

GENEL MAKSATLI UÇAKLARDA DİZEL MOTORLARIN KULLANIMI*

A. Akile TANATMIŞ, Serdar DALKILIÇ

Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Y.O

Günümüzde pistonlu motorlar ile donatılmış genel havacılık uçaklarının çoğunda dört zamanlı benzinli motorlar kullanılmaktadır. Fakat havacılık operasyonlarındaki yüksek maliyetler motor üreticilerini aynı performansı verecek daha ucuz, daha hafif ve güvenilir motor tipleri geliştirmeye yönlendirmiştir. Ayrıca, başta Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da olmak üzere çevre bilincinin gelişmesi ve çevrecilerin hükümetlere olan baskılarının artması da yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda kullanılan kurşunlu benzinin kullanımını kısıtlamaktadır. ABD'de yakın bir gelecekte Çevre Koruma Bürosu (Environmental Protection Agency) tarafından bu tip (kurşunlu) yakıtların kullanımının tamamen yasaklanması beklenmektedir. Bu da motor üreticilerini yukarıda sayılan özelliklere ilaveten daha çevreci ve daha ucuz bir yakıtla çalışabilen motorlar geliştirmeye sevk etmiştir. Yeni bir motor tasarlayıp, onu katı bir rekabetçi piyasaya sokmak yerine, ilk önce mevcut motorları geliştirmek için yapılabilecek değişiklikler araştırılmıştır.

MEVCUT PİSTONLU MOTORLARIN ANALİZİ VE BU MOTORLARDAKİ GELİŞMELER

Geçmişteki teknolojik ilerlemelerle karşılaştırıldığında, günümüzdeki uçak motorlarının teknolojisi oldukça yalındır. Bunun bir sebebi mevcut motorların 400 hp'nin altındaki sınıfta olmalarıdır (daha büyük pistonlu motorların yerini turboprop motorlar almıştır). Diğer sebep de bu motorların, güvenilirliğin ve fiyatın düşük ağırlık ve maksimum performanstan daha önemli olduğu genel amaçlarla kullanılıyor olmasıdır.

Yaklaşık 2.1 lb/hp'lik bir güç yüklemesi ve 0.421 lb/hp/hr optimum noktasındaki bir özgül yakıt tüketimi mevcut benzinli (kıvılcım ateşlemeli) uçak motorlarını karakterize etmektedir. Fakat bu motorlarda tam güç ancak "dahili soğutma" ile elde edilebilmektedir. Burada yanma için gerekli yakıttan fazla ilave bir miktar

yakıt verilerek yanma odasının soğutulması gerekir. İlave yakıt yeterli oksijen olmadığından yakılamaz. Tam güçte yakıt tüketimi yaklaşık 0.55 lb/hp/hr dolaylarındadır. Yakıtın ziyan edilmesine ilaveten dahili soğutmadan kaynaklanan emisyonlar da istenmeyen düzeylerde dir.

Textron Lycoming ve Teledyn Continental pistonlu motor pazarını egemenlikleri altına almışlardır. Bu şirketler genelde hava soğutmalı ve pervaneyi doğrudan döndüren boksör motorlar üretmektedirler. Bu motorlar oldukça basit bir yapıya sahiptirler ve dayanıklılıklarını ispat etmişlerdir. Seyir esnasında bu motorlar yakıt tüketim eğrilerinin en iyi noktasında çalışmaktadırlar. Dolayısıyla verim ve özgül yakıt tüketiminde önemli bir geliştirme pek olası gözükmemektedir. O halde mevcut motorlarda geliştirmeye en açık konu olarak performans kalmıştır. Motor performansını geliştirecek olasılıkları analiz etmeden önce teorik olasılıklar incelendiğinde dört alternatif ortaya çıkmaktadır:

1. Daha fazla deplasman.
2. Daha yüksek motor devri.
3. Daha fazla yakıt/hava karışımı.
4. Daha yüksek sıkıştırma oranı.

Deplasmanı arttırmak için daha büyük ya da daha fazla sayıda silindir kullanarak motoru büyütmek gerekir. Sürtünmenin ve ısı kayıplarının azaltılmasıyla özgül ağırlık ve verim iyileştirilebilir ve silindir sayısının artması titreşimi azaltabilir. Fakat motorun büyümesi karmaşıklığı ve ön alanı arttırır.

Yüksek motor devri motor ağırlığını arttırmaz; fakat verimi, dayanıklılığı azaltır ve pervane gürültüsünü arttırır. Devir düşürücü dişli kullanımıyla pervane sesi azaltılabilir; fakat bu da ağırlığı ve karmaşıklığı arttırır, verimi ve güvenilirliği düşürür.

Emilen yakıt/hava karışımının ağırlığı turboşarj ve ara soğutucu kullanımıyla arttırılabilir. Mevcut yakıtların sınırlı antiknock kalitesinden dolayı motorlar zaten detonasyon sınırına yakın çalışmaktadırlar. Turboşarj daha fazla iç soğutmaya ve/veya düşürülmüş sıkıştırma oranına ihtiyaç duyar. Sıkıştırma oranının arttırılması da yakıtın antiknock kalitesi ve yanma odasında izin verilen maksimum sıcaklık ile sınırlıdır.

DİZEL UÇAK MOTORLARININ ÖNEMİ

1920'lerin sonlarında Maybach, Daimler-Benz, Packard and Guiberson gibi bazı üreticiler dizel uçak motorları üretmişlerdir. Junkers JUMO 205 bunların arasında en önemli olanıdır. Bu motor havacılık tarihinde tarifeli bir havayolu tarafından kullanılan ilk dizel motordur ve oldukça çok sayıda (5000'den fazla) üretilmiştir. Bu motorun 1220 librelük ağırlığı ve 880 hp'lik yüksek gücü o zamanki yeni standartları belirlemiştir. Ayrıca bu motor ilk okyanus ötesi seferlerde de kullanılmıştır. İki kademeli süperşarjlı (mekanik olarak döndürülen bir süperşarj ve bir turboşarj) versiyonları 50000 ft'in üzerinde uçan keşif uçaklarında kullanılmıştır ve 39400 ft'e kadar deniz seviyesi gücünü verebilmiştir. 1944'deki bir bremze raporunda 16.6 litre silindir hacmine sahip bir motordan 3100 rpm'de 1800 hp güç çekildiği ve fren özgül yakıt tüketiminin (BSFC) 0.32 lb/hp/hr olduğu kaydedilmiştir. Bu tarihten beri hiçbir uçak motorundan böyle bir değer elde edilememiştir. [2]

DİZEL MOTORLARIN DEZAVANTAJ VE AVANTAJLARI

Kıvılcım ateşlemeli motorlarla karşılaştırıldığında dizel motoru aşağıdaki dezavantajlara sahiptir:

- Basınç (ateşleme basıncı) yaklaşık iki kat yüksektir. Bu da daha sağlam ve genelde daha ağır bir tasarım gerektirir.
- Daha büyük basınç yükselişlerinden dolayı daha sesli çalışır (özellikle rölantide daha uzun ateşleme avansı ile çalışırken).
- Sıkıştırma işi daha büyük olduğundan daha sarsıntılı çalışır. Aynı sebepten dolayı daha yüksek starter gücü gerekir.
- Sıkıştırma ateşlemeli motorların soğuk havalarda ve yüksek irtifalarda çalıştırılmaları zordur.
- Dizel enjeksiyon sistemleri basit karbüratörlerden daha pahalıdır. Buna rağmen modern kıvılcım ateşlemeli motorlar basit karbüratörlerden daha hassas yakıt sistemlerine ihtiyaç duyarlar.
- Dizel motorlar daha yüksek hava/yakıt oranlarında çalışırlar. Güç çıkışı ve yakıt tüketimine bağlı olarak motora daha fazla hava alınmalıdır.

- Dizel motorlarda irtifaya bağlı olarak gc çıkışındaki düşüş daha büyüktür.

Dizel motorları bu dezavantajlarının yanında önemli birçok avantaja da sahiptir:

- Arzu edilen yakıt tipi: Dizel yakıtı ya da kerozen kolayca bulunabilir. Yakıt kalitesindeki değişimler motor çalışmasının emniyetini ya da güvenirliğini pek etkilemez. Yakıt içindeki küçük miktarlardaki su bile bir emniyet sorunu teşkil etmez. Dizel yakıtı ya da kerozen benzol, kurşun ve temizleme maddeleri gibi zehirli katkılar içermez. Çok daha yüksek parlama noktası ve düşük egzoz sıcaklıklarından dolayı dizel motorlarda yangın tehlikesi oldukça düşüktür.

- Daha düşük yakıt maliyeti: Dizel yakıtı ile galon başına %20-30 daha fazla menzil elde edilir. Bu yakıtlar genelde havacılık benzininden (avgas) daha ucuzdur. (ABD'de Jet-A'nın maliyeti 100LL havacılık benzininden 0.09 \$ daha ucuzdur. Avrupa'da özellikle İngiltere'de bu fark daha büyüktür. İngiltere'de Jet-A'nın litresi 0.45 \$ iken havacılık benzininin litresi 1.28 \$'dır.) [1] Ayrıca dizel motorlar en düşük fren özgül yakıt tüketimine (BSFC) sahip motor tipidir.

- Yüksek güvenirlik: Gereken sağlam tasarım ve dizelin kendinden ateşleme prensibi sayesinde dizel motorlar genelde çok güvenilirdir. Dizel motorların genelde 2 zamanlı çevrimle çalışacak şekilde üretildikleri göz önüne alındığında bir supap mekanizmasının, kam milinin ve karışım kontrol kumandasının olmaması güvenirliği arttırmaktadır. Güvenirlik havacılıkta aranan en önemli gereksinimlerden biridir.

- Dizel motorlar en yüksek verime sahip ısı makinalarıdır. En yüksek verim aynı zamanda en düşük CO2 kirliliği anlamına gelir.

- Egzoz resrkilasyonundan dolayı 2 zamanlı dizel düşük bir NOx kirliliği yaratır.

- Modern yüksek basınçlı enjeksiyon sayesinde düşük bir kurum ve yanmamış hidrokarbon emisyonuna sahiptir.

- Düşük glerde bile yüksek bir verime sahiptir.

- Dizel, kıvılcım ateşlemeli motorlar için büyük bir sorun olan ateşleme basınçlarındaki dalgalanmaları önler. Bu da titreşim kaynaklarından birisini ortadan kaldırır.

- Bir ateşleme sisteminin olmaması seyrüsefer ve haberleşme sistemlerinde parazit oluşmasını önler. Askeri uygulamalarda bu daha çok istenen bir özelliktir.

• Uygulamada dizel motorunu süperşarj etmede bir sınır yoktur. Düşük hava yoğunluklarında yüksek güç çıkışı bir sorun değildir. Tüm pratik durumlarda "overboost" bir sorun değildir.

• Daha büyük genleşme oranı verimi arttırır ve egzoz gaz sıcaklığını düşürür. Bu yüzden turboşarjların servis koşulları kritik değildir.

GÜNÜMÜZDE DİZEL UÇAK MOTORLARINDAKİ GELİŞMELER

Daha önce bahsedildiği gibi havacılık tarihinde dizeller önemli bir uygulama alanı bulmuş, fakat yüksek güç çıkışlı dizeller yerini turboprop motorlara bırakmıştır. Bir takım dezavantajlarından dolayı zamanla dizel motorlar kullanılmaz hale gelmiştir. Fakat son yıllardaki petrol krizleri, hızla artan yakıt maliyetleri, çevre bilincinin gelişmesi ve mevcut motorlar üzerinde yapılabilecek geliştirme çalışmalarının sınırlılığı üreticileri yeni bir motor tipi tasarlamaya itmiş ve dizellerin karakteristik avantajları bu çalışmaları dizel motorlar üzerinde yoğunlaştırmıştır. Bu çalışmalara DeltaHawk turbo dizel motoru, Zoche Aero Dizeller ve NASA tarafından yapılan araştırmalar örnek olarak verilebilir.

Tablo 1. V-4 Turbo Dizel Özellikleri [1]

KONFIGÜRASYON	<ul style="list-style-type: none">• Yukarı 90 derece V-4, turboşarjlı, pervane doğrudan krank miline b ve harici hava-yağ seperatör/karterli iki zamanlı dizel.• Silindir tepelerinde tepe profili krank mili referans alındığında Lyc 360'dan 3.5 inç daha yüksek.• Motor genişliği 24 inçin altında.
SOĞUTMA	<ul style="list-style-type: none">• Sıvı soğutmalı.
GÜÇ	<ul style="list-style-type: none">• 2700 RPM'de 150 ve 200 hp modelleri mevcut.
YAKIT TÜKETİMİ	<ul style="list-style-type: none">• BSFC = 0.38 lb/hp/hr.
AĞIRLIK	<ul style="list-style-type: none">• Starter, yağ pompası, yakıt pompası, su pompası, alternatör, turboş borular ve dahili egzoz sistemi içinde 270 lb.• Soğutma sıvısı, yağ ve ısı eşanjörleri takıldığında toplam montaj ağı lb.
GÜVENİRLİK	<ul style="list-style-type: none">• Mevcut dört silindirli benzinli motorlara nazaran daha az parça say

	<p>potansiyel kaçak noktası:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kam mili ve supap mekanizması yok. • Külbütör kapak contası ve silindir kafası cıvataları yok. • Sağlam bir blok ve kompakt V-4 tasarımı. • Ateşleme sistemi yok.
--	---

Tablo 2. Motor Ekonomisinin Karşılaştırması [1]

	DeltaHawk V-4 Dizel	Dizelin farkı / tasarrufu	Lycoming IO
MOTOR KARAKTERİSTİKLERİ			
Güç	200 hp	0	200 hp
TBO	2000 saat	200 saat	1800 saat
BSFC; lb/hp/sa @ < %75	0.38	0.04	0.42 (en iyi du
Kuru ağırlık	270 libre	-56 libre	326 libre
Toplam montaj ağırlığı	≅ 310 libre	-50 libre	360 libre
Toplam görev ağırlığı (motor + %65 güçte 5.5 saatlik yakıt)	572 libre	-118 libre	690 libre
TAHMİNİ MALİYET			
Satış fiyatı	16000 \$ - 18000 \$	7000 \$ - 9000 \$	25000 \$
Revizyon maliyeti	≅ 4000 \$	8000 \$ - 10000 \$	12000 \$ - 140
2000 saatlik TBO üzerinden yakıt maliyeti	27440 \$	13650 \$	41000 \$
200 saatte değiştirilen ve her biri 14.75 \$'lık 8 adet buji	0 \$	1180 \$	1180 \$
2000 saatlik TBO üzerinden yağ maliyeti	560 \$	688 \$	1248 \$
2000 SAATLİK TOP. TASARRUF		≅ 30400 \$ -	

		34400\$	
--	--	---------	--

DeltaHawk Turbo Dizel Motoru

ABD'de DeltaHawk Inc. tarafından genel havacılıkta kullanılmak üzere iki zamanlı V-4 ve V-8 konfigürasyonlarına sahip, turboşarjlı ve sıvı soğutmalı dizel motoru geliştirme çalışmaları yürütülmektedir. Motorun özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 2'de DeltaHawk V-4 Dizel motoru ile Lycoming IO 360 motoru ekonomi açısından karşılaştırılmıştır. Dizel motorlarının karakteristik avantajlarının yanında DeltaHawk motorları tasarımdan kaynaklanan ilave avantajlara sahiptir. Bunlar:

- Düzenli çalışma: İki zamanlı bir dizel motorda pervaneye sürekli olarak pozitif tork uygulayan her devirde dört güç pulsu vardır. Dört zamanlı motorda ise yaklaşık 30 derecelik bir negatif tork ile her devirde iki puls vardır.
- Sıvı soğutma: Yüksek irtifalardan alçalma esnasında termal değişiklikler azaldığından daha küçük imalat toleranslarına izin verilir. Bu da gücü ve yakıt verimini artırır.
- Dayanım: İki zamanlı ve piston portlu tasarımda supaplar, supap katarı (yaylar, oturaklar, iticiler, piyanolar vb.) ve kam mili yoktur. Sıvı soğutma yorulmayı azaltır. Silindir ve silindir bloğunu bütünleştiren tasarım saplama, conta ve civata kullanımını ortadan kaldırır.
- Güvenirlik: Fail-safe tasarım kriterleri sağlanmıştır. Bunlar yedek hava, yedek yakıt pompaları ve düşük güçlerde soğutma sıvısı olmaksızın sınırlı çalışmadır.
- Küçük boyut ve düşük ağırlık: V tasarımı sağlam ve az yer kaplayan bir tasarımdır. İleri teknoloji malzemelerin kullanımı ve düşük ağırlık bir tasarım kriteri olarak görüldüğünden sonuç olarak 1 hp/pound'luk bir güç/ağırlık oranına sahip V-8 modeli doğmuştur. V-4 modeli eşdeğer uçak motorlarından en az 60 libre daha hafiftir. [1] Yeni uçak tasarımcıları için V konfigürasyonu daha yuvarlak bir motor kaportasına izin verir ve bu da aerodinamik gürültü ve pervane gürültüsünü azaltır.

Soğuk havalarda ve yüksek irtifalarda çalışma güçlüğü dizelerde karşılaşılan en yaygın sorundur. Bazı kritik irtifalarda yakıt akışının azaltılarak (gaz kolunun kısılması) turboşarjın devreden çıkarılması sonucunda silindir içinde yakıtı ateşlemek için gerekli sıkıştırma sıcaklığına ulaşamaz. Uçak havanın daha yoğun

olduđu daha dűşűk bir irtifaya dűşűnceye kadar gaz kolunun tekrar açılması motorun tekrar çalıřmasını sađlamaz.

Bu sorunun özűlmesi için çeşitli yollar vardır. Bunlardan birisi kritik irtifayı yűkseltmek için sıkıştırma oranının arttırılmasıdır. Diđeri de gaz kolu ile motor yakıt pompaları arasına bir aneroid kontrolűr koyarak yakıt akışındaki dalgalanmaları űnlemektir. Bu sistem atmosfer basıncını ve gaz kolunun durumunu baz alarak yakıt akışını kontrol etmektedir.

Sıvı sođutmalı ve termostatik kontrollű motorlar motoru yani havayı sıcak tutarak ateřleme űzelliklerini iyileřtirir. Katalitik "sıcak nokta" yaklařımı, normal katalize edilmemiř ateřleme etkin sıkıřtırma oranlarının altında ateřleme sađlayabilir. Pervane tarafından dűndűrűlen mekanik bir sűperřarj ilave hava yođunluđu sađlayabilir.

DeltaHawk motorlarının ateşleme kritik irtifasını, birçok genel havacılık uçağının uçtuğu yűkseklige ulaştırmak için yukarıdaki yollar kullanılmaktadır. Kritik irtifanın 25000ft'in (7000 m) űzerinde olması beklenmektedir. [1].

Zoche Aero-Dizeller

Genel havacılık için dizel motoru geliřtirme çalıřmalarından birisi de Almanya'da Zoche Antriebstechnik tarafından yűrűtűlmektedir. Yeni gűc sisteminin çok gűvenilir mevcut benzinli motorlar ile bařarılı bir řekabet edebilmesi için bir seri hedefler forműle edilmiřtir. Yeni bir űrűn olarak piyasaya yerleřmiř rakibi űzerinde belirgin avantajları olması gerekir. Bu nedenle ařađıdaki amaçlar gűdűlműřtűr [2]:

- Motor ađırlıđı/beygir gűcű oranı mevcut motorlardan çok daha dűřk olmalıdır. Bu ayrıca tamamen monte edilmiř motor için de geçerli olmalıdır. Yani dizel start ekipmanı için dűřk ađırlıklı bir özűm bulunmalıdır.
- Motorun tasarımı gűvdenin aerodinamik optimizasyonu ile uygun olmalıdır. Motor űn alanı műmkűn olduđunca kűcűk olmalıdır.
- Yakıt tűketimi műmkűn olduđunca dűřk olmalıdır. Dizel yakıtı ya da kerozen (jet yakıtı) kullanılabilmelidir.

- Titreşim seviyesi minimumda tutulmalıdır. Dengelenmemiş kütle kuvvetleri ve momentler olmamalıdır.
- Çalıştırma prosedürleri basit olmalı, motorun istek dışı çalışmasına ya da güvenilirlik sorunlarına yol açan hatalı prosedür olasılığı olmamalıdır.
- Tüm komponent ve prosedürler için en yüksek güvenilirliğe ulaşılmalıdır.
- Her komponentin emniyetli ve kusursuz bir şekilde tasarlanmasıyla hatalı montaj olasılığı ortadan kaldırılmalıdır.
- Modüler tasarım prensibi komponentlerin farklı performanslı motorlarda kullanılabilmesini sağlamalıdır.
- Hidrolik pervane governörü kullanım provizyonu standart olmalıdır.
- Motorlar her koşulda kullanılabilir olmalıdır (tam aerobatik basınçlı yağlama).
- Uçuş manevraları motor güç çıkışını değiştirmemelidir.
- Soğuk dizel yakıtlarındaki filtrasyon sorunları çözülmelidir.

Çok düşük bir ağırlık elde etmek için enerji dönüşümüyle doğrudan ilgili olmayan tüm komponentler minimum boyutlarına indirilmelidir. Bu da radyal konfigürasyonla mümkündür. Tarihi motor gelişimine bir göz atıldığında radyal motorların büyük ön alanlarından dolayı yerini boksör motorlara bıraktığı görülmektedir. Radyal motorlarda boyutları büyüten bir faktör supap ve biyel mekanizmasını (ana ve tali biyel) içeren silindir kafası için oldukça büyük bir alan gereksinimidir. Fakat iki zamanlı motorlar supaplar olmaksızın yapılabirler. Ayrıca iki zamanlı dizel motorlar genelde basınçlı yağlamalı karterlere sahip olduklarından daha çevrecidirler. Süpürme hava basıncı genelde bir üfleyici tarafından sağlanır. Süpürme havası içinde yakıt bulunmayan temiz hava olduğundan kirlilik yaratmaz.

Tüm kütle kuvvetleri veya momentlerin tamamıyla dengelenmesi eski silindir düzenleriyle mümkün değildir. Örneğin bir boksör motorda karşılıklı silindir sıralarının kütle kuvvetleri birbirlerini neredeyse dengelerler. Fakat silindirler tam olarak karşılıklı yerleştirilemediğinden bir miktar kütle kuvveti dengelenemez. Aynı durum sıra tipi motorlar için de söz konusudur. Radyal motorlarda bile ana ve tali biyel asamblelerinin kullanımı ve tek sayılı silindirlerden dolayı bir miktar kütle kuvveti ve moment dengelenemez. Oysa simetrik, dört silindirli radyal motor kütle kuvvetleri ve momentler için tam bir dengeleme sağlar. Bu, tüm pistonların ortak bir düzlemde hareket ettiği ve ortak

bir kranka bağlandığı bir tasarımdır. Bu tasarım sayesinde biyel ve pistonların salınım ve dönme hareketi yapan kütleleri, ağırlık merkezi krank miline bağlı olarak değişmeyen bir noktada olan bir dengesizlik oluşturur. Böylece krank mili üzerine takılan bir çift balans ağırlığı ile tüm kütle kuvvetleri ya da momentler tamamen dengelenebilir.

Ana sorun bir dizel motorunu ilk çalıştırmada gereken yüksek güçtür. Dizelleri çalıştırmak için gerekli ağır bataryaların uçak için uygun olmadığı açıktır. Bu sorun, karter süpürmesi olmayan iki zamanlı bir motorun ancak üfleyicinin silindirlere basınç uyguladığında çalıştırılabileceği gerçeği ile daha da ciddileşmiştir. Bu oldukça yüksek motor devri dolayısıyla yüksek starter gücü gereksinimini artırır. Bu sorunun çözümü patentli bir hava starter sistemidir. [2] Bu sistem hava starter motorunun egzozunu kullanarak turboşarjı hızlandırır ve anlık süpürme hava basıncı sağlar. Bu sistem start esnasında oldukça yüksek bir pompalama sağlar ve motor ilk devirde ateşlenir.

Start sistemine bağlı bir pnömatik sistem motora start esnasında ön yağlama sağlar. Mekanik üfleyicinin kompresör diski bir starter türbini olarak kullanılarak önemli bir ağırlık düşüşü sağlanmıştır. Hava rezervuarını da içeren starter sistemi 2 librenin biraz üzerinde bir ağırlığa sahiptir. Motorun start edilmesi de çalışması da herhangi bir elektrikli komponentin işlevini gerektirmediğinden güvenilirlik yüksektir.

Starter hava rezervuarı manifold havasıyla döndürülen serbest türbinli bir kompresör tarafından tekrar doldurulabilir. Bu kompresör hiçbir dişli, kavrama, sviç veya emniyet valfi olmaksızın çalışmaktadır. Rezervuar, kompresörün 28 psi'lik bir hava kaynağı ile döndürülmesiyle doldurulabilir.

Hava starteri hafif olma avantajının yanında düşük atmosfer sıcaklıklarında yüksek bir güç çıkışı verebilmektedir. Havanın kendi kendine boşalması rezervuarın iyi bir şekilde contalanmasıyla önlenmiştir.

Motor kuru karterli basınçlı yağlama sistemine sahiptir. Yağ skavenç pompaları yağı herhangi bir konumda ve makul herhangi bir akselerasyon altında pompalayabilmektedir.

Krank karteri tek parçalı tünel karter tipindedir ve hava giriş manifoldu ile yekparedir. Çok sağlam, fakat hafif bir tasarım çok gelişmiş sonlu eleman modellemesinin kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

Krank mili için bilyeli yatak kullanılarak sürtünme azaltılmıştır. Bağımsız enjeksiyon pompaları radyal bir konfigürasyonda yerleştirilmiştir. Bu sayede optimal hidrolik özelliklerine sahip kısa enjeksiyon hatları sağlanmıştır.

Enjeksiyon pompaları krank miline bağlanmış ve dört silindir sırası başına tek bir kamdan hareket almaktadır. Yakıt pompası, yakıt filtresi ve yakıt hatları tamamen aksesuar gövdesiyle birleştirilmiştir. Böylece yakıtta yeterli miktarda ısı iletimi sağlanmış ve düşük sıcaklıklardan doğabilecek tıkanmalar önlenmiştir.

Yakıt pompaları, yağ pompaları ve fırçasız-kısa devre korumalı alternatör doğrudan krank milinden hareket alırlar. Tüm aksesuarlar, mevcut uçak motorlarındaki uygulamalara nazaran doğrudan hareket alırlar. Bu sayede motorun emniyetli çalışması V kayışları gibi parçalara bağlı değildir.

Sadece bir tane gaz kolu olduğundan motorun kullanımı kolaydır. Karışım kolu, alternatif hava, yardımcı yakıt pompası, manyeto anahtarı, uyulması gereken sıcaklık limitleri, yükleme (boost) ya da güç sınırlamaları yoktur. Devir düşürücü dişli donanımının olmaması, parçaların çok az sayıda olması ve güvenilir dizel komponentlerinin kullanımı sayesinde iyi bir güvenilirliğe ve düşük bakım maliyetlerine sahiptir.

Yüksek bir uçuş güvenilirliğine sahiptir. Çünkü karbüratör buzlanması, manyeto ya da buji sorunları ve buhar tıkanması yoktur. Türbin giriş sıcaklığı çok düşük olduğundan gözlenmesine gerek yoktur. Hatta silindir başı sıcaklıkları bile kritik değildir.

Düşük sıcaklıklarda güvenli bir start kabiliyetine sahiptir. Patentli start sistemi anlık manifold basıncı sağlar. Soğuk start ve 2500 rpm'e akselerasyon 1 saniye içinde sağlanmaktadır. [2]

Çok karmaşık Zoche aero-dizel, tungsten balans ağırlıkları ve tam akrobatik basınçlı yağlama gibi özelliklerinin yanında en son silindir teknolojisini kullanmaktadır. [2] Zoche aero-dizelin yüksek verimi atılan ısı miktarını azaltır. [2] Böylece soğutma havası gereksinimi asgariye indirilir. Dizel motorunda, kıvılcım ateşlemeli motorların silindir kafaları gibi mutlaka soğutulması gereken noktalar olmadığından, soğutma sorunları daha da azaltılmıştır.

Şarj hava basıncı oldukça verimli mekanik üfleyici ve bir turboşarj kombinasyonu ile sağlanmaktadır. Yakıt enjeksiyon pompası ve bunun besleme pompası, yakıt filtresi ve tüm bağlantı tesisatı krank karteri asamblesine yerleştirilmiştir. Emme manifoldu krank karteri ile yekpare dökülmüştür. Böylece parça sayısı azaltılarak güvenilirlik arttırılmıştır. 1992 yılında bu proje Philip Morris araştırma ödülünü kazanmıştır.

Zoche ZO 01A ve ZO 02A motorlarının bazı özellikleri eşdeğer motor tipleri ile karşılaştırmalı olarak Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Çeşitli Motor Tiplerinin Özelliklerinin Karşılaştırılması [2,3,4]

Motor tipi	ZO 01A	ZO 02A	O-235 C serisi	O-290 D2 serisi	IO-320 C serisi
Güç hp/rpm	150/2500	300/2500	115/2800	140/2800	160/2700
Deplasman inç küp	162.6	325.3	233.3	289.0	319.8
Sıkıştırma oranı	17:1	17:1	6.5:1	7.5:1	8.5:1
Ağırlık libre	185	271	240	264	294
Ağırlık/güç oranı lb/hp	1.23	0.90	2.08	1.88	1.83
Max. Güç BSFC lb/hp/hr	0.365	0.365	0.558	0.560	---
Seyir (%75) BSFC lb/hp/hr	0.357	0.357	0.509	0.434	0.545

NASA Tarafından Yürütülen Çalışmalar

NASA tarafından genel maksatlı uçaklarda kullanılan tepki sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmış ve ileri teknoloji kullanımıyla performans özelliklerinde önemli gelişmeler sağlanmıştır. Yapılan çalışmalar aşağıdaki motor tipleri üzerinde yoğunlaşmıştır [5]:

1. Düşük maliyetli ve genel havacılıkta kullanılan türbinli motor (GATE).
2. Çok gelişmiş kıvılcım ateşlemeli pistonlu motor (SIR).
3. Çok gelişmiş dizel motoru.
4. Çok gelişmiş dönel (Wankel) motor.

Bu motor tiplerinden konuya uygun olarak sadece dizel motoru incelenmiştir. NASA'nın üzerinde çalıştığı dizel kavramı, birçok ileri teknolojiye sahip iki zamanlı bir radyal motor tarafından temsil edilmektedir. Bu NASA Lewis Araştırma Merkezi'nde çalışılan motor tasarımının ölçekli bir versiyonudur. [5]

Dizelerde genelde karşılaşılan sorun, sadece kabul edilebilir bir start performansı için gerekli çok yüksek sıkıştırma oranlarıdır. Bu sorun bir kompresör, türbin ve yakıcıdan oluşan bağımsız bir turboşarj çevrimiyle çözülmüştür. Maliyet ve karmaşıklığın artmasına rağmen, mükemmel tasarım gelişmeleri sağlanmıştır. Dizelerde karşılaşılan start sorunları (soğuk, sıcak ve tekrar start) ilk önce turboşarj çevriminin başlatılması ve sonra dizel silindirlerini hareket ettirmek için sıcak basınçlı hava tedarik edilmesi ile çözülmüştür. Böylece motor çok daha düşük sıkıştırma oranlarında (10:1 dolaylarında) tasarlanabilir, gerilmeler ve motor ağırlığında önemli düşüşler sağlanmış olur. Dahası bağımsız turboşarj çevriminin sahip olduğu kanallar hava akımının dizeli bypass etmesini sağlar. Böylece yerde motorun komple çalıştırılmasına gerek kalmaksızın yardımcı güç sağlar.

İki zamanlı dizel çevrimi düşük bir ağırlık/güç oranı vermektedir ve supap mekanizmasının olmaması karmaşıklığı azaltmaktadır. Sonuç belirli bir deniz seviyesi gücü için çok gelişmiş kıvılcım ateşlemeli pistonlu motordan çok daha düşük bir ağırlığa sahip bir motordur. Maalesef 35000ft'lik bir seyahat irtifasında dizel motorundaki yüksek güç düşüş oranı bu avantajı bertaraf etmektedir.

Başarılı bir dizel tasarımı için turboşarj kapasitesinin, mevcut performans seviyelerinden daha yükseğe çıkarılması gerekir. Yüksek turboşarj basınç oranından dolayı motor egzoz havası, 17000 ft irtifanın üzerinde turboşarjı döndürmek için yeterli enerjiye sahip değildir. Bu yüzden yüksek irtifalarda istenmeyen güç düşüşlerini önlemek için, türbin giriş havasına ilave enerji sağlamak amacıyla turboşarj çevriminde yakıt yakmak gerekir. Silindir gömlekleri ve piston kafaları seramik malzemeden yapılmıştır ve böylece silindirlerin soğutulmadan (adyabatik) çalışması sağlanmıştır. Bu sayede soğutma hava akımına ısı geçişi engellenerek soğutma sürüklemesi azaltılmış ve motor verimi arttırılmıştır. Fakat bir yağ soğutucusuna ihtiyaç duyulacaktır ve enjektörlere için de bir miktar soğutma havası gerekecektir.

SONUÇ

Tüm bu yapılan çalışmalar sonucunda gelecekte dizel motorların genel maksatlı hafif uçaklarda kullanımı mümkün görülmektedir.

Malzeme ve imalat teknolojisindeki gelişmeler ve kabin basınçlandırması olmayan uçakların seyir irtifalarının düşük olması dizellerin birçok dezavantajını ortadan

kaldırmakta ve bu uçaklarda çok daha ekonomik ve güvenli bir şekilde kullanılabileceklerini göstermektedir.

DÖNÜŞÜM TABLOSU

Aşağıdaki tablo ile metin içindeki birimlerin SI birim sistemine dönüşümlerini elde etmek mümkündür.

Tablo 4. Dönüşüm Tablosu

Temel Büyüklük	Amerikan Birim Sistemi	Dönüşüm Faktörü	SI Birim Sistemi
Ağırlık	lb	4.448222	N
İrtifa	ft	0.3048	m
Uzunluk	in	0.0254	m
Güç	hp	745.6999	W
Güç Yüklemesi	lb/hp	0.005965163	N/W
Özgül yakıt tüketimi	lb/hp/hr	0.000001657	N/W/s

KAYNAKÇA

1. DeltaHawk, Inc., 3003 Golf Avenue, Racine, WI 53404 US, 2000.
<http://www.deltahawkengines.com>

2. Michael Zoche Antriebstechnik, Keferstrasse 13-80802 Muenchen, Germany, 2000. <http://www.zoche.de>

3. Avco-Lycoming O-235 and O-290 series Operator's Manual, Section 2 Specifications and Section 3 Operating Conditions, 1988.

4. Textron-Lycoming O-320 and IO-320 series Operator's Manual, Section 2 Specifications and Section 3 Operating Instructions, 1993.

5. David L. Kohlman and James Hammer, Design Study of Technology Requirements for High Performance Single-Propeller Driven Business Airplanes, 1985