



## İÇİNDEKİLER

SEMBOL LİSTESİ .....	iii
TEŞEKKÜR .....	viii
ÖZET .....	ix
ABSTRACT .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. HAVA YASTIKLI TAŞITLARIN TARİHÇESİ .....	2
3. HAVA YASTIKLI TAŞITLARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ .....	3
4. GEREKSİNİM, AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI .....	5
5. KULLANMA SAHALARI VE KAPASİTE .....	8
6. HAVA YASTIĞI PERFORMANS TEORİLERİ .....	11
6.1. ÇAN BİÇİMLİ GEMİ .....	12
6.2. ÇEVRESEL JETLİ GEMİ .....	17
6.3. DÜZELTİLMİŞ ÇAN BİÇİMLİ GEMİ .....	24
7. GÜÇ ÜRETİMİ .....	30
8. GÜÇ İLETİM SİSTEMLERİ .....	37
9. KALDIRMA FANLARI .....	42
10. PROPULSİYONUN SAĞLANMASI .....	60
10.1. GEOMETRİK HATVE .....	63
10.2. GEOMETRİK HATVENİN PERVANE PERFORMANSINA ETKİSİ .....	64
10.3. GİRDAP TEORİSİ .....	65
12. SONUÇLAR .....	83
KAYNAKLAR .....	85
ÖZGEÇMİŞ .....	86

## SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Tanımı	Birimi
A	Pervane disk alanı	m <sup>2</sup>
A <sub>ef</sub>	Efektif akış alanı	m <sup>2</sup>
A <sub>f</sub>	Katsayı	-
A <sub>p</sub>	Hava yastıklı taşıt profil alanı (Aerodinamik dirençle ilgili ön alan)	m <sup>2</sup>
A <sub>t</sub>	Katsayı	-
A <sub>td</sub>	Eteğin birim çevresinde torba delik alanı	m <sup>2</sup>
A <sub>ty</sub>	Torbadan yastığa toplam delik alanı	m <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	Yastık alanı	m <sup>2</sup>
$\tilde{A}$	Yan oranı	-
a <sub>0</sub>	Profil C <sub>L</sub> - $\alpha_0$ eğrisi eğimi	1/rad
B	Pal sayısı	-
B <sub>y</sub>	Yastık genişliği	m
B <sub>1</sub>	Kanat giriş eni	m
B <sub>2</sub>	Kanat çıkış eni	m
b	Veter uzunluğu	m
C <sub>AD</sub>	Aerodinamik direnç katsayısı	-
C <sub>D</sub>	Pal profili için direnç katsayısı	-
C <sub>de</sub>	Yastıktan dışarı deşarj katsayısı	-
C <sub>L</sub>	Taşıma katsayısı	-
C <sub>m</sub>	Meridyen hız bileşeni	m/s
C <sub>Md</sub>	Moment katsayısı	-
C <sub>P</sub>	Güç katsayısı	-
C <sub>s</sub>	Emme hızı	m/s
C <sub>T</sub>	İtme katsayısı	-
C <sub>t,de</sub>	Torbadan yastığa deşarj katsayısı	-
C <sub>u</sub>	Çevre hızı yönündeki mutlak hız bileşeni	m/s
C <sub>vy</sub>	Yastık yoğunluğu (yükleme) katsayısı	-
D <sub>A</sub>	Aerodinamik direnç	N
D <sub>DY</sub>	Dalga yapıcı direnç	N
D <sub>M</sub>	Momentum direnci	N
D <sub>p</sub>	Pervane çapı	m

$D_q$	Özgül çap	-
$D_S$	Sızdırmazlık direnci	N
$D_s$	Fan emme çapı (giriş ağız çapı)	m
$D_{S,dsu}$	Hava yastıklı taşıt dalgalı su sızdırmazlık direnci	N
$D_{S,dy}$	Sakin su sızdırmazlık direncinin dalga yapıcı dirençle ilgili bileşeni	N
$D_{S,ly}$	Sakin su sızdırmazlık direncinin ıslak yüzeyle ilgili bileşeni	N
$D_{S,ssu}$	Hava yastıklı taşıt sakın su sızdırmazlık direnci	N
$D_T$	Toplam direnç	N
$D_1$	Fan giriş çapı	m
$D_2$	Fan çıkış çapı	m
$dD_0$	İndüklenmiş akım kabulüyle elemanter pal profil direnci	N
$d_h$	Hidrolik çap	m
$F$	Froude sayısı	-
$F_k$	(Yastık basıncı ile oluşan) kaldırma kuvveti	N
$F_{k,i}$	İdeal kaldırma kuvveti	N
$g$	Yer çekimi ivmesi	m/s <sup>2</sup>
$H$	Basma yüksekliği	m
$H_{thco}$	Sonsuz kanat sayısındaki basma yüksekliği	m
$h$	Hava kaçış yüksekliği	m
$h_{da}$	Dalga yüksekliği	m
$h_{di}$	(Etek yapısının alt kısmını oluşturan) dilimler yüksekliği	m
$h_{ef}$	Efektif aralık	m
$h_{et}$	Etek yüksekliği	m
$h_p$	Geometrik hatve	m
$h_{ya}$	Yastık yüksekliği	m
$\bar{h}$	Boyutsuz firar aralığı	-
$\tilde{h}$	Hava kaçış parametresi	-
$J$	Birim nozul (çevre) boyu için jet momentumu değişimi	N/m
$J_p$	İlerleme oranı	-
$K_f$	Kaldırma faktörü	-
$k_{da}$	Dalga katsayısı	-
$k_{DY}$	Dalga yapıcı direnç katsayısı	-
$L_y$	Yastık boyu	m
$dL$	Elemanter taşıma	N
$l$	Yastık (hava kaçış) çevre uzunluğu	m

$M$	Yastıktan kaçan momentum akısı	$N \cdot s$
$M_d$	Pervane döndürme momenti	$N \cdot m$
$M_{tv}$	Torba deliklerinden kaçan momentum akısı	$N \cdot s$
$dM_d$	Elemanter döndürme momenti	$N \cdot m$
$n_f$	Fan devir sayısı	$1/s$
$n_p$	Pervane devir sayısı	$1/s$
$n_q$	Özgül devir sayısı	-
$P_i$	Fan iç gücü	$W$
$P_k$	Kaldırma gücü	$W$
$P_p$	Pervane (mil) gücü	$W$
$P_{v,i}$	İdeal yastık gücü	$W$
$p_f$	Fanın sağladığı basınç artışı	$N/m^2$
$p_{j,din}$	Jet içinde yerel dinamik basınç	$N/m^2$
$p_{j,stat}$	Jet içinde yerel statik basınç	$N/m^2$
$p_{jt}$	Yerel jet toplam basıncı	$N/m^2$
$p_t$	Torbaya giren havanın basıncı	$N/m^2$
$p_v$	Yastık basıncı	$N/m^2$
$Q$	(Yastıktan kaçan) debi	$m^3/s$
$Q_f$	Fanın sağladığı debi	$m^3/s$
$Q_t$	Torbaya giren havanın debisi	$m^3/s$
$Q_{tv}$	Torbadan yastığa debi	$m^3/s$
$Q_v$	Yastığın dışına net debi	$m^3/s$
$Q'$	Fan içine giren debi toplamı	$m^3/s$
$\Delta Q$	Kaçak debi	$m^3/s$
$q$	Hava yastıklı taşıt hızından dolayı dinamik basınç yüksekliği	$N/m^2$
$q_0$	İndüklenmiş akım kabulü ile dinamik basınç	$N/m^2$
$q_1$	Fan girişinde yayılmamış hız yüksekliği için dinamik basınç	$N/m^2$
$q_2$	Fan çıkışından difüzör içine yayılmamış hız yüksekliği için dinamik basınç	$N/m^2$
$q_3$	Difüzör çıkışından torba içine yayılmamış hız yüksekliği için dinamik basınç	$N/m^2$
$R$	Eğrilik yarıçapı	$m$
$R_p$	Pervane yarıçapı	$m$
$r$	Jet içinde göz önüne alınan elemanın eğrilik yarıçapı	$m$
$r_D$	Fan ağzının eğrilik yarıçapı	$m$

$r_{dış}$	Jet dış yüzeyinin eğrilik merkezine uzaklığı	m
$r_m$	Jet içinde göz önüne alınan eleman merkezinin eğrilik yarıçapı	m
$r_{ort}$	Jet (kavisliği) ortalama eğrik yarıçapı	m
$r_p$	Pal elemanının pervane dönme merkezinden uzaklığı	m
$dr$	Jet içinde göz önüne alınan elemanın merkez doğrultusunda uzunluğu	m
$dr_p$	Pal elemanı genişliği	m
$r_1$	Fan giriş yarıçapı	m
$r_2$	Fan çıkış yarıçapı	m
$T$	İtme	N
$dT$	Elementer itme	N
$t$	Jet kalınlığı	m
$t_1$	Girişteki kanat taksimatı (hatvesi)	m
$t_2$	Çıkıştaki kanat taksimatı (hatvesi)	m
$U_1$	Fan giriş çevre hızı	m/s
$U_2$	Fan çıkış çevre hızı	m/s
$V$	Hava yastıklı taşıt hızı	m/s
$V_i$	İndüklenmiş hız	m/s
$V_j$	Jet hızı	m/s
$V_k$	Yastık havası kaçış hızı	m/s
$V_R$	Pal kesitine gelen bileşke hız (pal elemanına etkiyen efektif hız)	m/s
$V_{Ro}$	İndüklenmiş akım kabulü ile pal elemanına etkiyen efektif hız	m/s
$V_1$	Fan girişinde fan içerisine yayılmamış hız yüksekliği	m/s
$V_2$	Fandan difüzör içine yayılmamış hız yüksekliği	m/s
$V_3$	Difüzör çıkışından torba içine yayılmamış hız yüksekliği	m/s
$v_j$	Jet içinde göz önüne alınan elemanın hızı	m/s
$W$	Hava yastıklı taşıt toplam ağırlığı (deplasmanı)	N
$W_d$	Hava yastıklı taşıtlarda değişken yük	N
$W_1$	Kanat girişinde bağıl hız	m/s
$x$	Jet kalınlık parametresi	-
$x_p$	Palın uzunlamasına ekseni boyunca boyutsuz bir uzunluk	-
$Z$	Fan kanat sayısı	-
$\alpha$	Hücum açısı	derece
$\alpha_0$	İndüklenmiş akım kabulü ile hücum açısı	derece
$\beta$	Geometrik pal açısı (helis açısı)	derece

$\beta_1$	Fan kanat giriş açısı	derece
$\beta_2$	Fan kanat çıkış açısı	derece
$\varepsilon$	Akış sayısı	-
$\eta_f$	Fan verimi	-
$\eta_h$	Hidrolik verim	-
$\eta_{hg}$	Hava giriş verimi	-
$\eta_i$	İç verim	-
$\eta_k$	Kanal verimi (iç verim)	-
$\eta_{ks}$	Kaldırma sistemi verimi	-
$\eta_m$	Mekanik verim	-
$\eta_p$	Pervane verimi	-
$\eta_s$	Fan statik verimi	-
$\mu$	Basma yüksekliği azalma faktörü	-
$\xi_1$	Fan girişinde daralma faktörü	-
$\xi_2$	Fan çıkışında daralma faktörü	-
$\rho_h$	Hava yoğunluğu	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_d$	Deniz suyu yoğunluğu	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma_R$	Pervane pal alanının pervane dönme alanına oranı	-
$\sigma_1$	Fan girişinde çevre üzerindeki kanat kalınlığı (körelme)	m
$\sigma_2$	Fan çıkışında çevre üzerindeki kanat kalınlığı (körelme)	m
$\phi$	Efektif hatve açısı	derece
$\phi_0$	İndüklenmiş akım kabulü ile efektif hatve açısı	derece
$\psi$	Basınç sayısı	-
$\psi'$	Pfleiderer düzeltme sayısı	-
$\omega$	Açısal hız	rad/s
$\theta$	Duvar yada etek (veya nozul) ile yatay arasındaki açı	derece
$\theta_f$	Parmağın ön yüzüyle yatay arasındaki açı	derece

## TEŞEKKÜR

Enerji Makinaları Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak yapılan bu çalışma tam amfibik hava yastıklı taşıtların incelenmesini içermektedir. Çalışmanın başlangıcında bu taşıtlar hakkında genel bilgilerden ve yine bu taşıtların tarihçesinden bahsedilmiŐtir. Bundaki amaç, konuya yabancı olabilecek okuyucuları, bu tür taşıtlar hakkında ön bilgiye sahip kılmaktır.

Hava yastıklı taşıtları incelerken özellikle en son kullanımda olan teknolojik bilgilerin verilmesine çalışılmıştır.

Yapılan çalışmanın amacı bu konuya yeni bir gürüŐ getirmek olmayıp, hava yastıklı taşıtlara ilgi duyan veya onlar üzerinde daha detaylı çalışma yapmak isteyenlere bir referans oluŐturmasıdır. Konuya ilgi duyan kiŐiler çalıŐmalarında bu konu ile ilgili baŐvurulabilecek kaynak eser eksikliğini görebileceklerdir.

Yaptığım bu çalışma ile ilgili olarak bana hertürlü yardımı gösteren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Raif DURAK'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

Yapılan bu çalışmada, hava yastıklı taşıtlar hakkında genel bir bilgi verildikten ve tarihçesine kısaca değinildikten sonra bu taşıtların çalışma prensibi, avantajları ve dezavantajları, kullanım sahaları ve kapasiteleri sunulmuştur.

Hava yastıklı taşıtlar hakkında bu bilgilerden sonra hava yastığı performans teorileri gösterilmiştir. Bunu izleyen bölümlerde ise güç üretimi ve güç iletim sistemleri gözden geçirilmiştir. Bu bilgilerden sonra da kaldırma fanları hakkında genel bir bilgi verilmiş ve santifüj fan dizayn etmek için bir yol gösterilmiştir. Bunlara ilave olarak, pervaneler hakkında genel bir bilgi verilmiş ve bir pervanenin nasıl dizayn edilebileceği açıklanmıştır.

Bu çalışmanın sonuç kısmında ise hava yastıklı taşıtlar üzerine bir yorum yapılmaya çalışılmıştır.



## **ABSTRACT**

In this study which has been made, after a general information has been given about hovercraft and, briefly, has been touched on their short story, their working principle, advantages and disadvantages, application areas and capacities have been presented.

After these information about hovercraft, air cushion performance theories have been shown. In the following chapters of this, power generation and power transmission systems have been examined. Also, after these information, a general information has been given about the lift fans and a method has been shown to design a centrifugal fan. In addition, a general information has been given about propellers and how can be designed a propeller has been explained.

In the conclusion of this study, it has been tried to make a comment on hovercraft.

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaradılışından beri tabiat olaylarına ilgi duymuş, bu olayları incelemiş, onlardan çeşitli sonuçlar çıkarmış ve bunları kendi yararına kullanabilme yollarını aramıştır. Bu arayışlar ve incelemeler bilim ve teknolojiye ilerlemeleri sağlamış, toplumun gelişmesini sağlayıp dünyaya pek çok yararlı şeyler getirmiş, yaşamı kolaylaştırmıştır. Bir hava yastığı kullanılarak taşıtların hareket ettirilmesi de böyle bir düşüncenin sonucudur ve halen gelişim süreci yaşamaktadır.

Günümüzde hava yastıklı taşıt olarak adlandırılan bir çok taşıt tipi mevcut olmasına rağmen bu çalışma tam amfibik olarak tanımlanan hava yastıklı taşıtları konu edecektir. Bu taşıtlarda hava yastığı, taşıtta fanlar tarafından otomatik olarak meydana getirildiğinden, taşıtlar aerostatik kaldırma mekanizmalılar grubuna dahildirler.

Hava yastıklı taşıtlar taşıt ile su veya toprak zeminin doğrudan fiziki temasını kesme esasına dayanarak geliştirilip inşa edilmişlerdir. Hava yastıklı taşıtta, adından da anlaşılacağı gibi, en önemli unsur hava yastığıdır. Hava yastığı, etrafı çevrili yüksek basınçlı bir hava tabakasıdır ve bu basınçlı hava tabakası onu bir yastık gibi üzerinde taşır. Yastık sahip olduğu yüksek basınç ile bir yandan taşımayı temin ederken diğer yandan mükemmel bir süspansiyon (yay) vazifesi görür.

İnsanlığın hizmetine oldukça yeni denilebilecek bir zamanda giren bu taşıtların gelecekte sivil ve askeri alanda geniş hizmetler vereceği tahmin edilmektedir. Halen sivil ve askeri amaçlar için kullanılmakta olan bu taşıtların diğer taşıtlara göre bir çok üstünlüklerinin bulunması sebebiyle konuya bu açıdan yaklaştığımızda bu taşıtların önemi ortaya çıkar.

Gelecekte önemli bir ulaştırma taşıtı olacağı tahmin edilen hava yastıklı taşıtların incelenmesine geçmeden önce bu taşıtların gelişimi üzerinde kısaca durmakta yarar vardır.

## 2. HAVA YASTIKLI TAŞITLARIN TARİHÇESİ

Hava yastığı oluşturarak yük taşınması için girişimler 1716'da Emmanuel Swedenborg'un insan gücü tahrikli hava yastığı platformuna kadar götürülebilir. O günden bu güne bir çok bilim adamı bu konuda değişik çalışmalar yapmıştır (Amyot, 1989).

Diğer bir araştırma İsveç'li mühendis Gustav Laval'in 1882'de hava yağlama için aldığı ilk patenttir. Ancak, Laval'in deneyleri başarısız oldu.

1916'da Von Tomamhul fanlar yardımıyla tekne altına basınçlı hava vererek yağlayıcı bir hava yastığının oluşturulduğu bir Torpedo bot'u Avusturya Deniz Kuvvetlerine inşa etti. 1925'te V. F. Casey enerji tasarrufu sağlayan resirkülasyon prensibinin hava yastıklı taşıta kullanımına dair patent aldı. Bu prensip 1960'larda yeniden canlandırılmaya çalışıldıysa da esnek eteklerin gelişimi sonucunda vazgeçilmiştir.

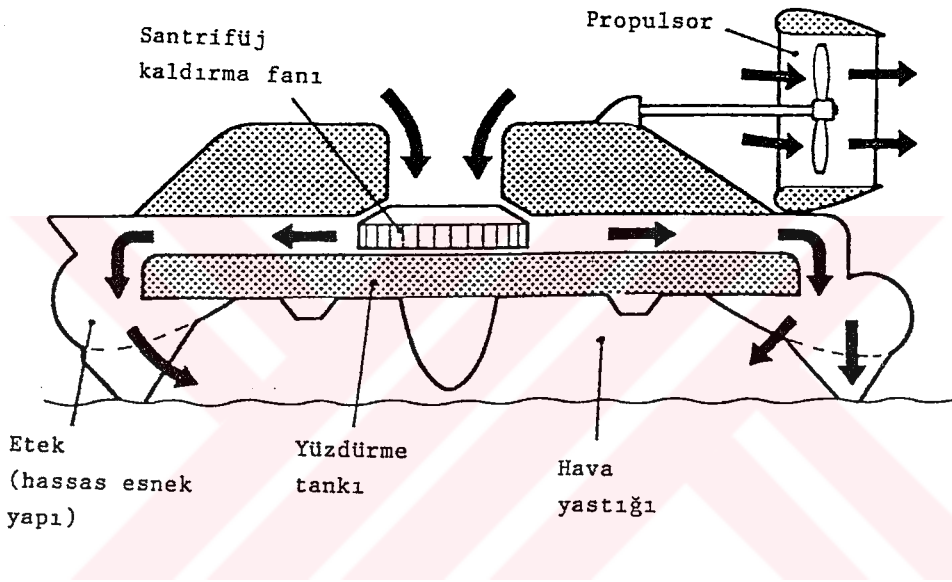
1927'de Rus bilim adamı K. E. Tsiolkovski bugün hava yastıklı tren denilebilen taşıtı geliştirdi. Fikir bir hat boyunca ince bir hava yastığı tabakası tarafından destekli trenleri çalıştırmak için tasarlandı.

1929'da D. K. Warner teknesinde yakalanmış hava yastığı prensibini kullanarak Amerika'da bir sürat teknesi yarışını kazandı. 1935'te ise bir Finlandiyalı mühendis olan Toivio Karrio çan biçimli hava yastıklı bir gemiyi geliştirdi. Bütün bu gelişimler hava yastığı destekli gemilerin çeşitli biçimleri için temeli oluşturdu.

Tüm bu anlatılanlara rağmen, ilk ciddi gelişim 1955'te Christopher Cockerell'in İngiltere'de çevresel jet prensibi için bir patent almasıyla başlamıştır. Christopher Cockerell'in çalışmaları sonucu ilk çevresel jetli hava yastıklı taşıt, SR. N1, inşa edilmiştir. Bu ilk hava yastıklı taşıt eteksiz olup dalgalarda iyi çalışmadığı anlaşıldıktan sonra buna etekler ilave edildi. Bu andan sonra fanlarda, propulsiyon sistemlerinde, eteklerde gelişim sürekli olarak devam etti ve günümüz modern hava yastıklı taşıtlarının gelişimine neden oldu.

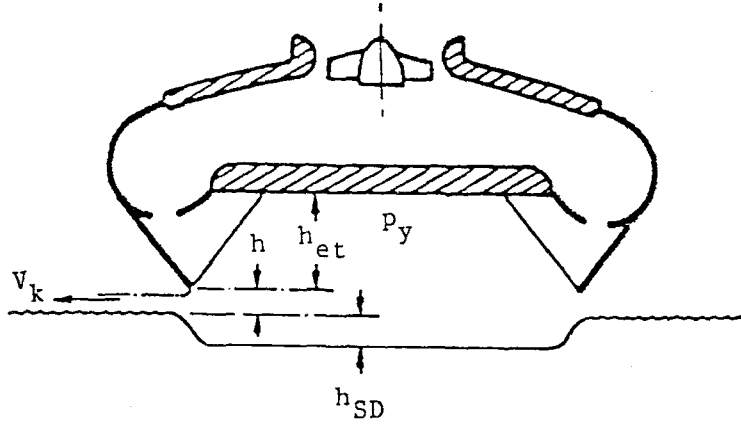
### 3. HAVA YASTIKLI TAŞITLARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Basitçe ifade edersek, hava yastıklı taşıt Şekil 3.1'de gösterilen tarzda basınçlı bir hava yastığı oluşturarak kendisini yüzeyden yukarıda tutan bir gemidir. Hava yastığını oluşturmak için geçmişte çeşitli fan tipleri kullanılmışsa da günümüzde en çok kullanılan santrifüj fan tipidir. Fanın çektiği hava etekler içerisinden geçerek hava yastığını sürekli olarak besler. Böylece bu taşıt yüzeyden yukarıda durması sebebiyle amfibik olup, çeşitli propulsiyon yöntemleri vasıtasıyla bir ulaştırma aracı olarak kullanılır (Amyot, 1989).



Şekil 3.1. Bir hava yastıklı taşıt boyunca şematik kesit

Hava yastıklı taşıtı göz önünde canlandırmak için şekil 3.2'de su üstünde hareket eden bir hava yastıklı taşıt gösterilmiştir. Basınçlı hava bir firar aralığı  $h$  vasıtasıyla bir  $V_k$  hızında yastıktan çıkar. Gemi sert yapıya karşı  $P_y$  basıncı ile hareket eden hava yastığı tarafından desteklenir. Bugünün hava yastıklı taşıtlarının çoğu için yastık basıncı büyüklüğe ve taşıt için planlanmış kullanıma, yani, yüksek hızlı veya düşük hızlı taşımaya bağlı olarak  $0.14 \text{ N/cm}^2$  den  $0.84 \text{ N/cm}^2$  ye değişir. Firar aralıkları tipik olarak 2.5 ile 15 cm dir. Etek yükseklikleri  $h_e$  tipik olarak 1 ile 3 m dir. Statik olarak su üzerinde su depresyonu  $h_{SD}$  0.15 m ve 0.50 m arasında değişir.



Şekil 3.2. Su üzerinde hareket eden hava yastıklı taşıt

#### 4. GEREKSİNİM, AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Gerek askeri ve gerekse sivil ulaştırma alanında denizlerde yüksek hızlarda seyreden gemilerin sağlayabileceği faydalar dolayısıyla bu taşıtlar gerçekleştirilmiştir ve geliştirilmektedir. Bir taşıtın altındaki hava yastığı vasıtasıyla yüzeyle sürtünme olmaksızın hareket etmesi ve bunun sağlayacağı avantajların belirlenmesi bu taşıtların gelişimine sebebiyet vermiştir.

Bu taşıtların başlıca avantajları şunlardır:

- 1- Bir hava yastığı ve esnek eteğin varlığı tüm yüzeylerden (kara, su, buz, çamur vb.) geçebilme imkanıyla gerçek amfibik kabiliyeti sağlar. Bu onun eşsiz avantajıdır.
- 2- Hava yastığı ve esnek etekler vasıtasıyla mükemmel bir süspansiyon kalitesi sağlaması, esnek etek dalgalanması ile pürüzlü arazi geçebilmesidir.
- 3- Düşük temas yüzeyi basıncına sahip olması.
- 4- Düşük dirence sahip olması. Bu onun geniş bir hız alanı üzerinde verimli bir şekilde çalışmasına sebep olur. Düşük dirençle yüksek hız elde edilir.

Başlıca dezavantajları ise şunlardır:

- 1- Eteğin altından sürekli hava kaçağı ile ulaştırmanın diğer yöntemleriyle karşılaştırıldığında onun yüksek işletme maliyetine neden olan bir güç akışı vardır.
- 2- İlk maliyeti yüksektir.
- 3- Düşük yokuş tırmanma kabiliyeti vardır.
- 4- Pervane gürültüsü.

Hava yastıklı taşıtlar diğer ulaşım araçları ile, ekonomik olma açısından, kıyaslanmak istendiğinde, bir ulaşım değer faktörü tanımından yararlanılabilir (Bulut, 1985):

$$\text{Ulaşım değer faktörü} = \frac{W_d V}{P}$$

Burada,

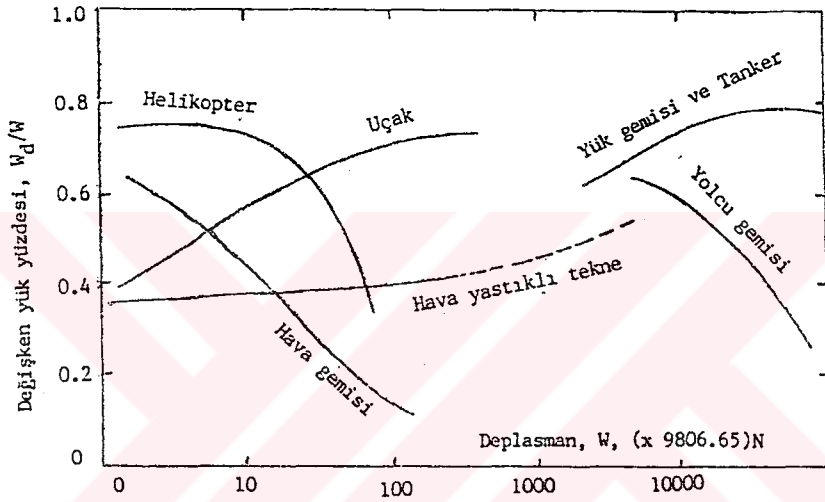
$W_d$ : hava yastıklı taşıtlarda değişken yük (N)

$V$  : taşıt hızı (m/s)

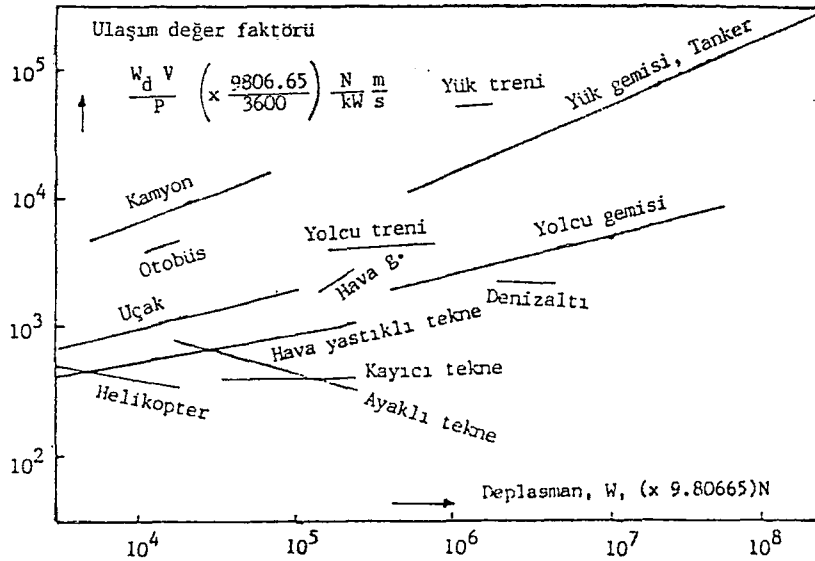
P : motor gücü (kW)

dür. Değişken yük= faydalı yük+yakıt olarak ifade edilebilir.

Uçak benzeri yapıda olmaları nedeniyle hava yastıklı taşıtlarda değişken yük, taşıt toplam ağırlığının (deplasman),  $W(N)$ , %40'ı mertebesinde olmasına rağmen, (Şekil 4.1) hava yastıklı taşıtlar için deplasman güç değeri yolcu gemilerine ait olanın hemen hemen 1/30'u mertebindedir ( $\sim 156.9 \text{ N/kW}$ ,  $\sim 49903.3 \text{ N/kW}$ ). Şekil 4.2'de deplasmanlarına göre çeşitli ulaşım araçlarının ortalama ulaşım değer faktörü değerleri görülmektedir.



Şekil 4.1. Çeşitli ulaşım araçlarının değişken yük değerleri



Şekil 4.2. Çeşitli ulaşım araçlarının ulaşım değer faktörü değerleri

Görüldüğü gibi, hava yastığını sağlamak için gerekli güç, aynı ortamda çalışan diğer araçlara kıyasla, sürtünme direncini yenmek için gerekli güçten fazla olduğunda hava yastığı prensibinin pek değeri kalmamaktadır.



## 5. KULLANMA SAHALARI VE KAPASİTE

Hava yastıklı taşıtlar askeri, ticari ve diğer bazı uygulamalarda kullanım alanı bulmuştur. Hava yastıklı taşıtlar ticari alanda klasik ulaşırmada tarzlarıyla ekonomik olarak nadiren yarışabilir. Fakat onun amfibik özelliği, yüksek seyir hızı ve düşük temas yüzeyi basıncı ona özel uygulamalarda bazı görevler vermiştir. Arama ve kurtarma çalışmaları, acil tıbbi servisler, askeri ve kuzey kutbu işletmeleri, buz kırma, devriye görevi, feribotlar ve yarışmalarda kullanılan eğlence kabilinden faaliyetler onların arasındadır (Amyot, 1989).

Kullanım alanlarını askeri ve sivil olmak üzere iki ana grup altında toplarsak şunları belirtebiliriz.

Tipik askeri amaçlı kullanımlar: kıyı devriyesi, amfibik saldırı, arama ve kurtarma, mayın tarama, denizaltı tarama.

Tipik sivil uygulamaları ise şunlardır: hızlı yolcu feribotu, polis ve gümrük muhafaza, yangın söndürme, yük taşıma, hususi ulaşım sivil acil ihtiyaçlar, coğrafik arazi ölçme, deniz sondajı lojistikleri, sismik kontrol.

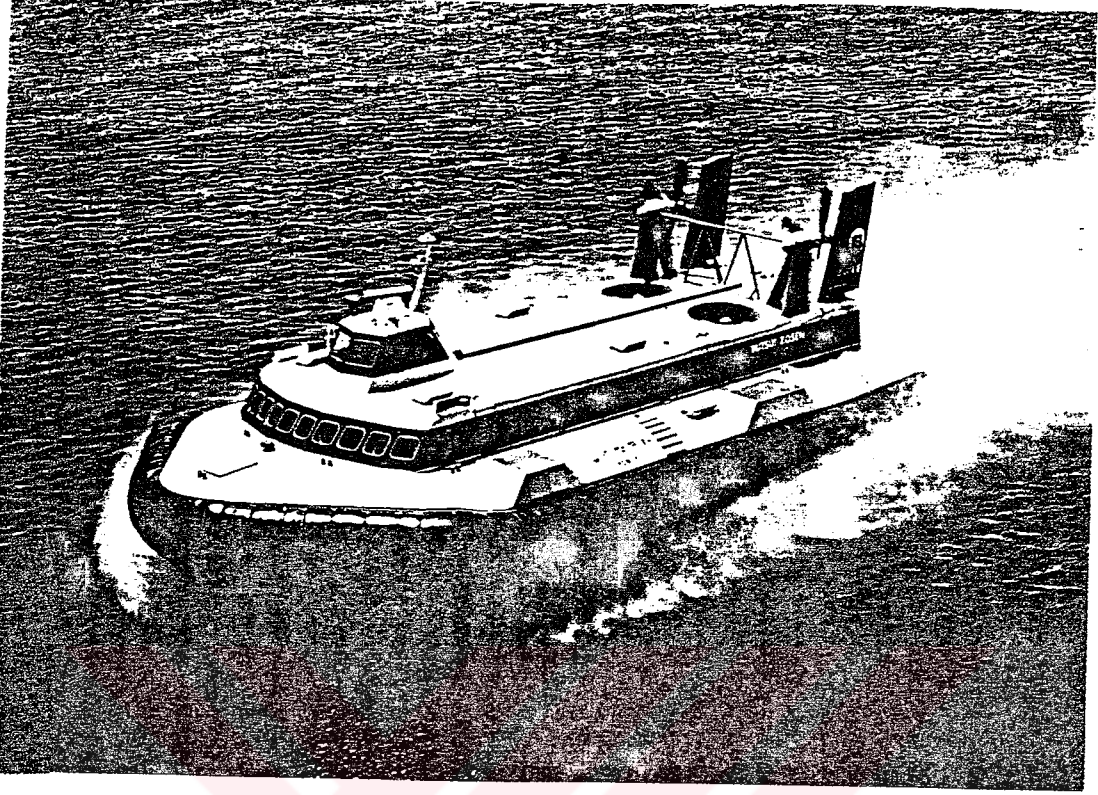
Bu gemilerin yaygın olarak hızları 30 ile 80 deniz mili (15.4-41.15 m/s) arasında olup kullanım amaçlarına bağlı olarak çeşitli kapasitelerde üretilmektedirler. Mevcut hava yastıklı taşıtların bazılarını örnek olarak vermek bunun için uygun olacaktır.

Mitsui MV-PP15. Bu Japon hava yastıklı taşıt 155 yolcu kapasitelidir. Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

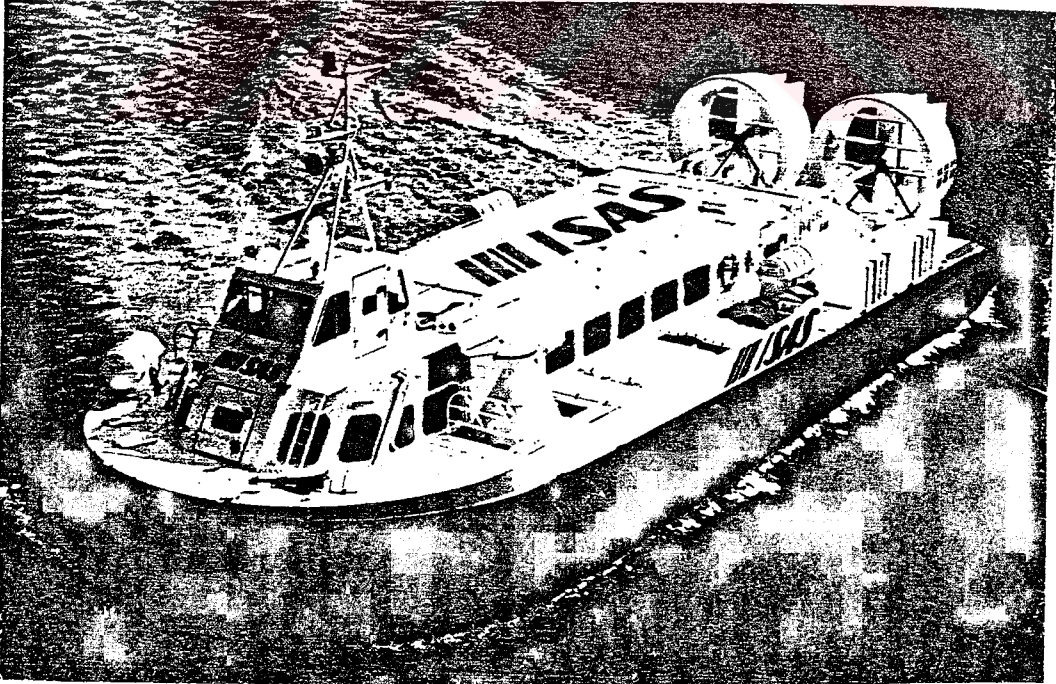
AP.1-88. İngiliz hava yastıklı taşıtı olup 101 yolcu (10 ton yük) taşıma kapasitelidir. Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

SR.N4 MK 3 (Süper 4). Bu da bir İngiliz hava yastıklı taşıtı olup 416 yolcu, 60 araba taşıma kapasitelidir ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

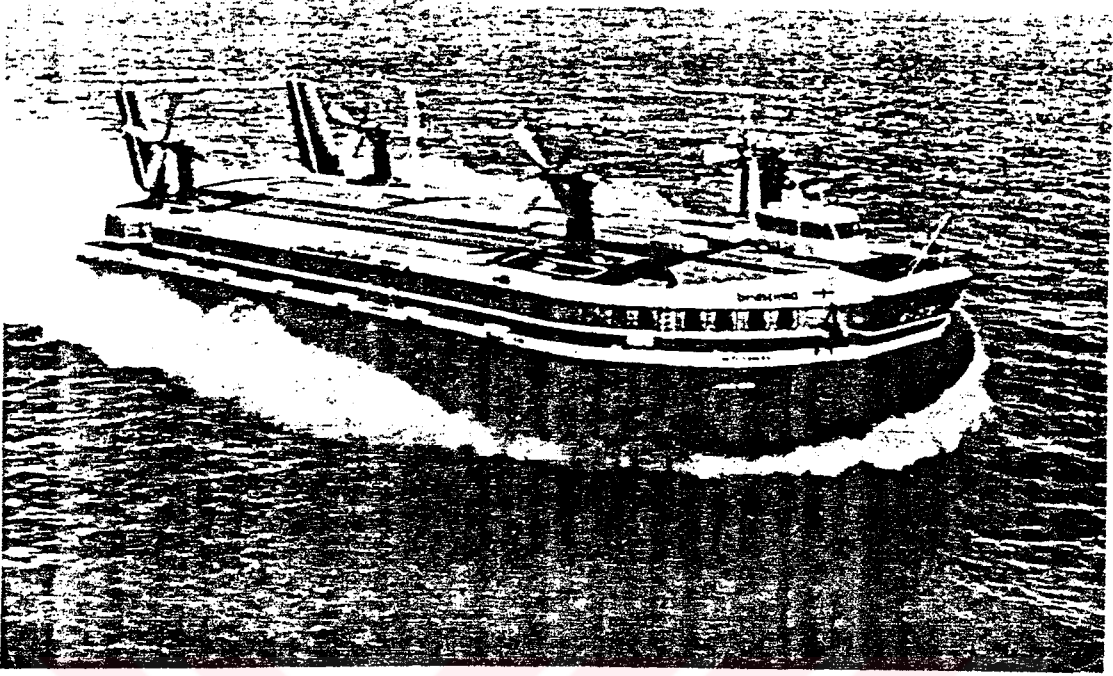
LCAC (Hava Yastıklı Çıkartma Gemisi). Şekil 5.4'te gösterilen bu taşıt Amerikan hava yastıklı taşıtı olup 54 ton yük taşıyabilme kapasitesine sahiptir.



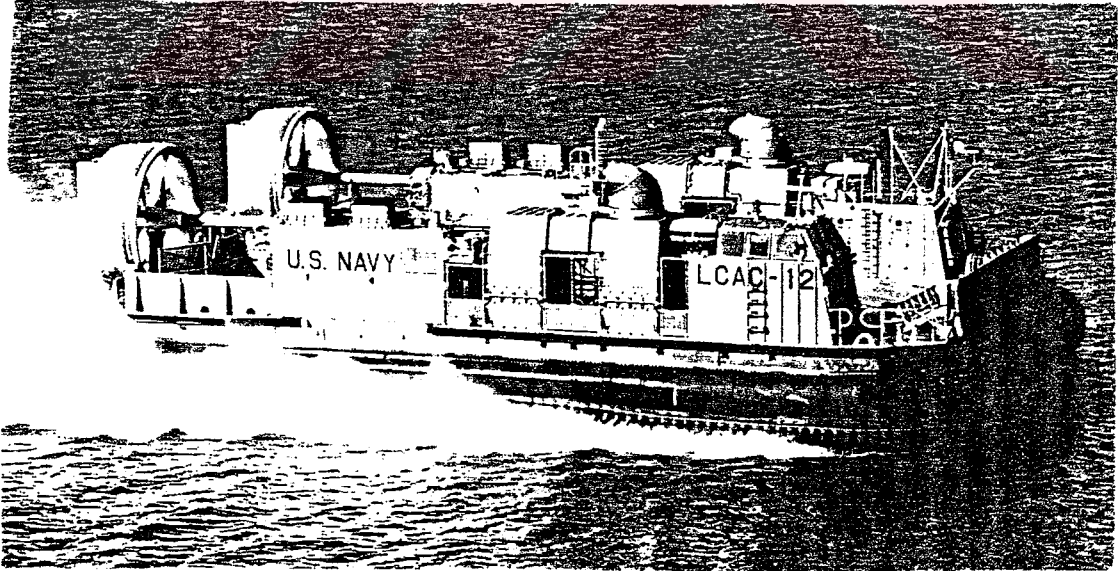
Şekil 5.1. Mitsui MV-PP15



Şekil 5.2. AP. 1 - 88



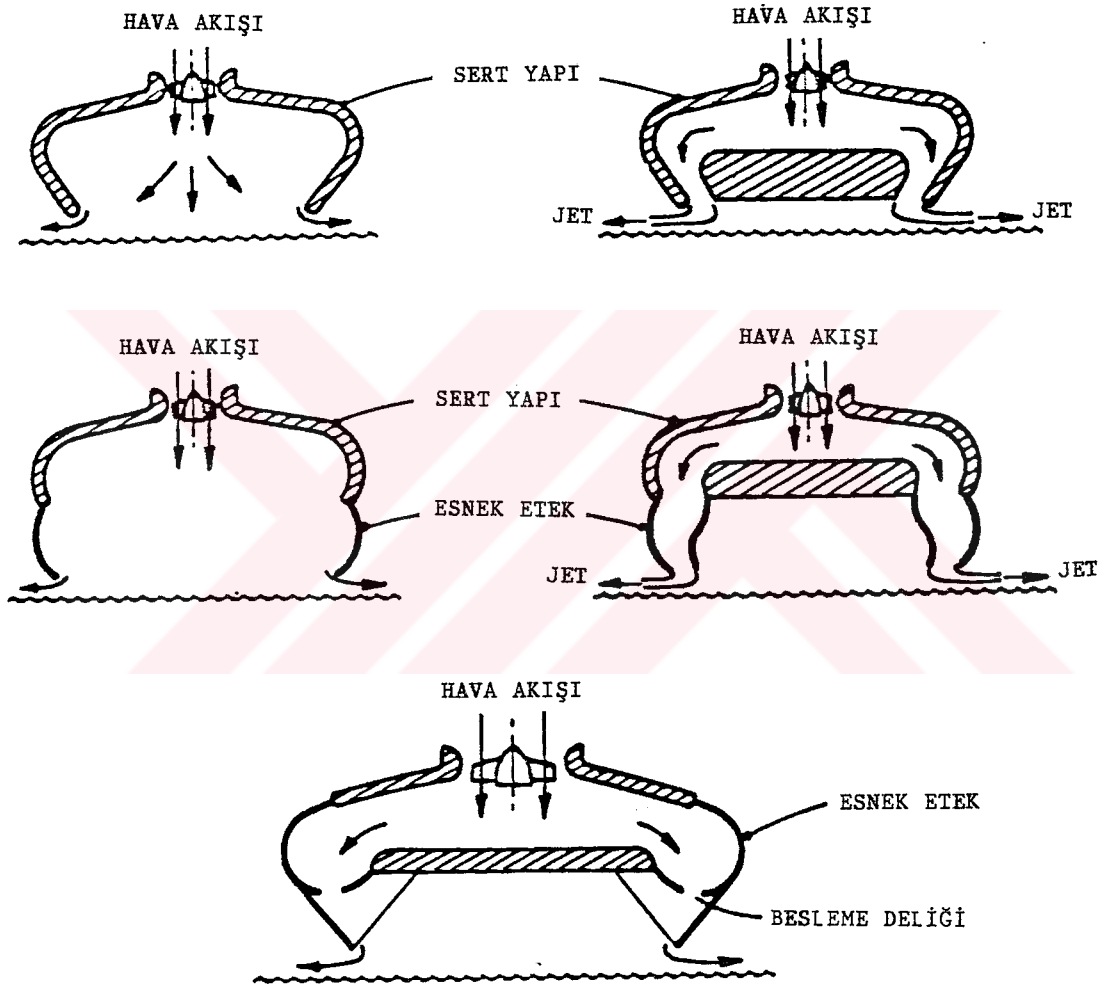
Şekil 5.3. SR. N4 MK 3



Şekil 5.4. LCAC (Hava Yastıklı Çıkartma Gemisi)

## 6. HAVA YASTIĞI PERFORMANS TEORİLERİ

Hava yastıklı taşıtların temel biçimleri çan biçimli (basınç odalı) ve çevresel jetlidir. Bu iki temel biçim ve bunların etekli halleri, ayrıca en son biçimleri olan düzeltilmiş çan biçimi (düzeltilmiş basınç odalı biçimi) Şekil 6.1.'de verilmiştir (Amyot, 1989).



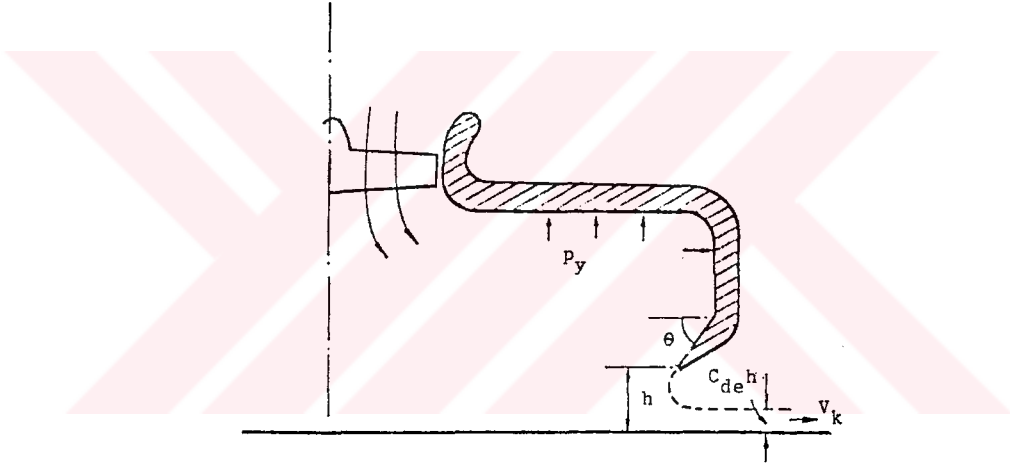
Şekil 6.1. Çan biçimli ve çevresel jetli temel biçimler:

- (a) basit çan biçimi; (b) basit çevresel jet;
- (c) esnek etekli çan biçimi; (d) esnek etekli çevresel jet
- (e) düzeltilmiş çan biçimi (esnek etekli)

Burada önce basit çan biçimli ve daha sonra da çevresel jetli üzerine teorilerden bahsedilecek, bundan sonra ise düzeltilmiş çan biçimli veya diğer bir tabirle düzeltilmiş basınç odalı üzerine bir araştırma incelenecektir.

## 6.1. ÇAN BİÇİMLİ GEMİ

Şekil 6.2 basınç odalı sistem olarak adlandırılan çan biçimli gemi boyunca bir kesiti göstermektedir. Taşınan yastık koşulunu vermek için hava bir fan vasıtasıyla yastık bölmesine basılır ve giriş havası hava yastığını oluşturmak için yayılır. Kararlı durumda yastığa basılan hava, taşıt çevresince atmosfere kaçan havayı yenileyecek miktardadır (Bulut, 1983, Elsley et al, 1968).



Şekil 6.2. Basit bir çan biçimli gemi kesiti

Şekil 6.2'yi gözönüne alıp ve yastık içinde havanın esasen hareketsiz olduğunu kabul edip Bernoulli teoreminden hava kaçış hızı,

$$V_k = \sqrt{\frac{2}{\rho_h} p_y} \quad (6.1)$$

olarak bulunur. Burada,

$V_k$  : hava kaçış hızı (m/s)

$\rho_h$  : hava yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

$p_y$  : yastık basıncı ( $\text{N/m}^2$ )

dır. Debi ise,

$$Q = V_k h l C_{de} = \sqrt{\frac{2}{\rho_h} p_y h l C_{de}} \quad (6.2)$$

ile verilir. Burada;

$Q$  : debi ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$h$  : hava kaçış yüksekliği (m)

$C_{de}$  : deşarj katsayısı

$l$  : yastık çevre uzunluğu (m)

dur. Denklem 6.2. deşarj katsayısı için bir ifade elde etmek için tekrar düzenlenirse,

$$C_{de} = \frac{Q}{h l V_k} \quad (6.3)$$

bulunur.

Şekil 6.2 de görülen duvar açısı  $\theta$  ya bağlı olarak Von Mises'in yaptığı çalışmalardan ise aşağıdaki gibi bir ampirik formül bulunmuştur.

$$C_{de} = 0.5 + 0.4\theta \cdot 10^{-3} + 0.109\theta^2 \cdot 10^{-4} - 0.494\theta^3 \cdot 10^{-7} + 0.345\theta^4 \cdot 10^{-9} \quad (6.4)$$

$\theta$  'ya bağlı olarak Harvey Chaplin'in ayrıca yaptığı bir çalışmadan ise,

$$C_{de} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{\sin \theta}{\frac{\pi + 2}{\pi - 2} (1 + \cos \theta) - \sin \theta \cos \theta} \right] \quad (6.5)$$

ifadesi elde edilmiştir.

Yastıkta  $p_y$  basıncını sağlayan "ideal yastık gücü"  $P_{y,i}$  (W),

$$P_{y,i} = p_y Q \quad (6.6)$$

ile verilir. Denklem 6.2'den,

$$P_{y,i} = p_y^{3/2} \sqrt{\frac{2}{\rho_h}} h l C_{de} \quad (6.7)$$

yazılabilir ve sabit bir yastık basıncı farz ettiğimiz için de,

$$p_y = \frac{W}{A_y} \quad (6.8)$$

yazabiliriz. Burada

$W$  : gemi ağırlığı (N)

$A_y$ : Yastık alanı (m<sup>2</sup>)

dır. Yastık alanı boşluk duvarlarının alçak ucu tarafından çevrilmiş izdüşüm alanı olarak tarif edilir.

Denklem 6.8 denklem 6.7'de yerine konularak,

$$P_{y,i} = \left( \frac{W}{A_y} \right)^{3/2} \sqrt{\frac{2}{\rho_h}} h l C_{de} \quad (6.9)$$

bulunur.

Verilen denklemler yalnızca kara durumunda muhtemel işletme hız sahası boyunca geçerlidir. Statik olarak su üzerinde ve düşük hızlarda yastık basıncı kara koşuluna göre hava kaçış yüksekliğini önemli derecede değiştiren su yüzeyinin belirgin bir deformasyonuna sebep olur. Hız artarken su deformasyonu daha az belli olur ve kara durumu için kullanılan denklemler artan bir biçimde doğru cevap verir ve böylece su üstü seyir koşuluna uygulanabilir. Doğru hava kaçış yüksekliğinin kullanılması şartıyla, hiç bir yüzey temasının meydana gelmediği yerde denklemler düzensiz bir yüzey üzerinde çalışma için de geçerlidir.

Pratikte yastığa hava temini ile ilişkili basınç kayıpları vardır. Fana sağlanacak güç taşıt bünyesindeki kanal kayıpları, hava giriş kaybı ve taşıta gelen havanın dinamik basıncı

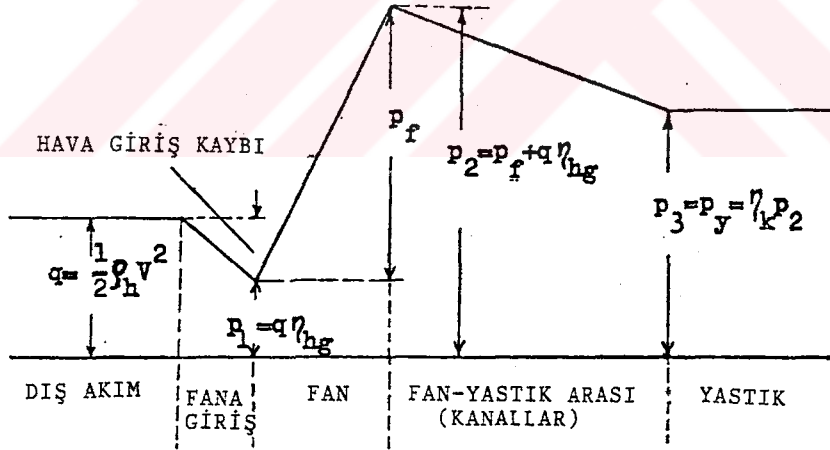
olması nedeniyle ideal güçten farklıdır (Şekil 6.3). Bundan dolayı gemiyi kaldırmak için fana sağlanacak güç daima denklem 6.9 ile verilen ideal güçten daha büyük olacaktır. Böylece kayıplar gözönüne alındığında kaldırma gücü (fana verilmesi gerekli güç):

$$P_k = \frac{1}{\eta_f} Q p_f$$

$$= \frac{1}{\eta_f} h l C_{de} \left( \frac{2}{\rho_h} \right)^{1/2} p_y^{1/2} \left( \frac{p_y}{\eta_k} - \frac{1}{2} \rho_h V^2 \eta_{hg} \right) \quad (6.10)$$

bulunur. Eşitlikte

- $P_k$  : kaldırma gücü (W)
- $p_f$  : fanın sağladığı basınç artışı (N/m<sup>2</sup>)
- $\eta_f$  : fan verimi
- $\eta_k$  : iç verim (kanal verimi)
- $\eta_{hg}$  : hava giriş verimi
- $V$  : hava yastıklı taşıt hızı (m/s)



Şekil 6.3. Basınç odalı sistemde kayıplar ve basınç değişimi

Dikey kuvvetler dengesinden, vasita toplam ağırlığının kaldırma kuvvetine eşit olduğu yazılabileceğinden,

$$W = F_k = A_y p_y \quad (6.11)$$

olur. Bu ifade de,

$$F_k = \text{kaldırma kuvveti (N)}$$

dir.

Yastık verimini bir "kaldırma faktörü" ( $K_f$ ) tanımıyla bulabiliriz. Bunun için, debisi ve hızı yastık havasınınki ile aynı olan bir jetin kaldırma kuvveti gözönüne alınır. Hava jetindeki momentum değişimi ile oluşacak "ideal kaldırma kuvveti"  $F_{k,i}$  (N),

$$F_{k,i} = \rho_h Q V_k \quad (6.12)$$

olarak yazılabilir. Kaldırma faktörü yastıkta elde edilen  $F_k$  kaldırma kuvvetinin  $F_{k,i}$  ideal kaldırma kuvvetine oranı olduğundan,

$$K_f = \frac{F_k}{F_{k,i}} \quad (6.13)$$

ve 6.2, 6.11, 6.12 eşitlikleri kullanıldığında,

$$K_f = \frac{A_y}{2hC_{de}} \quad (6.14)$$

bulunur. Ayrıca,

$$d_h = \frac{4A_y}{l} \quad (6.15)$$

şeklinde bir "hidrolik çap" ( $d_h$ ) tanımı yapılırsa,

$$K_f = \frac{d_h}{8hC_{de}} \quad (6.16)$$

yazılabilir. Burada  $d_h$ 'ın birimi "m" dir. 6.16 denklemeden şu sonuçlar çıkarılabilir:

a)  $d_h$  (yani  $A_y/l$ ) büyüdükçe,  $K_f$  artacak böylece yastık verimi artacaktır (Dairesel kesitte yastık verimi maksimumdur).

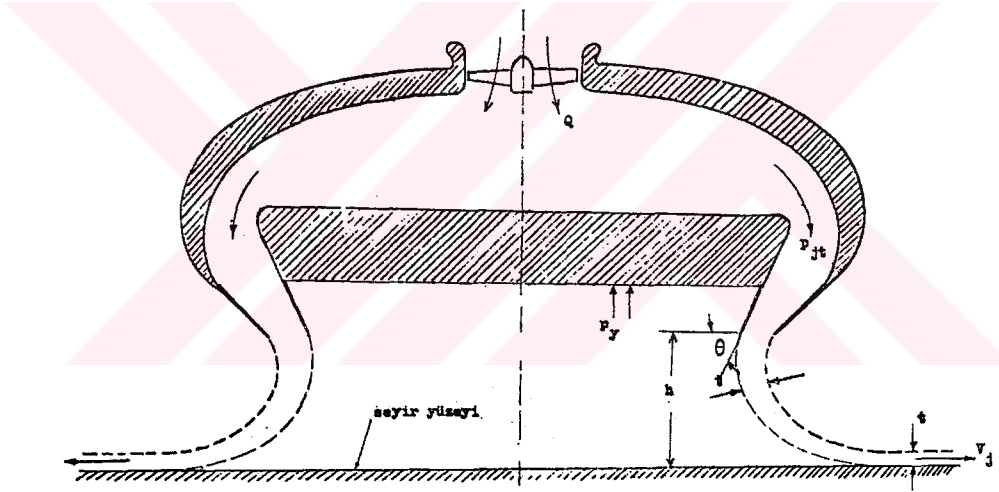
b)  $d_h$  büyüdükçe ve  $h$  azaldıkça  $K_f$  dolayısıyla yastık verimi artar.

Bu iki sonuç birleştirildiğinde, yastık veriminin  $d_h/h$  oranı ile arttığı söylenebilir.

## 6.2. ÇEVRESEL JETLİ GEMİ

Şekil 6.4 çevresel jetli sistemin şematik gösterilimini vermektedir. Sistemin esası taşıt çevresince bir nozuldan hava jetinin geminin altına püskürtülmesidir. Oluşan hava perdesi yastıktan hava kaçışını azaltır ve jetin dikey bileşeni nedeniyle kaldırmaya katkıda bulunur.

Çevresel jet üzerine bir çok teoriler türetilmiştir. Chaplin-Boehler teorisi, Stanton Jones teorileri, Pinnes teorisi (Yüksel, A.N., 1979), basit jet teorisi, Barrat teorisi, Wald teorisi (Elsley et al, 1968), Üssel teori (Bulut 1983) bu teorilerin arasındadır. Burada bunlar arasında pratiklik ve deneyle uyum açısından en kullanışlı olan "üssel teori" verilecektir.



Şekil 6.4. Çevresel jetli sistemin şematik gösterilimi

Bu teori incelenirken Şekil 6.5 göz önünde bulundurulacaktır. Ayrıca teorinin açıklanabilmesi için bir takım kabuller yapılır. Bu kabuller:

- Jet akımı iki boyutludur ve merkez hattına göre simetriktir.
- Akışkan sıkıştırılmaz kabul edilmekte, viskozite ihmal edilmektedir.
- Nozullar rijittir; etek ve taşıt bünyesine bağlantıları rijittir.

d) Nozul çıkışından jetin yere (seyir yüzeyine) temas edişine kadar jet kalınlığı ve yörüngesi sabittir. Jet belirleyen dış ceryan çizgileri çevre ile karışmaz.

e) Jet boyunca, jet statik basıncı ( $p_{jst}$ ) sınır şartlarını sağlar:  $y=0$ 'da  $p_{jst}=p_y$ ,  $y=t$ 'de  $p_{jst}=0$

f) Jet boyunca toplam jet basıncı sabittir. Diğer bir deyişle, jet kesitince statik basınç değişimi dinamik basınç değişimi ile dengelenir:

$$\frac{dp_{jst}}{dy} + \frac{dp_{jdin}}{dy} = 0 \quad (6.17)$$

g) Hava firar aralığı ( $h$ ) ile ortalama jet eğrilik yarıçapı arasında,

$$r_{ort} = \frac{h}{1 + \cos\theta} \quad (6.18)$$

bağıntısının varlığı ve bunun jet boyunca değişmediği kabul edilir. Burada,

$r_{ort}$  : Jet (kavisliği) ortalama eğrilik yarıçapı (m)

$h$  : hava kaçış yüksekliği (m)

dir.

Jet içinde, taşıt çevresince genişliği "birim" olan yeterince küçük bir akışkan elemanı gözönüne alalım. Elemana gelen basınç kuvvetleri farkı santrifüj kuvvetle dengelendiğinden,

$$(p_{jst} + dp_{jst})(r + dr)d\theta - p_{jst}rd\theta - \left(p_{jst} + \frac{1}{2}dp_{jst}\right)\left(\frac{1}{2}d\theta\right)dr^2 = \rho_h r_m d\theta dr \frac{v_j^2}{r_m} \quad (6.19)$$

yazılabilir. Burada ise,

$p_{jst}$  : jet içinde yerel statik basınç ( $N/m^2$ )

$r$  : jet içinde göz önüne alınan elemanın eğrilik yarıçapı (m)

$dr$  : jet içinde göz önüne alınan elemanın merkez doğrultusunca uzunluğu (m)

$r_m$  : jet içinde göz önüne alınan eleman merkezinin eğrilik yarıçapı (m)

$v_j$  : jet içinde göz önüne alınan elemanın hızı (m/s)

dır. "drdp" gibi ikinci mertebeden diferansiyel terimler ihmal edilirse,

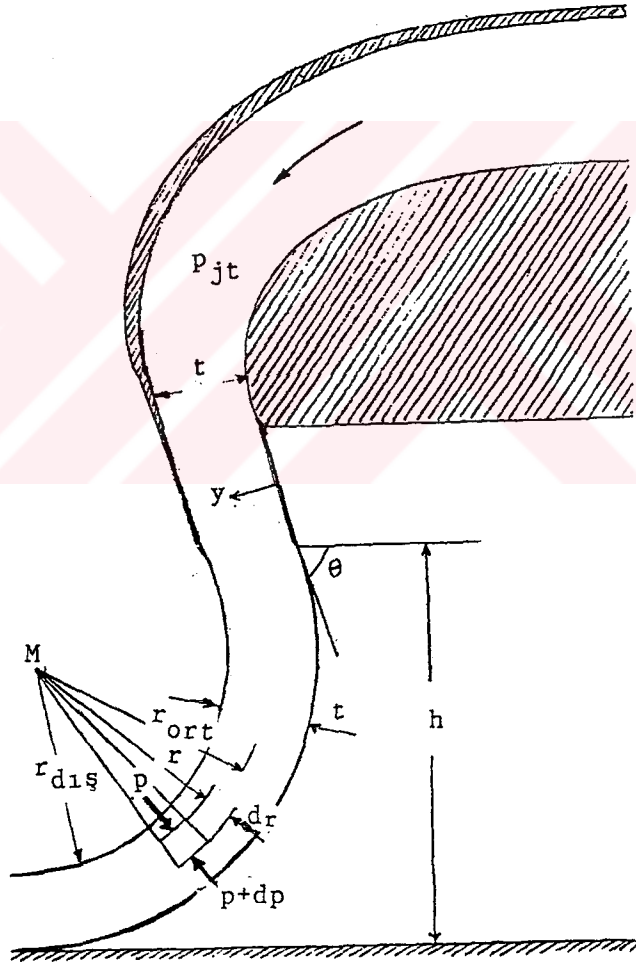
$$\frac{dp_{jst}}{dr} = \frac{1}{r} \rho_h V_j^2 \quad (6.20)$$

bulunur.

Kabul fe göre jet boyunca  $p_{jt}$  değişmez kabul edildiği için Bernoulli teoreminden,

$$p_{jt} = p_{jst} + \frac{1}{2} \rho_h V_j^2 \quad (6.21)$$

yazılabilir. 6.20 ve 6.21 eşitliklerinden,



Şekil 6.5. Jet geometrisi şematik gösterilimi

$$\frac{dp_{jst}}{p_{jt} - p_{jst}} = \frac{2dr}{r} \quad (6.22)$$

bulunur. 6.22 eşitliği integre edilir, Kabul e'deki sınır şartları kullanılırsa ve r değişimi sınırlı olduğundan eşitliğin sağ tarafındaki r'yi sabit kabul edip yerine  $r_{ort}$  kullanılırsa,

$$\frac{p_y}{p_{jt}} = 1 - e^{\left(\frac{-2t}{r_{ort}}\right)} \quad (6.23)$$

bulunur. Denklemden,

t : jet kalınlığı (m)

olup,  $r_{ort}$  için Kabul g'deki yaklaşım kullanılır.

$$x = \frac{t}{h}(1 + \cos\theta) \quad (6.24)$$

gibi boyutsuz bir "jet kalınlık parametresi" tanımı yapılırsa yastık basıncı ve jet toplam basıncı arasında,

$$\frac{p_y}{p_{jt}} = 1 - e^{-2x} \quad (6.25)$$

bağıntısı bulunur. Debi için,

$$Q = \int_{r_{dij}}^{r_{dij}+t} v_j l dr \quad (6.26)$$

eşitliği yazılabilir.  $v_j$ 'nin değeri 6.21 eşitliğinden çekilerek integrasyon yapılırsa,

$$\begin{aligned} Q &= \frac{lh}{1 + \cos\theta} \left( \frac{2}{\rho_h} p_{jt} \right)^{0.5} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{p_y}{p_{jt}} \right)^{0.5} \right] \\ &= \frac{lh}{1 + \cos\theta} \left( \frac{2}{\rho_h} p_y \right)^{0.5} \frac{1 - e^{-x}}{(1 - e^{-2x})^{0.5}} \end{aligned} \quad (6.27)$$

bulunur. Böylece, çevresel jet sistemi için, yastıkta  $p_y$  basıncını sağlayacak ideal yastık gücü,

$$P_{y,i} = p_{jt} Q = \frac{lh}{1 + \cos\theta} \left( \frac{2}{\rho_h} \right)^{0.5} p_y^{1.5} \frac{1 - e^{-x}}{(1 - e^{-2x})^{1.5}} \quad (6.28)$$

şeklinde bulunur. Bu ifadede ise,

$P_{y,i}$  : ideal yastık gücü (W)

dür. İdeal yastık gücünü minimum yapan jet kalınlık parametresi değeri, 6.28 eşitliğinin  $x$ 'e göre türevi sıfır'a eşitlenerek,

$$x = \ln 2 = 0.693$$

bulunabilir. Jet kalınlık parametresinin bu değeri de kullanıldığında minimum ideal yastık gücü için,

$$\left( P_{y,i} \right)_{\min} = 0.77 \frac{lh}{1 + \cos\theta} p_y^{1.5} \left( \frac{2}{\rho_h} \right)^{0.5} \quad (6.29)$$

yazılabilir. Bu durumda, ebatları aynı olan çevresel jetli sistem ile basınç odalı (çan biçimli) sistemin ( $l_{BO} = l_{CJ}$ ,  $h_{BO} = h_{CJ}$ ) aynı yastık basıncını oluşturmak için gerektirdikleri ideal güçler oranlanırsa, 6.9 ve 6.29 ifadelerinden,

$$\frac{\left( P_{y,i} \right)_{BO}}{\left( P_{y,i} \right)_{CJ}} = \frac{1}{0.77} C_{de} (1 + \cos\theta)_{CJ} \quad (6.30)$$

bulunur. Evvelce verilen deşarj katsayısının ( $C_{de}$ ) teorik ve pratik formüllerinden yararlanarak,  $\theta = 45^\circ$  etek açısı için basınç odalı sistem deşarj katsayısının 0.549 bulunan değeri ile çevresel jetli sistem içinde nozul-yatay açısı  $45^\circ$  alındığında, ideal kaldırma güçleri oranı,

$$\frac{\left( P_{y,i} \right)_{BO}}{\left( P_{y,i} \right)_{CJ}} = 1.217$$

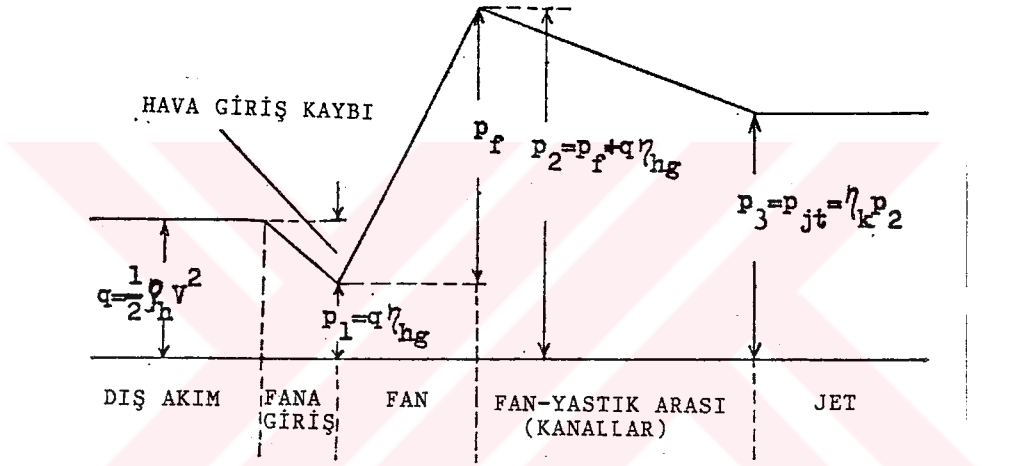
bulunur. Başka bir deyişle, basınç odalı sistemin kaldırma gücü, teorik olarak, eşdeğer bir çevresel jetli sistemden yaklaşık %22 daha fazladır.

6.28 denklemi ile verilen güç, çevresel jetli sistem için yastıkta  $p_y$  basıncını sağlamak için gerekli ideal güçtür. Oysa fan, aynı zamanda taşıt bünyesindeki kayıpları ve hava giriş kaybını da karşılamalıdır. Bu sebeple, fana verilmesi gerekli güç (kaldırma gücü):

$$P_k = \frac{1}{\eta_f} Q p_f$$

$$= \frac{1}{\eta_f} \frac{lh}{1 + \cos\theta} (p_y)^{0.5} \left( \frac{2}{\rho_h} \right)^{0.5} \frac{1 - e^{-x}}{(1 - e^{-2x})} \left[ \frac{p_y}{(1 - e^{-2x}) \eta_k} - \eta_{hg} \frac{1}{2} \rho_h V^2 \right] \quad (6.31)$$

bulunur.



Şekil 6.6. Çevresel jetli sistemde kayıplar ve basınç değişimi

Birim nozul boyu için jet momentum değişiminin

$$J = \int_{r_{dış}}^{r_{dış}+t} \rho_h v_j^2 dr \quad (6.32)$$

olduğu yazılırsa, 6.21 ve 6.22 eşitlikleri kullanıldığında,

$$J = \int_0^{p_y} r dp_{jst} \cong r_{ort} \int_0^{p_y} dp_{jst} = r_{ort} p_y \quad (6.33)$$

bulunur. Bu ifadelerde,

$J$  : birim nozul (çevre) boyu için jet momentum değişimi (N/m)

$r_{dış}$  : jet dış yüzeyinin eğrilik merkezine uzaklığı (m)

dır.

Dikey kuvvetler dengesinden, taşıt toplam ağırlığının kaldırma kuvvetine eşit olduğu yazılabileceğinden,

$$W = F_k = A_y p_y + J l \sin \theta \quad (6.34)$$

olur.

Kaldırma faktörü tanımı çevresel jetli sistem için de uygulanabilir. Bu durumda, çevre boyunca jet momentumu değişimi ( $Jl$ ), ideal kaldırma kuvvetine eşit olacağı için, kaldırma faktörü,

$$K_{f,\zeta J} = \frac{p_y A_y + J l \sin \theta}{J l} = \frac{p_y A_y}{J l} + \sin \theta \quad (6.35)$$

bulunur.  $J = r_{ort} p_y$  olduğundan ve 6.18 eşitliği ile 6.15 de gösterilen hidrolik çap ifadesi kullanılırsa, çevresel jet sistemi için kaldırma faktörü,

$$K_{f,\zeta J} = \frac{d_h}{4r_{ort}} + \sin \theta = \frac{d_h}{4h} + (1 + \cos \theta) + \sin \theta \quad (6.36)$$

olarak yazılabilir. Bu durumda, ebatları aynı olan basınç odalı ve çevresel jetli sistemin ( $d_{h,\zeta J} = d_{h,BO}$ ,  $h_{\zeta J} = h_{BO}$ ) kaldırma faktörleri oranı, 6.16 ve 6.36 dan,

$$\frac{K_{f,\zeta J}}{K_{f,BO}} = 2C_{de} \left( 1 + \cos \theta + \frac{4h}{d_h} \sin \theta \right) \quad (6.37)$$

bulunur.  $\theta = 45^\circ$  ve  $C_{de} = 0.549$  ortalama değerleri yanında  $4h/d_h$  oranı için 0.006 yaklaşık değeri kullanılırsa (dikdörtgen kesit için  $\tilde{A} = 2$  ve  $\tilde{h} = 0.001$  değerlerine karşılık),

$$\frac{K_{f,\zeta J}}{K_{f,BO}} = 1.88$$

bulunur. Buradan görüldüğü gibi, çevresel jetli sistemin basınç odalıya kıyasla, kaldırma faktörü açısından, teorik olarak, %88 mertebesinde bir avantajı vardır. Burada bahsedilen  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{h}$  değerleri,  $\tilde{A} = L_y/B_y$  ve  $\tilde{h} = h/L_y$  şeklinde ifade edilmekte olup,

- $\tilde{A}$  : yan oranı  
 $L_y$  : yastık boyu (m)  
 $B_y$  : yastık genişliği (m)  
 $\tilde{h}$  : hava kaçış parametresi

dir.

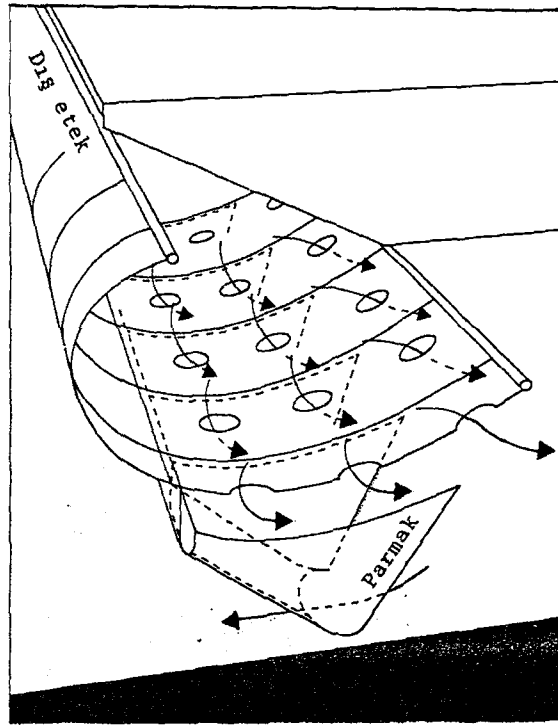
Çevresel jetli sistem bu şartlarda daha avantajlı görünmesine rağmen pratikte durum pek böyle değildir. Jet performansını korumak için nozullar rijit yapıldığında etek sürtünme direnci artmakta ve etekler daha çabuk aşınmaktadır. Nozullar esnek yapıldığında ise jet performansının teorik hesapları pek tutmadığı görülmektedir. Bu nedenle, basınç odalı sisteme yaklaşan (düzeltilmiş çan biçimli) etek yapıları geliştirilmiştir. Gelişen etek yapıları ile hava kaçış yüksekliklerinin düşük değerler alabilmesi, basit oluşu nedeniyle, gün geçtikçe basınç odalı sisteme yaklaşan bir sistemin tercih edilir olmasına yol açmıştır.

### 6.3. DÜZELTİLMİŞ ÇAN BİÇİMLİ GEMİ

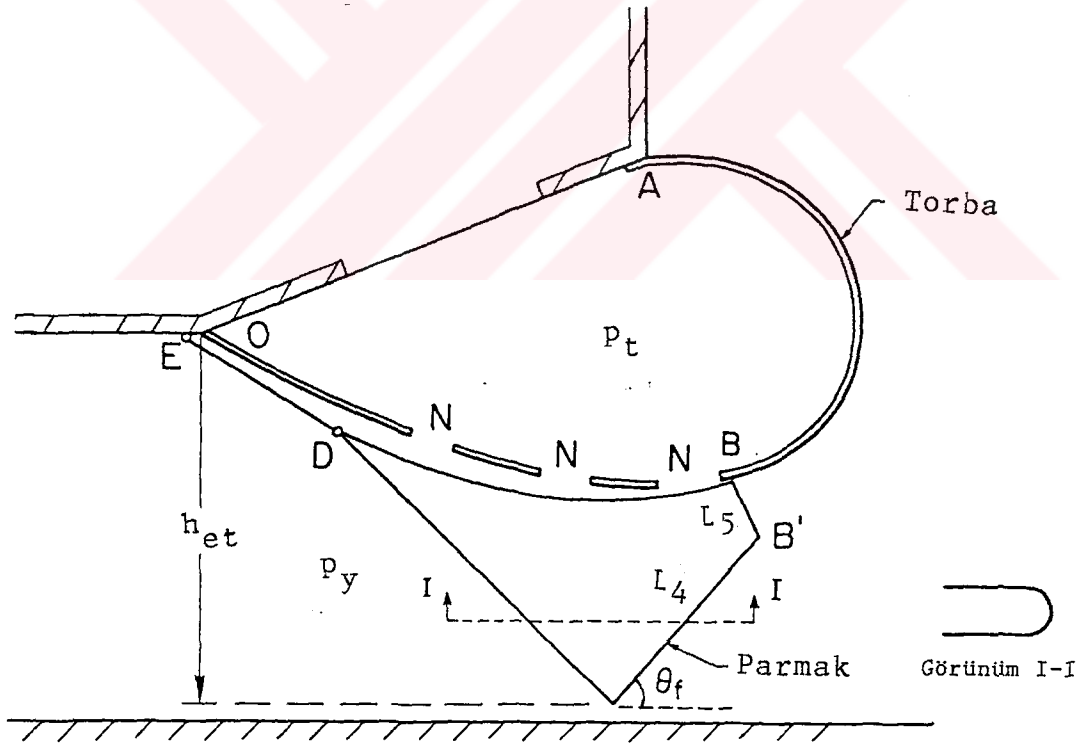
Etekler ortaya çıktıktan sonra oldukça değişimlere maruz kalmış ve gelişmiştir. Çeşitli etek sistemleri içerisinde en çok kullanılan torba-parmak'lı sistemdir. Bu sistemde aşınan parmaklar torbayı değiştirmeksizin değiştirilebilmektedir. Tipik bir torba-parmak'lı eteğin kesit görünüşü Şekil 6.7'deki gibidir (Amyot, 1989).

Burada düzeltilmiş çan biçimli olarak adlandırılan bir etek sisteminin akışkan mekaniklerini belirlemek için modelleme yoluyla yapılan bir analiz sunulacaktır.

Modelleme yoluyla yapılan analiz temel yastık akışının iki modelini, yani, çan biçimli ve çevresel duvar jetliyi içerir. Analizde Şekil 6.8'de verilen torba parmaklı etek elemanları göz önünde bulundurulacaktır.



Şekil 6.7. Tipik bir torba-parmaklı eteğin kesit görünüşü



Şekil 6.8. Torba-parmaklı eteğin temel elemanları

Kaldırma fanı tarafından sağlanan debi  $Q_f$  ( $m^3/s$ ) ve basınç  $p_f$  ( $N/m^2$ ) arasında bağıntı deneysel olarak belirlenmiş olup veriler ile bir çok terimli ifade kurulmuştur. Buna göre,

$$p_f = \sum_{n=0}^N A_{fn} Q_f^n \quad (6.38)$$

olur. Verilen bir fan için  $A_{fn}$  katsayıları hem hava yoğunluğu  $\rho_h$ 'a hemde fan devrine bağlıdır. Debi bir basınçlı oda tarafından torbaya iletilir. Torbaya giren havanın debisi  $Q_t$  ( $m^3/s$ ) ve basıncı  $p_t$  ( $N/m^2$ ) için basınç-debi bağıntısının bir çok terimli ile verilebileceği farz edilir. Bu da,

$$p_t = \sum_{n=0}^N A_{tn} Q_t^n \quad (6.39)$$

olur. Burada  $A_{tn}$  katsayılarıdır.

Torbadan yastığa akışın Bernoulli kanunu ve bir deşarj katsayısına dayanan delikli model tarafından ayarlanılacağı farz edilir. Buna göre,

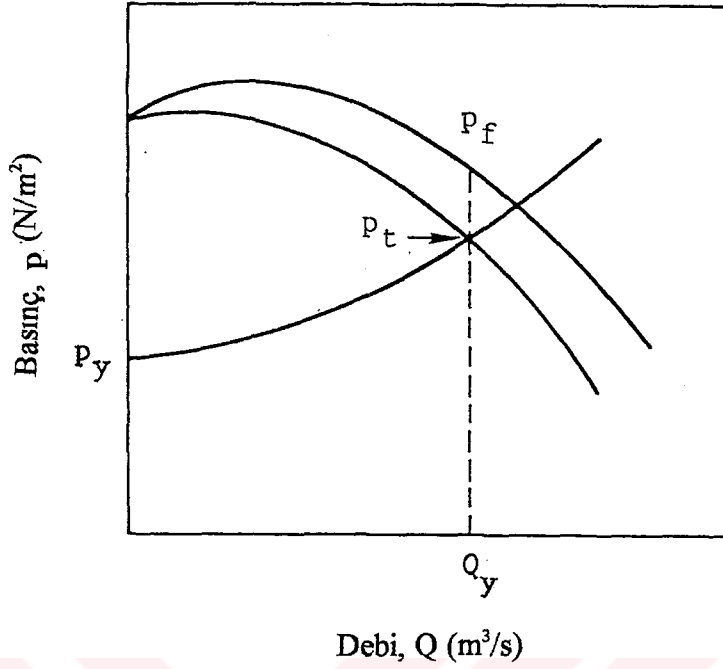
$$p_t = p_y + \frac{1}{2} \rho_h \left( Q_{ty} / A_{ef} \right)^2 ; \quad A_{ef} = C_{tde} l A_{td} \quad (6.40)$$

ifadesi elde edilir. Burada,

- $l$  : eteğin toplam çevre uzunluğu (m)
- $Q_{ty}$  : torbadan yastığa iletilen debi ( $m^3/s$ )
- $A_{ef}$  : efektif akış alanı ( $m^2$ )
- $C_{tde}$  : deşarj katsayısı

$A_{td}$  : eteğin birim çevresinde torba delik alanı ( $\frac{m^2}{m}$ ) dir.

Küçük bir model oluşturularak yapılan deneyde ölçülen  $Q_{ty}$ ,  $p_t$ ,  $p_y$  ve torbadan yastığa toplam delik alanı  $A_{ty}(m^2)$  ile denklem 6.40  $C_{tde}$  değerini hesaplamak için kullanılmıştır.  $A_{ty}$ 'nin değeri  $A_{ty}=l A_{td}$  ifadesiyle bulunur. Pratikte etekler için  $C_{tde}=0.61$  olduğu farz edilir. 6.39 ve 6.40 denklemleri birlikte yastık havası temin etme sisteminin çalışma noktasını belirler.  $p_f$ ,  $p_y$  eğrilerinin genel biçimi Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Yastık havası sisteminin tipik statik basınç-debi karakteristikleri

Yastıktan kaçan hava debisi  $Q$ 'yu hesaplamak için kullanılacak model torba açıklıklarının yerine bağlıdır ve iki durumu düşünmek gerekir. İlk durum Şekil 6.8 de gösterildiği gibi torba aralıklarının torba üzerinde dağıtılmasıdır. Bu durumda yastık bir çan biçimli gibi davranır. Hava kaçak işlemi delik gibidir. Böylece,

$$Q = h_{ef} l (2 p_y / \rho_h)^{1/2} \quad (6.41)$$

şeklinde bir ifade kullanılabilir. Burada  $h_{ef} = h_{ef}(h, \theta_f)$  olup,

$h_{ef}$  : efektif aralık (m)

$h$  : hava kaçış yüksekliği (m)

$Q$  : yastıktan kaçan hava debisi ( $m^3/s$ )

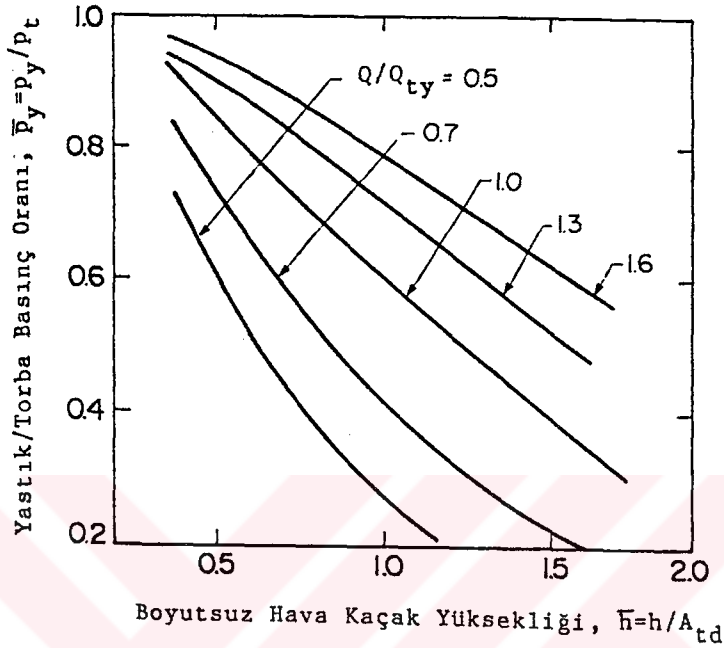
$\theta_f$  : yataya göre parmağın ön yüzünün açısı (derece)

dır. Denede ölçülen  $Q$  ve  $p_y$  değerlerinden sonra denklem 6.41'den  $h_{ef}$  bulunur.

6.40 ve 6.41 denklemleri yastık basınç oranı  $\bar{p}_y = p_y / p_t$  yi elde etmek için birleştirilebilir.  $h_{ef}$ 'i bir deşarj katsayısı  $C_{de} = h_{ef} / h$  ile yer değiştirip ve boyutsuz firar aralığı  $\bar{h} = h / A_{td}$  farz edip,

$$\bar{p}_y = \left\{ 1 + \left[ \left( C_{de} / C_{tde} \right) \left( Q / Q_{ty} \right) \bar{h} \right]^2 \right\}^{-1} \quad (6.42)$$

yazılır. Bu ifade deney verileri yardımıyla Şekil 6.10 daki gibi çizilir.



Şekil 6.10. Yastık akış işlemlerinin çan biçimli modeli için bulunan basınç-debi karakteristiği

İkinci yastık besleme durumunda Şekil 6.8'deki N deliklerinin hepsi  $L_5=0$  olduğu zaman hava parmağın içine aksın diye parmağın dış kenarı B ye yakın yerleştirilir. Böylece akış bir duvar jetli olur. Parmağa akış için duvar jetli analizleri ve farz edilen bir çevresel jet kaçak akışı için momentum dengesi kullanılarak yapılmış olan bir analiz,

$$\bar{p}_y = \left\{ 1 + 0.78 \bar{h} \left[ \left( M / M_{ty} \right) \left[ 1 + 1.3 (\bar{h})^{-1/2} \right] + \text{Cos} \theta_f - 1 \right] \right\}^{-1} \quad (6.43)$$

sonucunu vermiştir.

$M$  : yastıktan kaçan momentum akısı (N.s)

$M_{ty}$  : torba deliklerinden kaçan momentum akısı (N.s)

dır.  $M/M_{ty}$  ise,  $M/M_{ty} = f(Q/Q_{ty}, L_4/A_{td})$  fonksiyonu ile verilir. Şekil 6.11  $\bar{p}_y$ 'yi  $\bar{h}$ 'nin bir fonksiyonu olarak verir.

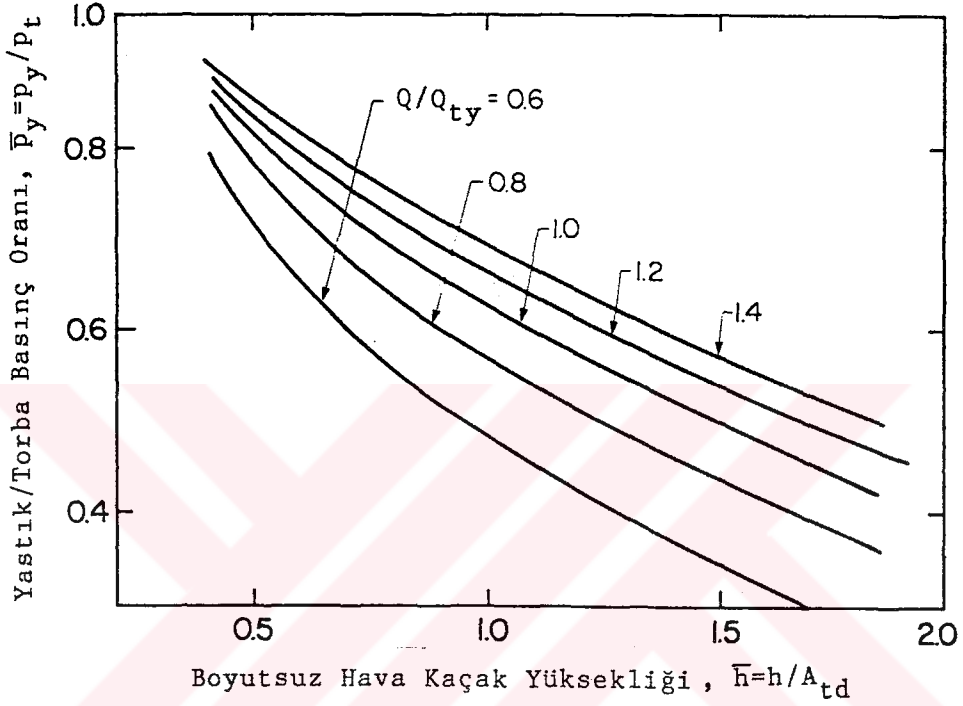
Yastığın dışına net debi  $Q_y$ , statik durumunda,

$$Q_y = Q - Q_{ty}$$

dir ve yalnızca kusursuz salınım hareketinde,

$$Q = Q_{ty} = Q_t$$

dir.



Şekil 6.11. Yastık akış işlemlerinin duvar jetli modeli için bulunan basınç-debi karakteristiği

Kaldırma işleminin mümkün olduğu kadar verimli olmasını sağlamak için torbadan yastığa olduğu gibi akış işlemleriyle ilişkili enerji kayıpları en aza indirilmelidir. Bu  $\bar{p}_y$ 'nin mümkün olduğu kadar bir'e yakın olmasını gerektirir. Şekil 6.10 ve 6.11'in karşılaştırması çan biçimli model için enerji kaybının yaklaşık olarak  $\bar{h} < 0.7$  ise veya eşdeğer olarak  $\bar{p}_y$  yaklaşık 0.7'den daha büyükse duvar jetli olanlardan daha azdır. Kaldırma için kullanılan hava debisini en aza indirmek için yastıkların çoğunda  $\bar{h}$  0.7'den daha azdır. Bu da torba deliklerinin parmak kenarlarında yoğunlaşmasından ziyade Şekil 6.8'de gösterildiği gibi dağıtılması gerektiğini belirtir.

## 7. GÜÇ ÜRETİMİ

Bugün için hava yastıklı taşıtlar sınırlı bir piyasaya sahiptir. Bu nedenle herhangi bir hava yastıklı taşıt imalatçısının yeni bir motorun yüksek dizayn ve gelişim masraflarına para harcaması çok güç olacağından, bu taşıtlarda kullanım için özel olarak tasarlanmayan, varolan motorların uyarlamaları kullanılır.

Günümüzde hava yastıklı taşıtlarda dizel ve gaz türbinleri kullanılmaktadır. Kullanılan gaz türbinleri uçak imalatından gelmekle beraber, gemi tesisleri için adapte edilmiştir. Bunlarda, sıkıştırma oranı yüksek tutulmakta ve mümkün olduğu kadar ufak ebatlı ve hafif makine elde edilmesine çalışılmaktadır. Böylece yüksek hızlı ufak tonajlı hava yastıklı taşıtlarda kullanım imkanı bulmaktadırlar.

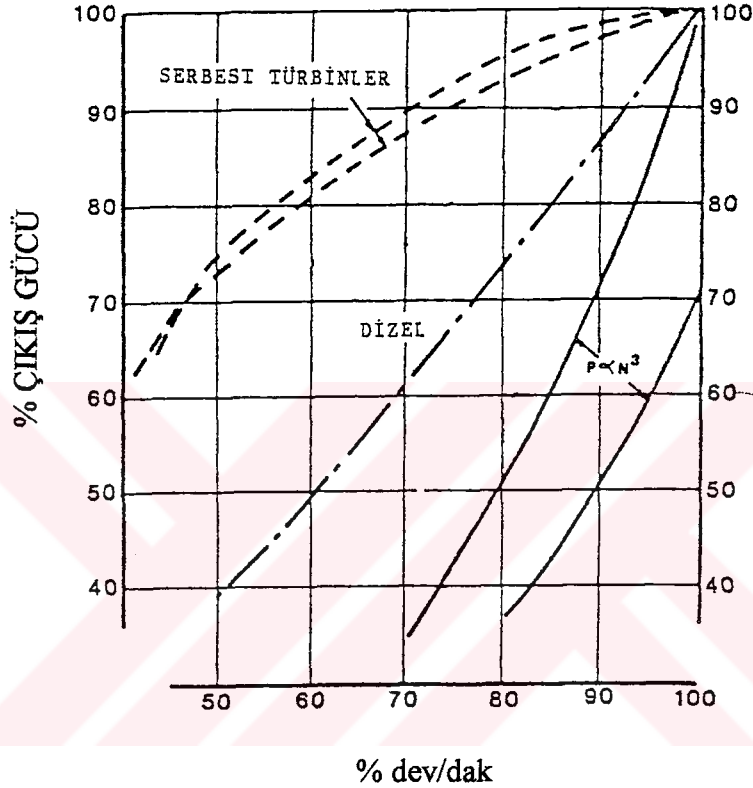
Bu taşıtlarda kullanılacak motorlar denizde tuz yüklü atmosferin korozif etkilerine maruz kalırlar ve karada, özellikle askeri uygulamalarda, kum ve toz partiküllerinden oldukça etkilenebilirler. Bu sebeple motor hava girişi sisteminde filtreler ve partikül separatörlerinin kullanımıyla bu koşullardan ortaya çıkan korozyon ve erozyon sınırlandırılabilir (Elsay et al, 1968).

İşletme ortamı motor revizyon süresini oldukça etkileyebilir ve revizyon maliyetlerini arttırabilir. Dolayısıyla bu da işletme maliyetlerine yansır.

Kullanılan gaz türbinleri serbest türbinli olarak düzenlenmiştir. Bunlar iki milli olurlar. Makina starter yardımıyla harekete getirilince hava kompresör tarafından emilmeye başlanır. Burada sıkıştırılıp basıncı yükseltilecek hava yanma odasına gönderilir. Sürekli olarak püskürtülen yakıtın, basınçlı hava ile yakılması sonucu oluşturulan gazlar birinci gaz türbinine gönderilir. Bu türbin bir kaplinle kompresöre bağlanmış olup, onu çalıştıracak gücü sağlamaktadır. Birinci türbinin terk eden gazlar ikinci gaz türbinine verilir ve orada atmosfer basıncına kadar genişletilir. Böylece fan ve pervaneyi çalıştıracak güç sağlanmış olur. İkinci gaz türbininin miline bağlı bir dişli donanım, türbinin devir sayısını düşürmek için kullanılır.

Bu şekilde güç üreten gaz türbinleri kompresörden bağımsız oluşları nedeniyle sabit devir sayısı ile çalışması gereken sistemler için son derece uygundur. Güç üreten türbin, birinci mil yardımıyla birbirlerine bağlı kompresör ve gaz türbininin devir sayısındaki değişimlerden etkilenmez.

Şekil 7.1'de hava yastıklı taşıt dizel ve gaz türbin motor tipleri için çıkış gücü ve çıkış devri karakteristikleri gösterilmiştir. Serbest türbin ile tesis edilmiş gaz türbinin daha düz güç/devir eğrisine sahip olduğu şeklindeki motor karakteristiklerinde görülebilir. Buna göre serbest türbin daha üstün olmaktadır (Amyot, 1989; Elsley et al, 1968).



Şekil 7.1. Tipik güç-dev/dak eğrileri

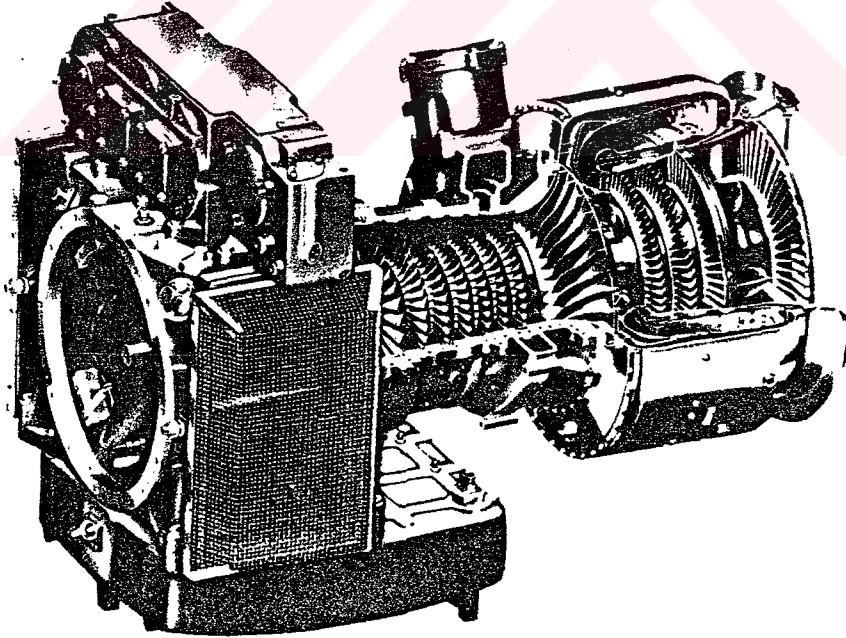
Serbest türbinli birleşik fan-pervane sistemlerinde, fan tarafından emilen gücün oranı türbinin maksimum devrinde alınan normal değer ile yaklaşık olarak sıfır değeri arasında değişebilmektedir. Bunun sebebi de serbest türbinli sistemlerin daha düz güç/devir eğrisine sahip olmasıdır (Cane, 1974).

Şekilde ayrıca emilen güç ile birlikte  $(\text{dev/dak})^3$  ile orantılı olan iki güç emme eğrisi gösterilmiştir. Sabit geometri fanlar ve pervanelerin güç emme eğrilerinin mevcut güç çizgisi altında olması gerekir. Bu genellikle her bir fana veya pervaneye bir motor olduğu sürece bir problem meydana getirmez Ancak fan-pervane motor sistemlerinin birleştiği

dizaynlar da vardır ve bu dizaynlar değişen çalışma koşulları için fan ve pervane gücü arasında değişimi sağlar. Uygulamada, muhtemelen taşıtın kalabalık su yollarında maksimum hava firar aralığı yüksekliği vermesinden kalabalık su yolları dışında daha düşük firar aralık yüksekliği verebilmesine kadar geniş bir fan devir alanı mevcut olacaktır. Böylece, motor güç çıkışını geniş bir devir alanı üzerinde değiştirmedikçe, düşük devirlerde mevcut pervane gücü az olacaktır. (Elsley et al, 1968).

şekil 7.1 gözönünde bulundurularak dizayn sefer koşulunda fanın mevcut gücün yüzde 40'ını emdiğini farz edelim. Buna göre sabit hatveli fan gücünün çizgileri olarak g emme çizgilerini tahlil edip en yukarıdaki motor eğrisini dikkate alarak gücün yaklaşık olarak yüzde 57'si ve 52'sinin bahsedildikleri sırayla dev/dak'ın %83 ve 74'nde pervane için mevcut olacağını gösterir (Elsley et al, 1968).

Hava yastıklı taşıtlarda kullanılan bir gaz türbinine örnek teşkil etmek üzere aşağıda Textron Lycoming firması tarafından üretilen TF 40 gaz türbini hakkında genel bir bilgi ve bazı spesifik veriler sunulmuştur. Bu gaz türbini tipi şekil 7.2'de görülmektedir (Trillo, R.L., 1988).



şekil 7.2. TF 40 gaz türbini

Yanma odası : Çevresel ters akış tiplidir. Çelik dış muhafaza ve iç gömleğe sahiptir. Akış yönünde püskürtmeli yirmisekiz yakıt nozulu vardır ve dört ateşleme bujisi bulunmaktadır.

Kompresör kısmı : Bir santrifüj basamağın takip ettiği yedi eksenel basamağa sahiptir. Yanma odası gövdesinin bağlandığı iki parçalı alüminyum alaşımlı stator gövde biçimindedir. Çelik alaşımlı gövdeye civatalı yedi sıra çelik stator kanatları vardır. Rotor yedi paslanmaz çelik disk ve bir titanyum çarktan meydana gelir. Basınç oranı 8.4:1 dir.

Türbin kısmı : İki tane mekanik olarak bağımsız eksenel akışlı türbin mevcuttur. İlk iki basamaklı türbin kompresörü tahrik eder. Bu türbin aynı eksenli kompresör tahrik miline fleñçli civatalıdır. İkinci iki basamaklı türbin çıkış milini tahrik eder.

Güçler:

Maksimum geçici güç : 3430 kW

Maksimum sürekli güç : 2982 kW

Yakıt tüketimi:

Maksimum sürekli güçte : 328g/kWh

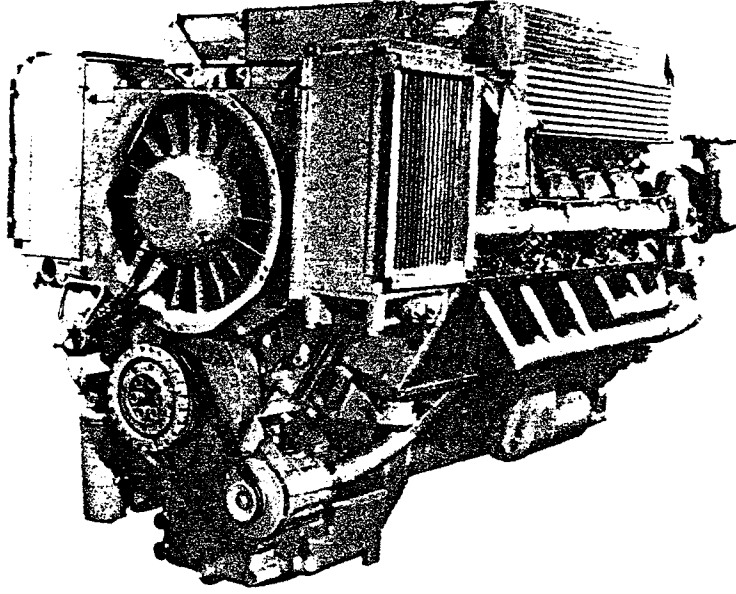
Boyutlar:

Uzunluk : 1.32 m

Yükseklik : 0.88 m

Genişlik : 1.11 m

Kullanılan dizel motorlarına ise Deutz BF12L 513C serisini örnek verebiliriz. Bu motor tipi Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Bu motorlar hakkında bazı bilgiler ve spesifik veriler ise aşağıda sunulmuştur (Trillo, R.L.,1988)



Şekil 7.3. Deutz BF12L 513C dizel motoru

Bunlar turboşarjlı, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı, dört zamanlı dizellerdir ve dolgu havası soğutma sistemine sahiptirler. "V" tipli olarak imal edilirler.

Maksimum güç: 2300 dev/dak'da 386 kW

Silindir sayısı: 12

Çap / Strok: 125/130 mm

Deplasman : 19.144 litre

Sıkıştırma oranı : 15.8:1

Devir sayısı : 2300 dev/dak

Ortalama piston hızı : 9.96 m/s

Özgül yakıt tüketimi : 205 g/kWh

Boyutlar:

Uzunluk: 1582 mm

Yükseklik: 1243 mm

Genişlik : 1196 mm

Bir hava yastıklı taşıtta kullanılacak motor seçiminde gaz türbinleri ile dizel motorları arasında bazı avantaj ve dezavantajların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunlar genel olarak ağırlık, maliyet (ilk maliyet ve çalışma maliyeti) ve

güç-dev/dak karakteristikleri olmak üzere üç grup altında incelenebilir. (Amyot, J.R.,1989)

Bir gaz türbini, bir dizel motoruna nazaran daha büyük güçler sağlayabildiğinden, elde edilen güç birimine isabet eden ağırlık ve hacimler ufak çıkmaktadır. Bu hava yastıklı taşıtlarda motorların sınırlı bir alan içersinde tasarlanması gerektiğinden ve faydalı yük açısından çok önemli bir özelliktir.

Ağırlığı göz önüne aldığımızda 0.2 kW/kg'lık bir dizel motoruyla karşılaştırıldığında 3.7 kW/kg'lık özgül güç/ağırlık oranıyla gaz türbininin daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak gaz türbinleri oldukça büyük yakıt ağırlıklarını tüketmektedirler. 1500-2200 kW alanında motorlar için dizel ve gaz türbini arasında, yakıt ağırlıklarının da dahil edilmesiyle, 10 saatten yukarı sürekli çalışmada bir denge meydana gelmektedir. Bu ise şu anki hava yastıklı taşıt büyüklükleri için mümkün değildir. Diğer taraftan, dizelin ilave özgül ağırlığı doğrudan bir faydalı yük kaybı olarak farz edilirse aynı sefer gücü için gaz türbinine göre faydalı yük kaybı artar. İlk maliyette (fiyatla) ilgili olarak dizel avantajlıdır. Ancak, bakım-tutum ve onarım giderleri açısından modern gaz türbinleri karmaşık yapıdaki dizellere göre daha avantajlıdır. Bir dizel motorunda, çalışma esnasında birbirine sürtünerek hareket eden birçok parça bulunmaktadır. Zamanla bu parçalar aşındığından bunların yedekleriyle değiştirilmeleri gerekir. Dizel motorlarında senelik yedek parça masrafları önemli bir miktar tutar. Halbuki bir gaz türbininde rotorun statora temas ettiği kısımları yataklar teşkil eder. Bu yataklar da iyi bir yağlama ile uzun ömürlü olurlar.

Şekil 7.1'de gösterildiği ve önceden açıklandığı gibi gaz türbinleri, güç/devir sayısı (dev/dak) karakteristiği açısından ise avantajlı olmaktadır.

Bir gaz türbininin bir dizel motoruna göre termik veriminin daha düşük olması ve özgül yakıt tüketiminin daha yüksek olması ise gaz türbinlerinin dezavantajlarındandır. Bazı hava yastıklı taşıt gaz türbinlerinin ve dizel motorlarının güçleri ve özgül yakıt sarfiyatları Tablo 7.1'de verilmiştir (Eyice, S., 1977; Trillo, R.L., 1988) Dizel motorlarının 204-270 g/kWh arasındaki özgül yakıt sarfiyatıyla karşılaştırıldığında (204-230 g/kWh direkt püskürtmeli motorlar, 230-270 g/kWh bölünmüş yanma odalı motorlar)gaz türbinlerinin oldukça daha büyük özgül yakıt sarfiyatına sahip oldukları görülmektedir.

Tablo 7.1. Hava yastıklı taşıtlarda kullanılan bazı motorların güç ve özgül yakıt sarfiyatları

Gaz türbini tipi	Güç	Özgül yakıt sarfiyatı	Dizel tipi	Güç	Özgül yakıt sarfiyatı
Birim	kW	g/kWh		kW	g/kWh
Proteus	3310	344	BF12L 513C	386	205
Gnome 1050	772	380	BF6L 913C	141	214
ST6T-76	1380	374			
TF-25	1864	377			
TF-40	2982	328			

## 8. GÜÇ İLETİM SİSTEMLERİ

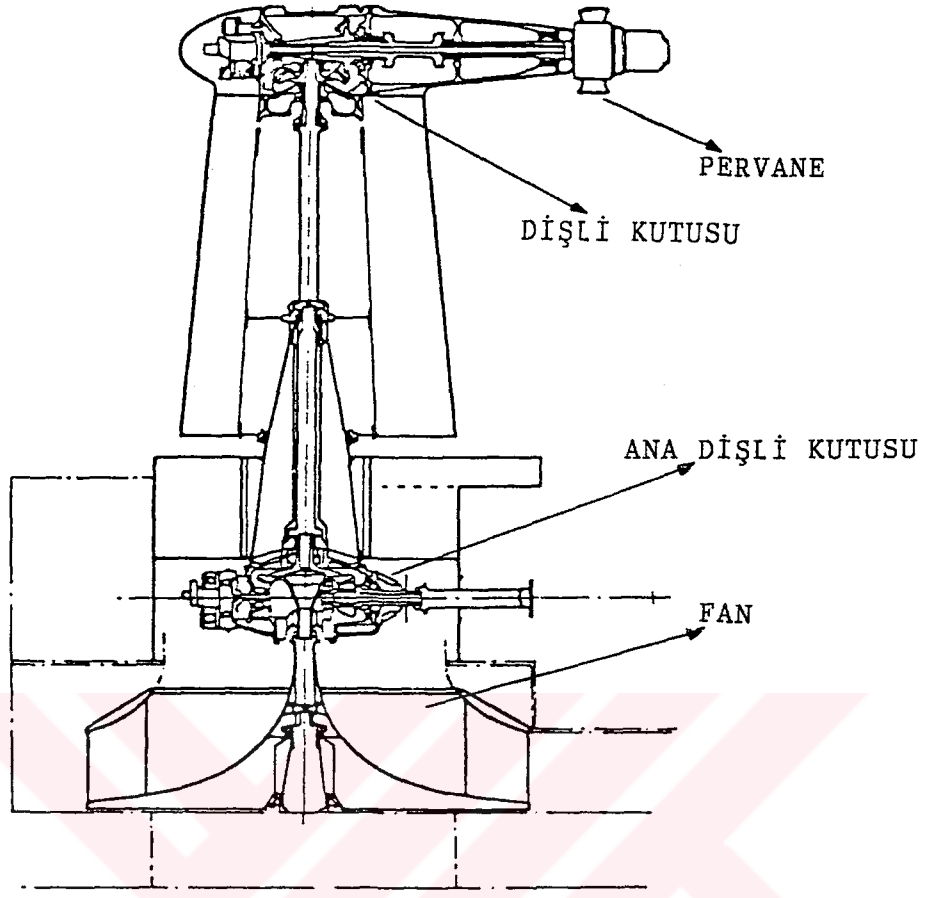
Güç iletim sistemlerine baktığımızda iki tip sistem kullanıldığı görülmektedir. Bunlar kaldırma ve propulsiyonun birleştirilmesi ile kaldırma ve propulsiyonun ayrı ayrı gerçekleştirilmesidir. (Amyot, 1989; Cane , 1974).

Öncelikle ilk durumu ele alırsak, değişen çalışma koşullarında fan ve pervane gücü arasında değişimi sağlamak ve çoklu motor tesisatlarından kaçınmak için fan ve pervane motor sistemi ile birleştirilir. Gücün değişimi sabit kanatlı bir fan ve değişken hatveli bir pervane kullanılarak sağlanır. Böylece verilen bir güç için, küçük bir pervane hatvesi açısı sistemin maksimum kaldırmayı veren yüksek devirde çalışmasına izin verir. Büyük hatve açıları pervanenin daha fazla güç emmesine sebep olur ve sistemin devir sayısı azaltılmış kaldırma ve daha yüksek ileri itme verip düşer. Sistem, motordan güç çıkışının dev/dak'ın geniş bir alanı üzerinde oldukça sabit olması gerektiğini ifade eder.

Fan ve pervane arasında güç değişim koşullarından birisi denizin sakin veya dalgalı olmasıdır. Deniz sakinse kaldırma azaltılabilir ve taşıt hızı artırılır. Kaba dalgalı denizde ise hızda azalma ile kaldırma artırılabilir ve böylece su üzerinde kalma koşulu sürdürülebilir. (Schönecht et al, 1983).

Bu sistemden sağlanan en büyük fayda her bir pervane ve fan bağlantısı için motor kullanılması olmakla beraber, eşdeğer ayrı sistemlerle kıyaslandığında transmisyonda biraz daha fazla karmaşıklık mevcuttur.

Şekil 8.1 pervane-fan birleşik sisteminin kullanıldığı bir hava yastıklı taşıtta bir transmisyon sistemini göstermektedir. Bu sistem, gücü pervane ve fan için bölen basit bir konik dişli kutusu ile motorda bir redüksiyon dişli kutusundan direkt tahrikten ibarettir. Ana dişli kutusunun ön ucunda yardımcı bir dişli kutusu yağlama ve hidrolik pompalar için güç sağlar. Yağlama pompaları basit dişli pompalardır ve yalnızca kendi ana dişli kutularına hizmet ederler. Tüm yataklar bilyalı veya makaralıdır (Amyot, 1989).



Şekil 8.1 Transmisyon donanımı

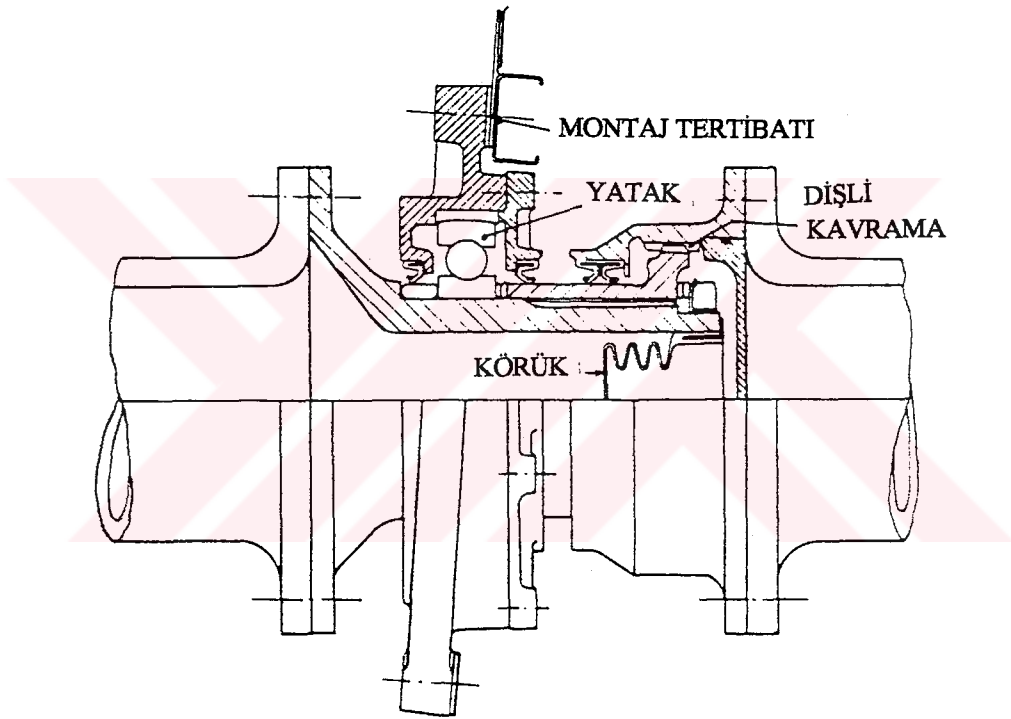
Direğin üzerinde ikinci bir konik dişli kutusu pervaneyi tahrik eder. Bu dişli kutusu aynı zamanda pervaneden gelen yapısal yükleri taşır. Yağlama ve hidrolik için güç dişli kutusunun ön ucundan alınır.

Şiddetli bükme yüklerini taşıyan pervane mili ve alanın sınırlı olduğu dikey direk milleri hariç tüm miller alüminyum alaşımıdır. Sistemde esnekliği temin etmek için bütün miller dişli kavramalarla birleştirilir.

Motordan gücün iletiminde uzun transmisyon millerinin gerektiği durumlarda gemi esnekliği düşünülerek miller tasarlanılmakta ve belirli uzunluklarda bölünmektedir. Bu yatay miller Şekil 8.2'de gösterilen üniteler tarafından desteklenir. Şekilden de

görülebileceği gibi bir dişli kavrama aksenal ve bükme serbestliklerini bir üniteye birleştirir.

Bu dişli kavrama, ikinci mil üzerinde bulunan içten dişli çark içerisine geçen bir mil üzerindeki dişli çarktan ibarettir. Miller arasında açılma hareketi meydana gelebilir. Dıştaki dişler bir milin diğerine nispeten aksenal hareketine izin vermek için yeterli uzunlukta olmalıdır. Montajla ilişkili olarak milin esnekliği gerekli olduğu için bu, mil ekseni düzlemlerinde dönmeden bağımsız olan bir gövdeye yatağı monte ederek başarılır. (Elsley et al, 1968).



Şekil 8.2. Yatak ve dişli kavramalarla birleştirilmiş yatay mil

İkinci durumda ise fan ile pervane ayrı ayrı birer motor ile direkt olarak tahrik edilir. Bunlarda transmisyonda tork konvertörleri ve esnek kavramalar kullanılmaktadır. Pervanelerin tahriğinde motordan güç alınabilmesi için dişli mekanizması kullanılabileceği gibi bir dişli kayış mekanizmasından da yararlanılabilir.

Kaldırma ve itmenin ayrı ayrı sağlanması bazı avantajlara sahiptir. Böyle yapıldığında pervanede itme istenildiği kadar artırılıp azaltılabilmekte, fanın sağladığı firar aralığı yüksekliği de istenildiği kadar bir maksimumdan bir minimum değere kolayca değiştirilebilmektedir. Bu ise sistemin daha esnek olmasını ve ayrıca daha az karmaşık olmasını sağlamaktadır.

Hava yastıklı taşıtların güç iletim sistemlerinde millerin dizaynında bir takım husulara dikkat edilmesi gereklidir. Bunların bazılarına burada temas edilecektir.

Bir milin esas görevi burulma momenti taşımaktır. Moment dizayn koşullarından belirlenir. Burulma momenti ile ilgili olarak iki durum düşünülebilir. Bunlar sabit ve geçici durumlardır. Sabit koşullar altında ilk düşünce maksimum güç durumu için olmalıdır. Birleşik sistemlerde pervane ve fan tarafından emilen güç pervane hatvesiyle değişeceğinden iki sınırlama koşulu olur. Bunlar şu şekilde açıklanabilir (Elsley et al, 1968):

1- Pervane hatvesi sıfır olduğu zaman pervane minimum güç emer. Böylece sistem, fan tarafından emilen güç ile kontrol edilen maksimum devirde çalışır.

2- Pervanede optimum hatve ile pervane maksimum gücü emer ve sistem minimum devirde çalışır.

Bu iki durum fan mili ve pervane mil tertibatı için kritik mukavemet durumları olur.

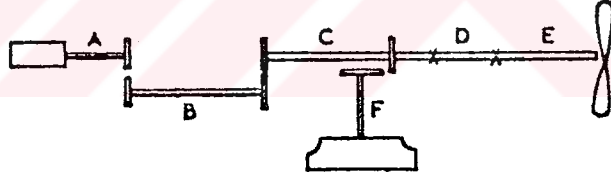
Sabit burulma momentlerine ilave olarak maksimum sabit değerleri aşan geçici burulma momentleri de olabilecektir. Bunların bazıları kullanılan motor tipine bağlıdır. Motorun veya motorların ilk hareket momentleri kontrol edilmelidir. Bu normal çalışma momentlerinden büyük olabilir.

Hava yastıklı taşıtlarda ortaya çıkan ayrıca bir durumda önemlidir. Bu durum, taşıtın yüksek ataletli ve değişken hatveli pervanesiyle birlikte bir birleşik kaldırma ve propulsiyon sistemi kullanmasının sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Sistemi yüksek devir sayısında düşünelim. Bu durumda düşük pervane hatvesi mevcuttur ve sistem yüksek enerji miktarına sahiptir. Eğer pervane hatvesi çok hızlı bir şekilde yüksek güç emme koşuluna arttırılırsa, şu halde bir bütün olarak sistem tarafından emilen güç, güç ünitesi tarafından sağlanan gücü aşar ve sistem seçilen pervane hatvesi

için sabit çalışma koşuluna kadar yavaşlar. Ancak, yavaşlama periyodunda pervane, seçilen pervane hatvesi ayarı için sabit koşuldan daha büyük bir devirde çalışır. Böylece mil daha yüksek bir moment taşıyor olur. Bu geçici durum için güç pervane tarafından sağlanır. Uygulanabilecek hatve değişim hızında bir sınırlama yapılarak meydana gelen moment sabit momenti çok fazla aşmayan bir değere azaltılır ve yüksek hatve değişim hızı için özel bir ihtiyaç olmadıkça bu en mantıklı yaklaşımdır.

Şekil 8.3 'te hava yastıklı taşıtlarda kullanılmış bir mil düzenlemesi gösterilmektedir. A,B ve C milleri önemli ağırlık taşımaz ve aynı durumla tasarlanılır. Bu durum, momentin güç ile doğru orantılı ancak devir sayısı ile ters orantılı olması sebebiyle, maksimum moment veren bir yüksek güç düşük devir durumudur. D mili maksimum pervane momenti durumuyla tasarlanılır. Pervanenin büyük asılı kütlelerinden dolayı E mili ise, pervane hatvesinin yüksek bir değerinin gemi tesirleri ile birleştiği yüksek bir gemi hızı durumunda tasarlanılır. Diğer taraftan fan için devir hariç hiç bir değişken parametre yoktur. Maksimum burulma momenti maksimum dev/dak'da meydana gelir. Fan mili F, pervane tarafından minimum gücün emildiği, maksimum dev/dak durumu ile tasarlanılmaktadır.



Şekil 8.3. Hava yastıklı taşıtlarda bir mil düzenlemesi

## 9. KALDIRMA FANLARI

Kaldırma fanı genel olarak üç temel fonksiyon sağlar. Bunları şu şekilde sınıflandırabiliriz (Amyot, 1989):

- a) Gemiyi taşımak için kafi yastık basıncı  $p_y$  üretmek.
- b) Yeterli hava debisini temin ederek performans ihtiyaçlarını karşılamak, yani, direnci azaltmak ve dalga pompalama tesirlerini karşılamak.
- c) Dinamik stabilite ihtiyaçlarını karşılamak için yastık debisine göre yastık basıncının doğru değişim hızını sağlamak.

Hava yastıklı taşıt dizaynında çeşitli fan tipleri kullanılmış olup, bunlar aksenal, santrifüj, karışık akışlı, teğetsel veya çapraz akışlı fanlardır. Ancak, bugün en çok kullanılan fanlar santrifüj fanlardır. Bu nedenle konu özellikle santrifüj fanlar için yoğunlaştırılacaktır.

Bir hava yastıklı taşıtın fan dizaynında öncelikle gerekli basınç ve debi belirlenmelidir. Bunların belirlenmesinde göz önünde bulundurulması gerekli hususlar ise aşağıda belirtilmiştir.

Şekil 9.1 de bir hava yastıklı taşıt kaldırma sisteminde basınç dağılımı gösterilmektedir. Hava yastıklı taşıtı kaldırmak için fan tarafından geliştirilmek zorunda olan toplam basınç yükselmesi  $p_f$  ( $N/m^2$ ):

$$p_f = p_y + (p_t - p_y) + K_3 q_3 + K_2 q_2 + K_1 q_1 - \varepsilon q \quad (9.1)$$

şeklinde yazılabilir.

Denklemden görüldüğü gibi fan yastık basıncı  $p_y$ 'ye eşit bir statik basınç ile birlikte etek torbasında artan statik basınç  $(p_t - p_y)$  üretmelidir. Ayrıca fan difüzör çıkışından torba içine boşaltma kaybı  $K_3 q_3$ 'ü karşılamak için kafi dinamik basınç yüksekliği üretmelidir.

$$q_3 = \frac{1}{2} \rho_h V_3^2 \quad (9.2)$$

ile ifade edilir ve burada,

$q_3$  = difüzör çıkışından torba içine yayılmamış hız yüksekliği için dinamik basınç ( $N/m^2$ )

$V_3$  : difüzör çıkışından torba içine yayılmamış hız yüksekliği (m/s)

dir.  $K_3$  faktörü geometriye bağlı olup sert yapıdan çevresel torba içine ani bir yayılma için 1 değerini alabilir. Kalan dinamik basınç yüksekliği kayıpları şunlardır.

- a) Fandan difüzör içine yayılmamış hız yüksekliğinden dolayı basınç kaybı olan  $K_2q_2$   
 b) Fan içine giriş kaybı olan,  $K_1q_1$ .

Burada  $K_1$  ve  $K_2$  fana giriş ve fandan çıkış geometrilerine bağlıdır. Ayrıca,

$q_1$  : fan girişinde yayılmamış hız yüksekliği için dinamik basınç ( $N/m^2$ )

$q_2$  : fan çıkışından difüzör içine yayılmamış hız yüksekliği için dinamik basınç ( $N/m^2$ )

tır. Bu basınçlar,

$$q_1 = \frac{1}{2} \rho_h V_1^2 \quad (9.3)$$

$$q_2 = \frac{1}{2} \rho_h V_2^2 \quad (9.4)$$

şeklinde ifade edilebilirler. Bu ifadelerde

$V_1$  : fan girişinde fan içerisine yayılmamış hız yüksekliği (m/s)

$V_2$  : fandan difüzör içine yayılmamış hız yüksekliği (m/s)

dir.

Basınç artışında bir ram kazancı  $\epsilon q$ 'dan mevcuttur.

Burada;

$\epsilon$  : giriş ram kazanç faktörü

$q$  : hava yastıklı taşıt hızından dolayı (veya rüzgar hızından) dinamik basınç yüksekliği ( $N/m^2$ )

dir.

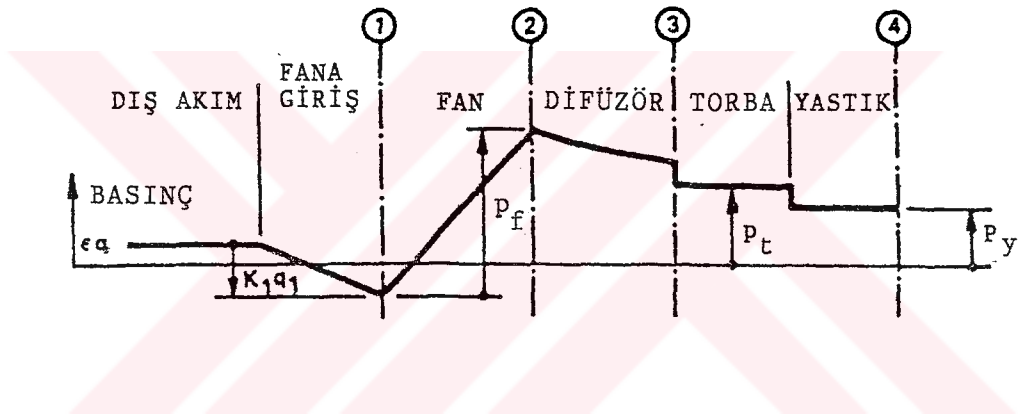
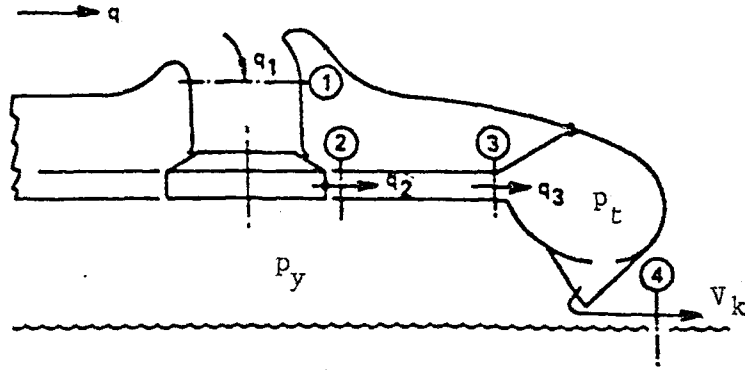
$$q = \frac{1}{2} \rho_h V^2 \quad (9.5)$$

şeklinde ifade edilir ve bu ifadede,

$\rho_h$  : havanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  : hava yastıklı taşıt hızı (m/s)

dır.



Şekil 9.1. Kaldırma sisteminde basınç dağılımı

Herhangi bir kaldırma fanı sistemi için temel denklemleri şu şekilde verebiliriz:

$$p_y = W/A_y$$

Bu eşitlikte,

$p_y$  : yastık basıncı ( $\text{N/m}^2$ )

$W$  : geminin toplam ağırlığı (N)

$A_y$  : yastık alanı ( $\text{m}^2$ )

dır.

$$Q = V_k h l$$

(9.6)

Burada,

$Q$  : debi ( $m^3/s$ )

$h$  : hava kaçış yüksekliği (m)

$V_k$  : hava kaçış hızı (m/s)

$l$  : yastık çevre uzunluğu (m)

dur.

Toplam fan verimi:

$$\eta_f = p_f Q / P_k \quad (9.7)$$

şeklinde verilir. Denklemden,

$P_k =$  kaldırma fanına sağlanmış güç (W)

$\eta_f =$  toplam fan verimi

dir.

Fan statik verimi  $\eta_s$ :

$$\eta_s = Q (p_f - q_2) / P_k \quad (9.8)$$

ile elde edilir.

Gemi çevresi civarında eşit olarak bir basınç dağılımı sürdürmeyle ilgili olarak en iyi sistemi sağlamak için fan çıkış hızını (ve böylece  $q_2$ ) en aza indirmek gereklidir; bundan dolayı, sistemin statik verimi  $\eta_s$ 'i azami hadde çıkarmak önemlidir.

Kaldırma sistemi verimi  $\eta_{ks}$  ise,

$$\eta_{ks} = \frac{(\text{Fan toplam verimi})(\text{Yastık basıncı})}{(\text{Toplam fan basıncı})} \quad (9.9)$$

olarak tarif edilir.

Bir hava yastıklı taşıt santrifüj fanının dizaynında aşağıda gösterildiği gibi bir yol izlenebilir (Gökelim, A.T., 1983).

### a) Özgül devir sayısı $n_q$ hesabı

$Q$  ve  $p_f$  değerleri bilindiği için uygun bir  $n_f$  devir sayısı seçilir.  $n_f$  devir sayısının seçiminde  $n_q$  nun santrifuj fanlar için belirlenen en iyi çalışma aralığında (E.İ.Ç.A) olmasına dikkat edilmelidir. Aynı zamanda arzulanan döner çark boyutları gözönünde bulundurulmalıdır.  $n_q$  özgül devir sayısı küçüldükçe döner çark çapı büyümektedir. Bununla beraber  $n_q$  özgül devir sayısının küçülmesiyle döner çark eni de o nisbette daralmaktadır. Bu değerlere göre;

$$n_q = n_f \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (9.10)$$

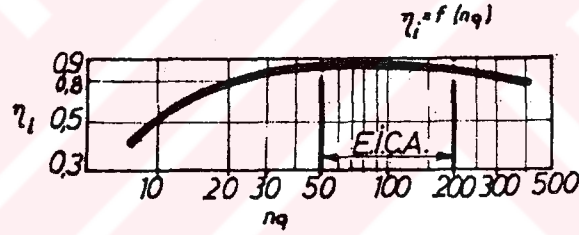
formülü ile  $n_q$  tesbit edilir. Burada,

$n_q$  : özgül devir sayısı

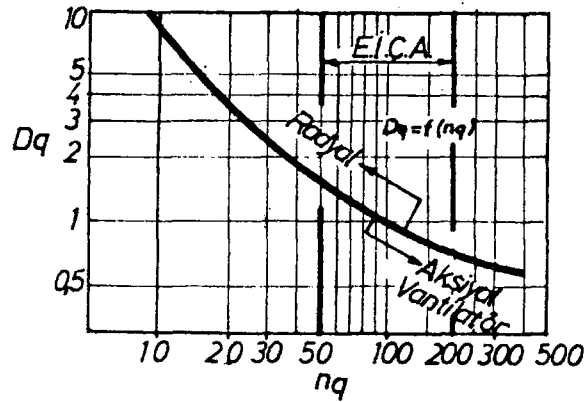
$H$  : basma yüksekliği (m)

$n_f$  : fan devir sayısı (1/dak)

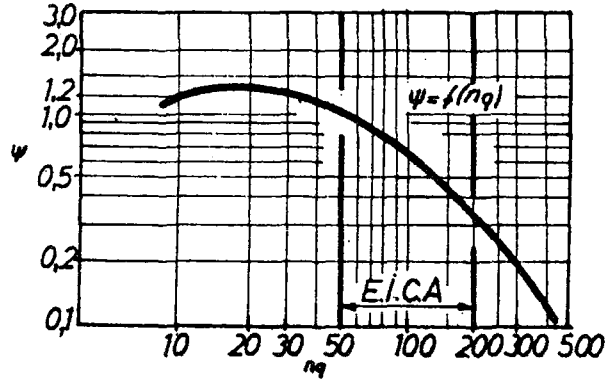
dır. Şekil 9.2, 9.3, 9.4'deki diyagramlar kullanılarak özgül çap  $D_q$ , basınç sayısı  $\psi$  ve iç verim  $\eta_i$  değerleri bu diyagramlardan bulunabilir.



Şekil 9.2.  $n_q$  'ya göre  $\eta_i$  değerleri



Şekil 9.3.  $n_q$  'ya göre  $D_q$  değerleri



Şekil 9.4.  $n_q$  ya göre  $\psi$  değerleri

### b) Çıkış çapı $D_2$ hesabı

Bulunan basınç sayısından faydalanılarak,

$$\psi = \frac{2gH}{U_2^2} \quad (9.11)$$

formülünden  $U_2$  hızı bulunur. Aynı zamanda  $U_2$  formülü,

$$U_2 = \frac{\pi D_2 n_f}{60} \quad (9.12)$$

şeklinde de yazılabileceğinden buradan  $D_2$  bulunabilir. Ancak buradan bulunan çap kati çap olmayıp sonradan tekrar değiştirilerek gerçek değeri saptanır. Bu formüllerde,

$g$  : yer çekim ivmesi ( $m/s^2$ )

$U_2$  : çıkış çevre hızı ( $m/s$ )

$D_2$  : çıkış çapı ( $m$ )

dır.

### c) Vantilatörü çalıştıran güç

$\eta_i$  değeri  $n_q$  değerine göre Şekil 9.2'deki grafikten alınıp vantilatör iç gücü hesaplanabilir.

$$\text{İç gücü: } P_i = \frac{p_f Q}{\eta_i} \quad (\text{kW}) \quad (9.13)$$

$$\text{Mil gücü: } P_k = \frac{p_f Q}{\eta_f} = \frac{p_f Q}{\eta_i \eta_m} \quad (\text{kW}) \quad (9.14)$$

Burada;

$\eta_i$  : iç verim

$\eta_m$  : mekanik verim

olup mekanik verim,

$$\eta_m = \frac{P_i}{P_k} \quad (9.15)$$

şeklinde yazılabilir. Modern (büyük) vantilatörler motora direkt olarak bağlanmakta olup dizaynda  $\eta_m \approx 0.97$  olarak alınmaktadır.

Mekanik verim vantilatörün motora direkt bağlı oluşuna, V-kayışı, dişli kutusu irtibatına göre değişir. Genellikle  $\eta_m = 0.80-0.97$  arasındadır.

#### d) Fan giriş ağzı çapı (emme çapı) $D_s$

Vantilatörün bastığı debi  $Q$  döner çarka girerken kaçak debi adı verilen  $\Delta Q$  debisini de fan içine sürüklemektedir. Bu nedenle fan içinden geçen debi  $Q' = Q + \Delta Q$  ile ifade edilmektedir. Fan içerisinden geçen  $Q'$  debisinin bir kısmı salyangoz içindeki akış yönünü değiştirerek stator ile rotor arasındaki açıklıktan tekrar fan içine daha düşük basınca doğru akmaktadır.

$Q'$  debisi,

$$Q' = \frac{Q}{\eta_v} \quad (9.16)$$

olup volumetrik verim  $\eta_v$  itinalı dizaynlarda 0.95-0.98 arasında alınabilir.

Şekil 9.5'de gösterildiği gibi  $D_s$  çapındaki alandan  $C_s$  hızı ile giren debi  $Q'$ ,

$$Q' = \frac{\pi D_s^2}{4} C_s \quad (9.17)$$

formülüyle saptanır. Şekilde düz kanat girişinin gösterildiği dikkate alınarak 9.17 formülünden  $D_s$  çekilirse,

$$D_s = \sqrt{\frac{4Q'}{\pi C_s}} \cong D_1 \quad (9.18)$$

şeklinde yazılır. Bu formüllerde,

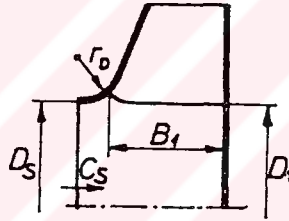
$C_s$  : emme hızı (m/s)

$Q'$  : fan kanalları içinden geçen debi ( $m^3/s$ )

$D_s$  : emme çapı (m)

$D_1$  : giriş çapı (m)

dır.



Şekil 9.5. Düz kanat girişi ve  $D_1$  giriş çapının gösterilişi

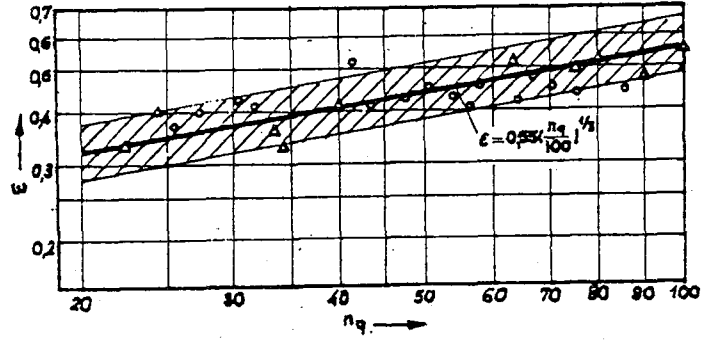
Denklem 9.18'deki  $C_s$  emme hızının hesabında Pfeiderer bağıntısından faydalanılır.

Pfeiderer'e göre,

$$C_s = \varepsilon \sqrt{2gH} \quad (9.19)$$

bağıntısı mevcuttur. Formülde  $\varepsilon$  akış sayısı olup boyutsuzdur.

Şekil 9.6'da radyal akımlı yüksek verimli vantilatörlerde  $\varepsilon$  ile  $n_q$  arasında Pfeiderer bağıntısı grafiği gösterilmiştir.



Şekil 9.6. Radyal akımlı, yüksek verimli vantilatörlerde Pfeleiderer bağıntısı grafiği

Şekil 9.6'da görüldüğü gibi,  $n_q$  değeri bilindiği için, radyal akımlı vantilatörlerde en uygun giriş hızına göre akış sayısı ,

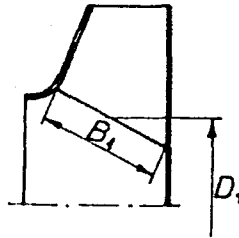
$$\varepsilon = 0.55 \left( \frac{n_q}{100} \right)^{1/3} \quad (9.20)$$

olarak saptanır.

#### e) Giriş çapı $D_1$ hesabı

Şekil 9.5'de görüldüğü gibi kanat ucu mile paralel olarak uzatılırsa  $D_s = D_1$  alınabilir. Kanadın giriş ucu, fan kapağının  $r_D$  yarıçapı ile bükülmüş kısmına dik olacak şekilde birleşir. Ancak kanadın gerisi mile paralel olarak devam eder. Kanadın girişteki eni  $B_1$  ile gösterilmiştir.

Kanat girişlerinin mil eksenlerine eğik olarak dizayn edildiği başka tür kanat girişleri de vardır. Böyle bir kanat girişi Şekil 9.7'de gösterilmiş olup burada giriş çapı  $D_1$  şekilde görüldüğü gibi  $B_1$  ortasından mil eksenine paralel çizilerek bulunur.



Şekil 9.7. Eğik kanat girişi ve  $D_1$  giriş çapının gösterilmesi

### f) Kanat giriş eni $B_1$ hesabı

Kaçak debi  $\Delta Q$  ile birlikte fan içine giren debi toplamı  $Q'$  olduğundan sürekli olan debi  $Q'$  olarak saptanır.

Sürekli olarak giren akımın ortalama hızını kanat önünde  $C_{om}$  ile belirtelim. Fan miline paralel giren hava akımının  $C_s$  giriş hızının kanat girişinde aynı olarak kalmayacağı gözönünde bulundurularak  $Q'=\pi D_1 B_1 C_{om}$  ile debi verilebilir. Buradan,

$$B_1 = \frac{Q'}{\pi D_1 C_{om}} \quad (9.21)$$

olur. Denklemden,

$Q'$  : fan içine giren debi toplamı ( $m^3/s$ )

$D_1$  : giriş çapı (m)

$C_{om}$  : kanat önünde akımın ortalama hızı (m/s)

$B_1$  : kanat giriş eni (m)

dir.

$$\frac{C_{om}}{C_s} = m \quad (9.22)$$

oranı değişik olarak alınabilmektedir.  $m>1$ ,  $m<1$ ,  $m=1$  durumlarından biri seçilebilir. Bu şekilde,  $C_{om}<C_s$ ,  $C_{om}>C_s$ ,  $C_{om}=C_s$  olarak alınabilir.

$C_s$  giriş hızı aksenal durumdan radyal duruma geçerken, yani, yön değiştirmesi anında yavaşlar, hızlanır veya aynı kalır. Bunlardan birisini kabul ederek fan dizayn etmek mümkündür.

Yapılan deneyler sonucunda, yüksek verimli fan dizaynı için Pfeleiderer tarafından  $m$  değerinin,

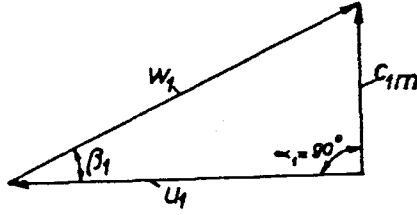
$$m = \frac{C_{om}}{C_s} = 0.5 \left( \frac{100}{n_q} \right)^{1/6} \quad (9.23)$$

olarak saptanmasının gerekli olduğu belirtilmiştir. Ancak bu sonucun sağlanabilmesi için fan ağzının  $r_D$  eğrilik yarıçapının  $r_D=0.14D_1$  şeklinde dizaynı gereklidir.

Eksenel olarak giren akım radyal hale gelirken akışın çözülmemesi için ve üst kapağa temasın  $r_D$  eğriliğinde olması için  $r_D=0.14D_1$  olarak dizayn edilmesi önemlidir.

### g) Kanat giriş açısı $\beta_1$ hesabı

Giriş radyal olup hiçbir çarpma mevcut değilse giriş üçgeni Şekil 9.8'deki gibi çizilir.



Şekil 9.8. Giriş üçgeni

Bu şekle göre  $\beta_1$  açısı,

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{C_{1m}}{U_1} = \frac{C_{om}}{\xi_1 \cdot U_1} = \frac{m \cdot C_s}{\xi_1 \cdot U_1} \quad (9.24)$$

formülü ile bulunur. Kanat önündeki ortalama meridyenel giriş hızı  $C_{om}$  olmasına rağmen kanat kalınlığından dolayı daralma olacağından kanala giriş hızı artacak ve havanın kanala giriş yerinde  $D_1$  çapında  $C_{1m}$ (m/s) hızı meydana gelecektir.  $C_{1m} > C_{om}$  olacaktır. Formülde,

$\beta_1$  : kanat giriş açısı (derece)

$U_1$  : giriş çevre hızı (m/s)

$\xi_1$  : daralma faktörü

dür.

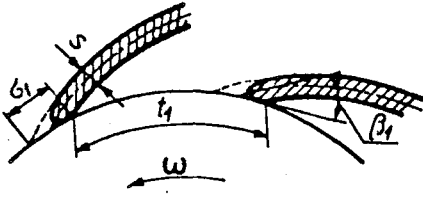
$$\frac{C_{om}}{C_{1m}} = \xi_1 \quad (9.25)$$

olarak yazılır.

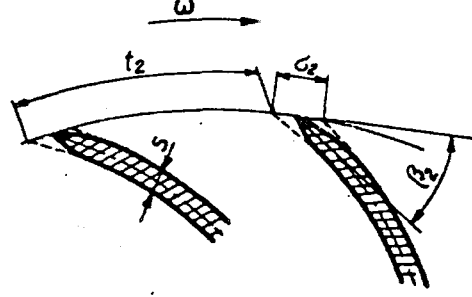
### h) Kanat kalınlığı

Genellikle vantilatörlerde kanat kalınlığı  $S$ , 3-5 mm arasında dizayn edilir.

Şekil 9.9'da girişte çevre üzerindeki kanat kalınlığı  $\sigma_1$  ile, Şekil 9.10'da çıkışta çevre üzerindeki kanat kalınlığı  $\sigma_2$  ile gösterilmiştir.



Şekil 9.9



Şekil 9.10

Bu şekillerde,

$t_1$  : girişteki kanat hatvesi

$t_2$  : çıkıştaki kanat hatvesi

$\beta_1$  : giriş açısı

$\beta_2$  : çıkış açısı

dır.

Girişte:

$$\sin \beta_1 = \frac{S}{\sigma_1} \quad (9.26)$$

Çıkışta:

$$\sin \beta_2 = \frac{S}{\sigma_2} \quad (9.27)$$

ile ifade edilir. Bu denklemlerde,

$\beta_1$  : kanat giriş açısı (derece)

$\beta_2$  : kanat çıkış açısı (derece)

$S$  : kanat kalınlığı (m)

$\sigma_1$  : girişte çevre üzerindeki kanat kalınlığı (m)

$\sigma_2$  : çıkışta çevre üzerindeki kanat kalınlığı (m)

dır.

### i) Kanat sayısı Z hesabı

Girişte ve çıkıştaki çevre üzerindeki kanat kalınlıkları sebebiyle havanın geçtiği alan daralır.

$$\text{Girişte havanın geçtiği alan} = \pi D_1 B_1 - Z \sigma_1 B_1 \quad (9.28)$$

$$\text{Çıkışta havanın geçtiği alan} = \pi D_2 B_2 - Z \sigma_2 B_2 \quad (9.29)$$

Daralma faktörü:

$$\xi_1 = \frac{\pi D_1 B_1 - Z \sigma_1 B_1}{\pi D_1 B_1}$$

$$\xi_1 = \frac{\pi D_1 - Z \frac{S}{\sin \beta_1}}{\pi D_1} = 1 - \frac{ZS}{\pi D_1 \sin \beta_1} \quad (9.30)$$

olur.  $\sigma_1$  değerinin kullanımıyla ise;

$$\xi_1 = \frac{\pi D_1 - Z \sigma_1}{\pi D_1} = \frac{t_1 - \sigma_1}{t_1} = 1 - \frac{\sigma_1}{t_1} \quad (9.31)$$

olarak yazılır. Burada  $t_1$ ,

$$t_1 = \frac{\pi D_1}{Z} \quad (9.32)$$

ile ifade edilir ve

$t_1$  : girişteki taksimat hatvesi (m)

Z : kanat sayısı

dır.

$\beta_1$  açısını ve kanat kalınlığını kabul ederek,  $\sigma_1$  9.26 denkleminde bulunabilir. Ayrıca denklem 9.31'deki  $\xi_1$  kabul edilerek  $t_1$  ön kabullerden hesaplanabilir.

$\beta_1$  açısının ön kabulü ile  $\beta_2 = \beta_1 + 10^\circ$  olarak dizayn edilen geriye dönük kanatlı radyal akımlı vantilatörler yüksek verimli olurlar.

Bununla beraber, yapılan deneyler sonucunda,  $\beta_2 > 25^\circ$  olduğu zaman  $\beta_2 = \beta_1 + 10^\circ$  alınması gerektiği belirlenmiştir.

Kanat sayısı:

$$Z = K \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \sin \beta_m \quad (9.33)$$

ile bulunur. Burada,

$$\sin \beta_m = \sin \left( \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \right) \quad (9.34)$$

olarak yerine konursa ve Pfleiderer'e göre  $K=3-8$  olarak alınırsa (saç kanatlar için):

$$Z = (3-8) \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \sin \left( \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \right) \quad (9.35)$$

şeklinde kanat sayısı saptanır.

Kabul edilen  $\xi_1$  ile hesaplanan  $\xi_1$  arasında fazla bir fark bulunursa hesabı geri dönerek tekrarlamak gereklidir.

### k) Kanat çıkışı

$U_2$  hızının hesabı :

$$U_2 = \frac{C_{2m}}{2 \operatorname{tg} \beta_2} + \sqrt{\left( \frac{C_{2m}}{2 \operatorname{tg} \beta_2} \right)^2 + gH_{\text{thoo}}} \quad (9.36)$$

Burada,

$C_{2m}$  : kanat çıkışında meridyen hız bileşeni (m/s)

$H_{\text{thoo}}$  : sonsuz kanat sayısındaki basma yüksekliği (m)

dir. Bu formülle  $U_2$  'nin bulunabilmesi için  $H_{\text{thoo}}$  'un bulunması gereklidir. Bu ise,

$$H_{\text{thoo}} = \frac{H}{\mu \eta_h} \quad (9.37)$$

olduğundan  $\eta_h$ 'in belirlenmesini gerektirir. Formülde  $\mu$  basma yüksekliği azalma faktörü olup boyutsuzdur. İç verim  $\eta_i$  ve hidrolik verim  $\eta_h$  arasında

$$\frac{\eta_h}{\eta_i} = 1.05 - 1.1 \quad (9.38)$$

bağıntısı vardır. Buradan bir kabul yapıp Şekil 9.2'deki grafikten  $n_q$  değerine göre  $\eta_i$  verimi alınır ve 9.38 bağıntısından  $\eta_h$  hesaplanır.

Pfleiderer'e göre,

$$\mu = \frac{C_{3u}}{C_{2u}} = \frac{1}{1 + \frac{2\psi'}{Z[1 - (D_1/D_2)^2]}} \quad (9.39)$$

dir. Burada,

$\psi'$  : Pfeiderer düzeltme sayısı

$C_{3u}$  : belirli kanat sayısında çevre hızı yönündeki mutlak hız bileşeni (m/s)

$C_{2u}$  : sonsuz kanat sayısında çevre hızı yönündeki mutlak hız bileşeni (m/s)

dir.

$$\psi' = (0.65-0.85) \left( 1 + \frac{\beta_2}{60} \right) \quad (9.40)$$

şeklinde yazılır. Bu formülde  $\beta_2$  nin konulması ve bulunan sonucun 9.39 formülünde yerine konulmasıyla  $\mu$  bulunur. Hem  $\eta_h$  hem de  $\mu$ 'nın 9.37 denkleminde yerine konmasıyla da  $H_{th\infty}$  bulunur.

Kanat çıkışında hızın meridyen bileşeni  $C_{2m}$  (m/s) ile kanat girişinde hızın meridyen bileşeni  $C_{1m}$  (m/s) arasında ise,

$$\frac{C_{2m}}{C_{1m}} = 0.6 - 0.8 \quad (9.41)$$

bağıntısı mevcut olup buradan bir kabul yapılarak  $C_{2m}$  bulunabilir.

Gerek denklem 9.38 ve gerekse denklem 9.41'deki değerler dikkatli seçilmelidir.

$n_q < 40$  değerleri için küçük sayısal değerler  $n_q = 80-100$  değerleri için büyük sayısal değerler seçilmelidir.

Bulunan  $C_{2m}$  değeri denklem 9.36'daki yerine yazılır.  $H_{th\infty}$  da bilindiği için  $U_2$  bulunur.  $U_2$  hızı bulunduğundan sonra,

$$D_2 = \frac{60U_2}{\pi n_f} \quad (9.42)$$

yazılarak çıkış çapı bulunur.

9.36 denklemiyle bulunan  $U_2$  hızı ile  $U_2 = \sqrt{\frac{2gH}{\psi}}$  formülünden bulunan  $U_2$  hızlarının birbirine eşit veya yakın çıkması gerekir. Eğer çıkmazsa yeni bulunan  $D_2$  kesim çapa göre geri dönerek yeniden hesaplama yapmak gereklidir.

#### l) Kanat çıkış eni $B_2$ hesabı

Kanat çıkış eni  $B_2$  (m),

$$B_2 = \frac{Q'}{\pi D_2 C_{2m} \xi_2} \quad (9.43)$$

şeklinde bir formül ile bulunur. Burada  $\xi_2$  çıkıştaki daralma faktörü olup ,

$$\xi_2 = \frac{t_2 - \sigma_2}{t_2} = 1 - \frac{\sigma_2}{t_2} = \frac{\pi D_2 - Z\sigma_2}{\pi D_2} \quad (9.44)$$

ile ifade edilir. Burada ise,

$t_2$  : fan çıkışındaki taksimat hatvesi (m)

olup,

$$t_2 = \frac{\pi D_2}{Z} \quad (9.45)$$

dir.

#### m) Kanat çizimi

Kanat çiziminde en çok kullanılanlardan birisi tek eğrilik yarıçaplı, diğeri de çift eğrilik yarıçaplı kanat çizimidir. Burada bu iki yöntem verilecektir.

### m.1) Tek eğrilik yarıçaplı kanat çizimi

Önce  $r_1$  ve  $r_2$  yarıçapları yatay ve düşey eksenlerle çizilerek giriş ve çıkış daireleri belirtilir. Giriş dairesinin ordinat eksenini ile kesiştiği bir noktadan  $\beta_1$  açısı alınır. Bu açının diğer ikinci kenarı uzatılır.

Eğrilik yarıçapı,

$$R = \frac{r_2^2 - r_1^2}{2(r_2 \cos\beta_2 - r_1 \cos\beta_1)} \quad (9.46)$$

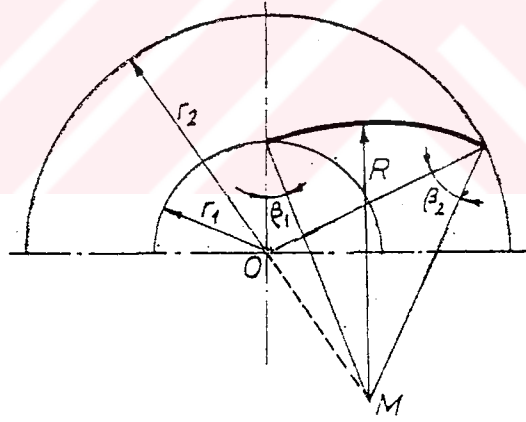
denklemleri ile bulunur. Burada,

$R$  : eğrilik yarıçapı (cm)

$r_1$  : döner çark giriş ağzı yarıçapı (cm)

$r_2$  : döner çark çıkış yarıçapı (cm)

dır.  $\beta_1$  açısından uzatılan kenar üzerinde eğrilik yarıçapı  $R$  kadar pergel açılarak  $M$  noktası merkez olmak üzere bir daire çizilir (Şekil 9.11).



Şekil 9.11. Tek eğrilik yarıçaplı kanat çizimi

$R$  yarıçaplı dairenin çıkış dairesini kestiği noktaya kadar kanat devam eder.  $R$  yarıçaplı dairenin çıkış dairesi ile kesişme noktası, eğrilik yarıçapı merkezi olan  $M$  noktası ile birleştirilerek, bu kenar  $\beta_2$  açısının bir kenarı olmak üzere  $\beta_2$  açısı çizilir.

### m.2) Çift eğrilik yarıçaplı kanat çizimi

İki ayrı eğrilik yarıçapı kullanılır.

$$\text{Birinci eğrilik yarıçapı } R_1 = \frac{r_1^2 - r_2^2}{2(r_1 \cos \beta_1 - r_2 \cos \beta_2)} \quad (9.47)$$

$$\text{İkinci eğrilik yarıçapı } R_2 = \frac{r_2^2 - r_1^2}{2(r_2 \cos \beta_2 - r_1 \cos \beta_1)} \quad (9.48)$$

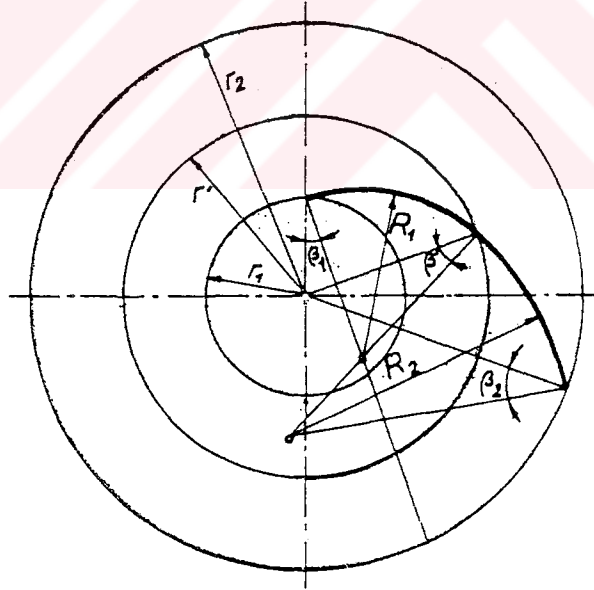
$\beta$  açısının lineer olarak arttığı kabul edilerek dizayn yapıldığında bu denklemlerde,

$$r' : \text{ortalama yarıçap} = \frac{r_1 + r_2}{2} \quad (\text{cm}) \quad (9.49)$$

ve

$$\beta' : \text{ortalama açı} = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \quad (\text{derece}) \quad (9.50)$$

dir. Şekil 9.12'de gösterildiği gibi çizim yapılır.



Şekil 9.12. Çift eğrilik yarıçaplı kanat çizimi

## 10. PROPULSİYONUN SAĞLANMASI

Hava yastıklı taşıtlar gelişim tarihi içerisinde çeşitli propulsiyon yöntemleri kullanmakla beraber günümüz büyük hava yastıklı taşıtlarında uçak pervaneleri kullanılmaktadır. Kullanılan pervaneler kanallı veya serbest pervaneler olabilir (Elsley et al, 1968).

Burada pervane performansına faydalı bir rehber olması sebebiyle momentum teorisinden elde edilmiş verim ve itme katsayılarından bahsedildikten sonra bazı pervane boyutsuz katsayıları verilecektir.

Gerek serbest pervane gerekse kanallı pervane için oluşturulmuş itme katsayısı  $C_T$  formülü,

$$C_T = \frac{2V_j}{V} \left( \frac{V_j}{V} - 1 \right) \quad (10.1)$$

şeklinde olup,

$C_T$  : itme katsayısı

$V$  : hava yastıklı taşıt hızı (m/s)

$V_j$  : jet hızı (m/s)

dır.

Basit momentum teorisinden serbest pervanenin maksimum ideal verimi,

$$\eta_p = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + C_T}} \quad (10.2)$$

ve kanallı pervane için,

$$\eta_p = \frac{4}{3 + \sqrt{1 + 2C_T}} \quad (10.3)$$

olarak bulunur. Formüllerde  $C_T$ ,

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho_h V^2 A} \quad (10.4)$$

dir ve  $\eta_p$  aynı zamanda,

$$\eta_p = \frac{TV}{\text{mil gücü}} \quad (10.5)$$

şeklinde de yazılabilir. Bu formüllerde,

T : itme (N)

V : hava yastıklı taşıt hızı (m/s)

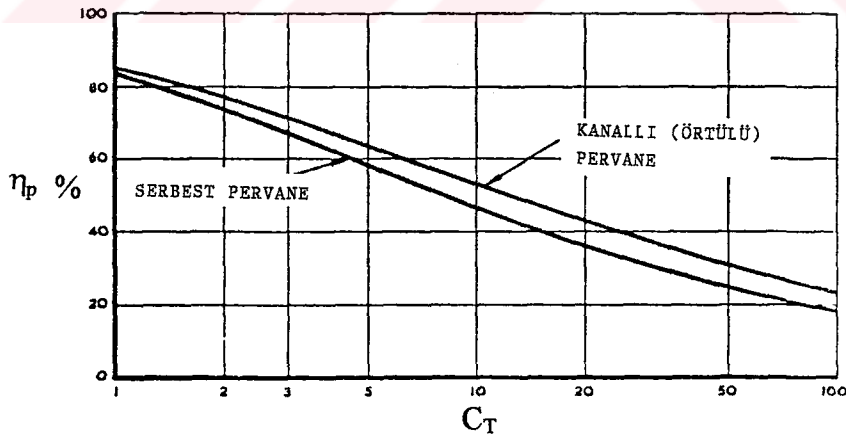
A : pervane disk alanı (m<sup>2</sup>)

$\rho_h$  : hava yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

$\eta_p$  : pervanenin maksimum ideal verimi

dir.

Serbest ve kanallı pervaneler için bu formüllere göre elde edilmiş ideal verimlerin karşılaştırılması Şekil 10.1'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde  $C_T$  'nin düşük değerlerinde seçim için verimde çok az bir fark olduğu görülmektedir.



Şekil 10.1. İdeal verimlerin karşılaştırılması

Yukarıdaki ifadelerin göz önüne alınması verimin  $C_T$ 'de azalma ile, yani pervane alanı ve hızda artma ile nasıl düzeldiğini gösterir. Bu da pervanelerin büyüklüğünün sebebini açıklar.

Momentum teorisi pervane performansına faydalı bir rehber sağlamasına rağmen kanat parametrelerinin etkisini göz önüne almamaktadır.

Performans hesaplarında kullanılmış imalatçı pervane kartları çoğunlukla 0.7 yarıçap merkezinde  $\beta$  pervane pal açısıyla  $C_P$ ,  $C_T$  ve  $J_p$  boyutsuz katsayılarından eğriler biçiminde verilir. Bunlar sırasıyla,

$$C_P \text{ güç katsayısı} = \frac{P_p}{\rho_h n_p^3 D_p^5} \quad (10.6)$$

$$C_T \text{ itme katsayısı} = \frac{T}{\rho_h n_p^2 D_p^4} \quad (10.7)$$

$$J_p \text{ ilerleme oranı} = \frac{V}{n_p D_p} \quad (10.8)$$

olup burada,

$T$  : pervane itmesi (N)

$\rho_h$  : hava yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

$n_p$  : pervane devir sayısı (1/s)

$D_p$  : pervane çapı (m)

$P_p$  : pervane gücü (W)

$V$  : hava yastıklı taşıt hızı (m/s)

dır. Pervane verimi ise,

$$\eta_p = \frac{TV}{P_p} = \frac{C_T J_p}{C_P} \quad (10.9)$$

olur.

## 10.1. GEOMETRİK HATVE

Şekil 10.2'de gösterildiği gibi pervane dönme merkezinden  $r_p$  yarıçap uzaklığında bir pervane pal kesitini dikkate alalım. Kesitte kesikli çizgilerle gösterilen sıfır taşıma çizgisi olup bozuntusuz akım doğrultusuna nazaran taşımanın oluşmadığı kesit konumunu vermektedir. Bu iki doğrultu arasındaki açı  $\beta$  olup, pal elemanının geometrik hatvesi  $h_p$

$$h_p = 2\pi r_p \text{tg}\beta \quad (10.10)$$

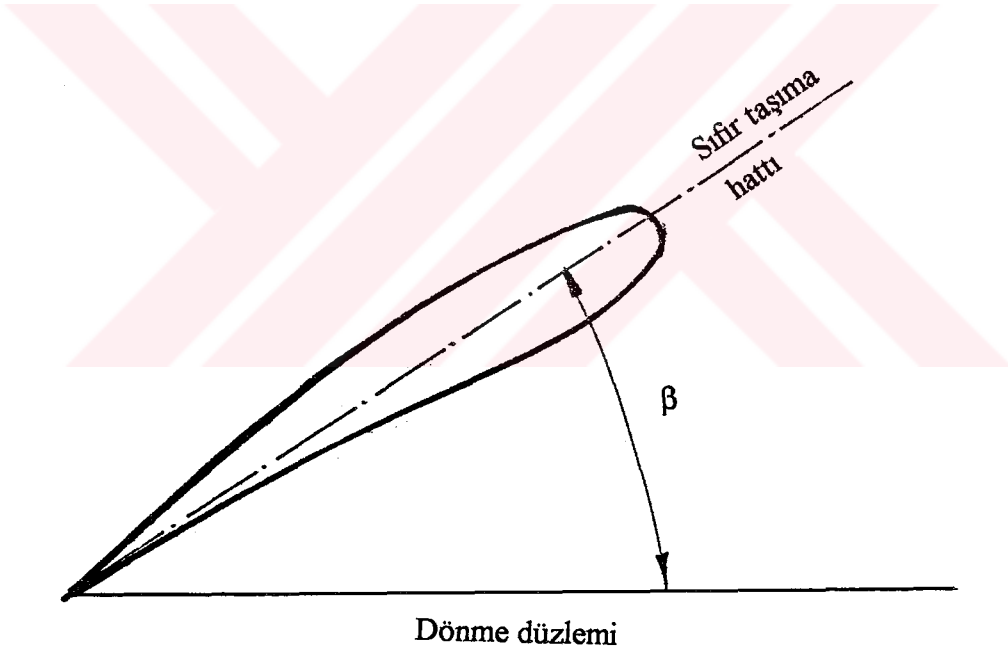
olarak tanımlanır. Burada ,

$h_p$  : geometrik hatve (m)

$r_p$  : pal elemanının pervane dönme merkezinden uzaklığı (m)

$\beta$  : geometrik pal açısı (helis açısı) (derece)

dır. Bir çok pervanede pal boyunca geometrik hatve sabittir. Buna karşılık geometrik hatvenin kesitten kesite değişmesi hallerinde, palın %70'teki pal kesiti geometrik hatvesi, pervane boyunca sabit bir değer olarak alınır (Yılıkcı, Y.K., 1983).

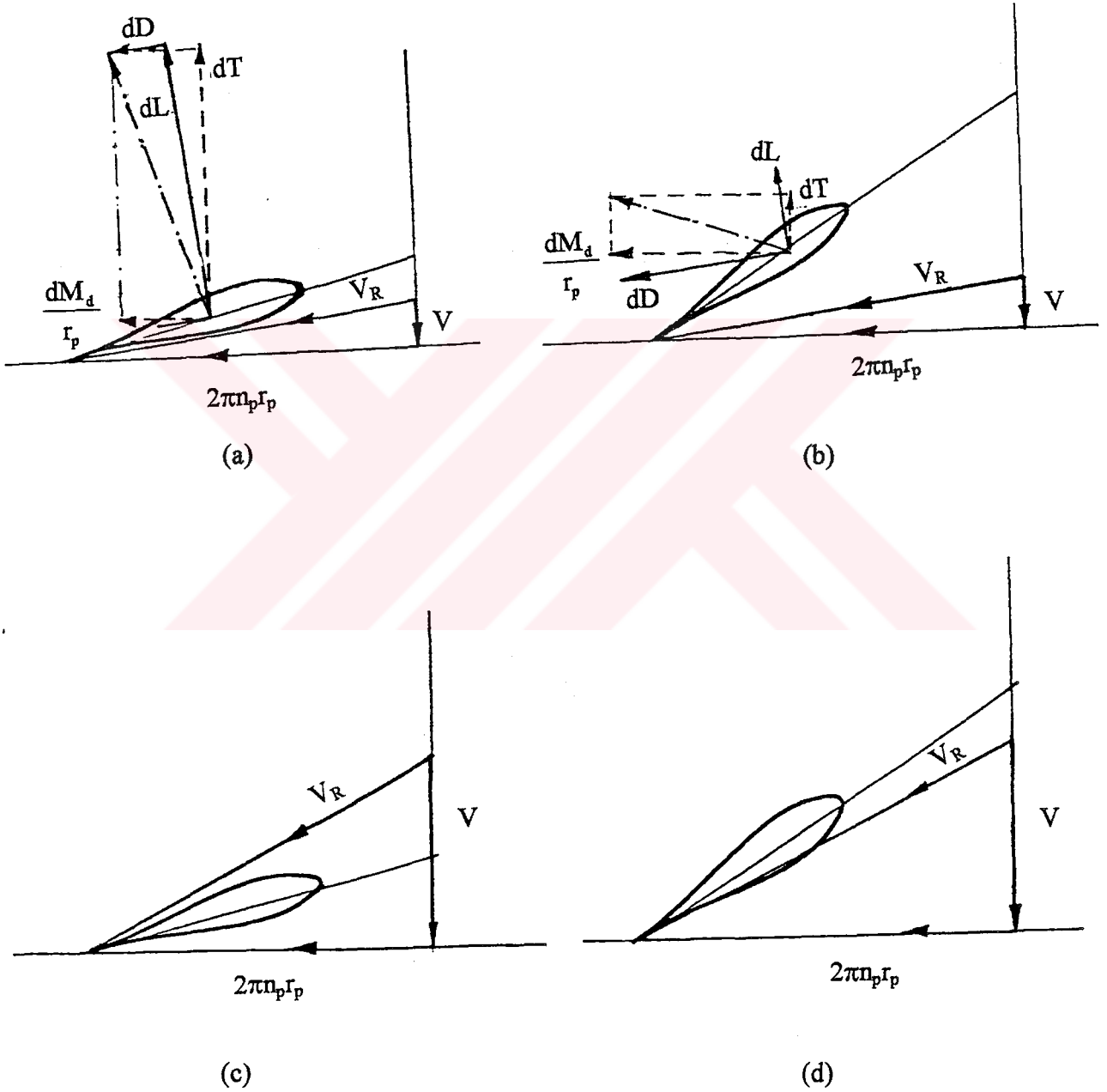


Şekil 10.2.  $r_p$  yarıçapında geometrik pal açısı

Geometrik hatve pervanenin geometrisi ile ilgili bir parametre olup akım şartlarına bağlı değildir. Bazı pervanelerde ise pervane pallerinin pervane rotorları üzerinde konumunu değiştiren mekanizmalar yardımıyla geometrik hatve değiştirilebilir.

## 10.2. GEOMETRİK HATVENİN PERVANE PERFORMANSINA ETKİSİ

Şekil 10.3'te görüldüğü gibi, sadece helis açıları birbirinden farklı olan pervane yarıçapının %70'inde bulunan iki pal kesitini gözönünde bulunduralım. Şekil 10.3.(a)'da küçük helis açılı, 10.3.(b)'de ise büyük helis açılı pal kesitleri görülmektedir.



Şekil 10.3. Pervane performansına geometrik hatvenin etkisi

Uçaklarda kalkış hareketinin başlangıcında uçak hareketsiz halde iken, dolayısıyla hava yastıklı taşıtlarda seyir başlangıcında taşıt hareketsiz durumdayken, pal kesitine gelen bileşke hız  $V_R$ ; dönmeye bağlı hız  $2\pi n_p r_p$  ile giriş akımı hızı  $V$ 'nin bileşkesidir. Küçük helis açılı kesitin uygun bir hücum açısında çalıştığı görülmektedir. Başka bir deyişle, kesitin sıfır taşıma hattının bozulmamış akımla yaptığı açı ile  $V_R$  bileşke hızının bozulmamış akım ile yaptığı açı arasındaki fark küçük olup, pal profili uygun bir taşıma verebilecek laminer akım bölgesinde çalışmaktadır. Bu nedenle de  $dL$  taşıma büyük, aynı zamanda  $dD$  direnç değeri de istenildiği gibi küçüktür. Sonuç olarak  $dT$  itmesi fazla  $dM_d$  döndürme momenti küçük olduğundan pervane verimli çalışmaktadır.

Diğer taraftan, büyük helis açısında  $V_R$  bileşke hızı ile sıfır taşıma hattı arasındaki açı büyük olduğundan, büyük hücum açısında çalışan profilde küçük taşıma ve büyük direnç meydana gelmektedir. Sonuçta bileşkede itme küçük olup döndürme momenti büyüktür. Bu nedenle büyük helis açılı kesit verimsiz çalışmaktadır.

Yüksek uçuş hızlarında (hava yastıklı taşıtta seyir hızlarında) ise durum farklıdır. Şekil 10.3.(c) ve (d)'de bu durumdaki sırasıyla küçük ve büyük helis açılarındaki iki özdeş pal kesiti gösterilmiştir. Önceki paragrafta ele alınan nedenle büyük helis açılı kesit daha verimli çalışmakta buna zıt olarak ta küçük helis açılı kesit tamamen istenmeyen bir durum olarak negatif taşıma vermektedir.

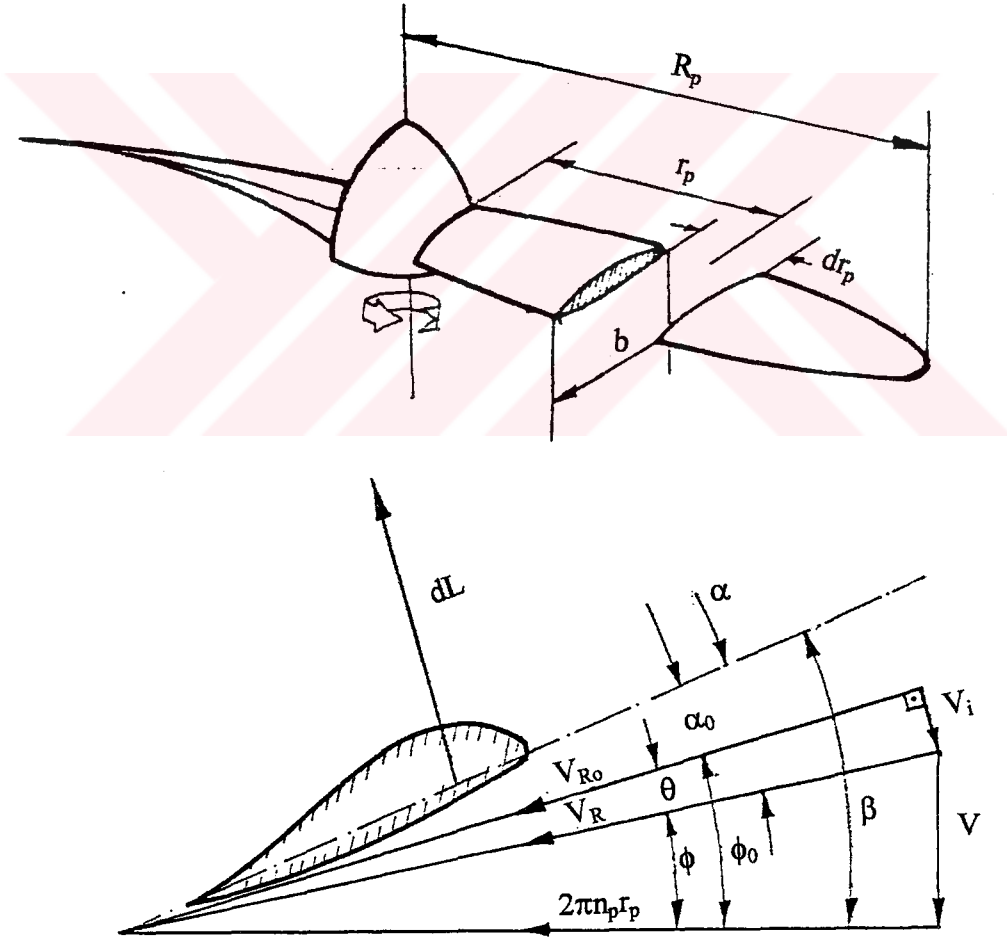
Genel bir sonuç olarak seyir başlangıcında ve düşük hızda verimli olabilen bir helis açısının veya hatvesinin, yüksek seyir hızında verimsiz olacağı görülmektedir. Bu mahzuru ortadan kaldırmak için değişgen hatveli pervaneler geliştirilmiştir. Bu tip pervanelerde pallerin her biri rotor üzerinde özdeş olarak hareket ettirilebilirler. Böylece seyir başlangıcında ve düşük hızda pervane palleri küçük helis açılı konuma getirilmekte yüksek seyir hızında ise büyük helis açısı ile geniş bir çalışma bölgesi aralığında pervane verimi sabit tutulabilmektedir.

### 10.3. GİRDAP TEORİSİ

Bu teori indüklenmiş hızları hesaba katmakta olup oldukça hassas sonuçlar vermektedir.

Sonlu bir kanat etrafındaki indüklenmiş akım kanat taşımasının meydana getirdiği girdabın sonucudur. Buna benzer olarak, bir pal elemanına etki eden indüklenmiş akım da pal elemanı taşımasının meydana getirdiği girdabın sonucu olmaktadır. Sonuç olarak, herhangi bir pal elemanından geçen indüklenmiş akım, pal elemanının meydana getirdiği taşıma ile ilgilidir.

Şekil 10.4'de bir pervane genel görünüşü ve pal elemanı gösterilmiştir. Bunları gözönünde bulundurarak bir inceleme yapmaya çalışalım. Hava pal elemanı etrafında akmaya başladıkça  $dL$  taşıma reaksiyonu sonucu şekilden de görüldüğü gibi  $V_R$  hızına dik  $V_i$  indüklenmiş akım meydana gelir. İndüklenmiş hız bağıl hız, olan  $V_R$  hızını  $\theta$  kadar kaydırır. Böylece pal elemanına etkiyen yeni bağıl hız  $V_{R0}$  olur. İndüklenmiş hız ve dolayısıyla  $\theta$  taşımanın fonksiyonu olup,



Şekil 10.4. Bir pervane genel görünüşü ve pal elemanı

$$dL = \frac{1}{2} \rho_h V_{Ro} C_L b dr_p \quad (10.11)$$

şeklinde verilebilir. Burada,

$dL$  : elemanter taşıma (N)

$\rho_h$  : hava yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

$V_{Ro}$  : indüklenmiş akım kabulü ile pal elemanına etkiyen efektif hız (m/s)

$C_L$  : taşıma katsayısı

$b$  : veter uzunluğu (m)

$dr_p$  : pal elemanı genişliği (m)

dir.

İndüklenmiş akımın  $V_i \cos\theta$  aksenal bileşeni oluşan itme nedeniyle meydana geldiği için  $dL$  taşımalarının itme bileşeni ile ilgili olup ,

$$dT = dL \cos\phi_0 = \frac{1}{2} \rho_h V_{Ro}^2 C_L b dr_p \cos\phi_0 \quad (10.12)$$

yazılabilir. Burada ise,

$dT$  : elemanter itme (N)

$\phi_0$  : indüklenmiş akım kabulü ile efektif hatve açısı (derece)

şeklinde belirtilebilir.

Eğer pervane B tane palden meydana geliyorsa pervane dönme merkezinden  $r_p$  kadar uzaklıktaki pal elemanlarının meydana getireceği itme cereyan tübünde birim zamanda momentumdaki ortalama artmaya eşit olacaktır.

Tüp kesit alanı,

$$dA = 2\pi r_p dr_p$$

olup, pervane diskinde aksenal hız ise,

$$V + V_i \cos\phi_0$$

olacağından cereyan tübünde birim zamanda akan akışkanın kütleli debisi,  $V_i$  indüklenmiş hızın kesit boyunca sabit olduğu düşünülerek,

$$\rho_h dA(V+V_i \cos \phi_0) = 2\pi \rho_h r_p dr_p (V+V_i \cos \phi_0) \quad (10.13)$$

şeklinde yazılabilir. Bu formüllerde,

V: taşıt hızı (m/s)

$V_i$  : indüklenmiş hız (m/s)

dir.

Momentum teorisine göre pervane üzerindeki indüklenmiş hız pervane arkasındaki gelişmiş akım hızının yarısına eşittir. Benzer şekilde, pervanenin girdap akımında indüklenmiş hızın toplam değişmesi de  $2V_i$  kadar olmaktadır. Buna göre momentumun aksenal doğrultudaki artımı,

$$2\pi \rho_h r_p dr_p (V+V_i \cos \phi_0) (2V_i \cos \phi_0)$$

kadar olup pal elemanlarının toplam itmesi BdT değerine eşit olacağından,

$$BdT = 2\pi \rho_h r_p dr_p (V+V_i \cos \phi_0) (2V_i \cos \phi_0) \quad (10.14)$$

yazılabilir. Bu ifadede B pal sayısı olup, ifadeyi  $V_i$  'ye göre çözdüğümüzde,

$$V_i = \frac{BbC_L V_{Ro}^2}{8\pi r_p (V + V_i \cos \phi_0)}$$

olacaktır. Şekil 10.4'den,

$$\sin \phi_0 = \frac{V + V_i \cos \phi_0}{V_{Ro}}$$

yazılabileceğinden  $V_i$  yeni bir düzenlemeyle,

$$V_i = \frac{BbC_L V_{Ro}}{8\pi r_p \sin \phi_0}$$

şeklinde yazılabilir. Yine Şekil 10.4'den yararlanılarak,

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{V_i}{V_{Ro}} = \frac{BbC_L}{8\pi r_p \sin \phi_0}$$

bağıntısı elde edilir. Burada,

$\theta$  : indüklenme açısı (derece)

olup, palın uzunlamasına eksenini boyunca boyutsuz bir uzunluk olarak da,

$$x_p = \frac{r_p}{R_p} \quad (10.15)$$

şeklinde bir tanımlama getirerek,

$$\text{tg}\theta = \frac{BbC_L}{8\pi x_p R_p \sin\phi_0} \quad (10.16)$$

yazılabilir. Bu formüllerde Şekil 10.4'den de görülebileceği gibi,

$r_p$  : pal elemanının pervane dönme merkezinden uzaklığı (m)

$R_p$  : pervane yarıçapı (m)

olmaktadır.

Pervane pal alanının pervane dönme alanına oranını  $\sigma_R$  boyutsuz terimiyle ifade edersek,

$$\sigma_R = \frac{BbR_p}{A} = \frac{Bb}{\pi R_p} \quad (10.17)$$

ve buradan da "Bb" yi çekip 10.16 formülünde yerine koyarak,

$$\text{tg}\theta = \frac{\sigma_R C_L}{8x_p \sin\phi_0} \quad (10.18)$$

yazabiliriz.  $C_L$  taşıma katsayısı ise,

$$C_L = a_0 \alpha_0 \quad (10.19)$$

denklemleriyle bulunabilir. Bu denklemde,

$a_0$  : profil  $C_L$ - $\alpha_0$  eğrisi eğimi (1/derece)

$\alpha_0$  : indüklenmiş akım kabulü ile hücum açısı (derece)

dır. Şekil 10.4 gözönünde bulundurularak,

$$\alpha_0 = \beta - \phi - \theta$$

olduğu için taşıma katsayısı  $C_L$ ,

$$C_L = a_0 (\beta - \phi - \theta)$$

biçiminde de ifade edilebilir. Bu denklemde  $\beta$  geometrik pal açısı olup "derece" birimindedir.  $\theta$  açısı oldukça küçük olduğundan

$$\theta = \sin\theta = \text{tg}\theta, \quad \cos\theta=1, \quad \theta^2 \sim 0$$

kabulleri yapılabilir. Böylece ,

$$\begin{aligned} \sin\phi_0 = \sin(\phi+\theta) &= \sin\phi \cos\theta + \cos\phi \sin\theta \\ &= \sin\phi + \theta \cos\phi \end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned} \sin\phi_0 \text{tg}\theta &= (\sin\phi + \theta \cos\phi) \text{tg}\theta = \theta \sin\phi + \theta^2 \cos\phi \\ &= \theta \sin\phi \end{aligned}$$

yazılabilir. Bu ifadeler 10.18 bağıntısında yerine konduğunda,

$$\frac{\sigma_R a_0}{x_p} (\beta - \phi - \theta) = 8\theta \sin\phi$$

olur ve  $\theta$  ya göre çözüldüğünde ,

$$\theta = \frac{\beta - \phi}{1 + \frac{8x_p \sin\phi}{\sigma_R a_0}} \quad (10.20)$$

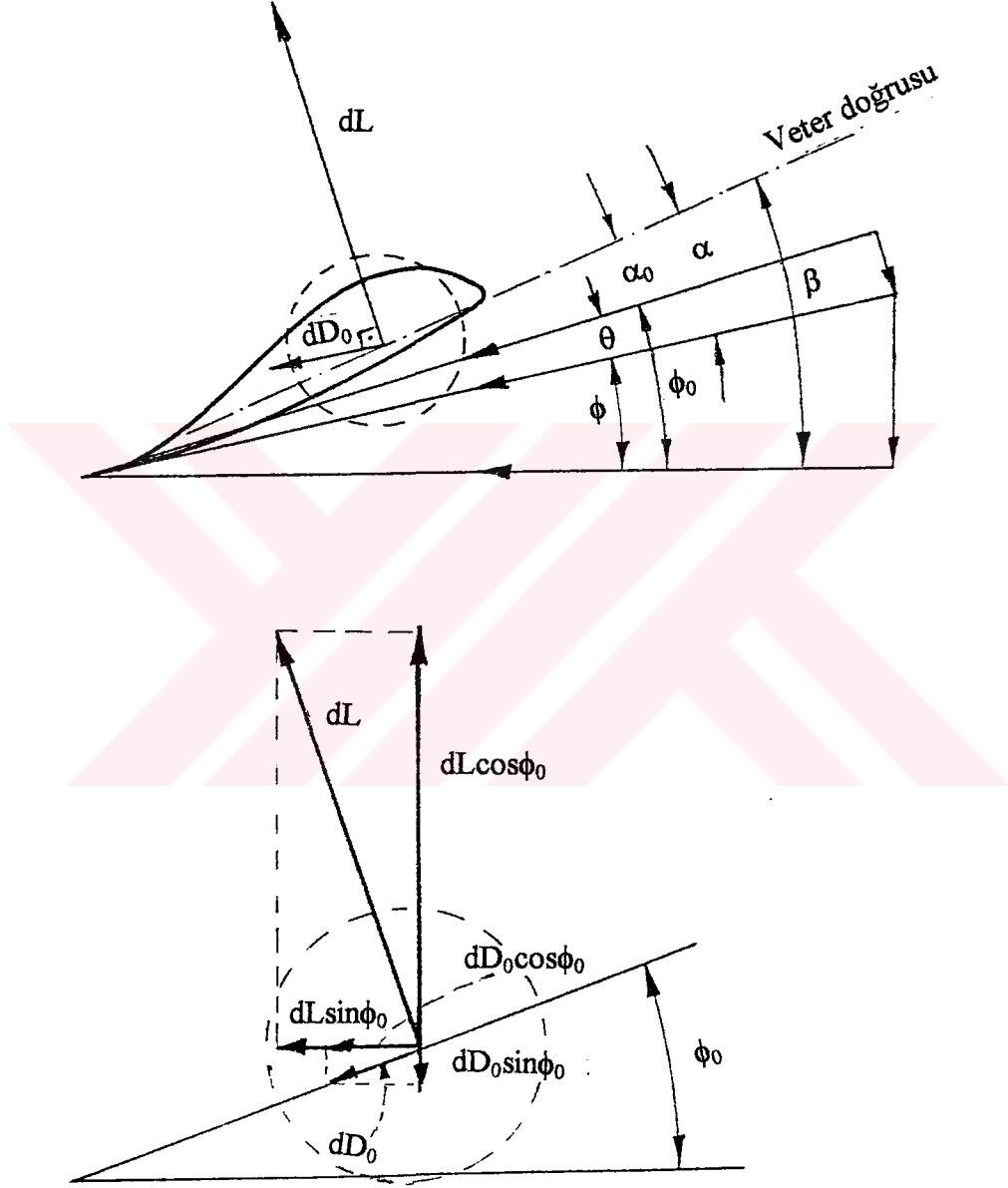
olarak elde edilir. Bu ifade içerisinde  $a_0$  "1/radyan" biriminde alınır.

10.20 denkleminin bulunmasında moment etkisi direkt olarak ele alınmamakla beraber, pervane arkası akımın dönmesi dikkate alınmakta olup, indüklenmiş hız  $V_i$ 'nin dönme düzleminde ayrıca  $V_i \sin\theta$  bileşeni de bulunmaktadır.

Aynı denklem farklı pallere ait akımların girişim etkilerini ve indüklenmiş akımın üniform olmama durumunu dikkate almamasına rağmen indüklenmiş açı değerini, oldukça iyi bir yaklaşıklıkla vermektedir.

Buradan itibaren Şekil 10.5'de gösterilmiş olan pal elemanı ve buna etkileyen aerodinamik kuvvetler dikkate alınarak bir inceleme yapılacaktır. Bu şekli incelediğimizde elemanter taşıma ve direncin  $V_{R0}$  hız vektörüne nazaran dik ve paralel olarak alındığı

görülmektedir.  $V_R$  hızının  $V$ ,  $V_i$  ve  $2\pi n_p r_p$  hızlarının bileşeni olması ve pal elemanından geçen net hız olması sebebiyle sonuç olarak pal elemanının indüklenme direnci  $dL \sin \phi_0$  bileşeni içinde yer almaktadır.



Şekil 10.5. Pal elemanına etkiyen aerodinamik kuvvetler

Elemanter itme, pal elemanı tarafından uçuş doğrultusunda meydana getirilen kuvvet olup,

$$dT = dL \cos \phi_0 - dD_0 \sin \phi_0 \quad (10.21)$$

ifadesiyle yazılabilir. Bu ifadede,

$dD_0$  : elemanter profil direnci (N)

olarak belirtilebilir.

Elemanter moment ise pal elemanı tarafından dönmeye karşı koyan kuvvetin dönme eksenine olan radyal uzaklık  $r_p$  ile çarpımına eşittir ve

$$dM_d = r_p [dL \sin \phi_0 + dD_0 \cos \phi_0] \quad (10.22)$$

şeklinde bir denklem halinde yazılabilir. Burada,

$dM_d$  : elemanter döndürme momenti (N.m)

dir.

Elemanter taşıma ve direnç kuvvetleri sırasıyla,

$$dL = \frac{1}{2} \rho_h V_{Ro}^2 C_L b dr_p = q_0 C_L b dr_p \quad (10.23)$$

$$dD_0 = \frac{1}{2} \rho_h V_{Ro}^2 C_D b dr_p = q_0 C_D b dr_p \quad (10.24)$$

ile ifade edilmekte olup,

$C_L$  : taşıma katsayısı

$C_D$  : direnç katsayısı

$q_0$  : indüklenmiş akım kabulü ile dinamik basınç (N/m<sup>2</sup>)

tır. Şekil 10.5'den

$$V_{Ro} = V_R \cos \theta$$

ve

$$V_R = \frac{2 \pi n_p r_p}{\cos \phi}$$

olması sebebiyle,

$$V_{Ro} = \frac{2\pi n_p r_p \cos\theta}{\cos\phi}$$

yazılabilir. Bu denklemlerde,

$V_R$  : pal elemanına etkiyen efektif hız (m/s)

$V_{Ro}$  : indüklenmiş akım kabulü ile pal elemanına etkiyen efektif hız (m/s)

$r_p$  : pal elemanının pervane dönme merkezinden uzaklığı (m)

$n_p$  : pervane devir sayısı (1/s)

dır. Aynı zamanda,

$$q_0 = \frac{\rho_h}{2} \left[ \frac{2\pi n_p r_p \cos\theta}{\cos\phi} \right]^2 \quad (10.25)$$

olduğu için 10.21 ve 10.22 ifadeleri,

$$dT = q_0 b dr_p [C_L \cos\phi_0 - C_D \sin\phi_0]$$

$$dM_d = q_0 b r_p dr_p [C_L \sin\phi_0 + C_D \cos\phi_0]$$

şeklinde yeniden düzenlenip, B tane pal için,

$$dT = q_0 b B dr_p [C_L \cos\phi_0 - C_D \sin\phi_0] \quad (10.26)$$

$$dM_d = q_0 b B r_p dr_p [C_L \sin\phi_0 + C_D \cos\phi_0] \quad (10.27)$$

biçiminde yazılabilir.

10.25 ifadesi 10.26 ve 10.27 ifadelerinde yerine konduğunda,

$$dT = \frac{\rho_h}{2} (2\pi n_p)^2 \frac{\cos^2\theta}{\cos^2\phi} r_p^2 dr_p b B (C_L \cos\phi_0 - C_D \sin\phi_0)$$

$$dM_d = \frac{\rho_h}{2} (2\pi n_p)^2 \frac{\cos^2\theta}{\cos^2\phi} r_p^3 dr_p b B (C_L \sin\phi_0 + C_D \cos\phi_0)$$

olarak yazılabilir. Bu ifadelerin daha kısa yazılabilmesi amacıyla ,

$$\lambda_T = \frac{\cos^2 \theta}{\cos^2 \phi} (C_L \cos \phi_0 - C_D \sin \phi_0) \quad (10.28)$$

$$\lambda_{M_d} = \frac{\cos^2 \theta}{\cos^2 \phi} (C_L \sin \phi_0 + C_D \cos \phi_0) \quad (10.29)$$

ifadelerini yazalım. Aynı zamanda,

$$r_p = R_p x_p, \quad dr_p = R_p dx_p$$

olduğundan,

$$dT = \frac{\rho_h}{2} (2\pi n_p)^2 b B R_p^3 x_p^2 dx_p \lambda_T \quad (10.30)$$

$$dM_d = \frac{\rho_h}{2} (2\pi n_p)^2 b B R_p^4 x_p^3 dx_p \lambda_{M_d} \quad (10.31)$$

ifadeleri yazılabilir.

$dC_T$  ile elemanter itme katsayısını ve  $dC_{M_d}$  ile elemanter moment katsayısını gösterirsek,

$$dC_T = \frac{dT}{\rho_h n_p^2 D_p^4}$$

$$dC_{M_d} = \frac{dM_d}{\rho_h n_p^2 D_p^5}$$

ile ifade edilmekte olup, pervane çapı  $D_p$ ,  $D_p = 2R_p$  olmak üzere 10.26, 10.27, 10.28 ve 10.29 ifadelerinden,

$$\frac{dC_T}{dx_p} = \frac{bB\pi^2 x_p^2 \lambda_T}{8R_p}$$

$$\frac{dC_{M_d}}{dx_p} = \frac{bB\pi^2 x_p^3 \lambda_{M_d}}{16R_p}$$

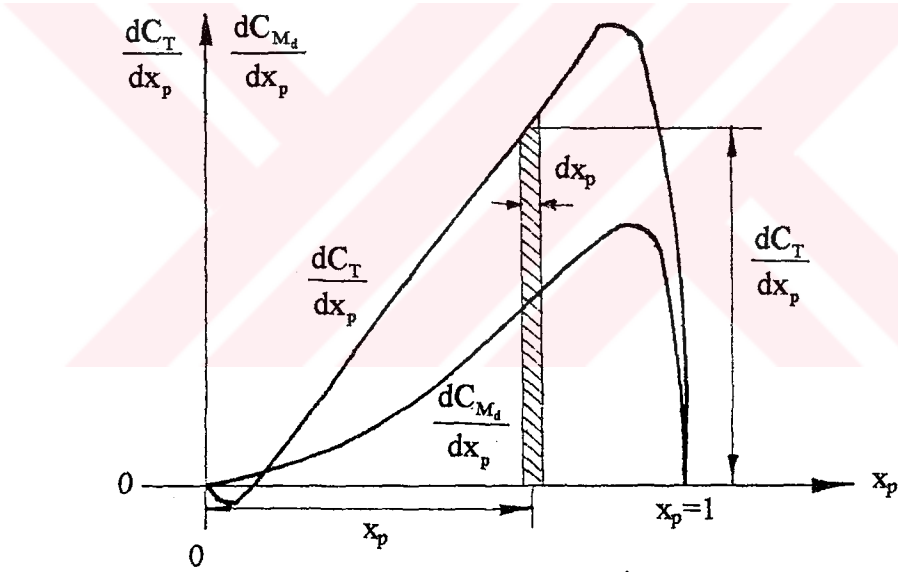
yazılabilir. Evvelce 10.17 denkleminle tanımlanan  $\sigma_R$  değeri dikkate alınarak,

$$\frac{dC_T}{dx_p} = 3.88x_p^2 \sigma_R \lambda_T \quad (10.32)$$

$$\frac{dC_{M_d}}{dx_p} = 1.94x_p^3 \sigma_R \lambda_{M_d} \quad (10.33)$$

yazılabilecektir.

10.32 ve 10.33 denklemleriyle pal elemanlarının hesaplanan  $dC_T/dx_p$ ,  $dC_{M_d}/dx_p$  değerleri Şekil 10.6'da olduğu gibi boyutsuz pal uzunluğu koordinatlarına göre grafik olarak çizilerek eğri altında kalan alanların sayısal integrasyonu yapılarak  $C_T$  ve  $C_{M_d}$  değerleri hesaplanabilir.



Şekil 10.6. Tipik bir moment ve itme eğrisi

Pervane veriminin hesaplanabilmesi için,

$$\eta_p = \frac{\text{elde edilen güç}}{\text{verilen güç}} = \frac{\text{itme hız}}{2\pi \cdot n_p \cdot \text{moment}} = \frac{TV}{2\pi n_p M_d}$$

ifadesi kullanılır. Bu ifadede,

T : pervane itmesi (N)

$M_d$  : pervane döndürme momenti (N.m)

dir.

$$T = C_T \rho_h n_p^2 D_p^4 \quad (10.34)$$

$$M_d = C_{M_d} \rho_h n_p^2 D_p^5 \quad (10.35)$$

ve

$$C_T : \text{itme katsayısı} = \int_0^1 \frac{dC_T}{dx_p} dx_p$$

$$C_{M_d} : \text{moment katsayısı} = \int_0^1 \frac{dC_{M_d}}{dx_p} dx_p$$

olduğu gözönünde bulundurularak 10.34 ve 10.35 ifadelerinin kullanımıyla verim ifadesi,

$$\eta_p = \frac{C_T \rho_h n_p^2 D_p^4 V}{2\pi n_p C_{M_d} \rho_h n_p^2 D_p^5} = \frac{C_T}{2\pi C_{M_d}} \frac{V}{n_p D_p} \quad (10.36)$$

olarak elde edilebilir.

Tüm bu bilgilerden sonra bir pervanenin dizaynında aşağıda bahsedildiği gibi bir yol takip edilebilir.

Öncelikle gerekli itme  $T$  belirlenir. Bunun için toplam sürüklenme direnci  $D_T$  nin belirlenmesi gereklidir. Hava yastıklı taşıtlarda toplam direnç dört ana bileşene ayrılabilir (Bulut, B., 1985):

- a) Momentum direnci ( $D_M$ )
- b) Aerodinamik direnç ( $D_A$ )
- c) Dalga yapıcı direnç ( $D_{DY}$ )
- d) Sızdırmazlık direnci ( $D_S$ )

#### a) Momentum direnci ( $D_M$ )

Yastığı korumak amacıyla yastık sistemine fan vasıtasıyla devamlı olarak hava basılır. Böylece atmosferden çekilerek fan tarafından yastığa basılacak havanın,  $V$  hızında seyreden hava yastıklı taşıt hızına eriştirilmesinden bir direnç doğmaktadır. Çekilen

havanın taşıt hareketinin ters yönünde bir tepkisi olmaktadır. Momentum direnci olarak adlandırılan bu direnç,

$$D_M = \rho_h QV \quad (10.37)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadede,

$D_M$  : momentum direnci (N)

$\rho_h$  : hava yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

$Q$  : hava debisi ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$V$  : taşıt hızı (m/s)

dır.

### b) Aerodinamik direnç ( $D_A$ )

Seyir halindeki hava yastıklı taşıtın karşılaştığı hava ile ilgili dirençtir. Bu direnç,

$$D_A = C_{AD} \frac{1}{2} \rho_h V^2 A_p \quad (10.38)$$

şeklinde ifade edilmekte olup burada,

$D_A$  : aerodinamik direnç (N)

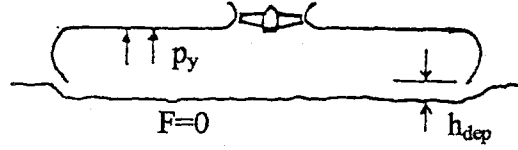
$C_{AD}$  : aerodinamik direnç katsayısı

$A_p$  : havayı karşılayan alan ( $\text{m}^2$ )

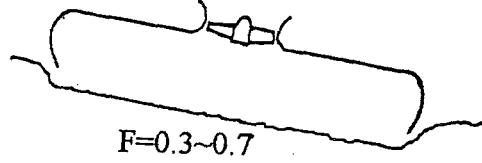
dır.  $C_{AD}$  aerodinamik direnç katsayısı hava yastıklı taşıt formuna bağlı olup değeri 0.3~0.6 arasında değişir.

### c) Dalga yapıcı direnç ( $D_{DY}$ )

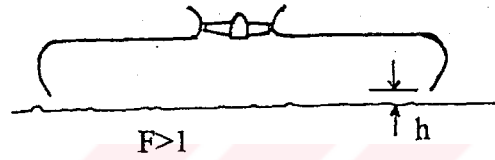
Başlangıçta su yüzeyinde asılı olarak çalışan hava yastıklı taşıt yastık basıncı nedeniyle yüzeyde bir depresyon oluşturmaktadır. Taşıtın ileri hareketi ile bu depresyon taşıt ile birlikte hareket eder. Belirli bir hıza kadar bu depresyon taşıt konumunu etkiler ve hareketin aksi yönünde bir direnç oluşmasına neden olur. Etkileşimin, dolayısıyla da dalga yapıcı direncin maksimum olduğu hıza kritik hız adı verilmektedir. Kritik hız aşıldıktan sonra etkileşim giderek azalır ve bir müddet sonra taşıt seyir hızında kayar duruma gelir. Değişik Froude sayılarında hava yastıklı taşıtların su yüzeyi üzerinde alacağı konumlar Şekil 10.7'de gösterilmiştir.



a) Hava yastıklı taşıt asılı konumunda



b) Hava yastıklı taşıt kritik hız konumunda



c) Hava yastıklı taşıt seyir hızı konumunda

Şekil 10.7. Değişik Froude sayılarında (değişik hızlarda) hava yastıklı taşıtın su yüzeyine göre aldığı konumlar

Bu direnç bileşeni için yapılan araştırmalardan elde edilen uygun bir ifade,

$$D_{DY} = k_{DY} C_{yy} W \quad (10.39)$$

şeklinde verilebilir. Bu ifade içerisinde,

$D_{DY}$  : dalga yapıcı direnç (N)

$k_{DY}$  : dalga yapıcı direnç katsayısı

$C_{yy}$  : yastık yükleme (yoğunluğu) katsayısı

$W$  : hava yastıklı taşıt toplam ağırlığı (N)

dir.

Yastık yükleme (yoğunluğu) katsayısı ( $C_{yy}$ ) basınç kuvvetinin gravitasyonel kuvvete oranını ifade eder ve,

$$C_{yy} = p_y / \rho_d g L_y \quad (10.40)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

$p_y$  : yastık basıncı (N/m<sup>2</sup>)

$\rho_d$  : deniz suyu yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : yerçekimi ivmesi (m/s<sup>2</sup>)

$L_y$  : yastık boyu (m)

dur.

Yan oranı ( $\tilde{A}$ ) ve Froude sayısına (F) bağlı olan  $k_{DY}$  dalga yapıcı direnç katsayısı değerleri dikdörtgen yastık formulu amfibik hava yastıklı taşıtlar için Tablo 10.1'de verilmiştir.

Tablo 10.1. Amfibik hava yastıklı taşıtlar için dalga yapıcı direnç katsayısı değerleri

Froude Sayısı	Yan Oranı			
	2	3	4	6
0.34	2.10	2.10	2.10	2.10
0.40	1.18	1.18	1.18	1.18
0.44	0.51	0.77	0.90	1.00
0.50	1.31	1.31	1.25	1.08
0.60	2.36	2.02	1.61	1.28
0.80	1.97	1.92	1.75	1.54
1.00	1.44	1.59	1.63	1.56
1.20	1.12	1.28	1.41	1.50
1.40	0.91	1.09	1.21	1.36
1.60	0.76	0.92	1.05	1.22
1.80	0.64	0.79	0.91	1.09
2.00	0.53	0.69	0.80	0.97

Yan oranı ( $\tilde{A}$ ), dikdörtgen yastık formulu hava yastıklı taşıtlarda yastık boyunun yastık genişliğine oranını tanımlamakta olup,

$$\tilde{A} = \frac{L_y}{B_y} \quad (10.41)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,  
 $B_y$  : yastık genişliği (m)  
 dir.

Froude sayısı (F) ise yan oranı gibi boyutsuz olup atalet kuvvetinin gravitasyonel kuvvete oranını ifade etmektedir. Froude sayısı,

$$F = \frac{V}{\sqrt{gL_y}} \quad (10.42)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

#### d) Sızdırmazlık direnci ( $D_S$ )

Amfibik hava yastıklı taşıtlarda sızdırmazlık, yastık çevresi boyunca esnek eteklerle sağlanır. Sızdırmazlık direncini teorik yoldan hesaplamak oldukça zor ve yetersiz olduğundan, bu direnç bileşeninin tahmininde deney sonuçlarına dayalı ampirik ifadelerden yararlanılır. Sızdırmazlık direnci iki grupta incelenebilir. Bunlardan ilki sakin su durumu için olan sızdırmazlık direnci, ikincisi ise dalgalı su durumu için olan sızdırmazlık direncidir.

Sakin su durumu için sızdırmazlık direnci ( $D_{S,ssu}$ ),

a) ıslak yüzeyle ilgili bileşen ( $D_{S,ly}$ )

b) dalga yapıcı dirençle ilgili bileşen ( $D_{S,dy}$ )

şeklinde iki bileşenin toplamı olarak düşünülebilir.

Bu iki bileşen sırasıyla ,

$$D_{S,ly} = (1.14 (10)^{-6} + 1.285 (10)^{-4} C_{yy}) \left( \frac{h}{1} \right)^{-0.34} l \sqrt{A_y} \frac{1}{2} \rho_a V^2 \quad (10.43)$$

$$D_{S,dy} = (0.468(C_{yy})^{-0.259} - 1) D_{DY} \quad (10.44)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadelerde,

$D_{S,y}$  : sakin su sızdırmazlık direncinin ıslak yüzeyle ilgili bileşeni (N)

$D_{S,dy}$  : sakin su sızdırmazlık direncinin dalga yapıcı dirençle ilgili bileşeni (N)

$h$  : hava kaçış yüksekliği (m)

$l$  : yastık çevre uzunluğu (m)

$A_y$  : yastık alanı (m<sup>2</sup>)

dır.

Dalgalı su durumu için ise sızdırmazlık direnci ( $D_{S,dsu}$ ) aşağıdaki ampirik formülle ifade edilebilmektedir.

$$D_{S,dsu} = 20 \cdot 10^{-5} (k_{da})^{5/3} \frac{1}{2} \rho_d V^2 l \sqrt{A_y} \quad (10.45)$$

Bu ifadede,

$D_{S,dsu}$  : dalgalı su durumunda sızdırmazlık direnci (N)

$k_{da}$  : dalga katsayısı

dır. Dalga yüksekliğine ve etek formuna bağlı olan dalga katsayısı  $k_{da}$  boyutsuz olup,

$$k_{da} = (2h_{da}) / (h_{ya} - h_{di}) \quad (10.46)$$

ile bulunmaktadır. Bu ifadede

$h_{da}$  : dalga yüksekliği (m)

$h_{ya}$  : yastık yüksekliği (m)

$h_{di}$  : etek dilim yüksekliği (m)

dir. Ancak 10.46 formülü, rijit bünyeye temas sebebiyle  $h_{da} \leq 0.8 h_{ya}$  durumunda geçerli olmaktadır.

Gerek sakin su gerekse dalgalı su durumu için ayrı ayrı olmak üzere toplam direnç ( $D_T$ );

Sakin su durumu için,

$$(D_T)_{ssu} = D_M + D_A + D_{DY} + D_{S,ssu} \quad (10.47)$$

Dalgalı su durumu için

$$(D_T)_{dsu} = D_M + D_A + D_{DY} + D_{S,dsu} \quad (10.48)$$

olarak tüm direnç bileşenlerinin toplanmasıyla bulunur. Bulunan toplam direnç ( $D_T$ ) itme

değerine ( $T$ ) eşit olarak alınır. İtmenin belirlenmesinden sonraki amacımız, istediğimiz  $V$  taşıt hızı için minimum  $M_d$  momentinde bunun gerçekleştirilmesidir.

Genellikle pervanelerde pal sayısı  $B$ , 3-5 arasında alınmaktadır. Pal sayısının seçiminden sonra pervane çapı  $D_p$  ve pervane devir sayısı  $n_p$  seçimi yapılır. Kullanılacak olan profil tipine göre o profilin mevcut verilerinden ve grafiklerinden yararlanılarak bölüm içerisinde verilmiş olan denklemlerden hesaplamalar yapılır.

Seçilen profil tipi,  $B$  pal sayısı,  $V$  ilerleme hızı,  $n$  devir sayısı,  $D_p$  pervane çapı için pervane yarıçapı boyunca uygun  $\beta$  açısı dağılımına göre yarıçap boyunca eşit aralıklar alınarak  $C_L$ ,  $C_D$ ,  $dC_T/dx_p$ ,  $dC_{M_d}/dx_p$  değerleri hesaplanır.  $\alpha_0$  açısının profil özellikle uygun aralıkta olup olmadığı kontrol edilir. Sayısal integrasyon ile  $C_T$  ve  $C_{M_d}$  katsayıları hesaplanarak işletme şartlarına bağlı olarak itme ( $T$ ), moment ( $M_d$ ) değerleri ve  $\eta_p$  verim değeri elde edilir. Bu şekilde işlemler yapılarak gerekli itme kuvveti için minimum döndürme momentini veren değerler bulunur.

## 12. SONUÇLAR

Bu tezin içeriğinden anlaşıldığı gibi bir hava yastıklı taşıt bir çok teknolojik elemanın (etek, pervane, fan, motor v.s.) birlikteliğinden meydana gelmektedir. Bu taşıtın meydana çıkışından beri tüm bu elemanların çeşitli tipleri denenmiş ve bunların en iyilerinin seçimi ve bunların geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmış ve günümüzde de yapılmaya devam etmektedir. Bunlar içerisinde özellikle güç harcamını azaltacak etek sistemlerini geliştirme çabası ayrı bir önem taşımaktadır.

Bu taşıtlarda günümüzde ulaşılan en son nokta bunların düzeltilmiş çan biçimli (basınç odalı) halidir. Bunlarda torba-parmak etek sistemleri kullanılarak sadece aşınan parmakların değiştirilmesi sağlanmaktadır. Düzeltilmiş çan biçimli gemilerle, hava yastığını oluşturabilmek için gerekli güç harcamı azaltılmıştır.

Bu taşıtlarda kullanılan motorlar açısından baktığımızda ise gaz türbininin daha büyük güçler sağlayabilmesi, güç birimine isabet eden ağırlık ve hacimlerin daha az olması, bakım-onarım giderlerinin daha düşük olması, güç-devir sayısı karakteristiği açısından üstün olması gibi avantajları sayesinde daha geniş bir kullanım sahasına sahip olacağı söylenebilir.

Yapılan incelemeler sonucunda en uygun fan tipinin santrifuj fan olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle hava yastıklı taşıtlarda bundan sonraki fan çalışmalarının bu fanlar için yapılması beklenebilir.

Pervanelerin gelişimi ise uçaklar için pervane üreten firmaların bu konuda yapacakları araştırma ve geliştirme çalışmalarına bağlı olacaktır.

Şu an için hava yastıklı taşıtların ekonomik olduğunu söylemek yanlıştır. Ancak, askeri uygulamalarda ve özel alanlarda kullanım için (bataklık, sazlık, kumluk, buz v.b.) ve ayrıca, yüksek hızlı deniz ulaşımı gibi alanlarda çalışması gereken taşıtlar düşünüldüğünde, ekonomik olma düşüncesi ikinci plana atılarak, bunların kullanılması uygun olacaktır.

Bu taşıtların şu an için ekonomik olmaması bunların geleceği konusunda kesin bir kötü fikir vermemelidir. İlk kullanım tarihinden bugüne kadar geçen zaman içerisinde

gelişimine bakıldığında daha iyilerinin yapılacağı muhakkaktır. Çünkü, uçak pervanelerindeki gelişimler, fanlar üzerinde yapılan araştırma ve incelemeler, motor ve transmisyon sistemleri üzerindeki gelişmeler ve belki de şu ana kadar en büyük gelişmelerin meydana geldiği etek sistemlerindeki ilerlemeler diğer mevcut taşıtlarla yarışabilecek seviyeye getirebilecektir.



**KAYNAKLAR**

- 1- Amyot, J.R., 1989. Hovercraft Technology, Economics and Applications. Elsevier Science Publishers B.V.
- 2- Bulut, B., 1983. Hava Yastıklı Teknelerde Kullanılan Kaldırma Sistemlerinin Enerji ve Aerodinamik Bakımdan Karşılaştırılmaları. Doktora Tezi, (Yıldız Üniversitesi).
- 3- Bulut, B., 1985. Hava Yastıklı Tekneler. Lisansüstü Özel Gemiler Yaz Okulu, (Yıldız Üniversitesi).
- 4- Cane, P.D., 1974. High-Speed Small Craft. David & Charles (Holdings) Limited
- 5- Elsley, G.H., and Devereux, A.J., 1968. Hovercraft Design and Construction. Cornell Maritime Press.
- 6- Eyice, S., 1977. Gaz Türbini Tesisleri (Cilt:II). Sakarya Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları:2.
- 7- Gökelim, A.T., 1983. Endüstriyel Fan ve Kompresör Tesisleri. Birsen Kitabevi Yayınları.
- 8- Schönecht, R., Lüscher, J., Schelzel, M., Obendus, H., 1983. Ships and Shipping of Tomorrow. Cornell Maritime Press.
- 9- Trillo, R.L, 1988. Jane's High-Speed Marine Craft and Air Cushion Vehicles Jane's Transport Press.
- 10- Yılıkcı Y.K., 1983. Hava Yastıklı Vasıta için İtici Pervane Tasarımı. Yüksek lisans Tezi (İTÜ).
- 11- Yüksel, A.N., 1979. Bir Hava Yastıklı Vasıtada Yükseltme Oranının Değişimi Üzerine Bir Araştırma. İ.T.Ü. Makina Fakültesi Araştırma ve İnceleme Yayınları.

**ÖZGEÇMİŞ**

- 1969 İstanbul'da doğdu
- 1986 İstanbul Pertevniyal Lisesinden Mezun oldu
- 1987 Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümüne kayıt oldu.
- 1992 Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesinden mezun oldu ve Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Makinaları Bilim Dalında yüksek lisansa başladı.

