Composite, Battery, Hybrid Electric Aircraft, Thermal Management, Finite Element Analysis

GİRİŞ

Çalışma kapsamında günümüz uçak hibrit elektrikli tahrik sistemleri tasarımında büyük önem arz eden enerji depolama birimi tasarımının alternatif kompozit malzemelerin kullanımı ile iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu durumda bataryanın ağırlığının azaltılması uçuş menzilini arttırmanın tartışmasız etkili bir yolu olduğu düşünülmektedir. Tasarımda kullanılan alüminyum ve çelik gibi standart malzemelerin karbon fiber takviyeli kompozitlerle değiştirilmesiyle başarılabilir (Choi vd., 2013). Batarya kutusu bileşenleri arasında şu anda çelikten üretilen alt kasa ve hücre tutucu parçalar önem arz etmektedir. Batarya muhafazasının pil modüllerinin korunmasında ve desteklenmesinde elektrikli hava araçlarının güvenliğinin sağlanmasında önemli rolü vardır. Batarya muhafazasının yanlış tasarımı çatlama, hücrelerin zarar görmesi veya ses çıkarma gibi birçok ciddi soruna yol açmaktadır.

Batarya modüllerinin birleşiminden oluşan lityum iyon batarya paketi, elektrikli uçakların güç aktarımının ana kaynağıdır. Depolanacak enerji, şarj-deşarj devir sayısı, gerek duyulan anlık güç, gerek duyulan sürekli güç, maliyet, çevresel şartlar, izin verilen en yüksek kütle, izin verilen en yüksek hacim uçaklarda kullanılacak batarya seçimi için parametrelerdir. Elektrikli uçağın fiili çalışması sırasında batarya grupları ve muhafazası, değişen uçuş eğimlerinden dolayı harici titreşimler ve şoklar gibi zorlu çevre koşullarına maruz kalır. Bu, farklı derecelerde gerilimlere ve deformasyonlara neden olacaktır. Uçağın güvenliği büyük ölçüde batarya paketinin güvenliğine bağlıdır ve bu da deformasyona ve titreşim şoklarına dayanma yeteneği gibi mekanik özelliklerine bağlıdır (Shui vd., 2018).

Bu çalışmada, batarya paketi muhafazasının mekanik tasarım özelliklerini (örneğin, kütleinin en aza indirilmesi ve maksimum deformasyonun en aza indirilmesi) optimize etmek için bir tasarım optimizasyon metodolojisi önerilecektir. Önerilecek metodoloji iki aşamadan

oluşmaktadır. İlk aşamada, kompozit tasarım kombinasyonu kullanılarak maksimum deformasyon (statik analize dayalı) ve kütle için sonlu elemanlar modelleri geliştirilecektir. İkinci aşamada, batarya paketi muhafazasının imalatı için elde edilen optimum girdi kombinasyonu kullanılacaktır. Sonuç olarak gelecekteki çalışmalar için tasarım önerileri sunulacaktır.

LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmasının bu bölümünde kompozit malzemelerin havacılıkta kullanım alanlarına, havacılık bataryaları geliştirme projelerine yer verilecektir. Böylelikle ihtiyaç duyulacak yöntemlerin belirlenmesi ve en verimli şekilde uygulanması yönünde literatürdeki ilgili çalışmaların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Havacılık bataryası performansı artırımının çalışma kapsamında mekanik iyileştirmeler yardımıyla sağlanması amaçlandığından, batarya bileşenlerinin kompozit malzemelerle tasarımı ve enerji yoğunluğu yüksek ve hafif hücrelerin tasarıma dahil edilmesi bu alanda değerlendirilmesi gereken en önemli konular olarak karşımıza çıkmaktadır. Buradan hareketle, öncelikle literatürde polimer kompozit batarya paketinin geliştirilmesi ve hibrit elektrikli uçaklarda havacılık bataryalarının uçuş performansına olan etkileri değerlendirilecektir. Sonrasında ise uçak bataryalarının özellikle muhafaza ve hücre tutucu elemanlarının tasarımında karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin kullanımı yapısal ve termal analizleriyle birlikte değerlendirilecektir.

Havacılık ve otomotiv sektöründe elektrikli araçların en büyük sorunlarından biri batarya performansdır. Bataryanın ağırlığı, enerji yoğunluğu ve kullanım süresi alanında alternatif çözümlerin üretilmesi gerekmektedir. Polimer kompozit esaslı Li-ion batarya paketi, hafifliği sayesinde elektrikli uçakların hem şarj kullanımına hem de menziline olumlu etki sağlayacaktır. Bu kapsamda, literatürde enerji depolama sistemlerinde kompozit malzeme kullanımı ile mekanik, elektriksel, statik yapısal ve termal performansı gibi faktörler açısından iyileştirilmesi amacıyla tasarım uygulamalarını değerlendiren birçok çalışma bulunmaktadır.

Choi ve arkadaşları (Choi vd., 2013) elektrikli bir aracın batarya muhafazasında lifli termoplastik kompozit malzeme kullanarak maliyet etkin bir tasarım geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri malzeme içerisine poliamid 6 bazlı kompozitler, cam ve karbon elyafları eklemiştir. Karbon liflerin karışımdaki miktarı artırıldığında mukavemet ve çekme modülünün arttığını gözlemlemişlerdir. Kompozit dayanımının %60'ından daha az bir maksimum yorulma yüküyle geliştirdikleri kompozit malzemenin yorulma ömrünü bir milyon döngüden fazla gerilimlerdeki yorulma testleri ile değerlendirmişlerdir. Anizotropik mekanik davranışın lif miktarı ile bağlantılı olmasını, kalıp büzülmesini ve bükülme özelliklerini araştırmışlardır. Anizotropik davranışı minimuma indiren kalıp büzülmesi ve mekanik özellikler için halat şeklinde bir yerleştirme önermişlerdir. Batarya paketinin alt muhafazası için kompozit malzemeli bir tasarım geliştirmişlerdir. Yapısal dayanım ve darbe performansını optimize etmek amacıyla bilgisayar destekli mühendislik simülasyonları yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda prototipin titreşim ve kızak testlerinin gerekliliğini karşıladığını ve ağırlıkta %31 oranında azalma sağladıklarını gözlemlemişlerdir.

Shui ve arkadaşları (Shui vd., 2018) bir tasarım optimizasyon yöntemi olarak batarya paketi muhafazasının mekanik tasarım özelliklerini optimize etmeyi önermişlerdir. Önerdikleri metodolojiyi dört ana başlıkta incelemişlerdir. İlk olarak, maksimum deformasyon, kütle ve minimum doğal frekans için dört yöntemin (merkezi kompozit tasarım, tepki yüzeyi

metodolojisi, yapay sinir ağı ve Latin hiperküp örnekleme) kombinasyonu kullanılarak sonlu elemanlar modelleri geliştirmişlerdir. İkinci aşamada, deneysel tasarım için en doğru kombinasyon olarak merkezi kompozit tasarım ve yapay sinir ağını seçerek deneysel modelleri mekanik tasarımın üç özelliği için formüle etmişlerdir. Üçüncü aşamada, baskın olmayan sıralamalı genetik algoritma kullanarak minimum doğal frekans, maksimum deformasyon ve kütle için merkezi kompozit tasarımı ve yapay sinir ağını optimize etmişlerdir. Dördüncü aşamada, batarya paketi kasasının imalatı için baskın olmayan sıralanmış genetik algoritma kullanıp elde ettikleri en uygun girdi kombinasyonunu kullanmışlardır.

Hongwei ve diğerleri (Hongwei vd., 2009) topoloji optimizasyon yöntemini kullanarak batarya muhafaza yapısı tasarlamışlardır. Batarya muhafazasında ağırlık kaybı olduğunu optimizasyon sonrasında gözlemlemişlerdir. Hartmann ve arkadaşları (Hartmann vd., 2013) sonlu elemanlar yöntemini kullanarak batarya muhafazasının yapısını iyileştirmiş ve %20 ağırlık kaybı hedeflerine ulaşmak için batarya muhafazasının kalınlığını azaltmışlardır. Böylece muhafazanın düşük dereceli doğal frekansını da geliştirmişlerdir. Schubert ve arkadaşları (Schubert vd., 2001) tasarımı hafifletmek için orjinal yapıda iyileştirme yöntemini benimsemişlerdir. Batarya muhafazasının yapısını optimize ederek her ne kadar ağırlığı azaltmış olsalar da, ağırlığın büyük bir kısmı batarya muhafazasının çelik levha ile kaynaklanmış olmasına bağladılar. Bu nedenle batarya muhafaza tasarımlarında karbon fiber kompozit malzemeler kullanarak çalışmışlardır. Xiaohong ve diğerleri (Xiaohong vd., 2014) karbon fiberi batarya muhafazasında kullanmış ve dayanımını analiz etmişlerdir. Karbon fiber malzemelerin bu alanda uygulamalarının yapılabirliğini kanıtlamışlardır. Jianong ve Xiaoyu (Jianong & Xiaoyu, 2016) batarya muhafazası kutusunda karbon fiber kompozitler uygulamışlardır. Çelik batarya muhafazası ile karşılaştırıldığında batarya kutusunun ağırlığını %64 oranında azaltmanın kasanın taşıma kapasitesini azaltmadığını gözlemlemişlerdir. Sakundarini ve arkadaşları (Sakundarini vd., 2013) maliyeti azaltmak, yapısal hafifliğe ulaşmak ve ürün performansını artırmak için farklı yeni malzemelerin uygulanmasını önermişlerdir. Cole ve Sherman (Cole & Sherman, 1995) gövde tasarımında yalnızca çeliğin kullanılmasına kıyasla çeşitli malzeme uygulamalarının malzemelerin farklı özelliklerinden yararlanılabileceğini ve böylelikle verimli bir şekilde kullanılabileceğini belirtmiştir.

Özetle, çok malzemeli yapı tasarımı günümüz trendlerindedir. Batarya muhafazası tasarımında çok malzemeli yapı kullanımı alanında henüz mükemmel bir teknoloji mevcut değildir. Enerji depolama sistemleri verimliliğinin artmasıyla birlikte, batarya muhafazasının tasarımında yeni malzemelerin kullanımı bir trend haline gelmiştir. Chen ve diğerleri (Chen vd., 2019) çalışmalarında batarya muhafazasının çok malzemeli optimizasyon tasarımını sunmaktadırlar. Elektrikli bir araç bataryası muhafazasını kullanarak, dönme koşulu ve engebeli durum altında batarya muhafazasının hassasiyetini ve mukavemetini sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmişlerdir. Malzemelerin mantıklı bir şekilde imal edilmesiyle, batarya ağırlığını azaltmak ve muhafazanın mekanik özelliklerini iyileştirmek için karbon fiber kompozit malzemelerin kullanımını uygun görmüşlerdir.

Kim ve diğerleri (Kim vd., 2001) liflerin miktarına ve şekline göre elyaf takviyeli plastik kompozitlerin özelliklerinin değiştiğini gözlemlemişlerdir. Enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında kompozitlerin lif oryantasyonunun akış durumuna bağlı olduğu kanısına varmışlardır. Kalıplanmış kısımda anizotropik olma meyili tespit etmişlerdir. Enjeksiyon kalıplama koşulları ve oryantasyon arasındaki ilişkiyi tanımlamanın önemli olduğunu ve açıklığa kavuşturulması gerektiğini savunmuşlardır. Çalışmalarında, enjeksiyonla kalıplanmış ürünlerin lif oryantasyonu dağılımını görüntü işleme yöntemiyle ölçmüşlerdir. Oryantasyon dağılımını

sayısal analiz yaparak, simülasyonla dağılımı görüntü işlemeden gelen sonuçlarla kıyaslamışlardır.

Xu ve arkadaşları (Xu vd., 2018) enerji depolama sistemlerinde mekanik yükleri taşıyan yapısal kompozit malzemelerin çok işlevsel olması sayesinde toplam ürün ağırlığını büyük oranda azaltma potansiyeli olduğunu savunmuşlardır. Önerdikleri karbon fiber mikro hücrede, kompozit takviyeli malzemeyi negatif elektrotta kullanmışlardır. Mekanik etkiyi aktarırken ayırıcı ve iyon iletkeni olarak çalışan katı polimer bir elektrolitle kaplamışlardır. İletken bir pozitif elektrot materyal matrisiyle, kaplanmış fiberi çevrelemişlerdir. Çalışmalarında, lityum iyon yoğunluğunun zamana bağlı elektrokimyasal döngü sürecinde, tasarladıkları mikro hücrenin boyutsal değişikliklerinden kaynaklanan mekanik yükleri değerlendirmek için hesaplamalı bir metodoloji sunmuşlardır.

Moyer ve diğerleri (Moyer vd., 2020) çok işlevli bir batarya platformu oluşturmak amacıyla geleneksel yerleştirme yöntemiyle enerji depolama kompozitleri yapmak için lityum iyon batarya aktif materyallerini karbon fiber örgü malzemeleriyle bir araya getirmişlerdir. Tasarımlarında, karbon fiberi hem yapısal olarak takviye edici hem de iletken akım toplayıcı katman olarak ve batarya muhafaza ortamında epoksi reçine kullanmışlardır. Oluşturdukları kompozitlerin, aktif olmayan ve birleşik aktif kompozit malzemelere kıyasla 1,8 MPa young modülü, 213 MPa çekme mukavemeti, stabil tam hücre döngüsü ve 35 Wh/kg'ı geçen enerji yoğunluğu dahil mekanik özellikler sergilediğini gözlemlemişlerdir. Bu yaklaşımlarıyla geliştirdikleri batarya panellerini dahili ve harici batarya paketlerini güçlendirmek için entegre bir güç dağıtım platformu olarak kullanmışlardır. Yaklaşım olarak, enerji depolama sisteminde aktif olmayan materyallerin aktif kompozit malzemeler olduğu birimlerde batarya entegrasyonuna yeni bir rota göstermişlerdir.

Sterling ve diğerleri (Sterling vd., 2024) lityum iyon bataryaların termal kaçak durumunda arıza mekanizmaları, mekanik ve termal hasar durumlarını değerlendirmek amacıyla sonlu elemanlar modelleri geliştirmişlerdir. Temsili termal yüklemeyi belirtmek için 18650 lityum iyon silindirik hücre yangını verilerini kullanmışlardır. Kompozit bir numuneye doğruladıkları yükleme profilini uygulamış ve malzeme sıcaklığı verilerini hasarı değerlendirmek için kullanmışlardır. Öngörülen hasarı, numunenin batarya yangını sonrasında mukavemetini ölçmek ve tahmin etmek için kullanmışlardır. Numunenin dayanımını tek hücreli kaçaktan kaynaklanan hasarın %20 oranında potansiyel olarak azaltabileceğini, çok hücreli kaçığın ise dayanımı potansiyel olarak %56 oranında azaltabileceğini göstermişlerdir. Kompozit muhafazaların batarya yangınından korunması için tahmine dayalı simülasyon yeteneğinin bir tasarım aracı olarak kullanılabilirliğini öne sürmüşlerdir. Düzeltici çalışma ihtiyacını azaltabilecek, tasarım ve sertifikasyon aşamasında fiziksel testlerin sayısının minimuma indirebilecek ve ayrıca bu testlerin yorumlanmasına yardımcı olabilecek bir çalışma yapmışlardır.

Tu Graz ve diğerleri (Tu Graz, Institut of Automotive Engineering, AUSTRIA vd., 2021) karbon fiber levha kalıplama bileşenlerinin hafif ve sert olduğunu, preslenerek şekillendirme olanağı sunduğunu belirtmektedirler. Çalışmalarında termal, yapısal ve çarpışma fonksiyonlarını tek parça halinde birleştiren bir batarya muhafaza sistemini yapmak için bunun gibi malzemelerin kullanılma olasılığını araştırmışlardır. Mekanik bir simülasyon prosedürü yaparak, mekanik davranışın yanında çarpışma etkilerini de modellemişlerdir. Ayrıca, malzeme testleri yaparak, malzemenin dinamik davranışlarını değerlendirmişlerdir. Ampirik verilere dayalı hasar gelişimi metodları ve doğrusal olmayan gelişmiş malzeme modelleri kullanmışlardır. Simülasyonlardan elde ettikleri olumlu sonuçlar, elektrikli araçlarda bir

seçenek olarak yapısal parçalarda karbon fiber levha kalıplama bileşenlerinin benimsenmesinde potansiyel malzeme olabileceğini ortaya çıkarmışlardır. Çalışmaları mekanik olarak sağlam ve hafif bir batarya kasasıyla sonuçlanmıştır.

Wong ve diğerleri (Wong vd., 2007) elektrokimyasal enerjiyi depolamak ve mekanik yükleri taşımak amacıyla çok işlevli yapısal kompozit malzemeler geliştirmişlerdir. Bu kompozit bataryalar, hareketsiz yapısal bileşenlerin yerine kullanılabilmesini ve aynı zamanda hafif ağırlık uygulamalarında ek güç sağlayabileceğini öngörmüşlerdir. Enerji depolama sistemlerinde yapısal ve enerji verimliliği olan kompozit bileşenlerin, muhafaza, ayırıcı, elektrolit ve elektrotların tasarımında önemli ağırlık tasarrufu oluşturacağını ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında hem mekanik hem de elektrokimyasal özellikleri optimize edebilmek için yeni elektrot ve elektrolit malzemeleri geliştirmişlerdir. Yapısal solventsiz vinil ester polimer elektrolitler iyon iletkenliğini sağlarken gereken mekanik mukavemeti oluşturmak için formüle etmişlerdir. Elektrot bileşenleri olarak metal yüzeyde toplanan karbon anotları ve katot malzemeleri geliştirmişlerdir. Elektrot bileşenlerinin mekanik özelliklerini ölçmek için çekme testleri ve elektrokimyasal kapasitesini ölçmek için şarj / deşarj döngüsü kullanmışlardır. Yapısal ayırıcı malzeme alternatifleri de araştırmışlardır. Sonuç olarak, bileşenlerin ölçeklenebilir, kalıplanabilir ve düşük maliyetli kompozit üretme tekniklerinin kullanımına uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Yang ve diğerleri (Yang vd., 2020) karbon fiberi batarya özelliklerini geliştirmek amacıyla elektrot malzemesi olarak kullanmışlardır. Lityum-iyon, Sodyum-iyon, Vanadyum-redoks ve Lityum-kükürt gibi farklı hücre kimyaları araştırmışlardır. Çalışmalarında, saf karbon fiberin metalik oksit, metalik sülfid ve karbon malzemeler ile birleşimiyle geliştirilmiş performans elde etmişlerdir. Hücre performansını geliştirmek için karbon malzemeleri ve bileşiklerini farklı tipteki hücrelere uygulamışlardır. Malzemenin elektrokimyasal performansı ile yapısı arasındaki ilişkiyi detaylı olarak analiz etmişlerdir.

Pattarakunnan ve diğerleri (Pattarakunnan vd., 2021) düşük hızdaki bir darbenin gömülü lityum-iyon polimer hücre içeren sandviç kompozitlerin ve kompozit laminatların sıkıştırma özellikleri, enerji depolama kapasitesi ve hasar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Polimer köpük çekirdekli sandviç kompozitin ve karbon fiberle güçlendirilmiş epoksi laminatın darbe tepkilerini araştırmışlardır. Gömülü bataryanın üzerindeki konumda malzemelerin farklı enerji seviyelerinde etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Plastik olarak deforme olma ve akma kapasitesi nedeniyle, çarpma konumundaki batarya hem sandviç kompozitin hem de laminatın darbe enerjisi emilimini arttırdığını deneyimlemişlerdir. Darbeden kaynaklanan hasarın, kısmen hücrenin çatlaması, ayrılması ve deformasyonundan dolayı sandviç kompozitin ve kompozit laminatın basınç özelliklerini azalttığı sonucuna varmışlardır.

Chernousov ve Chan (Chernousov & Chan, 2021) elektrikli araç bataryalarının muhafazaları için karbon fiber kompozitler ve alüminyum alaşımları alternatif hafif malzeme olarak ön görmüşlerdir. Burada dikkat edilmesi gereken konunun yüksek enerji yoğunluğuna sahip hücrelerin ortaya çıkmasıyla, çarpışma sonucu bu malzemelerin mukavemetini kaybederek potansiyel patlamalara yol açtığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında yangın etkilerine ve çarpışma sonrası gelişmiş sönmüleme kapasitesine karşı dirence sahip gözenekli alüminyum kompozitin kimyasal ve fiziksel oluşumuna dair bilgiler sunmuşlardır.

Ladpli ve arkadaşları (Ladpli vd., 2019) bir lityum iyon batarya konseptini yapısal olarak entegre etmekte ve analiz etmektedirler. Çalışmalarında, geliştirdikleri çok işlevli enerji depolama kompozit yapıları, yüksek mukavemetli karbon fiber kompozitlerin içine lityum iyon

batarya malzemelerini hapsediyor ve mekanik olarak elektrot katman yığınına stabilize etmek için birbirine bağlanan polimer perçinler kullanmışlardır. Hücre katmanları arasında yük aktarımını bu perçinler mümkün kılarak hücre kimyasında herhangi bir değişme olmadan yük taşıma performansına yapısal olarak katkı sunarken aynı zamanda enerji depolamasına da olanak tanımıştır. Deneysel sonuçlar, çok işlevli enerji depolama kompozit yapılarının tasarım farklılıklarına rağmen standart lityum iyon hücrelerle kıyasla elektrokimyasal performans sunduğunu göstermiştir. Çok işlevli enerji depolama kompozit yapılarının mekanik performansı, yarı statik üç nokta bükme testleriyle değerlendirilmiş, sonuçlar standart kese hücrelere göre büyük ölçüde geliştirilmiş mekanik dayanıklılık ve sertlik göstermiştir. Perçinler, elektrot yığınının kayma hareketini katmanlar arası en aza indirerek mekanik bükülmeyi engellerken elektrokimyasal özelliklerini korumasına olanak tanımıştır. kese hücreleri minimum yük altında kalıcı deformasyona uğruyorken, çok işlevli enerji depolama kompozit yapıları tekrar eden yükleme altında enerji depolama yeteneklerini ve yapısal bütünlüklerini korumuştur. Yaptıkları çalışmada, çok işlevli enerji depolama kompozit yapıların elektrikli araçlar ve diğer uygulamalarda enerji depolama sistemlerinin üretiminde mekanik sağlamlık bakımından kullanılabileceğini göstermişlerdir.

SONUÇLAR

Çalışma özelinde yapılan literatür taraması sonucunda görülüyor ki, batarya muhafazalarını geliştirmeye yönelik malzeme yelpazesi artıyor ve ağırlık, montaj ve hatta yoğunlaşma sorunları ele alınıyor. Cam elyafı ve termoplastik kompozitler, modüler sistemlerden komple kasalara kadar tasarım seçeneklerinin önünü açarken, diğer malzemeler termal ve elektriksel korumadan korozyona neden olabilecek nemin toplanmasına kadar kasaların özelliklerinin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır.

Batarya kutusu ve hücre tutucu bileşenler için termoplastik kompozit kullanmak, daha büyük bileşenlerin kullanılmasıyla gereken bileşen sayısını azaltabilir ve bu da montaj sürecini daha verimli hale getirir. Bu aynı zamanda modüler kasalar için yeni tasarım yaklaşımlarının da önünü açıyor. Bu kapsamda, uçak bataryası bileşenlerinin termoplastik kompozit malzemelerle tasarımı ve enerji yoğunluğu yüksek ve hafif hücrelerin tasarıma dahil edilmesi bu alanda değerlendirilmesi gereken en önemli konular olarak karşımıza çıkmaktadır.

Alüminyum ve diğer metaller gibi geleneksel malzemelerin kullanıldığı kasa tasarımlarıyla karşılaştırıldığında, hafif termoplastik kompozitler potansiyel olarak bileşen başına %30-50 ağırlık tasarrufu sağlayabilir, enerji yoğunluğunu artırabilir, montaj sürecini basitleştirebilir, termal kontrolü ve güvenliği iyileştirebilir ve çarpışma dayanıklılığını artırabilir.

Hücre taşıyıcıları ve muhafazaları, batarya modülleri ve batarya muhafazaları gibi bileşenler için çeşitli termoplastik malzemeler kullanılabilir. Bu, büyük bileşen imalatı, birleştirme ve montaj, çarpışmaya dayanıklılık, batarya termal yönetimi, alev geciktirme, elektriksel özellikler ve performans testlerinde değişiklikler yapılmasını gerektirecektir.

KAYNAKLAR

1. Bercibar, M., Gandiaga, I., Villarreal, I., Omar, N., Van Mierlo, J., & Van Den Bossche, P. (2016). Critical review of state of health estimation methods of Li-ion batteries for real applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 572-587. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.042>
2. Chen, X., Li, M., Li, S., Jin, J., & Zhang, C. (2019). Design Optimization of Multi-material Battery Enclosure for Electric Vehicle. *İçinde S. O. A. E. (SAE-China) (Ed.), Proceedings of the 19th Asia Pacific Automotive Engineering Conference & SAE-China Congress 2017: Selected Papers (C. 486, ss. 853-864)*. Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8506-2_57
3. Chernousov, A. A., & Chan, B. Y. B. (2021). Moderated nitridation of Al nanoflakes into open-pore composites for battery enclosures with improved crash and fire resistances. *Journal of Alloys and Compounds*, 859, 157887. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.157887>
4. Choi, C.-H., Cho, J.-M., Kil, Y., & Yoon, Y. (2013). Development of Polymer Composite Battery Pack Case for an Electric Vehicle. 2013-01-1177. <https://doi.org/10.4271/2013-01-1177>
5. Cole, G. S., & Sherman, A. M. (1995). Light weight materials for automotive applications. *Materials Characterization*, 35(1), 3-9. [https://doi.org/10.1016/1044-5803\(95\)00063-1](https://doi.org/10.1016/1044-5803(95)00063-1)
6. Dröder, K., & Vietor, T. (Ed.). (2021). Technologies for economic and functional lightweight design: Conference proceedings 2020. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-62924-6>
7. Erbacher, J. K. (1999). An environmental aircraft battery ž EAB/.
8. Hartmann, M., Roschitz, M., & Khalil, Z. (2013). Enhanced battery pack for electric vehicle: Noise reduction and increased stiffness. *Materials Science Forum*, 765, 818-822. <https://www.scientific.net/MSF.765.818>
9. Hoelzen, J., Liu, Y., Bensmann, B., Winnefeld, C., Elham, A., Friedrichs, J., & Hanke-Rauschenbach, R. (2018). Conceptual Design of Operation Strategies for Hybrid Electric Aircraft. *Energies*, 11(1), 217. <https://doi.org/10.3390/en11010217>
10. Hongwei, Z., Xiaokai, C., & Yi, L. (2009). Topology optimization of power battery cabin in electric vehicle. *Journal of Jilin University*, 39(4), 846-850.
11. Höhne, C.-C., Blaess, P., Ilinzeer, S., & Griesbaum, P. (2023). New approach for electric vehicle composite battery housings: Electromagnetic shielding and flame retardancy of PUR/UP-based sheet moulding compound. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 167, 107404. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2022.107404>
12. Jianong, W., & Xiaoyu, Z. (2016). Lightweight Research for Battery Box of CFRP Composite Material. *Fiber Reinforced Plastics/Composites*, 275(12), 99-102.

13. Kim, E. G., Park, J. K., & Jo, S. H. (2001). A study on fiber orientation during the injection molding of fiber-reinforced polymeric composites:(Comparison between image processing results and numerical simulation). *Journal of Materials Processing Technology*, 111(1-3), 225-232.
14. Ladpli, P., Nardari, R., Kopsaftopoulos, F., & Chang, F.-K. (2019). Multifunctional energy storage composite structures with embedded lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 414, 517-529. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.12.051>
15. Liu, Z., Zhu, C., Zhu, P., & Chen, W. (2018). Reliability-based design optimization of composite battery box based on modified particle swarm optimization algorithm. *Composite Structures*, 204, 239-255. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.07.053>
16. Maguire, P., Baek, H., Liptak, S., Lomax, O., Palma, R., & Zhang, Y. (2017). Thermoplastic Enclosure for a High Voltage Battery System. 2017-01-1190. <https://doi.org/10.4271/2017-01-1190>
17. Moyer, K., Meng, C., Marshall, B., Assal, O., Eaves, J., Perez, D., Karkkainen, R., Roberson, L., & Pint, C. L. (2020). Carbon fiber reinforced structural lithium-ion battery composite: Multifunctional power integration for CubeSats. *Energy Storage Materials*, 24, 676-681. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2019.08.003>
18. Pan, Y., Xiong, Y., Dai, W., Diao, K., Wu, L., & Wang, J. (2022). Crush and crash analysis of an automotive battery-pack enclosure for lightweight design. *International Journal of Crashworthiness*, 27(2), 500-509. <https://doi.org/10.1080/13588265.2020.1812253>
19. Pattarakunnan, K., Galos, J., Das, R., & Mouritz, A. P. (2021). Impact damage tolerance of energy storage composite structures containing lithium-ion polymer batteries. *Composite Structures*, 267, 113845. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113845>
20. Pradhan, S. S., Unnikrishnan, L., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2020). Thermally Conducting Polymer Composites with EMI Shielding: A review. *Journal of Electronic Materials*, 49(3), 1749-1764. <https://doi.org/10.1007/s11664-019-07908-x>
21. Rendón, M. A., Sánchez R., C. D., Gallo M., J., & Anzai, A. H. (2021). Aircraft Hybrid-Electric Propulsion: Development Trends, Challenges and Opportunities. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 32(5), 1244-1268. <https://doi.org/10.1007/s40313-021-00740-x>
22. Sakundarini, N., Taha, Z., Abdul-Rashid, S. H., & Ghazila, R. A. R. (2013). Optimal multi-material selection for lightweight design of automotive body assembly incorporating recyclability. *Materials & Design*, 50, 846-857.
23. Sarmah, S. B., Kalita, P., Garg, A., Niu, X., Zhang, X.-W., Peng, X., & Bhattacharjee, D. (2019). A Review of State of Health Estimation of Energy Storage Systems: Challenges and Possible Solutions for Futuristic Applications of Li-Ion Battery Packs in Electric Vehicles. *Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage*, 16(4), 040801. <https://doi.org/10.1115/1.4042987>

24. Schubert, E., Klassen, M., Zerner, I., Walz, C., & Sepold, G. (2001). Light-weight structures produced by laser beam joining for future applications in automobile and aerospace industry. *Journal of Materials processing technology*, 115(1), 2-8.
25. Shui, L., Chen, F., Garg, A., Peng, X., Bao, N., & Zhang, J. (2018). Design optimization of battery pack enclosure for electric vehicle. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 58(1), 331-347. <https://doi.org/10.1007/s00158-018-1901-y>
26. Snyder, J. F., Baechle, D. M., Wetzel, E. D., & Xu, K. (t.y.). Multifunctional Structural Composite Batteries for U.S. Army Applications.
27. Sterling, J., Tattersall, L., Bamber, N., De Cola, F., Murphy, A., & Millen, S. L. J. (2024). Composite structure failure analysis post Lithium-Ion battery fire. *Engineering Failure Analysis*, 160, 108163. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108163>
28. Structural Composite Lithium-Ion Battery Effect of Intercalation induced volumetric changes on micro-damage. (2019). Luleå University of Technology.
29. Tariq, M., Maswood, A. I., Gajanayake, C. J., & Gupta, A. K. (2017). Aircraft batteries: Current trend towards more electric aircraft. *IET Electrical Systems in Transportation*, 7(2), 93-103. <https://doi.org/10.1049/iet-est.2016.0019>
30. Thomas, J., Qidwai, S., Pogue, W., & Pham, G. (2013). Multifunctional structure-battery composites for marine systems. *Journal of Composite Materials*, 47(1), 5-26. <https://doi.org/10.1177/0021998312460262>
31. Tu Graz, Institut of Automotive Engineering, AUSTRIA, Coren, F., Philipp S. Stelzer, P. S. S., & Institut für Polymer Product Engineering, Johannes Kepler University Linz - JKU, AUSTRIA. (2021, Eylül 30). Crashworthiness of C-SMC: A Structural Battery Case for Automotive Application. FISITA World Congress 2021 - Technical Programme. FISITA World Congress 2021. <https://doi.org/10.46720/f2020-pif-017>
32. Wong, E. L., Baechle, D. M., Xu, K., Carter, R. H., Snyder, J. F., & Wetzel, E. D. (2007). Design and processing of structural composite batteries. *Proceedings of SAMPE*, 3-7.
33. Xiaohong, Z., Feng, Z., & Qi, F. (2014). Design and research on carbon fiber box of vehicle power battery. *Shanghai Automot*, 9, 60-62.
34. Xu, J., Lindbergh, G., & Varna, J. (2018). Carbon fiber composites with battery function: Stresses and dimensional changes due to Li-ion diffusion. *Journal of Composite Materials*, 52(20), 2729-2742. <https://doi.org/10.1177/0021998317752825>
35. Yang, S., Cheng, Y., Xiao, X., & Pang, H. (2020). Development and application of carbon fiber in batteries. *Chemical Engineering Journal*, 384, 123294. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123294>
36. Yıldız, M., & Karakoç, T. H. (2017). Havacılıkta Kullanılan Bataryaların Tasarım Parametrelerine Göre Boyutlandırılması. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 27-37. <https://doi.org/10.23890/SUHAD.2017.0104>

TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR ve BİODİZELİN HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI

Ahmet Eren GEZİCİ

Muhammed Osman Yüceli

ÖZET

Yakın tarihte gelişen teknoloji ile birlikte birçok alternatif yakıt seçeneği bulunmaktadır. Dünyada en yaygın kullanılan yakıt türü fosil yakıtlardır. Fosil yakıtlar yenilenebilir enerji kaynakları değildir. Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl süren jeolojik süreçler sonucunda oluşan organik materyallerin, yer altındaki yüksek sıcaklık ve basınç altında çürümesi ve dönüşmesiyle meydana gelir. Yapılan araştırmalarla alternatif yakıt türlerinden bahsedilmek istenmiştir. Araştırmalar ışığında Biodizel yakıtın kullanım durumu incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fosil Yakıtlar, Biodizel Yakıtlar, Elektrikli Motorlar, Araştırma

LİTERATÜR TARAMASI

JP-8 Havacılık Yakıtı, Ayçiçek Yağı Metil Esteri ve Dizel Yakıt Karışımlarının Yanma ve Motor Performansına Etkileri Üzerine Deneysel Bir Çalışma:

Bu çalışmada JP-8, ayçiçek yağı metil esterini ve dizel yakıt karışımlarının yanma ve motor performansı üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deney sonuçlarında karışım yakıtlardaki biyodizel oranı arttıkça silindir basıncının ve ısı dağılımının azaldığı görülmüştür. Biyodizel oranı arttıkça KA10 değerinin uzadığı yanma süresinin kısaldığı görülmüştür. Sonuçta JP-8 ve biyodizel yakıt karışımlarının dizel motorda bir değişikliğe gidilmeden kullanılabileceği görülmüştür. [1]

Gaz Türbinli Uçak Motorlarında Kirletici Emisyonların İncelenmesi

Havacılık sektörü sürekli olarak gelişme göstermektedir. Buna paralel olarak hava taşımacılığında önemli bir artış söz konusudur. Bu çalışmada, yolcu taşımacılığı ve özel amaçlar için kullanılan farklı üretici firmaların turbofan ve turbojet motorlarından kaynaklanan azotoksit, karbon monoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyonları incelenmiştir. Çalışmada Jet A yakıtı ile biodizel olarak Metil Bütanol 'ün farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen karışımli yakıtın CF6-80C gaz türbinli turbofan motor emisyonuna etkisi incelenmiştir. NO_x emisyonu çalışmada incelenen motorlar için, yakıt akış miktarının artması ile arttığı belirlenmiştir. Karışımli biodizel yakıtların ve saf biodizel yakıtın Jet A yakıtından daha az NO_x, CO ve HC emisyonu oluşturduğu tespit edilmiştir. [2]

TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

Yakıtları kullanım amaçlarına ve yapılarına göre türlerine ayırabiliriz. Bununla beraber herhangi bir yakıt kullanılarak başka yakıt türü de elde edilebilmektedir. Kullanım amacını ve yapılarını ortak bir özellik olarak değerlendirilmiş bunun ışığında sınıflandırılma yapılmıştır.

1. Fosil Yakıtlar:

- Petrol (benzin, dizel vb.)
- Doğal Gaz
- Kömür

2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları:

- Güneş Enerjisi
- Rüzgar Enerjisi
- Hidroelektrik Enerjisi
- Jeotermal Enerji
- Biyokütle Enerjisi (biyo-yakıtlar, biyogaz vb.)

3. Nükleer Yakıtlar:

- Uranyum
- Plütonyum

4. Elektrik Enerjisi:

- Fosil yakıtların yanmasıyla üretilen elektrik (termik santraller)
- Nükleer enerji
- Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik (güneş panelleri, rüzgar türbinleri, hidroelektrik santraller vb.)

1. FOSİL YAKITLAR:

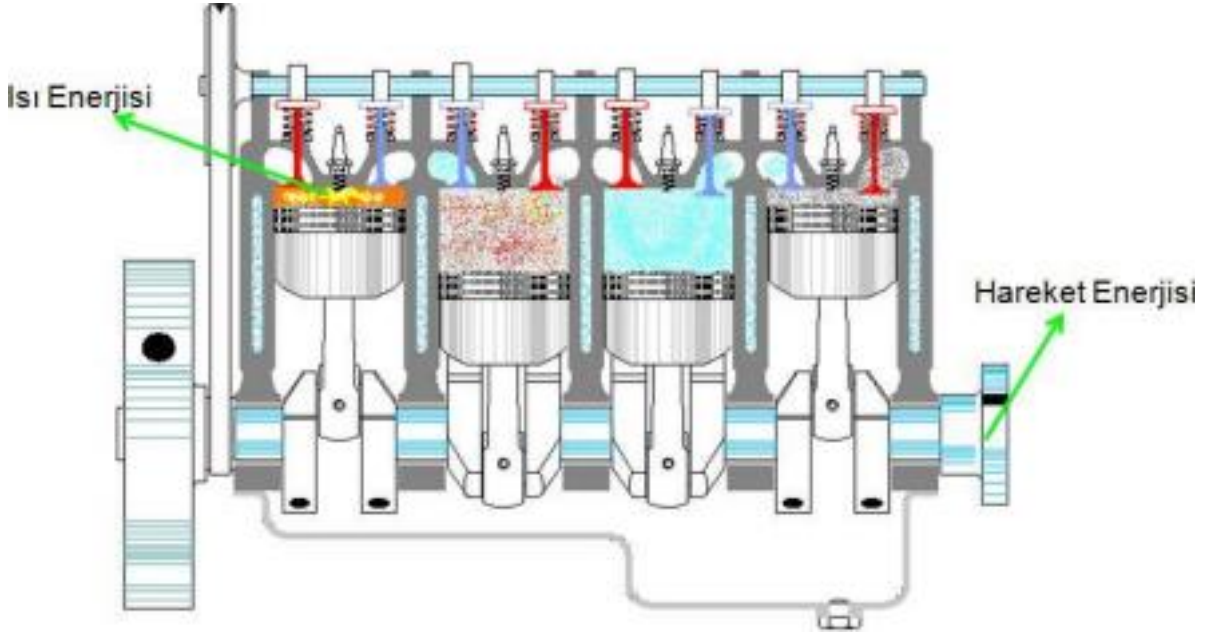
Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl boyunca organik materyallerin yer altında yüksek sıcaklık ve basınç altında çürümesi ve dönüşmesi sonucunda oluşan enerji kaynaklarıdır. Genellikle petrol, doğal gaz ve kömür gibi üç ana türde bulunurlar. Fosil yakıtların kullanımının sonucunda karşılaşacağımız olumlu ve olumsuz durumlar ise şu şekildedir:

Avantajlar:

- **Yüksek Enerji Yoğunluğu:** Fosil yakıtlar, birim başına yüksek miktarda enerji sağlarlar. Bu da daha küçük ve daha hafif motorlarla daha uzun mesafeler kat edilmesini sağlar.
- **Yaygın ve Kolay Erişilebilirlik:** Petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlar, birçok bölgede yaygın olarak bulunur.
- **Uygun Maliyet:** Fosil yakıtların çoğu, üretim ve dağıtım süreçlerinin optimize edilmesiyle nispeten düşük maliyetlidir, bu da tüketicilere daha uygun fiyatlar sunmaktadır.
- **Gelişmiş Altyapı:** Fosil yakıtların kullanımı için geniş bir altyapı mevcuttur. Benzin istasyonları, doğal gaz boru hatları ve kömür elektrik santralleri gibi tesisler, fosil yakıtların etkin kullanımını sağlar.

Dezavantajlar:

- **Çevresel Etkiler:** Fosil yakıtların yanması sırasında atmosfere sera gazları ve diğer kirleticilerin salınması, hava ve su kirliliğine, asit yağmurlarına ve iklim değişikliğine neden olabilir.
- **Sınırlı ve Tükenmekte Olan Kaynaklar:** Fosil yakıtların rezervleri sınırlıdır ve zamanla tükenirler. Bu durum, enerji arzında istikrarsızlık yaratabilir ve fiyatlarda dengesizlik oluşturabilir.
- **Jeopolitik Riskler:** Fosil yakıtların çıkarılması ve ticareti, jeopolitik gerilimlere ve çatışmalara neden olabilir. Bazı ülkeler, enerji kaynakları üzerindeki kontrolü kullanarak güç dengelerini etkilemeye çalışır. Dolayısıyla çıkarıldığı bölgelerde kaotik sonuçlar ortaya çıkabilmektedir.
- **Sağlık Etkileri:** Fosil yakıtların yanması, hava kirliliği ve solunum problemleri gibi sağlık sorunlarına yol açabilir. Özellikle kömür yakıtlı enerji santrallerinin emisyonları, yerel halkın sağlığını olumsuz etkileyebilir.
- **Enerji Güvenliği:** Fosil yakıtların dışa bağımlılığı, enerji güvenliği endişelerine neden olabilir. Fiyat dalgalanmaları, politik istikrarsızlık veya tedarik kesintileri, ulusal ekonomileri olumsuz etkileyebilir.



Şekil 1. Benzin Kullanılarak İçten Yanmalı Motorun Güç Üretmesi [3]

2. YENILENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI:

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal süreçler tarafından sürekli olarak yenilenen ve tükenmez olarak kabul edilen kaynaklardır. Bunlar genellikle rüzgar, güneş, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle gibi kaynaklardan elde edilir. Rüzgar enerjisi, rüzgar türbinleriyle elektrik üretmek için kullanılırken, güneş enerjisi güneş panelleriyle elektrik üretmek için kullanılır. Hidroelektrik enerji, suyun kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılır. Jeotermal enerji, yeraltı kaynaklarından gelen sıcak su veya buharı kullanarak elektrik üretir. Biyokütle enerjisi ise organik madde (bitkiler, atıklar vb.) yakılarak veya fermantasyon yoluyla enerji elde etmek için kullanılır. Bu kaynaklar çevre dostu olmaları ve sınırsız olmaları nedeniyle giderek daha fazla tercih edilmektedir.

Avantajlar:

- **Çevre Dostu:** Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlara kıyasla çok daha az sera gazı emisyonu üretir. Bu da iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynar.
- **Sınırsız Kaynaklar:** Güneş, rüzgar, su ve jeotermal gibi yenilenebilir kaynaklar sınırsızdır ve insanların enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılabilirler. Bu kaynaklar, tükenme endişesi olmadan uzun vadeli enerji güvencesi sağlar.
- **Ekonomik Faydalar:** Yenilenebilir enerji teknolojileri, uzun vadede enerji maliyetlerini düşürebilir. Ayrıca, yerel ekonomilere yeni iş imkanları ve yatırımlar getirebilir.
- **Enerji Güvenliği:** Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji arzının çeşitlenmesine ve bağımsızlığına katkıda bulunarak, enerji güvenliğini artırabilir.
- **Gelişmiş Teknolojiler:** Yenilenebilir enerji sektöründeki sürekli ilerlemeler, yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesine ve bu teknolojilerin daha geniş bir alana yayılmasına olanak tanır.

Dezavantajlar:

- **Değişkenlik ve Güvenilirlik:** Rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklar hava koşullarına bağlıdır ve sürekli olarak enerji üretmezler. Bu nedenle, enerji talebini karşılamak için ek depolama veya yedek güç kaynaklarına ihtiyaç duyulabilir.
- **Yerel Etkiler:** Büyük ölçekli yenilenebilir enerji projeleri, habitat kaybı, görsel kirlilik, su kullanımı gibi yerel çevresel etkilere neden olabilir. Bu durum bazı topluluklar arasında anlaşmazlıklara neden olabilir.

- **Yatırım ve Altyapı Maliyetleri:** Yenilenebilir enerji teknolojileri genellikle yüksek başlangıç maliyetlerine sahiptir ve altyapı geliştirme gerektirir. Bu, bazı durumlarda yatırımın geri dönüş süresini uzatabilir. Bu durum kullanım oranını olumsuz etkilemektedir.
- **Verimlilik ve Depolama Zorlukları:** Bazı yenilenebilir enerji teknolojileri, enerjiyi depolama veya taşıma konusunda verimlilik ve etkinlik açısından zorluklarla karşılaşabilir. Bu da enerji kullanımının etkin bir şekilde yönetilmesini zorlaştırabilir.
- **Rekabet ve Enerji Politikaları:** Yenilenebilir enerji, geleneksel enerji kaynakları ile rekabet ederken, politika düzenlemeleri ve teşvikler gibi faktörlere bağlıdır. Enerji politikalarındaki değişiklikler, yenilenebilir enerji sektörünü etkileyebilir.



Şekil 2. Rüzgar Türbini [4]



Şekil 3. Jeotermal Enerji Kullanılarak Elektrik Üretimi [5]

3. NÜKLEER YAKITLAR:

Nükleer enerji, atom çekirdeklerindeki nükleer reaksiyonlardan elde edilen enerjidir. Bu reaksiyonlar genellikle uranyum veya plütonyum gibi ağır elementlerin çekirdeklerinin bölünmesiyle gerçekleşir. Bu reaksiyonlar sırasında büyük miktarda enerji açığa çıkar ve bu enerji elektrik üretimi gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Nükleer enerji, karbon salınımını azaltma potansiyeline sahip olduğu için bazı ülkeler tarafından temiz enerji kaynağı olarak görülmektedir fakat nükleer enerjinin çevresel riskleri ve nükleer atıkların yönetimi gibi konularda tartışma yaratmaktadır.

Nükleer enerji, yüksek oranda risk içeren enerji kaynağıdır. Avantajlarına ve dezavantajlarına şunlar örnek olarak verilebilir.

Avantajlar:

- **Düşük Emisyonlar:** Nükleer enerji, fosil yakıtların aksine atmosfere karbon dioksit ve diğer sera gazları salmaz. Bu nedenle, iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynar.
- **Yüksek Enerji Yoğunluğu:** Birim başına üretilen enerji miktarı, diğer birçok enerji kaynağına kıyasla nükleer enerjide oldukça yüksektir. Bu, büyük miktarda enerji üretmek için daha az kaynak ve alan gerektirir.
 - **Sürekli Enerji Üretimi:** Nükleer santraller, hava koşullarından etkilenmeyen sürekli bir enerji kaynağı sağlarlar. Bu, enerji güvenliği açısından önemli bir avantajdır.
 - **Enerji Bağımsızlığı:** Nükleer enerji, enerji ithalatına olan ihtiyacı azaltabilir veya ortadan kaldırabilir, böylece enerji bağımsızlığını artırabilir.
- **Az Alan Kullanımı:** Nükleer santraller, diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha az alan kullanır ve bu da tarım veya yerleşim alanlarına daha az etki eder.

Dezavantajlar:

- **Nükleer Kazaların Potansiyeli:** Nükleer tesislerde meydana gelebilecek kazaların ciddi sonuçları olabilir. Örneğin, Çernobil ve Fukushima gibi nükleer kazalar, çevresel tahribata ve sağlık risklerine yol açmıştır.
- **Nükleer Atık Yönetimi:** Nükleer enerji üretimi, radyoaktif atıkların oluşmasına neden olur. Bu atıkların uzun vadeli depolanması ve güvenli bir şekilde imha edilmesi ciddi teknik ve politik zorluklarla karşı karşıyadır.
- **Nükleer Silah Yayılması Riski:** Nükleer teknolojinin kullanımı, nükleer silahların üretilmesi için bir platform sağlayabilir. Bu da uluslararası güvenlik risklerini artırabilir.
- **Yüksek Maliyetler:** Nükleer santrallerin inşaatı ve işletilmesi genellikle yüksek maliyetlidir. Ayrıca, bakım, güvenlik ve nükleer atık yönetimi gibi uzun vadeli maliyetler de vardır.
- **Toplumun Endişeleri:** Nükleer enerji, çevresel ve sağlık riskleri nedeniyle toplumda endişe ve güvensizlik yaratabilir. Bu da nükleer enerjinin geniş çapta kabul edilmesini engelleyebilir.



Şekil 4. Nükleer Yakıt Çevrim Şeması [6]

4. ELEKTRİK ENERJİSİ:

Elektrik enerjisi de alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır fakat elektrik üretim yöntemi farklı bir enerji kullanılarak yapılmaktadır. Bu kaynaklar:

- Termik Santraller
- Hidroelektrik Santraller
- Nükleer Enerji Santralleri
- Rüzgar Enerjisi
- Güneş Enerjisi
- Jeotermal Enerji

Farklı kaynaklar ile üretilen elektrik enerjisi yakıt olarak kullanılarak makine çevrimleri yapılmaktadır. Elektrik enerjisinin de bazı olumlu ve olumsuz sonuçları altında diğer enerji türlerinin de farklı etkileri ve riskleri olduğundan bahsedilmiştir. Bu nedenle enerji politikalarının ve uygulamalarının dikkatlice değerlendirilmesi, uygun metotlar kullanılması gerekmektedir.

Avantajlar:

- **Evrensel Erişim ve Kolaylık:** Elektrik, evlerden endüstriyel tesislere kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kolayca dağıtılabılır ve erişilebilir olması, modern yaşamın temel bir parçası haline gelmesini sağlar.

- **Çevre Dostu Seçenekler:** Yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldığında (örneğin, rüzgar, güneş, hidroelektrik), elektrik enerjisi çevre dostu bir seçenek haline gelir. Fosil yakıtların aksine, bu kaynaklar sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve çevresel etkileri en aza indirmeye yardımcı olur.
 - **Yüksek Verimlilik:** Elektrikle çalışan cihazlar genellikle yüksek verimlilik sağlar. Elektrik motorları, enerjinin etkin bir şekilde dönüştürülmesini sağlar ve bu da kaynakların daha az tüketilmesini sağlar.
 - **Kolay Otomasyon ve Uzaktan Kontrol:** Elektrik, otomasyon sistemlerinin ve uzaktan kontrolün temelidir. Bu, endüstriyel süreçlerin otomatikleştirilmesini, ev otomasyonunun geliştirilmesini ve uzaktan cihazların kontrol edilmesini sağlar.
- Dezavantajlar:**
- **Çevresel Etkiler:** Fosil yakıtlarla çalışan elektrik santralleri, sera gazı emisyonlarına ve çevresel kirliliğe katkıda bulunabilir. Ayrıca, hidroelektrik santralleri büyük su kütlesinin dengesini bozabilir ve bazı ekosistemleri etkileyebilir.
 - **Kaynakların Sınırlı Olması:** Bazı elektrik üretim kaynakları sınırlıdır. Özellikle nükleer enerji gibi kaynaklar, güvenlik endişeleri ve nükleer atık yönetimi gibi sorunlar nedeniyle tartışmalıdır.
- 13
- **Altyapı Gereksinimleri:** Elektrik enerjisi için yaygın bir kullanım, karmaşık bir iletim ve dağıtım altyapısını gerektirir. Bu altyapının kurulması ve bakımı, yüksek maliyetler ve zaman alıcı süreçler gerektirebilir.
 - **Güvenlik Riskleri:** Elektrik kullanımı, yanma, elektrik çarpması ve diğer güvenlik risklerine neden olabilir. Özellikle elektrik tesisatının düzgün bir şekilde kurulmaması veya bakımının yapılmaması durumunda ciddi tehlikeler ortaya çıkabilir.



Şekil 5. Elektrik Enerjisi Kullanarak Görev Yapan Bayraktar Mini İHA [7]

BİODİZELİN HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANILMASI

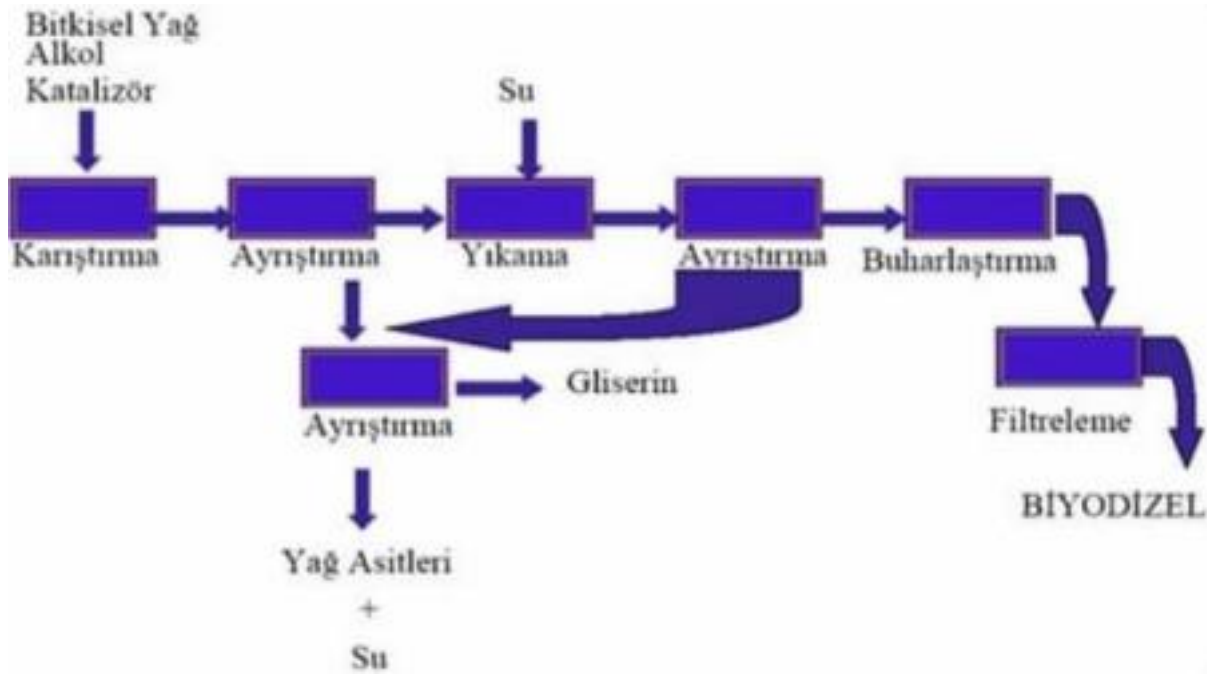
Biodizelin Üretimi:

Biodizel, ayçiçek yağı, palm yağı, soya yağı gibi yenilenebilir gıda kaynaklarından alkali katalizör esterifikasyon sürecinden geçerken üretilen alternatif bir yakıttır.

Diğer bir tanımda ise biodizel bitkisel veya hayvansal yağların bir alkol ve katalizör ile reaksiyona sokulmasıyla üretilir. Atık bitkisel ve hayvansal yağlar da biyodizel

hammaddesi olarak kullanılabilir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından petrol kökenli dizel yakıtlarıyla benzerlik göstermektedir. [8]

Biodizel üretiminin çeşitli metodları olmakla birlikte, günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem transesterifikasyon (alkoliz) yöntemidir. Transesterifikasyon reaksiyonunda hammadde olarak kullanılacak yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak mono ve di-gliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biodizelin üretiminde, kanola (kolza), ayçiçek, soya vb. yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağlar, atık kızartmalık yağlar ve hayvansal yağlar ile alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum hidroksit, potasyum hidroksit ve sodyum metilat) tercih edilmektedir. [9]

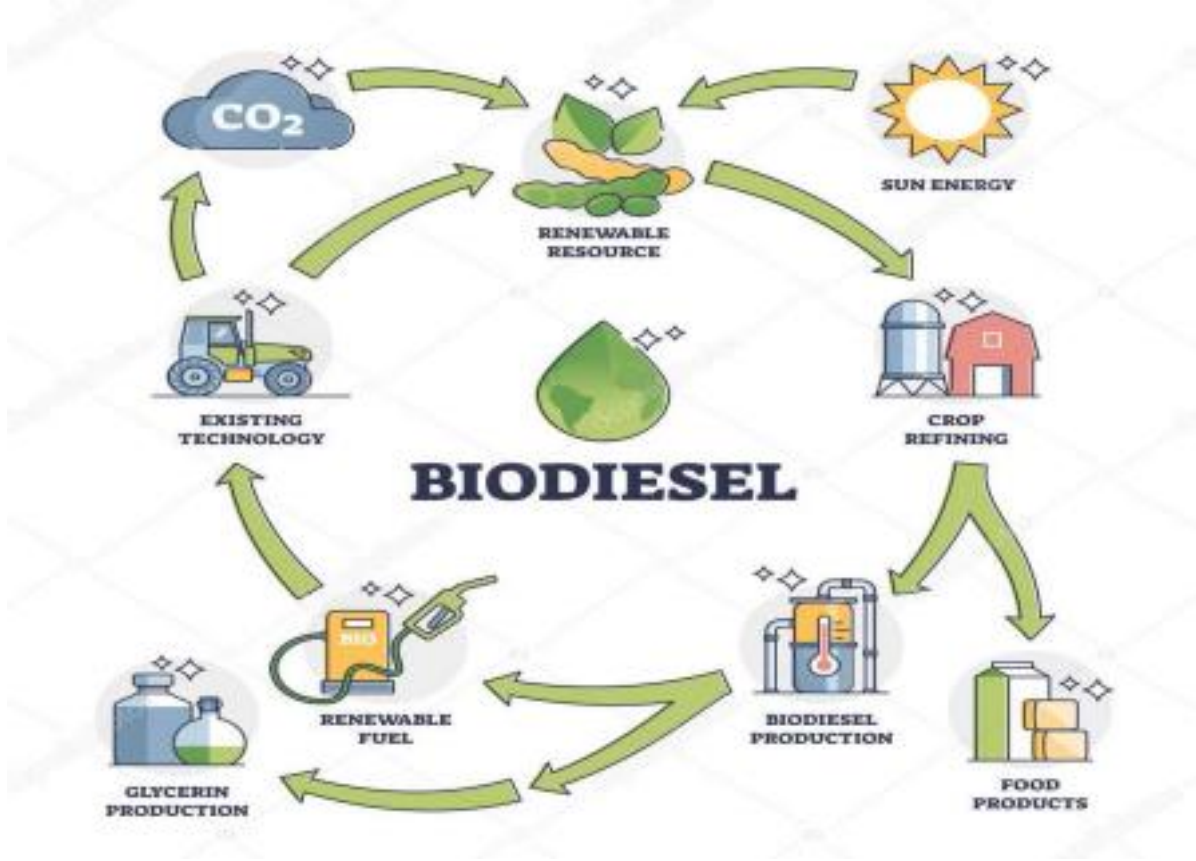


Şekil 6. Biodizelin Üretim Aşamaları [9]

Biodizelin Özellikleri:

Biyodizelin alevlenme noktası, dizelden daha yüksektir. Bu nedenle biodizel kullanım, taşınım ve depolanmasında daha güvenli bir yakıt olmaktadır. Biyodizel petrol kaynaklı dizel ile farklı oranlarda karıştırılabilmektedir. Bu karışım dizelin kalitesini yükseltir. Yanma tepkimesi sonucunda çevreye zararlı gazların salınımı azalarak emisyon değerlerini düşürür, motordaki yağlanma derecesini artırır ve motor gücünü azaltan kurumları çözer.

Biodizelin setan sayısı, dizelin setan sayısından yüksek olduğu için motor vuruntusu daha azalarak çalışmaktadır. Biodizel, dizel yakıt kullanan motorlarda herhangi bir teknik değişiklik yapılmadan kullanılabilir. 1996 yılı öncesinde üretilen bazı araçlarda kullanılan doğal kauçuk malzemesi biodizel ile uyumlu kullanılamamıştır. Biodizel, kauçuktan yapılan hortum ve contalara zarar vermektedir. Ancak, bu problemler daha düşük oranlı biodizel/dizel (> %80 dizel) karışımlarında görülmez. Biodizelin çözücü özelliği nedeniyle dizel yakıtın depolanmasından kaynaklanan yakıt deposu duvarlarındaki ve borulardaki kalıntıları çözüldüğü için filtrelerde partikül oluşumuna önlem alınmalıdır. Yakıt istasyonları ve araç bakım merkezlerinde herhangi bir değişikliğe gerek yoktur.



Şekil 7. Biodizel Döngüsü [10]

Yapılan çalışmalar sonucunda karbondioksit emilimini petrol ürünü yakıtlara kıyasla %80 oranında azalttığı bulguları elde edilmiştir. Petrole olan bağımlılığın azalması ve petrol kullanımı sonucu oluşan olumsuz sonuçların giderilmesi için alternatif yakıt arayışını

hızlandırmıştır. Havacılık sektörü de alternatifler aramaktadır. Kullanılacak olan alternatif yakıtın üretim prosesi, tedarik kolaylığı, kolay taşınabilmesi ve havacılık standartlarına uygun olması gerekmektedir. Havacılık sektöründe alternatif yakıt olarak bitkisel yağ tabanlı yakıtlar mevcuttur. Bu yağların esterleşme sürecine girerek oluşturduğu biyodizel yakıtının düşük sıcaklıklarda akışkanlığını yitirme eğiliminde olması hava araçlarında doğrudan kullanılmasına engel olmaktadır. Bunun sonucu olarak yapılan çalışmalarda biosentetik parafinik kerosen olarak adlandırılan çeşitli bitkisel yağların yüksek sıcaklıklarda parçalanmasıyla elde edilen yakıt doğrudan jet yakıtının yerine kullanılmadığından %5-%20 oranlarında jet yakıtı ile karıştırılarak kullanılabilir. Üretim yönteminin kolay olması, atmosfer ve çevreye petrol ürünlerine kıyasla çok daha az zararlı olması biyodizel yakıtların kullanımına teşvik etsede gerekli havacılık yakıt standartlarının sağlanması üretim maliyetini arttırdığı için tam anlamıyla sektörde kullanımı bulunmamaktadır.

Üretilecek olan alternatif yakıtın petrol yakıtlarına göre maliyet açısından daha avantajlı olması istenmektedir. Alternatif olarak üretilecek olan biyodizel yakıtın daha maliyetli olmaktadır. Emisyon oranı düşük ve daha uygun yakıt beklentisi havacılık isterlerinde bulunduğu için biyodizel kullanımı olanaklı görünmemektedir.

2011 yılından bu yana yaklaşık olarak 2000 ticari uçuşta biyoyakıt kullanılmıştır. Kullanılacak olan biyodizelin maliyeti düşük ve çevreye duyarlı olmasının yanı sıra besin zinciri üzerinde de olumsuz bir etki yaratmayacak sürdürülebilirliği olan bir kaynaktan elde edilmesi gerekmektedir.

Yakıtın hava aracı motorunun çalışma koşuluna, yakıtın depolanmasına, çevre ve uçuş güvenliğine uygun olması için daha detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Avantajlar:

- **Yenilenebilir Kaynaklardan Üretilmesi:** Biodizel, bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilebilir. Bu, fosil yakıtlara kıyasla daha sürdürülebilir bir enerji kaynağı sağlar.
- **Düşük Karbondioksit Emisyonları:** Biodizel, fosil yakıtlara kıyasla daha düşük karbondioksit emisyonlarına sahiptir. Bitkisel yağlar, büyürken atmosferden karbondioksit emerler ve bu nedenle biodizel üretimi sırasında salınan karbondioksit miktarı genellikle düşüktür.
- **Uyumluluk ve Karıştırılabilirlik:** Biodizel, genellikle dizel yakıtıyla karıştırılabilir veya saf olarak kullanılabilir. Bu, mevcut dizel araçlarla uyumlu olmasını sağlar ve mevcut altyapıyı kullanarak kolayca dağıtılabilir.
- **Motor Performansı ve Yağlama:** Biodizel, dizel motorlarda genellikle benzer veya daha iyi performans gösterir. Ayrıca, motorlarda daha iyi bir yağlama sağlayabilir ve motor ömrünü uzatabilir.
- **Yerel Ekonomilere Katkı:** Biodizel üretimi, yerel tarım ve işletmeleri destekleyebilir ve böylece yerel ekonomilere katkıda bulunabilir.

Dezavantajlar:

- **Tarım Alanlarının Kullanımı:** Büyük ölçüde biodizel üretmek için bitkisel yağlar kullanıldığında, tarım alanlarının kullanımı ve gıda üretimiyle rekabet edebilir. Bu, bazı durumlarda gıda fiyatlarını artırabilir ve ekosistemlere zarar verebilir.
- **Su Kullanımı ve Toprak Bozulması:** Bazı biyoyakıt üretim yöntemleri, su kullanımını artırabilir ve toprak bozulmasına neden olabilir. Özellikle büyük ölçekli biyoyakıt üretimi, yerel su kaynaklarını ve ekosistemleri etkileyebilir.
- **Azot Oksit Emisyonları:** Biodizel, dizel yakıtlara kıyasla azot oksit (NOx) emisyonlarını artırabilir. NOx emisyonları, hava kalitesi üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir ve bazı durumlarda çevresel sağlık sorunlarına neden olabilir.
- **Soy Değişimi ve Biyoçeşitlilik Kaybı:** Bazı bitki türlerinin büyük ölçekli yetiştirilmesi, yerel biyoçeşitliliği azaltabilir ve ekosistemlere zarar verebilir. Ayrıca, biyoçeşitlilik kaybı ve soy değişimi gibi endişeleri artırabilir.

SONUÇ ve ÇIKARIMLAR

Tüm bu şartlar göz önünde bulundurulduğunda gelinen nokta biodizel yakıtların havacılık sektöründe güvenli ve çevre açısından oldukça olumlu bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir lakin biodizel yakıtların düşük sıcaklıklarda viskozitesinin artması, düşük verimlilik, mevcut teknoloji ile motorlara uyumlu olmaması nedenleriyle havacılıkta kullanılamamaktadır.

Özellik	Biyodizel (EN14214)	Etanol	n-Bütanol	Jet yakıtı
Molekül Ağırlığı (kg/kmol)	-	46,07	74,12	≈185
Yoğunluk (g/ml-20 °C)	0,860-0,9	0,789	0,810	0,775-0,84
Viskozite (mm ² /s - 40 °C)	3,5-5	1,08	2,23	8
Alt ısı değeri (MJ/kg)	35-43	26,8	33,1	42,80-43,02
Donma noktası (°C)	-1 - -15	-114,3	-89,5	-47 - -60
Parlama noktası (°C)	>120	8	35	38
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	-	434	385	210
Kaynama noktası (°C)	-	78,4	117,7	150-170
Buhar basıncı (kPa-38 °C)	-	13,8	2,27	14-21
Oksijen içeriği (%)	-	34,8	21,6	-

Şekil 8. Biodizelin Jet Yakıtı ile Kıyaslanması [11]

KAYNAKÇA

1. UYUMAZ, Ahmet, et al. Experimental examination of the effects of military aviation fuel JP-8 and biodiesel fuel blends on the engine performance, exhaust emissions and combustion in a direct injection engine. *Fuel Processing Technology*, 2014, 128: 158-165.
2. YILMAZ, İlker; İLBAŞ, Mustafa. GAZ TÜRBİNLİ UÇAK MOTORLARINDA KİRLETİCİ EMİSYONLARIN İNCELENMESİ. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2012, 27.2.
3. <http://www.arakliegitimsurucukursu.com/Yayinlar/motorlarin-calisma-prensipleri> 159
4. <https://www.netsu.com.tr/ruzgar-enerjisi-c-2174>
5. <https://www.aydemperakende.com.tr/blog/jeotermal-enerji-nedir-nasil-elde-edilir>
6. <https://www.tenmak.gov.tr/2016-06-09-00-43-55/162-nukleer-yakit-cevrimi/1070-nukleer-yakit-cevrimi-semasi.html>
7. <https://baykartech.com/tr/uav/bayraktar-mini-iha/>
8. AFŞAR, M.; AYDIN, M.; ÇELİK, M. B. Atık Bitkisel Yağların Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarda Kullanımı. 2017.
9. <https://www.thesisat.org/biyodizel-nedir-yakit-ozellikleri-nelerdir.html>
10. <https://depositphotos.com/tr/vector/biodiesel-fuel-life-cycle-explanation-with-all-usage-stages-outline-diagram-546464182.html>
11. YILMAZ, Nadir; ATMANLIB, Alpaslan. HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT KULLANILMASININ İNCELENMESİ.

HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİNE GENEL BAKIŞ AN OVERVIEW OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Cansu AĞIRMAN

Yüksek Lisans Öğrencisi, Erciyes Üniversitesi, Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü

ÖZET

Bilim dünyası bir süreklilikle ilerleyerek ve kümülatif büyüyerek her geçen gün insan hayatını daha çok geliştirir. Bu büyümeye deneyler, araştırmalar ve çeşitli yatırımlar kaynaklık ederler. Günümüzde gerek deneylerin devasa maliyetleri olsun gerek her deneyin yapılabilme kısıtlamasından olsun bu çözüm yöntemlerine nispeten daha kolay erişebilmek için yöntem ihtiyaçları doğmuştur. Bu noktada Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği çatısı altında geliştirilen yazılımlarla, yapılmak istenen deneylerin gerçek zaman simülasyonlarının ortaya konabileceği yazılım paketleri geliştirilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde sorunlar üç aşamalı yöntemler silsilesi ile çözülmektedir. Her bir aşamada problemin türüne bağlı olarak çeşitli parametreler belirlenerek çözümler geliştirilir ve çeşitli yazılım paketleri vasıtası ile sonuca ulaşılır. Bu makalede bu teknolojik devrimin mimarlarından olan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin (HAD) temellerini, problem çözüm yöntemlerini ve yazılım paketlerini ele alacağız.

Anahtar kelimeler: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, OpenFOAM, Paraview,

ABSTRACT

The world of science advances continuously, enhancing human life more with each passing day through cumulative growth. Experiments, research, and various investments contribute to this growth. Today, due to factors such as the massive costs of experiments and constraints on their feasibility, there is a need for methods to access solutions more easily. At this point, software packages have been developed under the umbrella of Computational Fluid Dynamics (CFD), allowing real-time simulations of desired experiments to be conducted. Problems in computational fluid dynamics are solved through a series of three-stage methods. Parameters are determined based on the nature of the problem at each stage, solutions are developed, and results are obtained through various software packages. In this article, we will discuss the fundamentals of Computational Fluid Dynamics (CFD), problem-solving methods, and software packages, which are among the architects of this technological revolution.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, OpenFOAM, Paraview

1. GİRİŞ

Bir problem ortaya çıkar ve ardından çözümler gelir. Bu çözümler bazen teorik ilerlerken bazen de deneysel olabilmektedir. Teknolojinin yaptığımız bu çözüm üretme sürecine katkısı ise yadsınamaz. Peki ya gelişen teknolojinin çözümler üzerinde nasıl bir etkisi oldu? Günümüzde teknoloji sadece çözüme gittiğimiz yolu kısaltmıyor; aynı zamanda çözüm yöntemlerimizi değiştiriyor ve dönüştürüyor.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), ilgili alanda detaylı hesaplamaların yapılabildiği, akış alanı ve diğer fiziksel detayların gösterilebildiği, bilgisayar tabanlı bir mühendislik yöntemidir. [1] Akışkanlar dinamiğinin ucuz ve erişilebilir olması gibi avantajları vardır. Bunların yanı sıra Dünya üzerinde simüle edilmesi pek mümkün olmayan gerçek hayat

senaryolarını (örneğin doğal afetler) mümkün kılması, çeşitli akış simülasyonlarını teknik ve analitik olarak ele alınması ve alınan sonuçların analiz edilmesi gibi birçok avantaja sahiptir. Dahası, bu teknoloji ile birlikte dünya üzerinde testlerinin yapılması mümkün olmayan süpernova patlamaları ve galaksi formasyonları testleri yapabilir.[2]

HAD teknolojide çok geniş bir alana hitap eder. Endüstri, havacılık, otomotiv, biyomedikal, kimya, inşaat, metalürji, nükleer güvenlik, spor gibi birbirinden çok farklı alanlarda aktif olarak kullanılmaktadır. Örneğin İngiliz Bisiklet Federasyonu ile yakın çalışan Sheffield Üniversitesi'ndeki Spor Mühendisliği Araştırma Grubu (SERG), İngiliz bisiklet takımına dünyanın en hızlı "yasal" bisikletini yapma imkânı vermiştir. [3]

Jason Kenny tarafından Tokyo 2020 Olimpiyatları'nda kullanılan "HB.T", Kenny'e finalde altın madalya kazandırmıştır. Bu şekilde toplam yedi altın madalyaya ulaşan Kenny İngiltere'nin en başarılı olimpiyat sporcusu olarak tarihe adını altın harflerle yazdırmıştır.



Şekil 1. 2020 Tokyo Olimpiyatları için hazırlanan Dünyanın en hızlı legal bisikleti "HB.T"

HAD'ın tasarımcılar için önemi ise prototip üretilmeden önce tüm analizlerin sanal ortamda yapılabilmesidir. Bu sayede ürünün daha az işçilik ve malzeme kaybıyla, ilk seferde doğru temelde hızlı çevre koşullarına aktarılması sağlanacaktır. [4]

2. GELİŞME

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği problemleri 3 aşamalı işlemler dizisi ile çözümlenir. Bu işlem adımları sırasıyla ön işlem (pre-processing), çözüm (solution) ve son işlem (post-processing) olarak adlandırılır.

Ön işlem aşaması probleme konu olan yapının 2D veya 3D modelinin ana hatlarının oluşturulması ile başlar. Ayrıca fazla ayrıntıdan ötürü ortaya çıkabilecek hataları indirmek için oluşturulan model basitleştirilir. Basitleştirme sonrası istenen koşullara göre akışkanın hareket edeceği sınırlar belirlenir. Ağ türü, kalitesi (kritik bölgelerde daha ince) ve yoğunluğuna karar verilir. Ardından hücre sayısı ve türü (üçgen, dörtgen, tetrahed vb.) seçilir. Küçük boyutlu hücreler detaylı analiz yapabilme imkânı sağlarken hesaplama süresini artırırlar. Model genel hatlarıyla oluşturulduktan sonra akışkan yoğunluğu, viskozite ve ısı kapasitesi gibi çeşitli malzeme özellikleri belirlenir. Bu şekilde ilk adım olan pre-processing işlemi tamamlanmış olur.

Çözüm aşaması problemin sayısal olarak çözümlendiği aşamadır. Bu aşamada deneyi yapan araştırmacı için en önemli detay probleme uygun sayısal denklem yöntemi seçmek ve onu doğru bir şekilde çözüme entegre etmektir. Zamana bağlı analizlerde (transient) zaman adımı ve toplam çözüm süresi belirlenir. Zamandan bağımsız (steady-state) analizlerde bu adım genellikle uygulanmaz. Son olarak yakınsama kriterleri belirlenerek hesaplamalar başlatılır. Yakınsama, belirli bir sayıda iterasyon belirlendikten sonra ardışık iterasyonlar

Şekil 2’de görüldüğü üzere, Linux tabanlı bir işletim sistemine sahip olan OpenFOAM, komut satırı ara yüzüne dayanır. Windows işletim sistemine sahip olan bilgisayarlarda, sanal makine kurulumu ile Linux tabanlı bir sistemde OpenFOAM yazılımı kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilir.

```

cagirman@DESKTOP-KNJTTTU:~$ ls /usr/lib/openfoam/openfoam2312/
Allwmake META-INFO ThirdParty applications bin etc platforms src tutorials wmake
cagirman@DESKTOP-KNJTTTU:~$ ls /usr/lib/openfoam/openfoam2312/tutorials
Allclean DNS compressible finiteArea mesh resources
Allcollect IO discreteMethods heatTransfer modules stressAnalysis
Allrun basic electromagnetics incompressible multiphase verificationAndValidation
Alltest combustion financial lagrangian preProcessing
cagirman@DESKTOP-KNJTTTU:~$ ls /usr/lib/openfoam/openfoam2312/tutorials/incompressible
SRFPimpleFoam boundaryFoam overPimpleDyMFoam porousSimpleFoam
SRFSimpleFoam icoFoam overSimpleFoam shallowWaterFoam
adjointOptimisationFoam lumpedPointMotion pimpleFoam simpleFoam
adjointShapeOptimizationFoam nonNewtonianIcoFoam pisoFoam
cagirman@DESKTOP-KNJTTTU:~$ ls /usr/lib/openfoam/openfoam2312/tutorials/incompressible/simpleFoam
TSA mixerVessel2D pitzDailyExptinlet squareBend
airFoil2D motorBike rotatingCylinders turbineSiting
backwardFacingStep2D pipeCyclic rotorDisk turbulentFlatPlate
bump2D pitzDaily simpleCar windAroundBuildings
cagirman@DESKTOP-KNJTTTU:~$ ls /usr/lib/openfoam/openfoam2312/tutorials/incompressible/simpleFoam/pitz
Daily
0 constant system
cagirman@DESKTOP-KNJTTTU:~$ cd pitzDaily
cagirman@DESKTOP-KNJTTTU:~/pitzDaily$ blockmesh
blockmesh: command not found
cagirman@DESKTOP-KNJTTTU:~/pitzDaily$ blockMesh

-----
F ield      OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
O peration  Version: 2312
A nd       Website: www.openfoam.com
M anipulation
-----

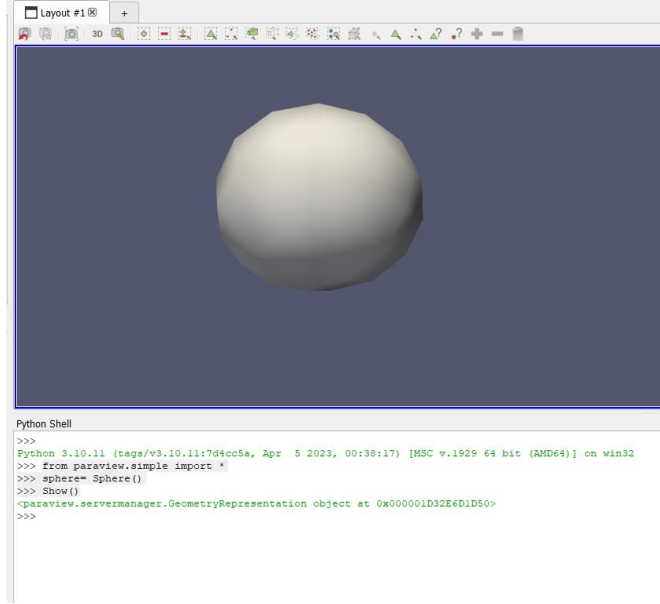
Build : _e651d635-20240208 OPENFOAM=2312 patch=240220 version=2312
Arch  : "LSB;label=32;scalar=64"
Exec  : blockMesh
Date  : May 15 2024
Time  : 21:56:27
Host  : DESKTOP-KNJTTTU
PID   : 17858
I/O   : uncollated
Case  : /home/cagirman/pitzDaily
nProcs : 1
trapFpe: Floating point exception trapping enabled (FOAM_SIGFPE).
fileModificationChecking : Monitoring run-time modified files using timeStampMaster (fileModificationSw
kew 5, maxFileModificationPolls 20)
allowSystemOperations : Allowing user-supplied system call operations

// ***** //
Create time
Creating block mesh from "system/blockMeshDict"
Creating block edges

```

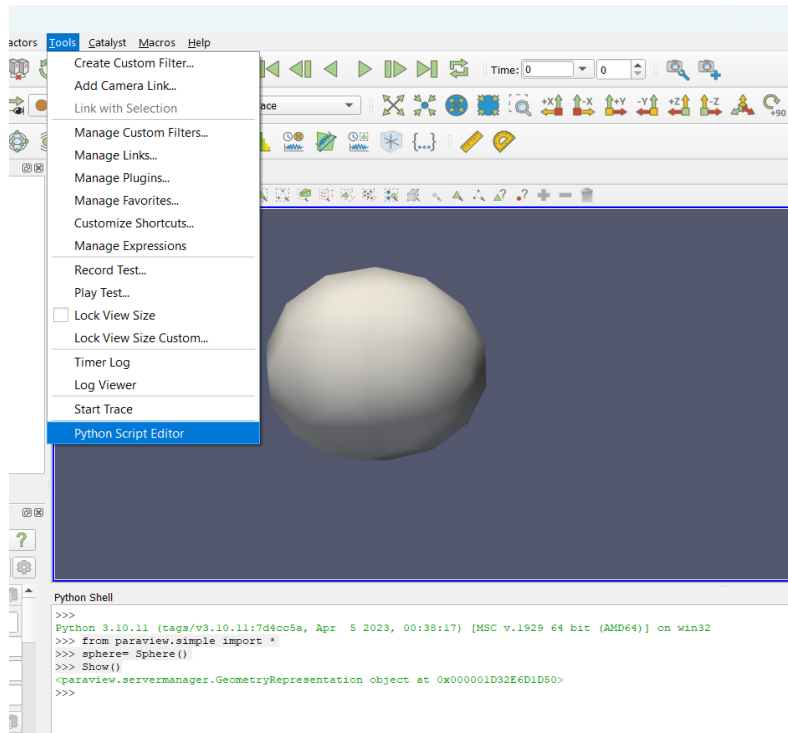
Şekil 3 OpenFOAM hazır uygulama şablonları

Ön işlem ve çözüm aşamaları tamamlandıktan sonra post-processing işlemi için kullanılan uygulamalara “Paraview” uygulaması örnek verilebilir. Uygulamaya girilen veriler; animasyon videoları, sonuç grafikleri veya problem modelleri olarak alınabilir. Gerçek zaman olaylarının simüle edilip sonuç grafiklerinin oluşturulabildiği bu zengin içerikli uygulama aynı zamanda “Python Shell” özelliğine sahiptir. Bu kodlama özelliği kullanımı ve hazır kod kütüphaneleri için internet üzerinde yeterli kaynak bulunmamasına karşın aslında çok işlevseldir.

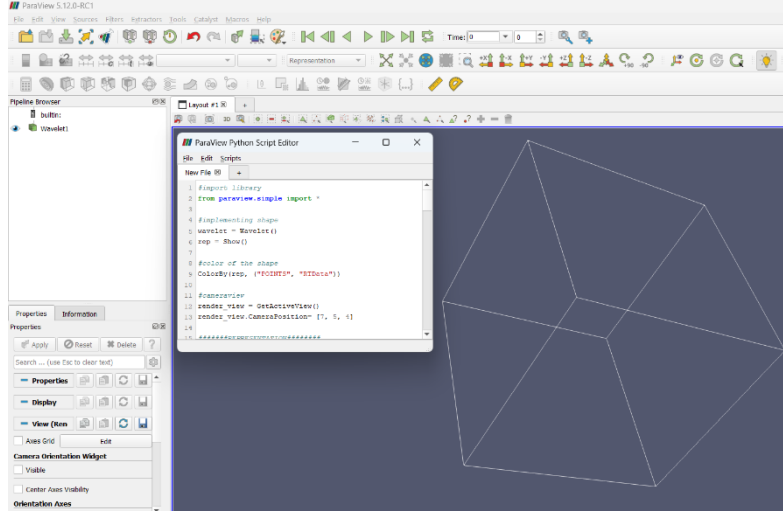


Şekil 4. Paraview “Python Shell” penceresi

Buna ek olarak “Python Script Editor” adlı bir komut dosyası özelliği bulunmaktadır. Bu dosya normal bir yazılım komut dosyası gibi çalışır. “Run” butonu ile kodları çalıştırır. Text dosyası formatında olan bu dosyanın en büyük avantajı yapılan çalışmanın video, görsel veya farklı tiplerdeki dosyalar olarak kaydedilme ihtiyacını ortadan kaldırmasıdır. Bu sayede depolamadan tasarruf edilirken yarım kalan projeyi sürekli kılar. Yarım kalan post-processing işlemi için her bilgisayar açılışında sıfırdan başlama ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Araştırmacıların aynı projeyi farklı cihazlarda kaldıkları yerden devam ettirmelerine de olanak sağlar.



Şekil 5. Python Script Editor



Şekil 6 Script Editor ile kodlama

Paraview için kullanılacak kodlar internet üzerinde yaygın olmamasına rağmen “Start Trace” özelliği kullanıcılar için bir kurtarıcı niteliğindedir. Bu yöntem ile birlikte Paraview uygulama ara yüzünden yapılan her hareketi işaret eden python kodları, çalışma sonunda bir text dosyası halinde kaydedilir. Dahası bu text dosyası ilerde yapılacak çalışmalar için bir kaynak niteliğindedir. Yapılan her bir hareketin kaydedilmesiyle oluşan bu kod dosyası araştırmacılar için bir kütüphaneden farksızdır. Ayrıca bu özellik kullanılarak çalışma sonunda elde edilen kod dosyası yukarıda bahsedildiği gibi çalışmanın yarım kalmasını engeller ve buna ek olarak çalışmaya devam etme olanağı sağlar.

3. SONUÇ

Bu makalede, hesaplamalı akışkanlar dinamiği alanındaki üç temel yöntemi ve bu yöntemleri uygulamak için kullanılan OpenFOAM ve ParaView yazılımlarını ele aldık. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, mühendislik ve bilim alanlarında önemli bir role sahiptir ve gelişmiş simülasyon teknolojileri, gerçek dünya problemlerine çözümler sunmak için güçlü bir araçtır. OpenFOAM ve ParaView gibi açık kaynaklı ve kullanıcı dostu yazılımlar, mühendislerin ve araştırmacıların akışkan dinamiği problemlerini çözmelerine ve sonuçlarını etkili bir şekilde görselleştirmelerine olanak tanır. Bu yazılımların yaygın kullanımı, mühendislik topluluğunu daha erişilebilir ve etkili bir şekilde bir araya getirerek, inovasyon ve bilimsel keşiflerin hızını artırabilir.

4. REFERENCES

1. Kaplan, Cihangir., Aydoğan, Hasan., 2021. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile emme manifoldunun tasarımı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt (24): 213/219.
2. Chen, Goong., Xiong, Qingang., Morris, Philip J., Paterson, Eric G., Sergeev, Alexey., Wang, Yi-Ching., 2014. OpenFOAM for computational fluid dynamics. Notices of the American Mathematical Society, Cilt 61 (Sayı 4): 354/363.
3. Tu, Jiyuan., Yeoh, Guan-Heng., Liu, Chaoqun., 2018. Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach. Butterworth-Heinemann, United Kingdom , 477.
4. <https://www.openfoam.com/documentation/tutorial-guide>

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINA UYGULANAN AKIŞ KONTROL YÖNTEMLERİ VE BUNLARIN İHA PERFORMANSINA ETKİSİ

Ebru Yıldız Aydemir

Uçak Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, 38030, Kayseri, Türkiye

ÖZET

Hava aracı tasarımı yapılırken, hava aracının yüksek performans özelliğine sahip olması istenir. Hava aracı performansını artırmak için günümüze kadar çeşitli yöntemler araştırılmış ve geliştirilmiştir. Bunlara bir örnek de aerodinamik verimliliği artırmak için başvurulan akış kontrol yöntemleridir. Akış kontrol yöntemleri iki türe ayrılmaktadır: aktif ve pasif akış kontrol yöntemleri. Aktif akış kontrol sistemleri dışarıdan bir enerji alımı gerektirirken pasif akış kontrol sistemleri harici bir enerjiye ihtiyaç duymazlar. Akış kontrol sistemleri taşıma kuvvetinin artırılması, sürüklenme kuvvetinin azaltılması, yüzey ayrılmalarının geciktirilmesi, türbülans yönetimi, kontrol edilebilirliğin artırılması gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada öncelikli olarak İHA'lar olmak üzere hava araçlarında kullanılan akış kontrol yöntemleri ve bunların hava aracı performansına etkisi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda akış kontrol yöntemlerinin hava aracı performansına olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.

1. Giriş

Akış kontrol yöntemleri, genellikle aerodinamik performansı artırmak veya akışın özelliklerini düzenlemek amacıyla kullanılır. Hava araçlarının aerodinamik verimliliğini artırmak için çeşitli akış kontrol yöntemleri geliştirilmiştir. Akış kontrol yöntemleri çoğu kaynağa göre aktif ve pasif akış kontrol yöntemleri olmak üzere iki türe ayrılmaktadır [1], [2], [3]. Abbas ve arkadaşları ise aktif, pasif ve reaktif şeklinde üç tür akış kontrol teknolojisi olduğunu belirtmektedir[4]. Aktif akış kontrol sistemleri harici bir enerji alımı gerektirirken pasif akış kontrol sistemleri harici bir enerjiye ihtiyaç duymazlar. reaktif sistemler ise bir tür zekaya sahiptir ve sensör tarafından sağlanan bilgilere göre harekete geçer.

İHA'lar, insanlı uçaklarda uygulanmadan önce Aktif Akış Kontrolü (AAK) sistemlerinin doğrulanması, optimize edilmesi ve iyileştirilmesinde hayati bir rol oynamaktadır. Belirli insanlı hava aracı uygulamaları için geliştirilen ancak henüz yeterince olgunlaşmamış AAK sistemleri, hava aracı güvenlik standartlarının daha düşük olduğu İHA'larda uygulanabilmektedir [5].

Ayrılmış akışlar iki farklı şekilde meydana gelmiş olabilir. Bunlar: hücum açısı arttığında kademeli olarak ön akışın yerini değiştirerek firar kenarı ayrılması gibi ilerleyici sınır tabakası ayrılması (İSTA) ve geometrik süreksizlikler tarafından oluşturulanlar gibi çok bölgesel hale getirilmiş sınır tabakası ayrılmasıdır (BSTA) [4].

İSTA tipi ayrılmış akışlar, mekanik-pnömatik girdap üreteçleri ile kontrol edilebilir. BSTA tipi ayrılmış bir akış, darbeli (titreşimli) sentetik jet slotu [6], [7], [8], darbeli üfleme jet slotu veya darbeli pnömatik girdap üreteçleri [9] ile kontrol edilebilir.

1.1. Pasif Akış Kontrol Yöntemleri

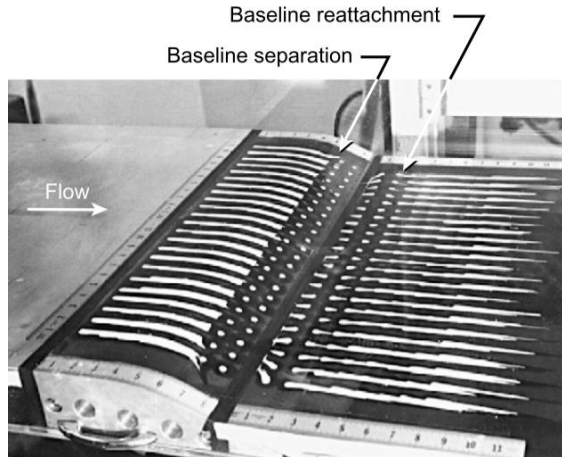
Pasif sistemler, çalışmak için güç girişi gerektirmeyen sistemlerdir. İnsanlı ve insansız hava araçlarında yaygın olarak kullanılan pasif yöntemler; mekanik girdap üreticileri, kavite, Gurney flapları, sınır tabakası tripleri ve zikzak (ters V şeklinde şeritler) deseni gibi yapılardır.

1.1.1. Girdap Üreteçleri

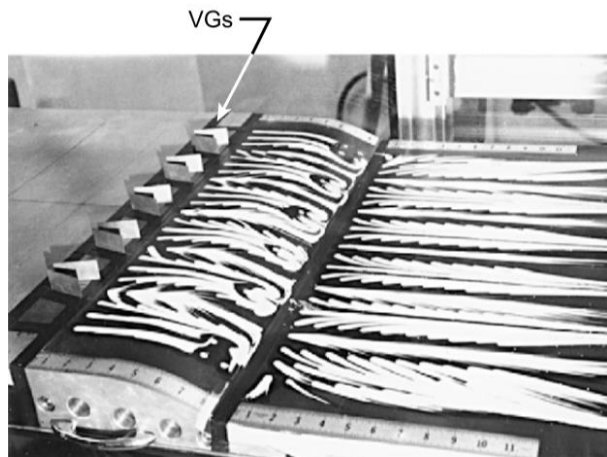
Bu yöntem, girintili-çukuntulu yüzey yapılarının kullanılarak akım ayrılmasının geciktirilmesi prensibine dayanır. Sistem enerji girişine ihtiyaç duymaz ve sürüklemenin azalması sağlanır.

Pasif girdap üreticileri, sınır tabakasına enerji vermek ve ayrılmayı önlemek için akış ayrılma noktasının önündeki taşıma yüzeylerine monte edilen basit, küçük açıklık oranlı kanat profilleridir [4]. Bunların sürüklenme dezavantajını azaltmak için sınır tabakası altına daldırılabilen türleri de vardır. Girdap üreticileri İSTA tipi akış kontrol aktüatörleri sınıfına dahil edilebilir. Girdap üreticileri, ayrılmış akım bölgesini küçültmektedir. Ters basınç gradyanının olduğu durumlar ve süpersonik şok yüzünden oluşan ayrılma durumunda düşük hızlı ayrılmış akışların kontrolü için kullanılabilirler.

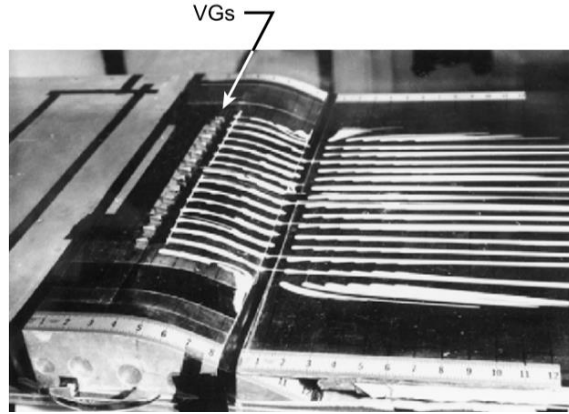
Girdap üreticilerinin, göreceli olarak akış ayrılması konumlarının sabit olduğu ve üreticilerin ayrılmanın kaynağına yakın yerleştirilebildiği uygulamalar için en uygun olduğu saptanmıştır [4]. Yapılan bir çalışmada ise girdap üretici tasarım parametrelerinin etkisi değerlendirilmiş ve düşük profilli ($h/\delta \leq 1$, δ ; sınır tabaka kalınlığı ve h cihazın yüksekliği) girdap üreticilerinin basınç dağılımındaki dönüm noktasının ortadan kaldırılarak ayrılmış alanın önemli ölçüde azaltılması bakımından daha etkin olduğu tespit edilmiştir [10]. Daha uzun girdap üreticileri ayrılmış akış alanını azaltsa da akış yapısında güçlü modifikasyona sebebiyet vererek sürüklenme dezavantajı oluşturmaktadır (Şekil 1).



(a) Temel (girdap üretici kapalı) durum.

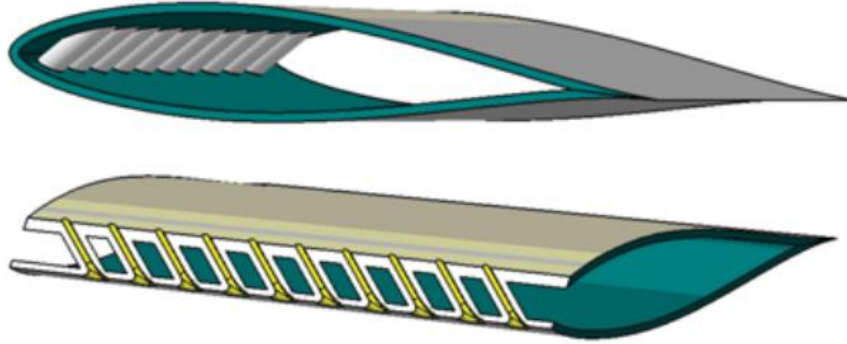


(b) Temel ayrılmanın 6 h yukarısında 0,8 yüksekliğinde kanat tipi ters yönde dönen girdap üreteçleri.



(c) Temel ayrılmanın 10 h yukarısında 0,2 yüksekliğinde kanat tipi ters yönde dönen girdap üreteçleri.
Şekil 1. Geriye bakan bir rampa üzerinden girdap üretecinin akışlar üzerindeki etkisini gösteren yağ akışı görselleştirmeleri [11].

Girdap üreteçlerinin daha etkili bir türü pasif hava jeti girdap üreteçleridir (Şekil 2). Bunlar düşük hızlarda ayrılmayı önlemek için veya yüksek hızda düzensiz titreşimi kontrol etmek için kullanılabilirler. Slot tasarımındaki maksat, viskozite nedeniyle yavaşlamış olan sınır tabaka parçacıklarına yeni momentum enjekte etmektir.



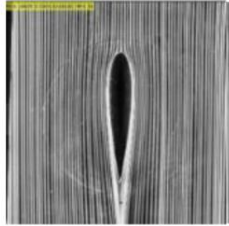
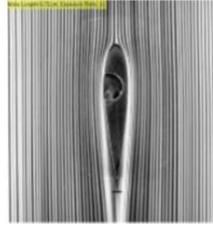
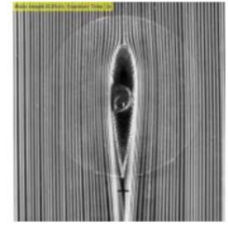
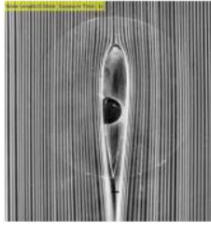
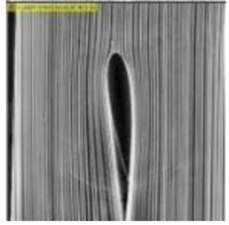
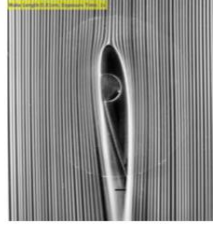

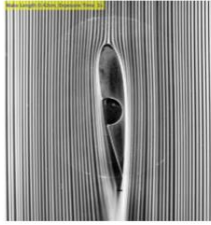

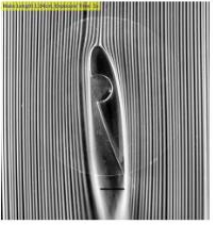
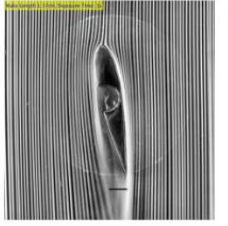
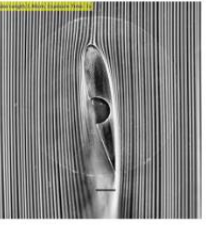

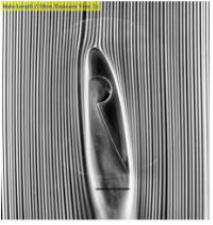


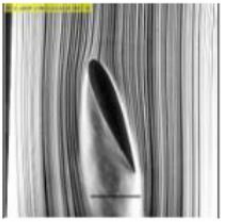
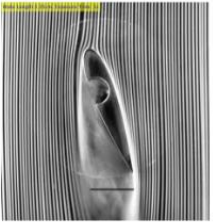


Şekil 2. Pasif Hava Jeti Girdap Sistemi [12]

Prince ve arkadaşları NACA23012C kanat profiline sahip bir model üzerinde analiz gerçekleştirmişlerdir [12]. Model, jet merkezleri arasında 45 mm ile eşit aralıklarla 0.12 veter konumuna yerleştirilmiş 4,8 mm çaplı dairesel delikler olan 15 hava jetiyle donatılmıştır. Üst yüzey, 0.04 veter konumunda alt yüzeye bağlanmıştır. Düşük hızlı rüzgâr tüneline deneysel doğrulama ve ardından CFD çalışması yapılmıştır. Pasif hava jetlerinin, temel konfigürasyona kıyasla maksimum CL'yi %14 arttırdığı ve firar kenarı ayrılmasının başlamasını 2 derece geciktirdiği bulunmuştur. Maksimum CL ile gösterilen perdövitesin meydana gelmesinin 15–16 dereceden, 18–19 dereceye ertelendiği bulunurken, benzer şekilde, yunuslama momenti perdövitesinin 2 derece geciktiği görüldü. Bu etkiler, eşdeğer bir üfleme momentum katsayısında çalışan aktif olarak üflenen hava jetleri kullanılarak beklenenle aynıdır ancak aktif enerji girişi olmayan doğal bir süreçle elde edilmiştir.

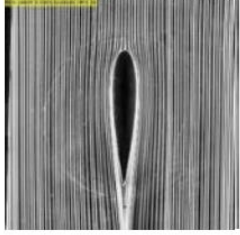
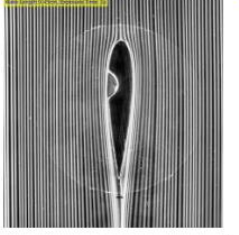
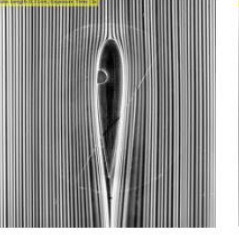
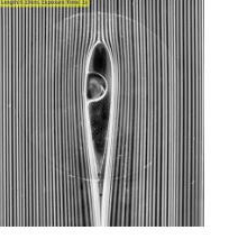
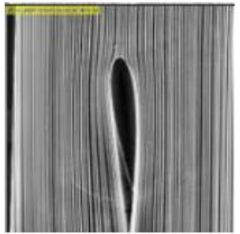
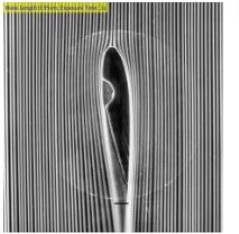
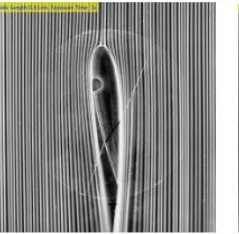
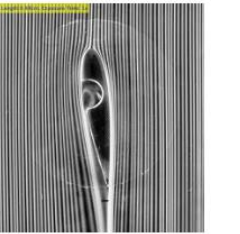

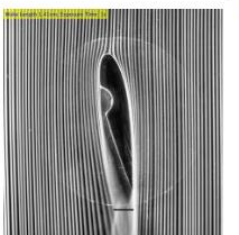
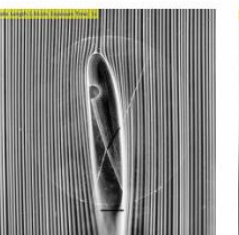
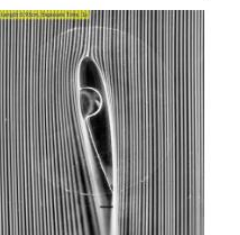

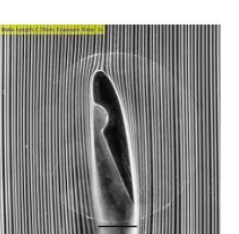
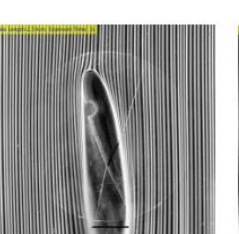
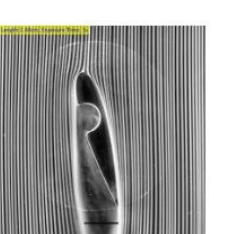
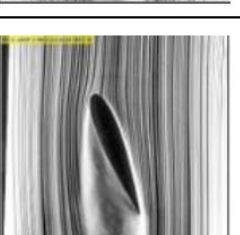
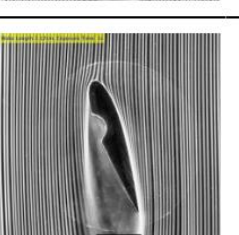
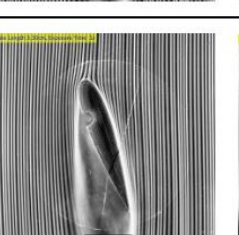
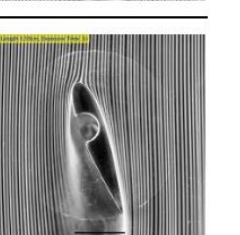
1.1.2. Kavite

Cisim yüzeyindeki kaviteler, akımın yüzeye daha fazla yapışmasını sağlayarak sürüklemenin azaltılmasına katkıda bulunur.

Tablo 1. Referans model, 0.22c, 0.30c ve 0.40c modellerinin deney görüntüleri [1].

Hücum Açısı	Referans Model (NACA 0018)	0.22c	0.30c	0.40c
0°				
8°				
12°				
16°				
20°				

Tablo 2. Referans model, 0.22c sığ, 0.22c hem sığ hem dar ve 0.22c radyus modellerinin deney görüntüleri [1]

Hücum Açısı	Referans Model (NACA 0018)	0.22c sığ	0.22c sığ ve dar	0.22c radyus
0°				
8°				
12°				
16°				
20°				

Çobanoğlu ve arkadaşları çeşitli kavite tasarımlarının akış kontrolündeki etkinliğini belirlemek için kaviteye sahip 6 farklı model üzerinde duman teli ile akış görselleştirme deneyleri gerçekleştirmişlerdir [1]. Tablo 1’de görülen ilk üç modelde aynı özellikteki kavite kanat üzerinde üç farklı konumda yer almaktadır; 0.22c (0.22 veter), 0.30c ve 0.40c. Bu tablo incelendiğinde kavitesiz modele göre kaviteli modellerin etrafında oluşan akım çizgilerinin daha düzgün olduğu görülmektedir. Hücum açısı arttıkça bütün modellerde iz bölgesinin genişliği artmaktadır. Hücum açısı 0 derece olduğunda kavitesiz model en küçük iz bölgesi genişliğine sahipken hücum açısı 8 derece olduğunda iz bölgesi 0.40c modelinde en dar olmaktadır. Bu hücum açısında kaviteli modellerin tümü kavitesiz modelden daha küçük bir iz bölgesi genişliğine sahiptir. 16 derece hücum açısında kavitesiz model ile 0.22c modelindeki

akım ayrılmasının başladığı noktalar diğer modellerdekine kıyasla kanadın hücum kenarına daha yakın konumdadır. Kaviteli modellerdeki akım ayrılması noktası hücum açısı 20 derece olduğunda kavitesiz modeldeki ayrılma noktası konumuna yaklaşmakta ve böylelikle kavite etkisi azalmaktadır. Tablo 2’de görülen diğer üç modelde ise kavitenin konumu, maksimum etkinin olduğu düşünülen 0.22 veter konumunda sabitlenerek genişliğinin, derinliğinin ve firar kenarına yakın olan tarafının radyuslu olmasının akışa etkileri incelenmiştir. Tablo 2 incelendiğinde radyusa sahip modelin kavitesi içindeki girdap ilgi çekmektedir. Hücum açısı 8, 16 ve 20 derece iken en az etkili olan model sığ ve dar özellikteki modeldir. Sığ model, hücum açısı 8 derece olduğunda kavitesiz modele kıyasla akım çizgilerini yüzeye yaklaştırmaktadır. Bu etki 12 ile 16 derece için de geçerli olurken 20 derecede bu etki azalmaktadır. Radyuslu modelde 12 dereceye kadar kavite içinde girdap oluşmakta ve iz bölgesinin genişliği diğer modellere göre çok kısa olmaktadır. Daha büyük hücum açılarında bu etki azalmaktadır.

1.2. Aktif Akış Kontrol Yöntemleri

Çalışmak için bir miktar güç girişi gerektiren sistemlerdir. Çoğu AAK araştırması net kütle veya momentum akışı transfer aktüatörleri (akışkan), hareketli nesne veya yüzey aktüatörleri (mekanik) ve iyonize gaz aktüatörleri (plazma) olmak üzere üç ana aktüatör kategorisine odaklanmıştır [13]. Son yıllarda AAK, yeni akışkan cihazları, otonom akışkan aktivasyonu, mekanik eleman aktivasyonunu ve plazma aktivasyonunu içerecek şekilde önemli gelişmeler kaydetti. AAK aktüatörleri veya efektörleri, ayrılma veya geçiş kontrolü, itki ve uçuş kontrolü, geleneksel kontrol efektörlerinin (örneğin flaplar, slatlar) geliştirilmesi veya geleneksel efektörlerin değiştirilmesi için kullanılabilir. Düşük uçuş hızlarında, otonom akışkan, mekanik ve plazma aktüatörlerin performansı artırma veya gürültüyü azaltma konusunda büyük potansiyeli vardır [5].

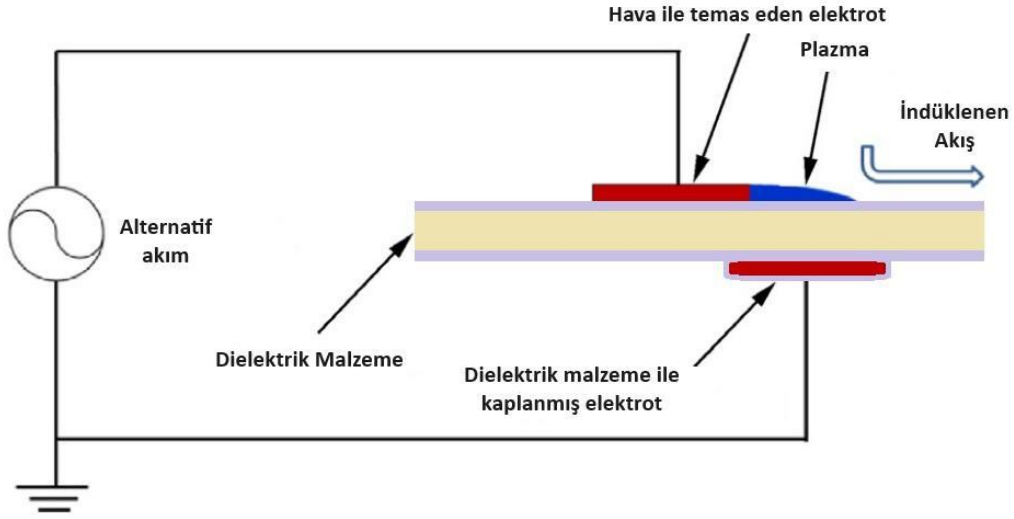
Nano ve mikro hava araçlarına (sırasıyla NAV'lar ve MAV'ler) özgü düşük Reynolds sayısı rejimlerinde, geleneksel sabit kanatlı uçuş zor veya imkansızdır ve pasif akış kontrol yöntemleri genellikle etkisizdir. Karakteristik Reynolds sayıları tipik olarak 105 'ten az olan nano ve mikro hava araçları, taşıma üretimi, itki ve manevra için periyodik olarak oluşturulan hücum kenarı girdaplarına dayanır. Bu en yaygın olarak mekanik olarak hareketli (flaplı) kanatlara veya darbeli plazma aktivasyonu ile elde edilir. Karakteristik Reynolds sayıları 102-105 aralığında olan birçok NAV ve MAV, itki ve kontrol için mekanik ornitopter tipi (çırpan kanat) konfigürasyonları kullanır.

Reynolds sayısının 105 'ten büyük olduğu daha büyük İHA'larda, dışarıdan tahrik edilen ve otonom akışkan sistemler hâkim olmaya devam ediyor. Bunlar geleneksel sirkülasyon kontrol tekniklerini, otonom sentetik jetleri ve ayrık süpürme jetlerini içerir. Karakteristik Reynolds sayıları 105'ten büyük olan küçük, mini ve büyük yelpazedeki İHA'ları kapsayan daha büyük araçlarda akışkan AFC yöntemleri hakimdir. Bunlar ya kompresör tahliyesi (compressor bleed) yoluyla dışarıdan, sentetik jetler tarafından bağımsız olarak ya da entegre itki ve kontrol sistemleri tarafından çalıştırılır.

Tablo 3. Tam ölçekli veya alt ölçekli uçuş testini geçmiş ilgili AAK kategorileriyle birlikte İHA sınıflandırmasının özeti [5].

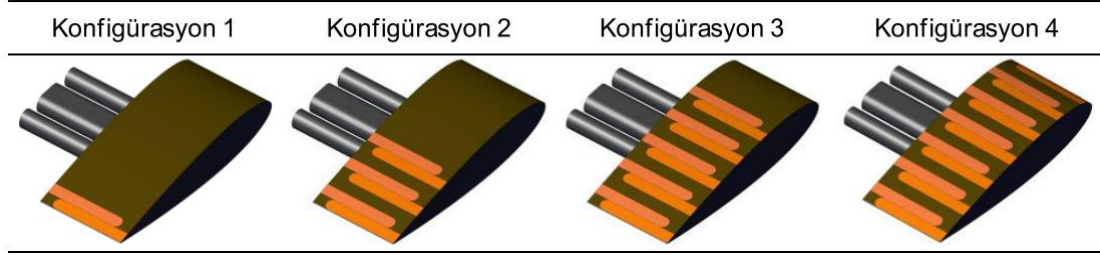
UAV type	Gross weight	Re range	Configuration objective	AFC category and technique
NAV	<0.2 kg	10^2-10^3	Propulsion and control	Mechanical: flapping wings
MAV	0.2 kg-1 kg	10^4-10^5	Propulsion and control	Mechanical: flapping wings
Small	1 kg-25 kg	10^5-10^6	Circulation control, separation/flight control, integrated propulsion and control	Fluidic: synthetic jets, compressor bleed, cross-flow fans Plasma: DBD plasma actuators
Mini	25 kg-700 kg	10^6-10^7	Circulation control, separation/flight control	Fluidic: synthetic jets, sweeping jets, compressor bleed
Large	>700 kg	$>10^7$	Separation control	Fluidic: compressor bleed, synthetic jets, APU-driven sweeping jets

2.2.1. DBD Plazma Aktüatörleri

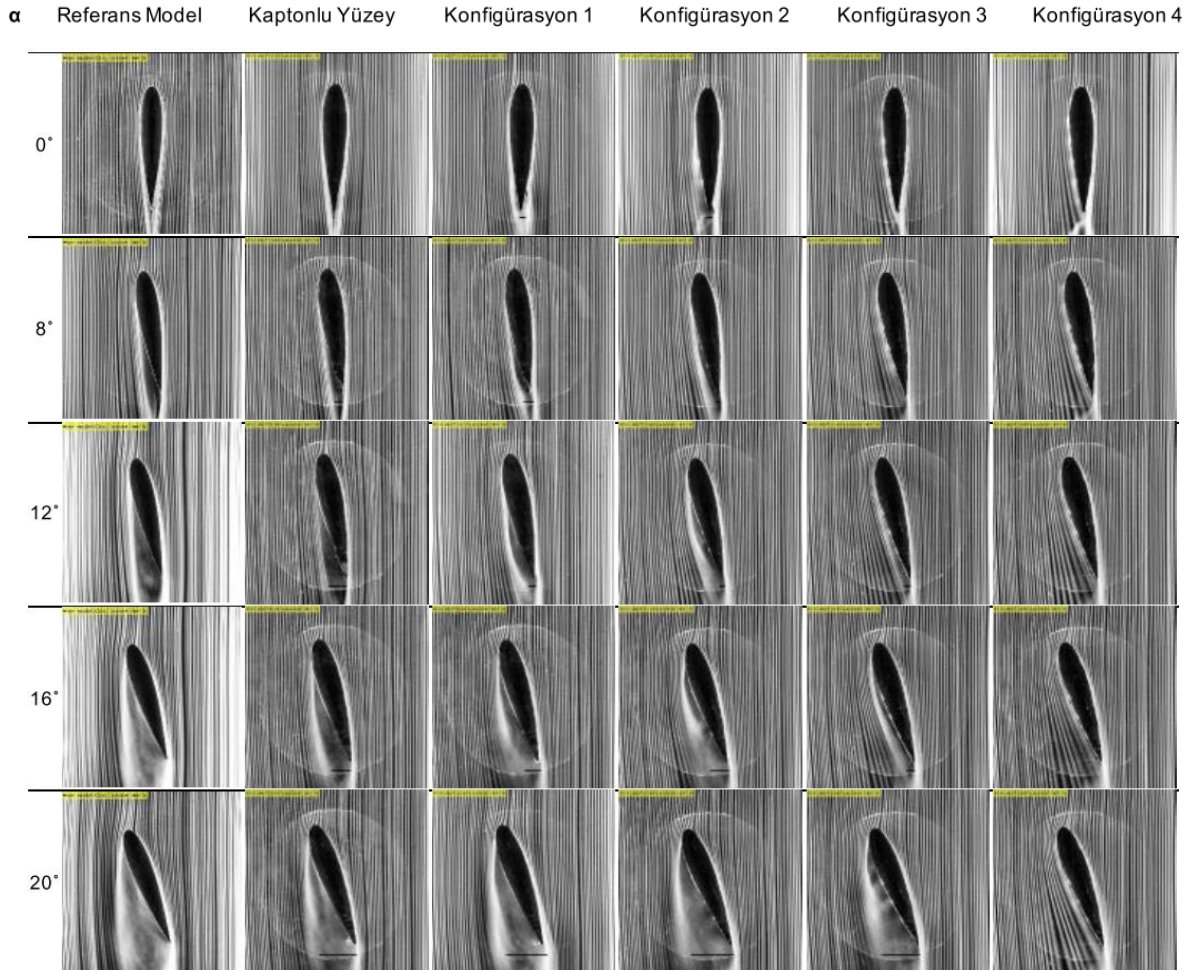


Şekil 6. Bir DBD Plazma Aktüatörün Şematik Gösterimi

DBD plazma aktüatörleri Şekil 6'daki şemasından da görüldüğü üzere ince bir dielektrik (yalıtkan) malzeme ile ayrılmış iki elektrot içermektedir. Elektrotlardan biri havaya maruz bırakılırken diğeri ince bir film halinde dielektrik malzeme ile kaplanır. Elektrotlar belirli bir kHz değerinde bir alternatif akım yüksek voltaj gücü tarafından uyarılınca hava ile temas eden elektrotun etrafındaki hava hızlı bir şekilde iyonize olur ve beraberinde plazma oluşur. Böylelikle indüklenen akış sayesinde akışın yüzey daha kolay tutunması sağlanır. Sınır tabakasındaki akışın hızlanması sonucu hava akımının yüzeye yapışması sağlanmış olur. Dielektrik Bariyer Deşarj (DBD) aktüatörleri geniş bantta kontrol kapasitesi, hızlı tepki vermesi, hareketli parçası olmaması gibi özelliklerinden dolayı geniş bant gürültü kontrolü, taşıma kuvveti artırımı, geçiş kontrolü, silindir izlerinin kontrolü amacıyla kullanılabilirler [14]. Diğer akış kontrol yöntemlerine kıyasla elektrikle çalışması, hareketli parçası bulunmaması, bakımlarının pratik bir şekilde yapılması açısından daha avantajlıdır [1].



(a)



(b)

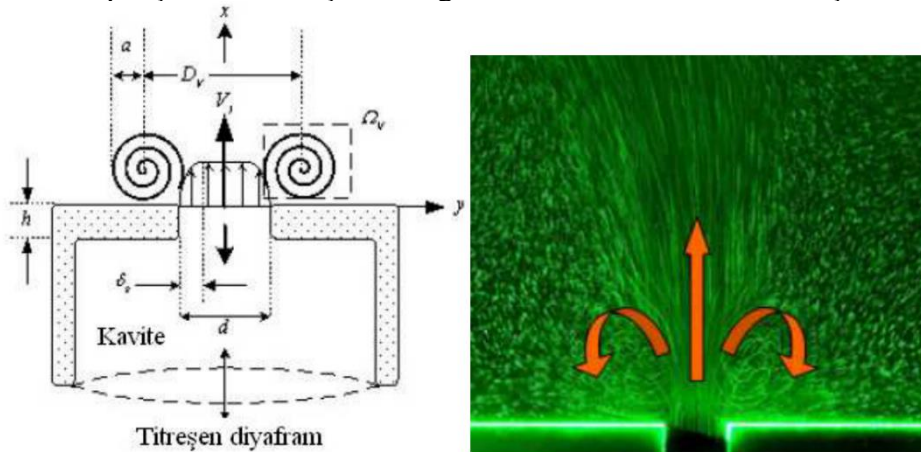
Şekil 7. (a) DBD Plazma Aktüatör modelleri, (b) Modellerin farklı hücum açılarındaki görüntüleri ve iz bölgesi genişlikleri [1].

Çobanoğlu ve arkadaşları DBD plazma aktüatörlerin kanat etrafındaki akışa etkilerini gözlemlemek için 4 farklı konfigürasyon kullanmıştır (Şekil 7.a). Konfigürasyonlarda kanat yüzeyine yerleştirilen elektrot çifti sayısı 1,3,5,7 şeklinde değişmektedir. Her birinin arasında 11 mm mesafe vardır. Firar kenarından başlayarak hücum kenarına doğru dizilmişlerdir. Elektrot olarak 5 mm genişliğe sahip bakır bantlar kullanılmıştır. Elektrotlardan biri havayla temas ederken diğeri yalıtkan özellikteki kaptonla kaplanmıştır. Yalıtkan malzeme 0.3 mm kalınlığa sahiptir. Plazma aktivasyonu, 15 Kv'lık çıkış voltaj değerine ve 3 kHz'lik çalışma frekansına sahip ozon jeneratörü tarafından sağlamaktadır. 4 model üzerinde dumanlı rüzgâr tüneli ile akış görselleştirme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyden elde edilen görüntüler Şekil 7.b'de gösterilmektedir.

Şekil 7.b incelendiğinde esasen plazma kullanılan tüm modellerde referans modele kıyasla akış yüzeye yaklaşmış ve verim elde edilmiştir. Kaptonlu yüzey ile referans model arasında kayda değer farklılık gözlemlenmemiştir. Var olan farklılıkların nedeni ise kaptonla kaplanan yüzeyde elektrotların hava akışında bozuntuya yol açmasıdır. Bozuntu dolayısıyla hava akışı erkenden türbülansa uğrar ve yüzeye yaklaşır. Türbülansın bu etkisi en fazla 8 derece hücum açısında görülmüştür. Birinci modelde 20 derece haricindeki hücum açılarında referans modele kıyasla plazma etkisini gösterirken, kaptonlu yüzeye göre yalnızca 12 derece hücum açısında plazma etkili olmuştur. İkinci modelde 0 derece hücum açısında olumsuz bir etki gözlemlenmiştir. Diğer tüm modellerde akış yüzey doğrultusunda seyrederken bu modelde iz bölgesi oluşmuştur. Üçüncü modelde 20 dereceye kadar akım yüzeye daha iyi bir şekilde tutunmuştur. 20 derecede ise önceki modellere göre nispeten daha küçük bir iz bölgesi oluşmasını sağlamıştır. Dördüncü model tüm hücum açılarında akış karakteristiği diğer modellere nazaran oldukça düzgündür ve iz bölgesi neredeyse yoktur.

2.2.2. Sentetik Jetler (Net Kütle Debili Aktüatörler)

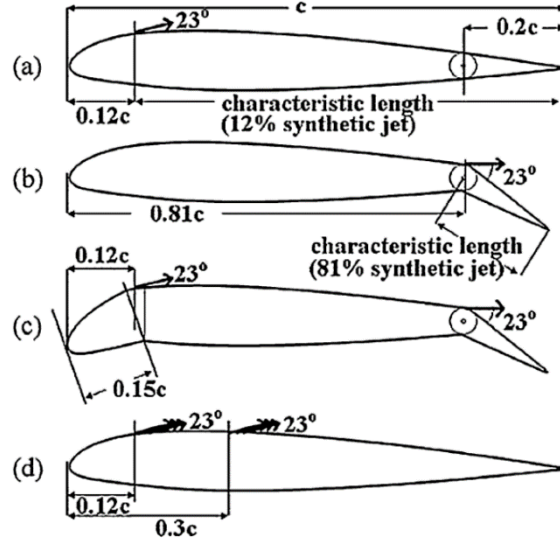
Sentetik jetler, üfleme ve emme işlemlerini art arda gerçekleştiren akışkan esaslı bir düzenektir [15], [16]. Sentetik jet, sıfır net kütle akışı cihazıdır ve çevresine ek momentum katar ancak kütle eklemmez [17]. Sentetik jetlerin çalışma prensibi; piston, diyafram gibi bir yapının periyodik olarak sisteme titreşim sağlaması neticesinde sistemin içinde bulunan bir orifisten akışkanın içeri ve dışarı pompalanmasına dayanır (Şekil 8). Bu işlem sonucunda girdap çifti oluşumu gözlenir. Bu girdap çiftleri net sıfır kütle debisi transferi oluşturacak şekilde jet halinde birleşirler. Bu sebeple çevredeki akışkandan gerekli momentum elde edilmiş olunur.



Şekil 8. Sentetik jet ile aktif akış kontrolü şeması ve akış görüntüleme deneyi [16].

Sentetik jetlerden günümüzde sıklıkla faydalanılır. Bunun temelinde yatan sebepler arasında farklı tahrik mekanizmaları kullanabilmesi, harici bir akışkan alımına ihtiyaç duymaması, az miktarda enerji harcaması ile akış yüzeyindeki değişikliklere hızlı cevap verebilmesi gibi özellikleri yer alır [15], [16]. Sentetik jetlerin tahrik mekanizmalarına; silindir piston mekanizması, salınımlı diyafram (piezoelektrik) mekanizması ve hoparlör kullanılarak sentetik jet oluşturan akustik titreşim mekanizması örnek verilebilir.

Yapılan bir çalışmada [18] çeşitli sayıda sentetik jet yerleştirilmiş, %20'si flap olan, slat bulunmayan 4 konfigürasyon geliştirilmiştir.

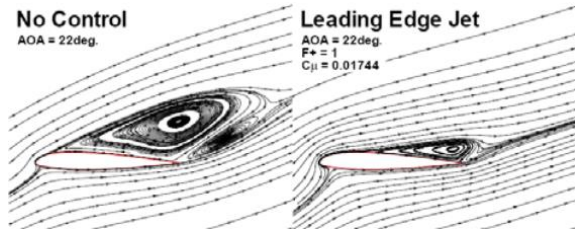


Şekil 9. Sentetik jetlerin NACA23012 kanat profili üzerindeki yerleşimleri [4].

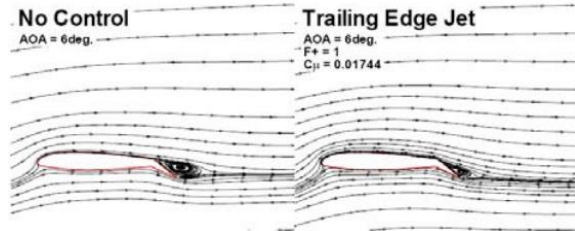
Bu konfigürasyonlarda (Şekil 9);

- Veterin %12'sine yerleştirilmiş bir sentetik jet,
- Veterin %81'inde saptırılmış flapa yerleştirilmiş bir sentetik jet,
- Sarkık burunlu modele yerleştirilmiş iki sentetik jet,
- Saptırılmış flaplı modelin %12'sine ve %30'una yerleştirilmiş iki sentetik jet bulunmaktadır.

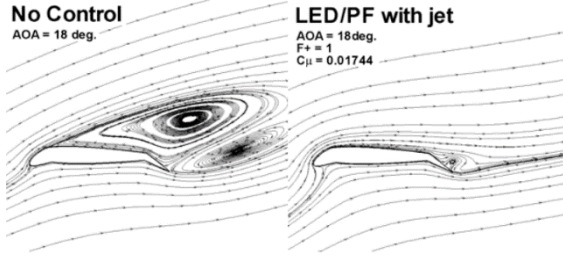
35 m/s serbest akım hızında ve 2,19 milyon Reynolds sayısında akış simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Üç farklı jet hızı (dış hızın 1-3 katı) ve üç farklı frekans $F^+ = 1, 2$ ve 5 dikkate alınmıştır. Sentetik jet aktüatörü modellemek için vakum sınır koşulu uygulanmıştır. Üç konfigürasyona ait belirli hücum açılarındaki model etrafındaki akışın davranışı Şekil 10'da gösterilmektedir.



a. 0.12c üzerinde



b. Saptırılmış düz flapla 0.81c üzerinde

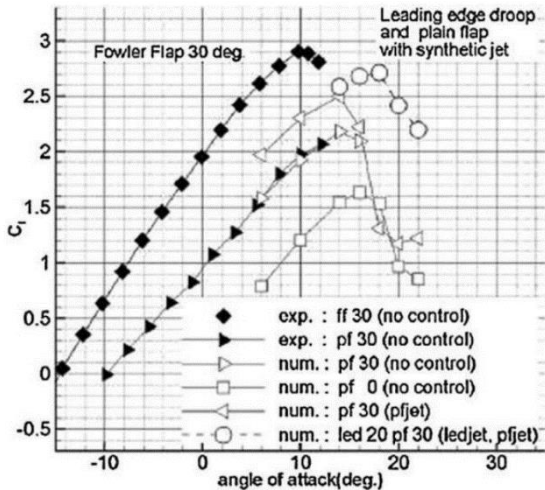


c. Sarkık hücum kenarı ve düz flapla ayrılma kontrolünde

Şekil 10. Tek sentetik jetle faz ortalamalı akım çizgileri [18].

İlk konfigürasyon (a), firar kenarında yaklaşık 18° 'de başlayan ayrık bir akış göstermiş, 22° 'de akış tamamen ayrılmış ve kanadın vakum tarafında büyük bir stol bölgesi gözlemlenmiştir. Bir sentetik jetle yapılan kontrollü durum için, taşıma ve sürüklemenin artmasının, sentetik jet hızının genliği ile orantılı olduğu tespit edilmiştir. Düşük hücum açılarında, firar kenarındaki stolun üstesinden gelmek için daha yüksek momentumların gerektiği kanaatine varılmıştır. 22 derecelik bir hücum açısında, maksimum taşıma katsayısı yaklaşık % 7,3 artmıştır. Maksimum taşıma durumunun olduğu durum için; sentetik jet yuvasının konumu temel konfigürasyondaki ayrılma noktasına denk konumda olup, jet hızı, çevredeki ayrılmış akışı bozacak kadar büyük ve boyutsuz frekans 1'dir.

Düz flap bulunan (b) konfigürasyonunda sentetik jet, yüksek hızlarda ve ayrık noktaya yakınen iyi performans göstermiştir. Akış tamamen ayrıldığında (16 derece üzeri) flap tamamen ayrık bölgeye dalmış ve sentetik jet etkinliğini kaybetmiştir. Frekanslar arasında önemli bir performans farkı gözlemlenmemesine rağmen, akış özellikleri tamamen farklıydı. Düşük frekanslı jet ($F+ \approx 1$), vakum yüzeyi boyunca hareket eden ve büyük hücum kenarı ayrılma girdabına nüfuz eden küçük girdapların periyodik olarak kopmasına neden olmuş, böylece, hücum kenarı ayrılma girdabının boyutu önemli ölçüde azalmıştır. Yüksek frekanslar için, küçük girdap, sentetik jet hareketinin periyodu çok kısa olduğu için büyük ayrılma girdabına nüfuz edecek kadar büyümemiştir. Bunun yerine, sentetik jet yuvasının yanındaki akış sıkı bir şekilde bitişmiş ve sonuç olarak vakum yüzeyinde daha kararlı bir akış yapısı geliştirilmiştir.

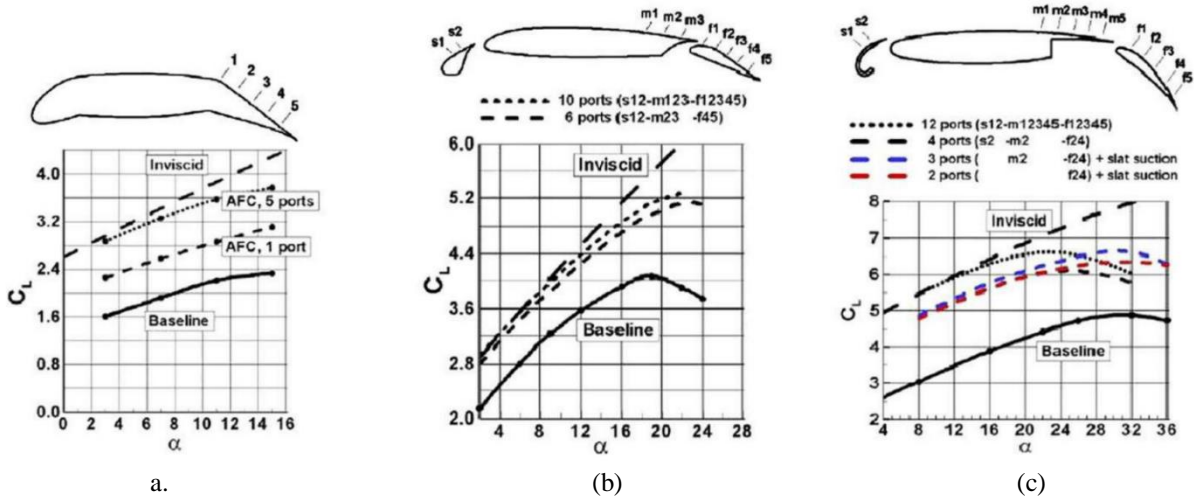


Şekil 11. Farklı konfigürasyonlar için taşıma katsayısı (*ff*: Fowler flap, *pf*: düz flap, *led*: hücum kenarı sarkması) [18].

Şekil 11’de konfigürasyonların taşıma katsayıları karşılaştırılmıştır. 30 derece saptırılmış flaplı kanat profilinin maksimum taşıması, kanat sapması olmayan temel kanat profilinden %33,4 daha yüksektir ancak stol açısı yaklaşık 2° daha düşüktür. Düz flap ile harekete geçirilen (b) konfigürasyonu için maksimum taşıma %52,9 daha yüksektir. 20° hücum kenarı bükülmesi, 30° saptırılmış flap ve iki sentetik jet (0.12c, 0.81c) bulunan kanat profili durumunda, maksimum taşıma temel konfigürasyondakinden %65,8 daha yüksek ve stol açısı temel konfigürasyondakinden yaklaşık 2° daha büyüktür. Sonuç olarak, sentetik jetin basit yüksek taşıma cihazı ile kombinasyonu, geleneksel fowler flap sistemi ile neredeyse aynı maksimum taşıma artışını üretmiştir.

Ayrıca konfigürasyon (d)’de gösterildiği gibi bir dizi sentetik jet yerleştirmenin faydalı olabileceği görülmüştür. Farklı konumlardaki daha zayıf sentetik jet kombinasyonunun tek başına daha güçlü olan sentetik jetten daha faydalı olabileceği kanaatine varılmıştır.

Yapılan diğer bir çalışmada ise [19] basit bir menteşeli flapta, geleneksel bir yüksek taşıma konfigürasyonunda ve daha gelişmiş yüksek taşıma bölümlerinden oluşan üç durumda, sentetik jetin slat, flap ve kanat boyunca yeterli bir dağılımının, daha küçük cihazlar ve daha düşük jet hızları ile taşımayı büyük ölçüde artırabileceği kanıtlanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. (a) Dağıtılmış akış kontrolü sayesinde taşıma artışı: basit menteşeli flap, (b) Aktif akış kontrolü uygulamasının geleneksel yüksek taşıma kanat bölümünün her bir unsuruna etkisi (temsili kalkış konfigürasyonu, flap sapması 24 derece), (c) Gelişmiş kanat bölümü için aktif akış kontrolü (iniş konfigürasyonu, 50 derece flap sapması).

3. SONUÇ

Girdap üretici pasif akış kontrol yönteminde girdap üreticilerinin akış ayrılmasını kontrol etmede büyük başarısı vardır. Ayrılmanın kaynağına yakın yerleştirilebildiği durumlarda kullanılması daha uygundur. İncelenen çalışmada girdap üreticilerinin boyutun artmasıyla birlikte sürüklenme dezavantajı olduğu görülmüştür. Bu nedenle girdap üreticileri ile akış kontrolü gerçekleştirilmesi düşünülüyorsa bunların optimum boyutta tasarımının yapılması önem arz etmektedir.

Kavite pasif akış kontrol yönteminde kavitenin kanat üzerindeki konumunun, Reynolds sayısı sabit tutulduğu zaman, küçük hücum açılarında 0.22 veter konfigürasyonunun akışı yüzeye yakınlaştırma etkisi maksimum olurken, büyük hücum açılarında 0.40 veter konfigürasyonu

daha etkili olmaktadır. Kavite boyutu açısından bakıldığında sığ ve dar konfigürasyon etkisinin boyut bakımından olumsuz etkisi olduğu tespit edilmiştir. Kavite geometrisi açısından değerlendirildiğinde ise firar kenarına daha yakın olan kısımda ovalleştirme tekniği uygulanan 0.22 veter konfigürasyonunun pozitif bir etkiye sahip olduğu dikkat çekmektedir.

Aktif akış kontrol yöntemlerinden biri olan DBD plazma aktüatörün, incelenen çalışmalarda kanat profili üzerine yerleştirildiğinde iz bölgesi genişliğinde %66 gibi büyük bir oranında azalma sağlanması, akım ayrılmasını 8 derece kadar geciktirmesi onun ne kadar etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Reynolds sayısı 50.000’ın üzerinde bir değer olduğunda DBD plazma aktüatörün etkisini kaybettiği ancak düşük Reynolds sayısına sahip olunan durumlarda verimlilik gösterdiği saptanmıştır.

DBD plazma aktüatörle yapılan akış kontrolünde yüzey üzerinde aktif olan elektrot çifti sayısını arttıkça akış kontrol edilebilirlik düzeyi yükselmekte ve akış karakteristiği düzgün bir hal almaktadır. Ayrıca elektrot çiftlerinin kanat üzerindeki konumu da akış karakteristiğini etkilemektedir. Akışın ayrılmaya başladığı noktanın daha önündeki bir kısımda yüzeye yerleştirilen plazma aktüatörün akışı yüzeye daha iyi yaklaştırdığı tespit edilmiştir. Akışın ayrıldığı bölgeden sonraki kısımlarda aktif olan plazma aktüatörün akışı indüklemesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle DBD plazma aktüatör ile yapılacak çalışmalardan daha verimli sonuçlar alabilmek için elektrot çiftlerinin yerleştirildiği konumlara özen gösterilmelidir.

İncelen çalışmalardan görüldüğü üzere yüzeyde bulunan elektrot çifti sayısının yeterli sayıda artmasıyla iz bölgesi genişliğinde azalma olmakta ve geniş bir hücum açısı değeri aralığında akışın yüzeye tamamen tutunması sağlanabilmektedir. Bu sayede viskoz etkiler yok denecek düzeye kadar azalabilmektedir. Buna paralel olarak da sürüklemeye önemli ölçüde azalma sağlanarak aerodinamik performansın artırılması mümkündür.

Sentetik jetler de akım ayrılması kontrolünde oldukça başarılı bulunmuştur. Farklı kanat bölgelerine uygulan çok sayıdaki sentetik jet yardımıyla taşıma katsayısında ciddi oranlarda artış sağlanabildiği görülmüştür. Dolayısıyla hava araçlarında aerodinamik performansı artırmak adına tercih edilebilecek bir yöntemdir.

KAYNAKÇA

- [1] T. Çobanoğlu *et al.*, “Aktif ve Pasif Akış Kontrol Sistemlerinin Dumanlı Akış Görüntüleme Tekniğiyle Deneysel Olarak İncelenmesi.” [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/363587298>
- [2] T. Oktay and Ö. Ö. Kanat, “Aktif Akış Kontrol ve Otonom Kontrol Yöntemlerinin Birlikte İnsansız Hava Araçları Üzerine Uygulaması.”
- [3] N. Kahraman, A. Aslan, M. Soylak, M. A. Soytürk, and M. Yıldız, “I. Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Sempozyumu Bildiri Kitapçığı.”
- [4] A. Abbas, J. De Vicente, and E. Valero, “Aerodynamic Technologies to Improve Aircraft Performance,” 2012.
- [5] D. Greenblatt and D. R. Williams, “Annual Review of Fluid Mechanics Flow Control for Unmanned Air Vehicles,” 2021, doi: 10.1146/annurev-fluid-032221.
- [6] D. C. McCormick, “AIAA 2000-0519 Boundary Layer Separation Control with Directed Synthetic Jets.”
- [7] I. Wignanski, “Boundary Layer and Flow Control By Periodic Addition of Momentum,” 1997.
- [8] I. Kroo, “VKI lecture series on Innovative Configurations and Advanced Concepts for Future Civil Aircraft NONPLANAR WING CONCEPTS FOR INCREASED AIRCRAFT EFFICIENCY.”
- [9] V. Kibens and W. W. Bower, “An Overview of Active Flow Control Applications at The Boeing Company,” 2004.
- [10] J. C. Lin, “Review of research on low-profile vortex generators to control boundary-layer separation,” 2002.

- [11] J. C. Lin, "Control of Turbulent Boundary-Layer Separation using Micro-Vortex Generators."
- [12] S. A. Prince, V. Khodagolian, C. Singh, and T. Kokkalis, "Aerodynamic stall suppression on airfoil sections using passive air-jet vortex generators," *AIAA Journal*, vol. 47, no. 9, pp. 2232–2242, Sep. 2009, doi: 10.2514/1.41986.
- [13] L. N. Cattafesta and M. Sheplak, "Actuators for active flow control," *Annu Rev Fluid Mech*, vol. 43, pp. 247–272, Jan. 2011, doi: 10.1146/annurev-fluid-122109-160634.
- [14] X. Zhang, H. Li, Y. Huang, K. Tang, and W. Wang, "Leading-edge flow separation control over an airfoil using a symmetrical dielectric barrier discharge plasma actuator," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 32, no. 5, pp. 1190–1203, May 2019, doi: 10.1016/j.cja.2019.03.010.
- [15] R. Günaydın, "Bir Uçak Kanadı Üzerindeki Akışın Plazma Sentetik Jet Aktüatörü ile Kontrolünün Deneysel İncelenmesi".
- [16] S. Çadırcı, "Aktif Akış Kontrolü için Jet ve Vorteks Aktüatörünün Deneysel ve Sayısal Araştırılması."
- [17] Y. Utturkar, R. Holman, R. Mittal, B. Carroll, M. Sheplak, and L. Cattafesta, "A Jet Formation Criterion for Synthetic Jet Actuators," 2003.
- [18] S. H. Kim, C. Kim, and S. Francisco, "Separation control on NACA23012 using synthetic jet".
- [19] A. Shmilovich and Y. Yadlin, "Flow control techniques for transport aircraft," *AIAA Journal*, vol. 49, no. 3, pp. 489–502, Mar. 2011, doi: 10.2514/1.J050400.