

T. C.
İstanbul Teknik Üniversitesi
Kütüphanesi

Sayı : 812

UÇAK ELEMANLARI ve MALZEMESİ II HELİKOPTER

CİLT
1

Yazan :
Prof. Kudret MAVİTAN
İ. T. Ü.
Makine Fakültesi Profesörlerinden

BERKSOY MATBAASI
İstanbul - 1970

İÇİNDEKİLER

	<i>Sahife</i>
Jiravyon	1
Helikopter	1
Jirodin	1
Otojir	1
Konvertıbl	1
Tarihçe	2
Uçuş kontrolu	3
Helikopter hakkında bazı bilgiler	4
Motorlar	15
Gücün nakli	15
Rotor	15
Uçuş komandaları	15
Borda aletleri	16
Pilotaj	18
Özel tipler	20
Helikopterin kullanışları	21
Aerodinamik	28
Taşıyıcı disk teorisi	28
Helikopter (Pervane) rejiminde	32
Girodin rejiminde	32
Firenlenen Rotor rejimi	33
Taşıyıcı Disk Teorisini Hakkı Gösterecek Özellikler gg	
Değişik Uçuş Rejimlerinin Etüdü	39

	Sahife
Düşey uçuş hali	39
Dikey yönde çıkış	44
Dikey Yönde İniş	46
Yavaş ve Orta Hız ile İniş	47
Düşey Otorotasyon	50
Rotorun Turbiyon Teorisi Elemanları — Düşey Uçuşa Tatbiki ...	53
Turbiyon Teorisi Prensipleri	54
Düşey Uçuştaki Rotoru Tatbiki	55
Gücün ve Taşımanın Hesabı	58
Genel Uçuş Hali	64
Ortalama Endüi Hızın Tayını	71
Endüi Hızın Disk Üzerinde Yayılımı	75
Otorotasyon	76
Niteliğe Değin İnceleme	82
Yer Tesiri	84
Yan rüzgârın yer tesirine etkisi	86
Çok rotorlular	86
Bir aks'ta iki rotor	86
Tandem iki rotor	87
Yan yana iki rotor	87

ŞEKİL VE RESİMLER

Şekil— Pal uçlarında basınçlı Hava Jeti olan, deney SO 1120 - Arı Helikopteri	5
Şekil—2 Pal uçlarında basınçlı Hava Jeti olan SO 1221 Djinn ...	5
Şekil—3 Bir Rotorlu Bell 47-G	6
Şekil—4 Bir Rotorlu Bell 47-J	6
Şekil—5 HILLER 12 ilaçlama yaparken, Bir Rotorlu	7
Şekil—6a SIKORSKY yük taşıma Helikopteri	8
Şekil—6b AGUSTA-BELL 206 A, 600 Kg ağırlığı kaldırırken ...	9
Şekil—6c SIKORSKY CH-54 A kamyon taşırken	10
Şekil—6d SIKORSKY CH-53 D dokuz ton kaldırma kapasitesin- de	10
Şekil—7a Bir Rotorlu 4 Palli SIKORSKY S-56 ve S-58	11
Şekil—7b Bir Rotorlu 4 Palli SIKORSKY	12
Şekil—8 Bir aksda ters yönlerde dönen 2 Rotorlu Breget II-E	12

	Sahife
Şekil—9 H-21	13
Şekil—10 İki akışlı iki Rotorlu SE 3000	13
Şekil—11a İki akışlı tandem iki Rotorlu Vertol (Boeing)	14
Şekil—11b Boeing Helikopter CH-47 C	14
Şekil—12 Kombine deney helikopteri SO 1310 Farfadet	16
Şekil—13 Bir Helikopterin Pilot yeri	17
Şekil—14 Hava bisikleti HILLER	19
Şekil—15 Uçan Platform HILLER	19
Şekil—16 Konvertabl Bell XV-3	20
Şekil—17 Taşıyıcı Disk Teorisi	28
Şekil—18 Helikopter rejimi	31
Şekil—19 Girodin Rejimi	32
Şekil—20	32
Şekil—21 Otojir Rejimi	32
Şekil—22 Moline-Fren Rejimi	33
Şekil—23	34
Şekil—24	37
Şekil—25	38
Şekil—26	39
Şekil—27 Hakiki akım, sabit uçuş	42
Şekil—28 Çıkış	42
Şekil—29 Moline-Fren olarak hızlı iniş	44
Şekil—30 Moline-Fren halinde yavaş iniş	47
Şekil—31	47
Şekil—32a, 32b Helikopter rejimi yavaş iniş	48
Şekil—33 Teorik akım	49
Şekil—34 Otorotasyon	50
Şekil—35 Bir Turbiyon elemanında endüi hız	50
Şekil—36a	54
Şekil—36b	55
Şekil—37 Uc kayıpları	56
Şekil—38 V_2' ye dikey bir yüzeyde hava akımları	62
Şekil—39 Dikey uçuşta Rotor	65
Şekil—40 Kanat açıklığı sınırları	65

	<i>Sahife</i>
Şekil-41 Yürüyen Rotor	66
Şekil-42 Yürüyen bir rotorda değişik akım halleri	68
Şekil-43a	69
Şekil-43b	69
Şekil-43c	70
Şekil-44a	73
Şekil-44b	73
Şekil-44c	74
Şekil-44d	74
Şekil-44e	74
Şekil-45 Turbiyonların şema haline getirilmesi	75
Şekil-46 Yürüyüşte endüi hızların dağılımı	76
Şekil-47 ve 48 İdeal düşey otorotasyon	78
Şekil-49 Yürüyüşte otorotasyon	
Şekil-50 Yer tesirine yatay hızın etkisi	
Şekil-51 Çok rotorlu helikopterler	
Şekil-52 Karene pervane	87

PLANŞLAR

	<i>Sahife</i>
Planş I-1 SIKORSKY 53 A Geniş ve hızlı helikopterler	23
Planş I-2 BELL AH-IG Asker Helikopteri	23
Planş I-3 SUD-AVIATION SA 341 5 kişilik türbinli, Anti Kupl kuyrukta karene edilmiştir.	24
Planş I-4 ALOUETTE II Türbin ile dönen rotor	24
Planş I-5 4-5 kişilik yüksekte uçuş Helikopteri AGUSTA- BELL 47 J - 3 BI	25
Planş I-6 Flotörlü amfibi AGUSTA LB 206 A	25
Planş I-7 AGUSTA 101 G	26
Planş I-8 SIKORSKY Helikopterinin sudan kalkışı	27
Planş II-1 Dikey çıkışta endüi hız	45
Planş II-7 Pal ucu kaybının tashihi	51
Planş II-2 Düşey uçuşta endüi hızlar	52
Planş II-3 Teget endüi hızlar	61
Planş II-4 Sabit uçuşta endüi hız	64
Planş II-5 Yatay uçuşta endüi hızlar	71
Planş II-6 Rotor boyunca endüi hız	72
Planş II-8 OX aksına göre yürüyüşte endüi hızların dağılımı	77
Planş II-9 OX aksına göre yürüyüşte endüi hızların dağılımı	79
Planş II-10 Otorotasyon Poleri	81
Planş II-11 Otorotasyon Poleri	83
Planş II-12 Sabit güçlü bir rotorda yerin performansa etkisi	85
Planş II-13 Çok rotorlular	88

HELİKOPTER

Helikopter ailesine giren tiplerden genellikle bahs edelim.

Jiravyon :

Havada tutunması, rotor denilen düşey aks etrafında dönen, büyük çaptaki pervanesi ile kısmen veya tamamen temin edilen hava araçlarına denir ki genel terimdir.

Helikopter :

Motor ile çevrilen rotor veya rotorlar yardımıyla havada duran ve her yöne hareket eden bir tür jiravyon'dur.

Jirodin :

İtici yatay pervanesi olan ve bazan yardımcı kanadı ve rotorunda bulunan bir tür jirodindir. Bu tip araç prototip olarak bulunmaktadır.

Otojir :

Yatay pervanesi, aracın bir kısım yükünü taşıyan, rotorunda bulunan ancak rotorun dönüşü otorotasyon ile yani aracın hareketi ile dönen, bir hava araçıdır. Bu araç olduğu yerden dikey olarak kalkıp inemez. Büyük açılar ile inip kalkar. Hız farkı fazla olan ve hız kaybı olayından korkmayan bir araçtır. Böylece çok dar alanlara iner ve kalkar.

1930 ile 1940 arasında büyük gelişme yapan otojir bugün havacılıktan tamamen çekilmiştir. Otojir üzerinde yapılan uçuşlar ve deneyler bugünkü Helikopter gelişmesinde büyük rol oynamıştır.

Konvertibl :

Bu terim, uçuş halinde şekil değiştiren bütün tipleri içine alır. Kalkış iniş helikopter gibi olur. Seyahat uçuşunu uçak gibi yapar. Rotor-

lar 90° dönerek pervane halini alır veya rotorlar uçuş hattına yatarak durur.

Tarihçe :

Helikopterin ilk eserine bundan 20 yüz yıldan önce Çin'de rastlanmıştır.

1784 yılında küçük bir model ile uçuş deneyi yapılmıştır. Ancak 20. yüzyılın başında patlamalı motorla harekete geçirilen gerçek ve hemen hemen uçabilen tam ölçüde hava araçları gözükmeğe başlamıştır.

1900 ile 1907 yılları arasında özellikle «COLONEL RENARD» ve daha sonra «LOUIS BREGUET» tarafından aerodinamik etüd ve taşıyıcı pervane teorisi yapılmaya başlanmıştır.

1907 de «PAUL CORNU» tarafından yapılan ve pilote edilen helikopter yerden yükselmiştir. Daha sonra yolcu ile yerden kalkma deneyi yapılmıştır.

1915 de bir göl üzerinde «PAPIN» tarafından yapılan deneyde fena dengeleme yüzünden göle inmiştir.

1916 da Avusturya ordusunda yapılan bağlı gözetleme helikopteri oldukça fazla bir yük ile 50 metre kadar yükselmiştir. Savaş sonunda bu yoldaki çalışmalar durmuştur.

1919 dan sonra bir çok helikopterler yerden yükselebilmis ve iyi kötü dönebilmiştir.

Helikopter OEHMICHEN 1924 de bir kilometrelik kapalı devre uçuşu yapmıştır.

1936 da BREGUET - BORAND jiroplanı sınıf arkadaşım uçak Yüksek Mühendisi CLAISSE tarafından pilote edilmiştir. Bir saatlik bir uçuş yaparak 100 metre yüksekliğe çıkmıştır. Bu uçuşta, bugünkü helikopter klasik uçuşları, otorotasyon ile birlikte yapılmıştır. Bu helikopter modern helikopter karakteristiklerini toplayan ilk helikopterdir.

1937 FOCKE - ACHGELIS helikopteri 1 saat 20 dakika uçarak 3400 metreye yükselmiş ve 120 Km/saat hız yapmıştır.

HANNA REISTCH tarafından pilote edilen bu helikopter kullanım yeteneğini göstermiştir.

1930 ile 1940 arasında tanınmış Mühendis LA CIERVA tarafından Otojir keşf edilerek yaygın ve çok faydalı servisler yapmıştır bu uçuşlarda rotor tekniği üzerinde esaslı gelişmeler olmuştur. İlk eklemli pal-leri de LA CIERVA kullanmıştır.

1940 ile 1945 arasında Almanya'da bu alanda çalışmalar yapılmışsa da başlıca ilerleme A.B.D. de olmuştur.

SIKORSKY R-4 ile A.B.D. Hava Kuvvetlerinde helikopter hizmete girmiştir. Buna paralel olarak birçok imalatçılar bu meyanda PIA-SECKI, BELL, HILLER, ve diğerleri helikopter yapmıştır. Harbden sonra A.B.D. Helikopter alanında adeta tekel kurmuştur. KORE harbi nedeni ile helikopter sistemli olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu nedenle büyük siparişler alan A.B.D. fabrikaları, çok değerli deneyler yaparak, helikopterin bakım, dayanıklılık, kullanım ve saire üzerinde büyük gelişmeler kayd etmiştir. Statistiklere inanılırsa o devrede dünyada 12000 helikopter imal edilmiştir ki çoğu A.B.D. yapısıdır.

Bu arada İngilterede BRISTOL, FAIREY, PERCIVAL, SAUNDERS ROE, WESTLAND Fransada S.N.C.A.S.O. S.N.C.A'S.E. , S.N.C.A. , NORD, DURAND, BREGUET Fabrikalarında imalat yaparak dünya pazarında yerlerini almışlardır.

Sovyetler Birliği de Alman Tekniğine dayanarak helikopter imalatına başlamıştır.

Uçaktan evvel insanlar tarafından düşünülen ve çalışmasına başlanan Helikopter imalatı neden uçak imalatı yanında bu kadar geri kalmıştır. Nedenlerini açığa kavuşturalım.

Güç : Dikey yönde uçuş; fazla bir güce lüzum gösterir. Kaldırdığı beher kg yük için 1/6 bargir gereklidir. Bu güç normal olarak rotorun dönmesine yarayan bir kupl sağlar.

Kavrayabilmek için diyelim ki; 1000 Kg. lık bir helikopterin rotorunu çeviren kupl bir lokomotif büyük tekerleğini döndüren kupl kaddır.

Yeterli derecede hafif ve sağlam motor, transmisyon, ve imal malzemesinin memnun edici hale gelmesi çok zaman almıştır.

Uçuş Kontrolü : Helikopter uçak gibi kendiliğinden uçmaz, özellikle dikey uçuşta sürekli olarak pilotaj yapılmaktadır. Helikopterin pilo-

tajı özel olarak yetiştirilmiş pilota ihtiyaç gösterir, ve minimum teknik niteliklerinde bulunması gereklidir. Bu tür zorluklar uzun süre düşünülmüş, nihayet son zamanlarda bütün bunlar çözülebilmektedir.

Zorluklar : Yukarıda anlatılan zorlukların sonucu olarak yüksek değerdeki kupl'un transmisyonu, iyi uçuş vasıfları, ancak memnun edici niteliğe varmıştır. Gerekli niteliklerin elde edilebilmesi çoğunlukla incelik isteyen ve karışık olan transmisyon, rotor, kumanda ve diğer organlar gibi bölümlerin realize edilmesi, uzun çalışmaların verimidir.

Helikopter Hakkında Bazı Bilgiler : Halen en fazla kullanılan jiravyon tipi Helikopterdir.

Yapı : Helikopterin inşa resimleri, rotor veya rotorları çeviren ve kumanda etmek amacile düzenlenmiştir.

Rotoru Çeviren Sistem : Bugün, iki büyük usul kullanılmaktadır.

I—Mekanik Çevirme : Rotor bir aks üzrine monte edilmiş olup uygun bir sistemle motor tarafından çevrilir.

II—Tepkili Çevirme : Rotor gövde üzerinde başa dönen tertibde monte edilmiş olup pallerin hareketi uçlarındaki tepkili iticilerle döner.

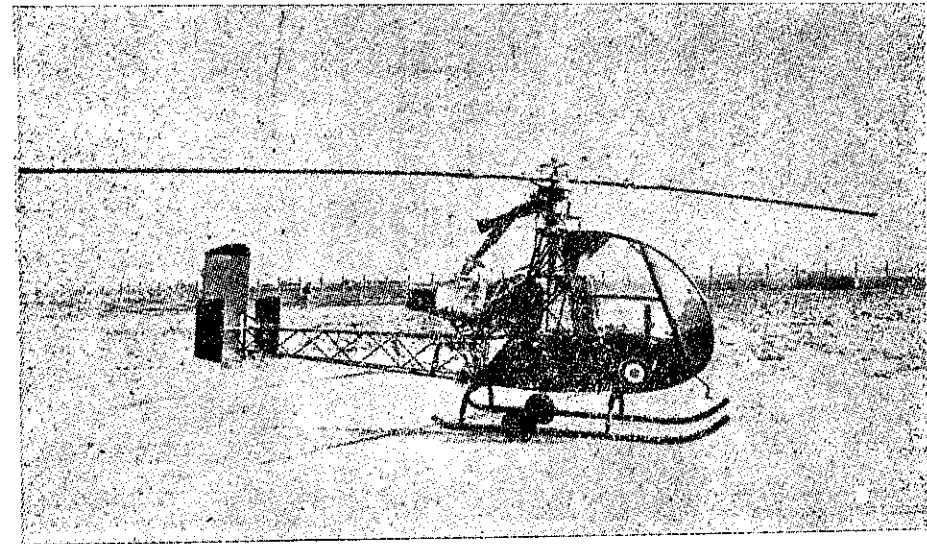
Bu amaçla : statoreaktör, pilsoreaktör hava ve gaz fişkıran uçlar ve diğer usuller kullanılır. Bu tür tertibler basit ve hafif olurlarsa da randımanları düşük ve ekseriya çok gürültülü olduklarından az kullanılmaktadırlar. (Şekil 1, 2)

Tüm Yapısı : Rotorun mekanik çevrilmesi en çok kullanılan usuldür. Rotorun aksı etrafında dönme kuplu hasıl olur ki bu da gövdeyi ters yönde çevirmeğe zorlar. Helikopterin yol ekseni etrafında doğan bu nevi kuplu dengelemek gerekmektedir. İşte bu nitelik gövdenin yapısını tayin eder. Birçok yapılar arasından en çok kullanılanları anlatım.

1 — Tek rotorlu ve arkada ters kuplu doğuran pervaneli yapı ve en çok kullanılanıdır. (Şekil 3, 4, 5, 6, 7)

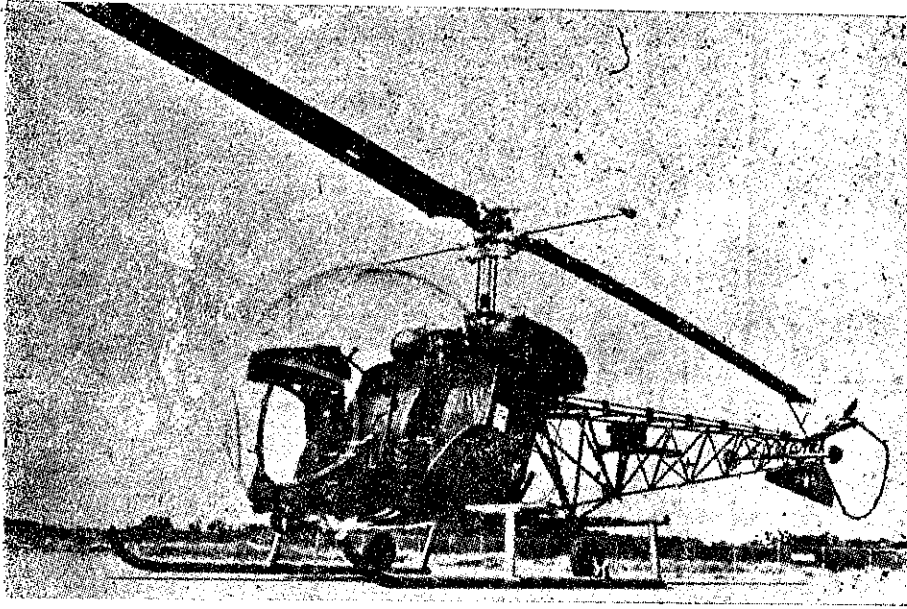


Şekil : 1 — Pal uçlarında basınçlı hava jeti olan, deney SO 1120 - Arı Helikopteri.



Şekil : 2 — Pal uçlarında basınçlı hava jeti olan SO 1221 Djinn

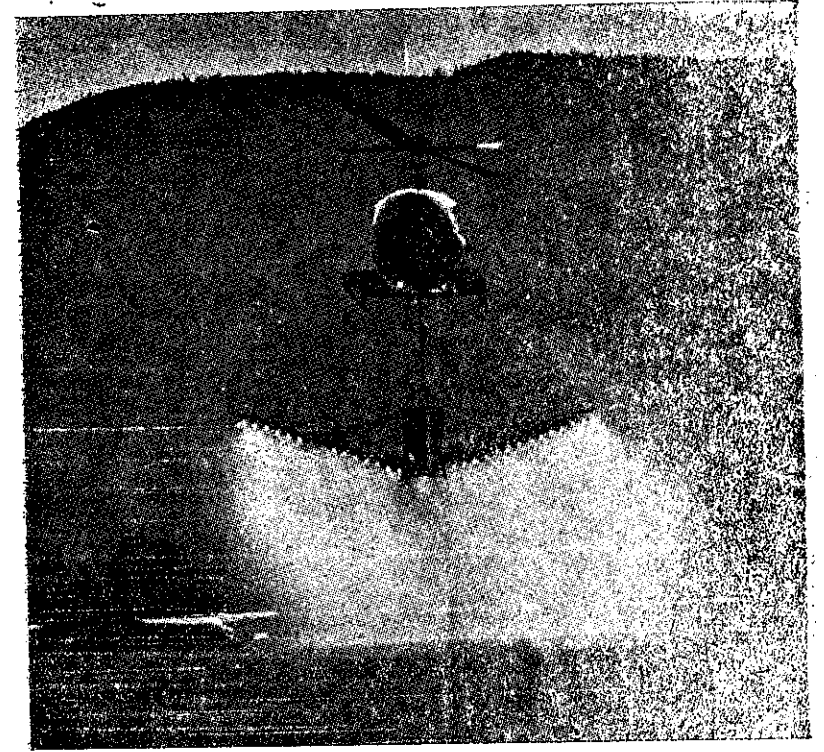
2 — Aynı aks etrafında ters yönlerde dönen çift rotorlu (Şekil 8) yapı



Şekil : 3 — Bir rotorlu Bell 47-G



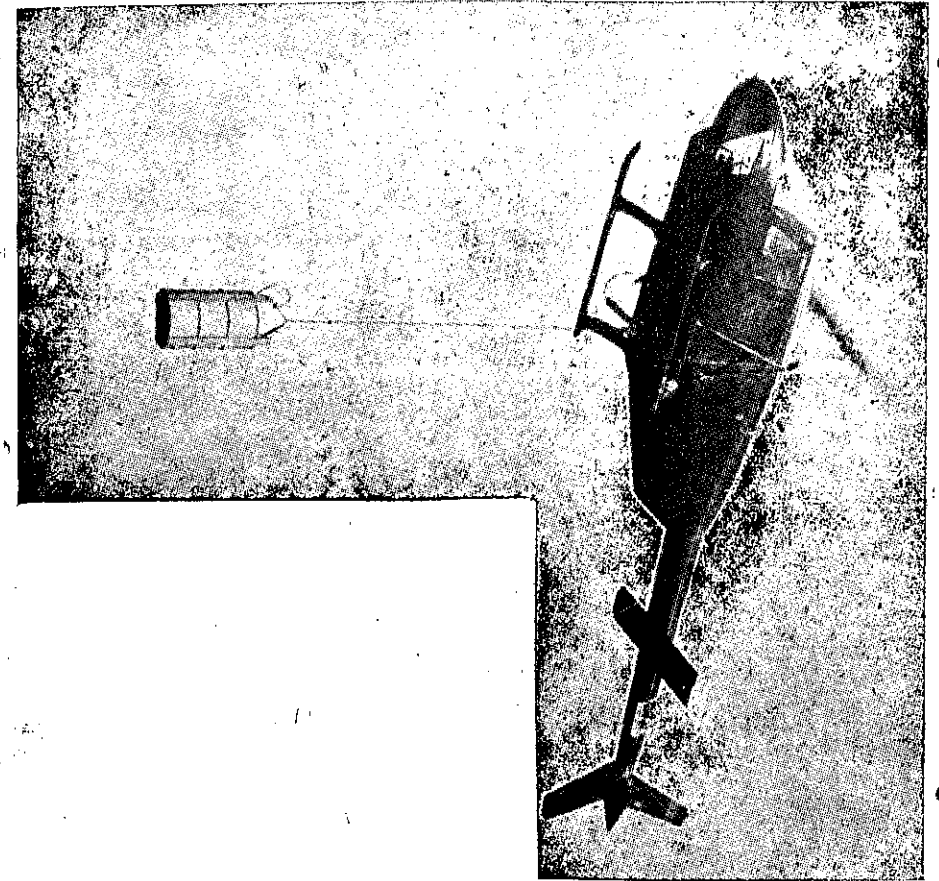
Şekil : 4 — Bir rotorlu Bell 47-J



Şekil — 5 HILLER 12 ilaçlama yaparken, Bir rotorlu



Şekil — 6a SIKORSKİ yük taşıma Helikopteri



Şekil — 6b AGUSTA - BELL 206A, 600 kilogram ağırlığı kaldırırken



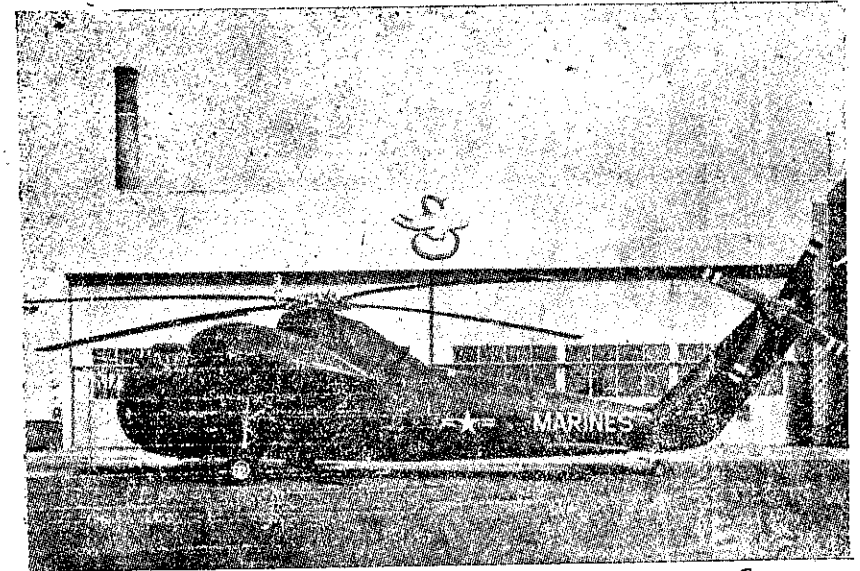
Şekil — 6c SIKORSKY CH - 54A Kamyon taşırken



Şekil 6d SIKORSKY CH - 53D
dokuz ton kaldırma kapasitesinde



S — 58



S — 56

Şekil : 7a — Bir rotorlu 4 pallı Sikorsky S-56 ve S-53

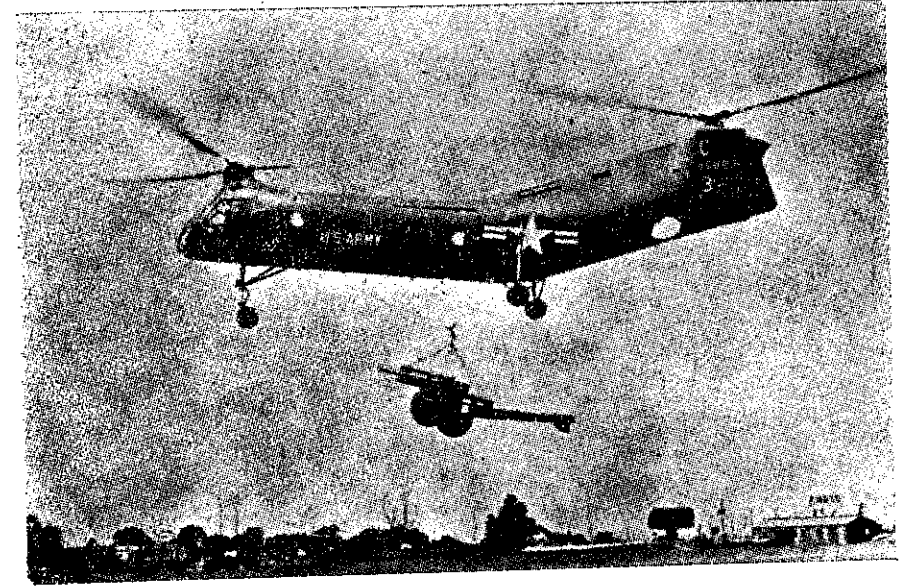


S - 61 - A
Şekil — 7b Bir rotorlu 4 palli Sikorsky

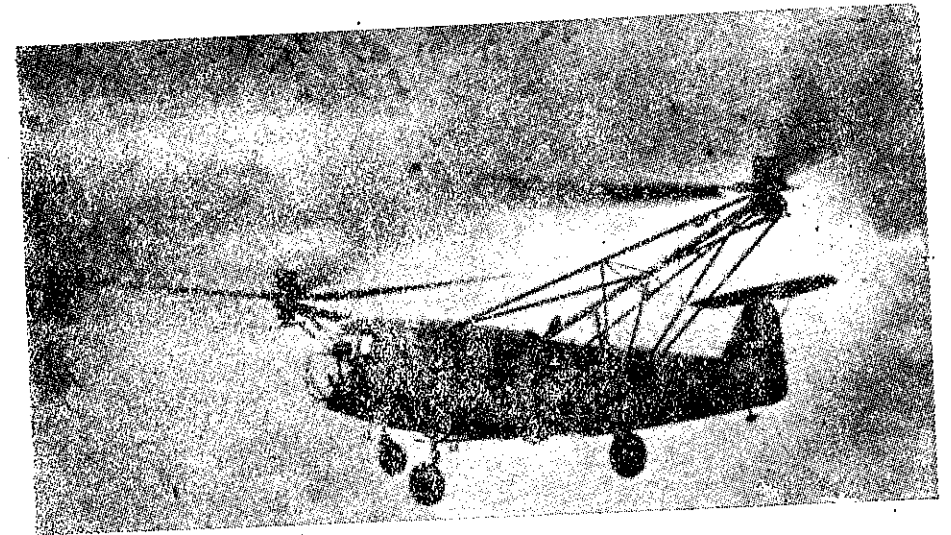


Şekil: 8 — Bir aksda ters yönlerde dönen 2 rotorlu Breget II-E

3 — Rotorları yan yana ters yönlerde dişli tertibatlı (Şekil 9)
veya dişsiz dönen yapılar. (Şekil 10)



H — 21
Şekil — 9

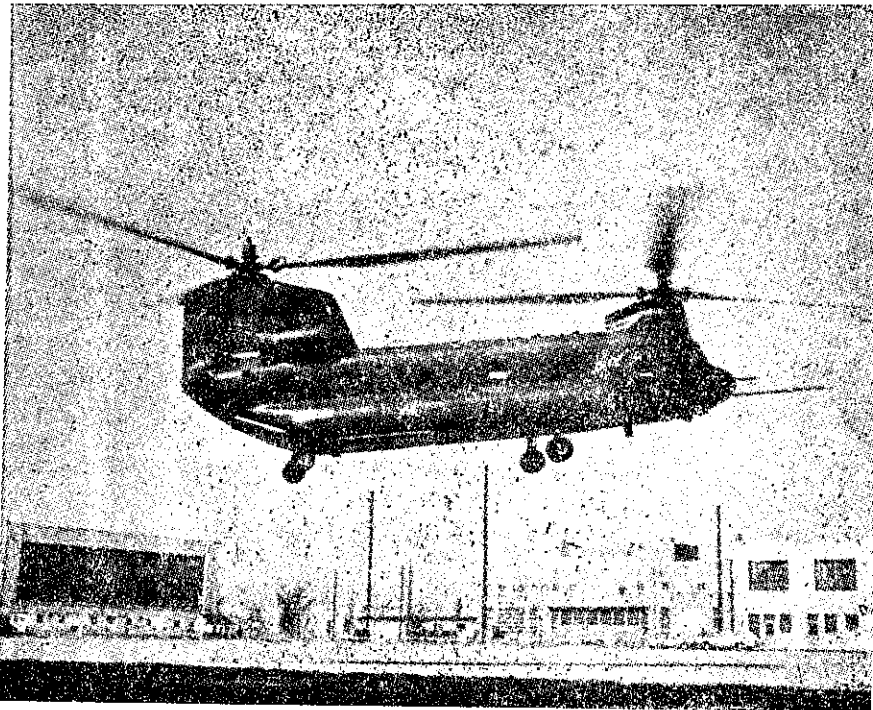


Şekil: 10 — İki akslı iki rotorlu SE 3000



HC - 1B - Chinook

Şekil: 11a — İki aklı tandem iki rotorlu Vertol (Boeing)



Şekil — 11b Boeing Helikopter CH - 47C

4 — Tandem olarak ters yönde dönen iki rotor (Şekil 11) bu tür yapı özellikle büyük tonajdaki helikopterlerde kullanılır.

5 — Tepkili rotorlar gövde üzerinde bir kupl yaratmadığından rotoru çeviren mekanik tertibatın olmaması gibi başlıca fayda sağlar. Şimdiye kadar senkronizasyon ile çevrilmesi gereken birden fazla rotorlu yapı yapılmamıştır.

Bu tür yapıda yol dengesi problemi çözülememiştir. Rotorun üflediği hava hortumu içine dümenler koymakla, eşaopmanın yönünü değiştirmekle hatta büyük rotorun çevirdiği küçük yardımcı diğer bir rotorla az çok iyi düzen kurulur. (Şekil 1 ve 2)

Motorlar : Yakın zamana kadar helikopterler, özellikle adapte edilmiş uçak motoru ile, kullanılmışlardır.

Halen şu gidiş gözükmetedir.

Pistonlu motor yerine gaz türbini koymak ve bir yerine birden fazla gaz türbini koymaktır.

Özetle büyük tonajdaki Helikopterlerde birden fazla gaz türbini yerleştirmek daha iyi sonuçlar verecektir.

Gücün Nakli : Tek rotoru, mekanik tertibatla çeviren bir yapıda, şu organlar vardır. Motor, Volan, ambreyaj (genellikle santrifüj) redüktör, rotor.

Rotor : Çok değişik rotor imalatına rağmen bugünkü rotor pallerinde, gövdeye göre değişik eğilimlerde yönelme imkânı veren eklemler vardır. Bu, rotor diskinin değişmesini kontrol eden, örümcek veya dairesel tabla uçuş kumandalarına bağlıdır. Bu tertibat aynı zamanda pallerin hücum açısını ayarlayarak taşıma kuvvetini değiştirir.

Uçuş Komandaları : Helikopterin pilot yerine oturalım (Şekil 12) sağ el manşabale yi (1) tutarak rotorun yönünü değiştirir. Örneğin manşabaleyi öne iterse rotor ileri eğilir. Bu suretle Helikopter ilerler ve pikeye geçer. Sola itilirse Helikopter sola eğilir ve gider.

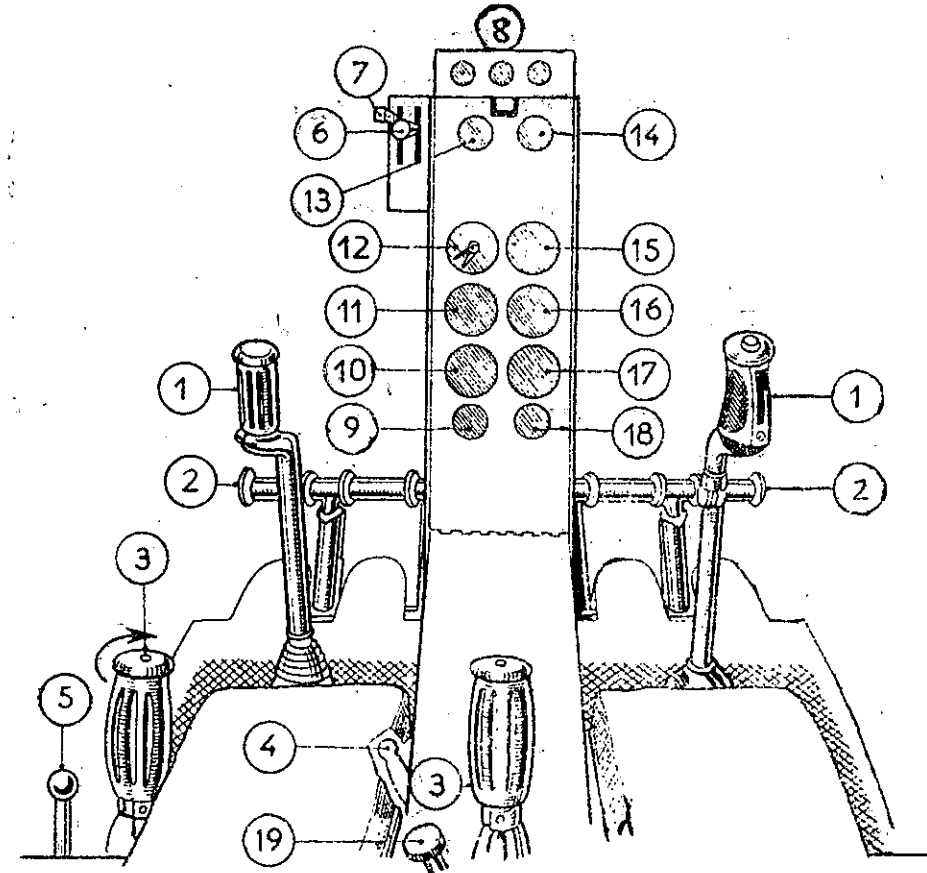


Şekil: 12 — Kombine deney helikopteri SO 1310 Farfadet

Sol el sürekli olarak puanyeyi (3) tutar bu puanye bir kol ucundadırki buna genel *hatve* manşı denir. Bu manşın yukarı ve aşağı hareketi, pallerin hep birden hücum açısını değiştirerek, rotorun taşıma kuvvetini değiştirir. Manş kaldırılırsa taşıma artar. Helikopter yükseilir manş indirilirse Helikopter aşağı iner. Bu manşın ucundaki puanye gaza kumanda eder. Şekilde gösterilen yöne çevrilirse güç artar. Bu iki kumanda aynı manştaadır. Bu suretle iki kumanda birden ayarlanır. Taşımayı artırmakla rotorun kuplu büyür motorun gazını da arttırmak gerekir. Müsterek kumanda (hatve-gaz) sistemi ile beraberce çalışır yani *hatvenin* artması otomatik olarak gazı açar. Pilot puanyeyi döndürmekle yalnız düzeltme yapar.

Ayaklar palonyeyi hareket ettirir. Palonye yol yönünü değiştirmek için küçük kuyruk pervanesinin *hatvesini* değiştirir. Şayet rotorlar birden fazla ise aynı etkiyi yaratmak için palonye rotorları farklı etkiler.

Borda Aletleri: Hafif bir helikopter üzerindeki borda aletleri (Şekil. 13) de gösterilmiştir. Uçak üzerinde bulunan borda aletleri üzerinde durmadan önemli aletleri bildirelim.



BELL 47 D1

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| 11 . Giriş Basıncı | 19 . Kollektif Pal Hatve |
| 10 . Yağ Basıncı ve Isı | 18 . Ampermetre |
| 9 . Akar Yakıt | 17 . Silindir Isısı |
| 8 . Radyo Tablosu | 16 . Altimetre |
| 7 . Karbüratör Isıtması | 15 . Anemometre |
| 6 . Akar Yakıt Ayarı | 14 . Kontak Anahtarı |
| 5 . Akar Yakıt Musluğu | 13 . Karbüratör HAVA Isısı |
| 4 . Demarör | 12 . Takimetr-Motor ve Rotor |
| 3 . Pal Hatvesi ve Gaz | |
| Palonye | |
| Manş Abale | |

Şekil : 13 — Bir helikopterin pilot yeri

Devir Saati : İki göstergeli olup biri rotorun dönme sayısını diğer gösterge ise motor dönüş sayısını gösterir. Kadran öyle hazırlanmıştır ki motorun döndürdüğü rotor ile beraber iki gösterge normal hallerde birbirinin üstündedir.

Bu alet pallerin hızını kontrol etmekle uçaktaki anemometreye benzer.

Pilotaj : Helikopter pilotunun yapması gereken bazı manavraları sıralayalım.

— Motorun işletilmesi (rotor ambreye olduğundan dönmez).

Motoru ambreye edilerek yavaş yavaş hızlandırılması ile rotor normal rejime senkronize durumuna gelir. Rotorunda küçük *hatveli* dönüş yaptığından taşıma kuvveti azdır.

Kalkış : *hatve* ve gaz artırılarak helikopterin yerden kesilmesi sağlanır.

Dikey Uçuş : Helikopter normal durumda dengesizdir. Bu bakımdan pilot manşabaleye dokunmaz ise tekne sallanmağa, bulunduğu durumdan hızla yatmağa başlar. Sürekli olarak pilotun bu gidişi önlemesi gerekir ki bu hal helikopter pilotajında görülen müşküllerden biridir. Diğer bir zorlukda, pilotun sürekli olarak rotorun dönme sayısını kontrolü altında bulundurmasıdır.

Bütün uçuşlarda, rotor dönüş sayısını, pilotun aynı tutması gereklidir, hiç olmazsa iki sınır arasında kalmalıdır.

Maksimum Rejim : Motora verilmesi gerekli en yüksek dönüş sayısı ve rotorun santrifüj kuvvetlere dayanabilme sınırıdır.

Minimum Rejim : Motor gücünün kifayetsizliği sonucu rotorun taşımayı kayb etmesidir. ki bu durum uçakta hız kaybı demektir.

Örneğin : Rotor dönüş sayısı dakikada

Motor ile — mini. rejim 320, maks. rejim 350

Motorsuz — mini. rejim 290, maks. rejim 360

Yükseliş ve Gidiş : Rotoru öne eğerek helikoptere hız verilirse pilotajı uçak pilotajına benzer ancak toslama dengesi çoğunlukla kötüdür.

İniş : Motor ile veya motor ralenti de inilir. Bu son durumda rotor otoratasyon döner ve motor rejiminin üstünde olur. Başarmak için rotorun hücum açısının küçültülmesi yani *hatvenin* küçük olması gerekir. Her iki inişte iniş yönü dikey olmayıp $30^\circ - 60^\circ$ derecelik eğimdedir. Böylece yapılan inişte hem iniş hızı az olur ve hem de tekne kolay pilote edilir. Motor pan yapınca rotoru otoratasyona geçirerek emniyetli iniş yapılabilir. Önemli olan, motorun pan yaptığı andan bu yana 2 saniyeyi geçirmeden rotorun *hatvesinin* indirilmesi zorunludur.



Şekil — 14 Hava bisikleti HİLLER

dur. Yoksa rotorun dönüş sayısı azalır. Yere oturmada rotor pallerinin sinetik enerjisinden faydalanılır.

Özel Tipler : Buraya kadar klasik helikopter tiplerinden söz ettik. Şimdide üstünde az çok araştırma yapılmış yeni tiplerden bazılarını görelim.

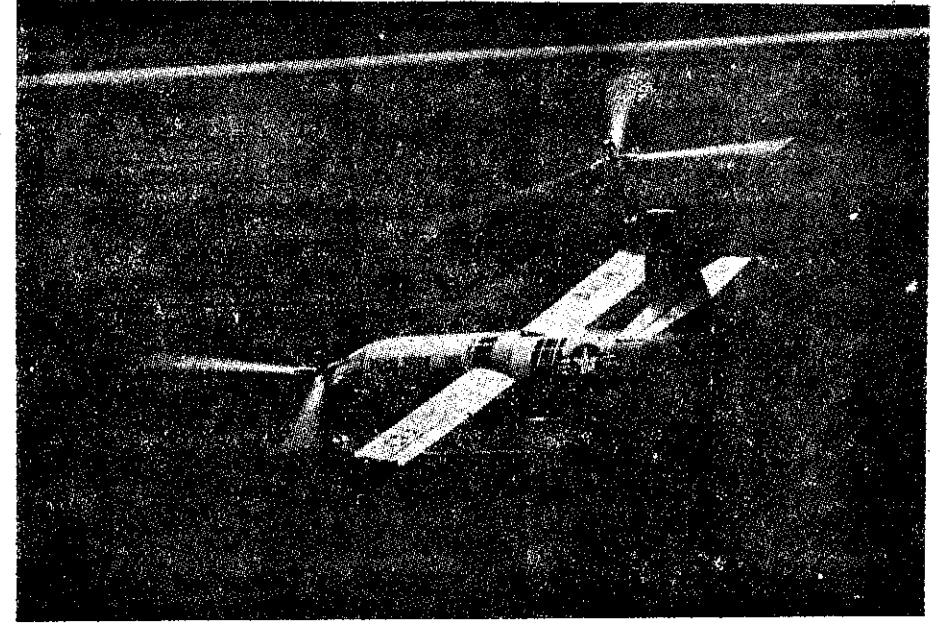
Tek Kişilik Helikopter : Bunlar ya klasik helikopter gibidir. (Şekil. 14) veya uçan tablaya benzer. (Şekil. 15)



Şekil : 15 — Uçan Platform Hiller

Sonuncuda rotor pilotun altında olup dengisini pilot vücudunun doğal reflekslerine göre oynaklığı sağlar. Düşünülen teknenin sade olmasıdır. Bu tip tekneler seri imalâta geçmiş değildir.

Birleşik Helikopterler : (Şekil. 12) de FARFADET birleşik helikopteri görülür. Rotor tepkili itici ile kalkış ve iniş yapar. Uçuşta ise rotor otorotasyon yapar. Teknenin uçuşu pervane ile sağlanır. Teknede iki türbün bulunur. Biri rotoru biri pervaneyi çalıştırır.



Şekil : 16 — Konvertibl Bell XV — 3

Konvertibl : (Şekil. 16) da görüldüğü gibi BELL helikopterinde yanyana iki rotoru olup düşey aksler etrafında dönerek iniş ve kalkışı sağlar ve 90° derecede dönerek pervane gibi düz uçuşu yapar. Rotorlar mekanik olarak döndürülür.

Şimdiki Helikopterlerin Performansları : Bir çok ülkelerde yapılan prototip ve seri helikopterlerin performanslarını (Cilt II) (Ek. I) de görebilirsiniz.

Helikopterin Kullanışları : Bu eserde çok çeşitli kullanım işlerini her yönden anlatacak değiliz, hepimiz bu yönde bilgi sahibiyiz. Değişik kullanma yerlerinden üçünü anlatmakla yetineceğiz.

Kaldırmada Kullanma : Dikey uçuş yapan helikopterler çok uzak olmayan ve fakat erişilmesi zor olan yerlere ağırlıkların taşınmasında kullanılır. Bu nedenle helikopter kamyon, katır, gemi ve kaldırma makinelerinin yerini alır. Daha kolay ve daha hızlı olarak bu kolaylıkları sağlar. Örneğini de, dağ şantiyelerine eşya ve yiyecek taşınak, gemilerin boşaltılması kurtarma ve diğerlerini söyleyebiliriz.

Yavaş Uçuşlarda Kullanma : Helikopterin az hızlarda emniyetle uçuşu hafif uçakla bu çeşit alanda kolaylıkla rekabet eder. Yere yakın veya arızalı yerlerde alçaktan uçuş, tarım ilaçlaması, yüksek tansiyon kablolarının kontrolü, petrol borularının kontrolü trafik kontrolü gibi.

Nakliye İşlerinde Kullanma : Dar yerlere veya iyi hazırlanmamış yerlere kolayca iniş kalkış yapması helikopter uçağın işini yapar. Böylece, sivil ve asker sağlık işleri, zelzele, su baskını gibi felâketlerde nakil işlerine yardım, bir şehrin ortasından diğer bir şehrin ortasına yolcu nakli, gibi başlıca kolaylıklar sıralanır.

Belirtelim ki bu işlerin helikopterler tarafından yapılması basit de olsa bazı kaidelere bağlıdır.

- Herşeyden evvel her helikopter her işi yapamaz.
- Özellikle helikopter pahalı bir araçtır. İşaret edelim ki bir saatlik uçuş bedeli 120 A.B.D. doları ile 170 dolar arasındadır. Bundan başka helikopterin kullanılması için kalifiye personele ve iyi bir organizasyona lüzum vardır.

Şu halde başka türlü yapılamayan veya çok çabuk yapmak istenen işlerde helikopterin kullanılması düşünülmelidir.

Asker Kullanışları : Kara kuvvetlerinde, irtibat, sağlık hizmetleri, asker nakil işleri, atış kontrolü, güdümlü atışlar, hafif silahlar, işlerinde kullanılır.

Deniz kuvvetlerinde; deniz altı savaşında (arama, saldırı), uçak gemilerinde kurtarma ve diğer işlerde kullanılır.

Çeşitli helikopterlere ait Planşlarda yukarıda bahis konusu olan tipler görülmektedir. (Planş 1 — 8)



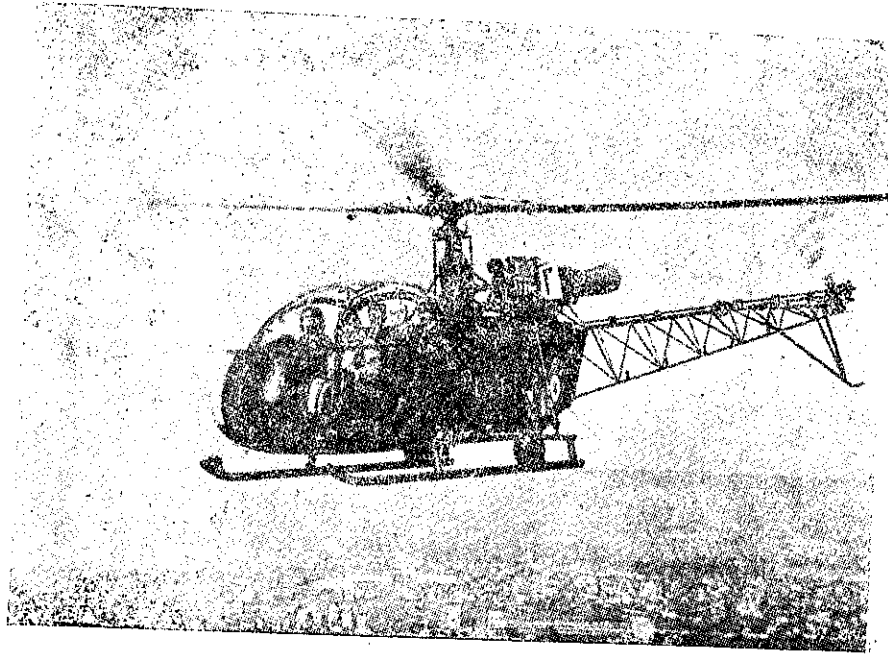
Plans I — 1 Sikorsky 53 A Geniş ve hızlı Helikopter



Plans I — 2 BELL AH — IG Asker Helikopteri



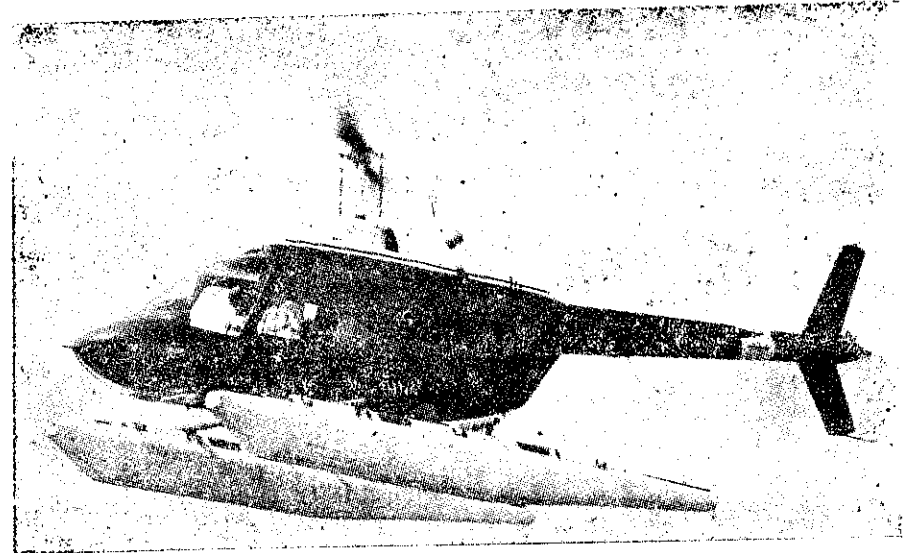
Plans I — 3 SUD - AVIATION SA. 341 5 kişilik Türbinli,
Anti kupl kuyrukta karene edilmiştir.



Plans I — 4 ALOUETTE II Türbin ile dönen rotor



Planş I — 5 4-5 kişilik yüksekde uçuş Helikopteri
AGUSTA - BELL 47 J - 3 BI



Planş I — 6 Flotörlü amfibi AGUSTA LB 206 A



Planş I — 7 AGUSTA 101 G



Planş I — 8 SIKORSKY Helikopterinin sudan kalkışı

AERODİNAMİK

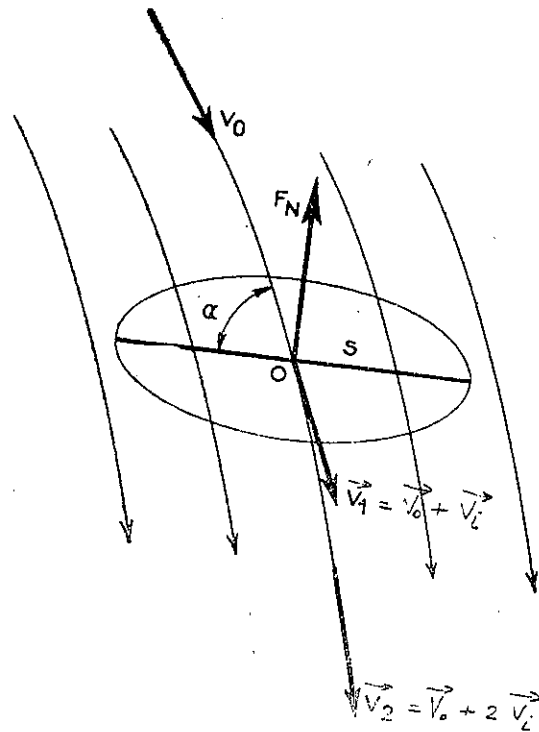
Helikopter teorisi genellikle aerodinamik kanunlarına dayanırsa da yine de kendine mahsus özel terimleri getirecektir.

Rotor bir taşıyıcı kanad değildir. Pervane de değildir. Bunlarla kıyaslarsak şu farkları görürüz.

- Diske gelen yük çok azdır.
- Aks yönünde hız azdır
- Havaya göre, herhangi bir yönde, aşağı yukarı, yatay ve eğri hareket eder.

Genellikle helikopterin aerodinamik analizi, tamamen memnun edici sonuç vermekten uzaktır. Şimdiye kadar elde birçok deney sonuçları ve teori varsa da bunlar kopuk bilgiler halinde ve şüphe ile karşılanacak mahiyettedir. Bir yazardan diğerine bir birini tutmaz sonuçlar ve görüşler bulmak sizleri şaşırtmasın. Bununla beraber, bu eserde en münasip gördüklerimizi sıralayacağız. Daha çok rotorun aerodinamiği üzerinde duracak, bir az da gövdeninkinden söz edeceğiz.

Taşıyıcı Disk Teorisi :



Şekil — 17

Mü kemmel gaz, sürtünme basınçla değişmez kabul edilmiştir.

	$\rightarrow$
Taşıma Normal	F_N
	$\rightarrow$
Hız Sonsuzda ve Girişte	V_0
	$\rightarrow$
Hız Sonsuzda ve Çıkışta	V_2
	$\rightarrow$
Rotor Alanı	S

— Sonsuzda basınç üniform

— Rotordan geçen hava debisi muayyendir Q ve $\vec{V}_1, \vec{V}_2$ üniformdur.

$$I \quad Q = \rho s \left| \vec{V}_1 \right| \text{ bu bir kabuldür.}$$

Bu Q rotordan geçen debi değildir, zira $\vec{V}_1$, S 'e dikey değildir.

gerçekde debi $Q \sin \alpha$ dir.

Hareket miktarı teoremine göre

$$II \quad \vec{F}_N = -Q (\vec{V}_2 - \vec{V}_0)$$

Rotor üzerinde sarf edilen güç P dersek

$$P = -\vec{F}_N \times \vec{V}_1 \text{ olur.}$$

Tarif olarak (endüi hız) rotor alanında,

$$\vec{V}_i = \vec{V}_1 - \vec{V}_0 \text{ dir.}$$

Deney ve teori gösterir ki yakınlıkla $\vec{V}_1$ S 'e dikeydir.

$$III \quad P = -\vec{F}_N \times (\vec{V}_0 + \vec{V}_i) \text{ olur.}$$

Buradan çıkan sonuçlar şunlardır.

1 — Rotora verilen güç + dır. Şayet hava aşağıdan yukarı çıkarsa

$$-\vec{F}_N \times \vec{V}_1 > 0$$

Tersine olursa hava, rotora güç verir. (Yel değirmeni)

2 — P iki terim'den teşekkül eder. $P = P_{v_0} + P_i$

İtiş Gücü : $-\vec{F}_N \times \vec{V}_0$, $\vec{F}_N$ kuvveti havada V_0 hızı ile seyredenken yaptığı iştir.

Endüi Güç : $P_i = -\vec{F}_N \times \vec{V}_i$, $\vec{F}_N$ kuvvetini temin için yapılan masraftır.

P gücünü diğer şekilde hesaplarsak ve

$P_1 = P_2$ basınçları eşit kabul edersek

Havanın kinetik enerji değişimi,

$$IV \quad P = \frac{1}{2} Q (\vec{V}_2 - \vec{V}_0)^2 = \frac{1}{2} Q (\vec{V}_2 - \vec{V}_0) (\vec{V}_2 + \vec{V}_0)$$

den

$$V \quad P = -\vec{F}_N \times \left(\frac{\vec{V}_0 + \vec{V}_2}{2} \right)$$

$$\vec{F}_N \times (\vec{V}_0 + \vec{V}_i) = \vec{F}_N \times \left(\frac{\vec{V}_0 + \vec{V}_2}{2} \right)$$

$$\vec{F}_N \times \vec{V}_i = \vec{F}_N \times \frac{\vec{V}_2 - \vec{V}_0}{2}$$

$\vec{V}_i$ ve $\vec{V}_2 - \vec{V}_0$ ikisi de $\vec{F}_N$ 'e paralel olduğundan, endüi hız, çıkış sonsuzunda Rotordaki endüi hızın iki mislidir.

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_i - \vec{V}_0$$

$$\vec{V}_1 = \frac{\vec{V}_0 + \vec{V}_2}{2}$$

disk kat eden hız, çıkış ve giriş sonsuzdaki hızların aritmetik ortalamasıdır.

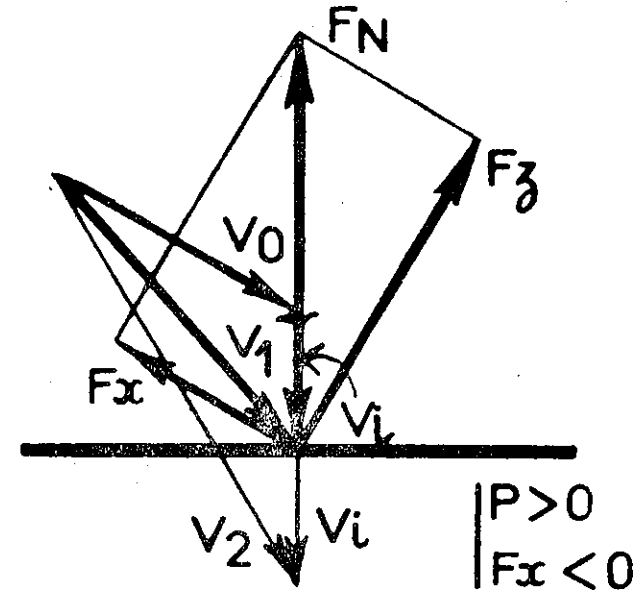
$$VII \quad \vec{F}_N = -2\rho S |\vec{V}_0 + \vec{V}_i| \vec{V}_i \quad \text{olurki,}$$

Rotor teorisinin esas denklemdir.

$\vec{V}_0, \vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{F}_N$ arasındaki bağlantıları bildiğimize göre, rotorun çalışmasına ait değişik rejimleri etüd edebiliriz.

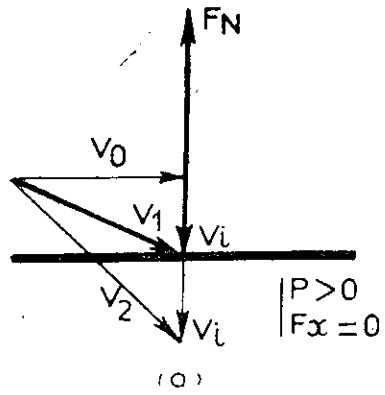
$\vec{F}_N$ kuvveti $\vec{V}_0$ yönünde ve ona dik yönde F_x ve F_z bileşenleriyle gösterilirse :

$F_z > 0$ olursa rotor sürükler veya sürüklemeye mukavemet eder, (otojir hali) (Şekil. 21)

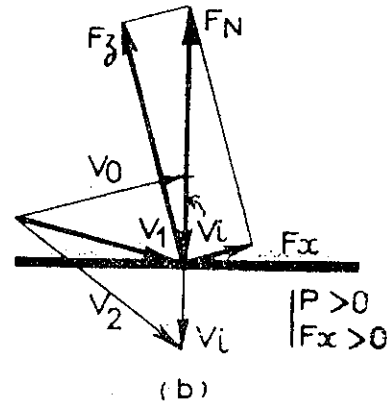


Şekil: 18 — Helikopter rejimi

$F_x < 0$ olursa rotor iticidir (Şekil 18) (ileri yürütülür)



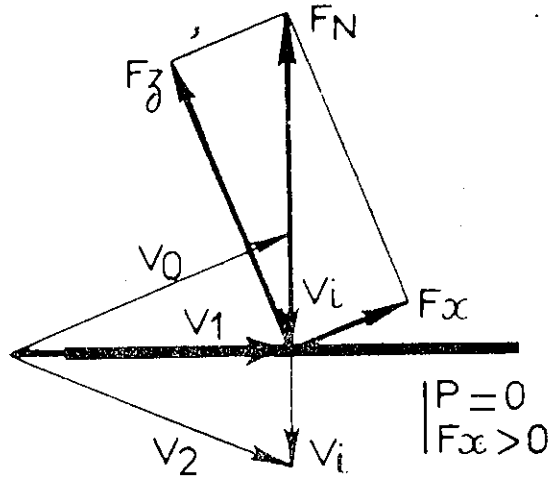
Şekil: 19 — Girodin Rejimi



Şekil: 20

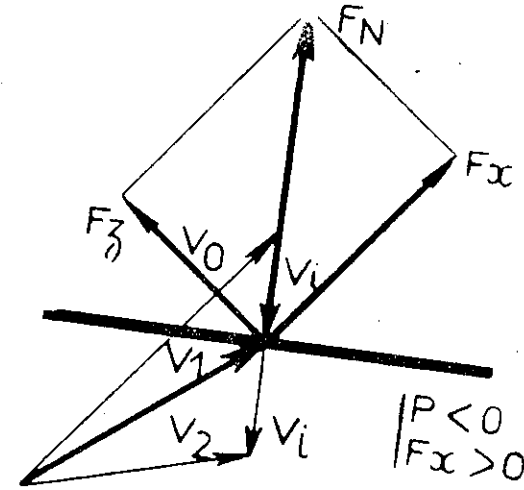
Helikopter (pervane) Rejiminde: $P > 0$ ise rotora enerji vermek lazımdır. Hava akımı yukarıdan aşağıya doğrudur. Sarf edilen enerji havaya kinetik enerji verir. $F_x < 0$ ise, taşıma kuvveti, itici bir bileşene sahiptir, bu da pratikte ya helikopteri yükseltir veya parazit sürüklenme kuvvetlerini dengeler.

«Gyrodyne» Rejiminde: Rotor taşır $P > 0$ dır. Lâkin $F_x = 0$ (Şkil.19) sürüklenme 0 dır hatta hafifce pozitif olur. (Şekil. 20)



Şekil: 21 — Otojir Rejimi

Örnek: «Gyrodyne» veya motor ile helikopterin inişi olup rotor, karşı moment husule getirir. (Şekil.21) hali, *ideal otorotasyona* teka-bül eder. $P=0$ $F_x > 0$ Rotor üzerinde güç $P=0$ dır. Taşıma F_z olup

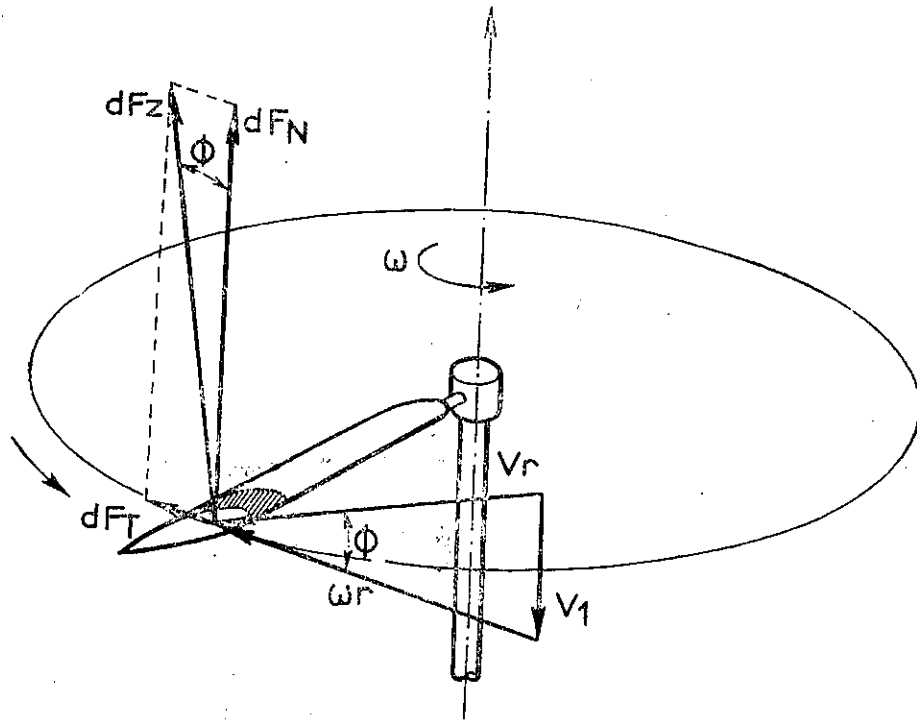


Şekil: 22 — Moline-Fren Rejimi

endüi sürüklemeyi de F_x karşılar (Kanat açıklığı muayyen olan bir kanal gibi)

Örnek: Otojir, otorotasyon halindeki helikopter, ıhlamur tohumunun serbest düşüş hali gibidir.

Firenlenen Rotor: (Şekil.22) rejimi (Monlinet-Frein) rotor havadan enerji alır. $P < 0$ $F_x < 0$ hava, rotorun aşağıdan yukarı yönünde akar. Ve hava enerji kinetik kaybeder. (İrtifa kaybeder)



(Şekil: 23)

Örnek: Yel değirmeni, hakiki otorotasyon (sürtünme ile döner)

Buraya kadar işleme şekilleri; gayet basitleştirilmiş teori içinde izah edilmiştir.

Bu etüdün başında anlattığımız gibi $\vec{V}_1$ ve $\vec{V}_2$ hızları ortalama değerler olup taşıma kuvveti ve gücün hesabında kullanılır. Lâkin bir noktadan diğerine değişen mahalli ve hakiki hızları göstermekten uzaktır.

Diğer taraftan hakiki rotor, yukarıda anlattığımız ideal şemadan farklıdır.

1°) Yukarıda hesap ettiğimiz güce, rotor pallerinin profil sürüklenmesini ilâve etmemiz gerekir.

2°) İleride menşeiini anlatacağımız endüi kaybı (pertes indüites) gözönüne almanız gerekir.

3°) Hava gaz parfe değildir: Yukarıdaki hesap usulleri yaklaşık hallerde memnun edici hesap neticeleri veririse de özel hallerde sürtünme dolayısı ile hava, gösterilen yönleri takip etmez. Hakiki akış, teorinin verdiği akımlara göre çok değişik olur ve yukarıki formüller kaba yanlışlıklara sebep olur. Bu nedenle yavaş iniş hızlarında halka türbiyon rejimini dikkate almak gereklidir.

Taşıyıcı Disk Teorisini Haklı Gösterecek Özellikler:

Değişik uçuş hallerinin ayrıntılı etüdüne geçmeden evvel taşıyıcı disk torisinin hangi ölçüler içinde kullanılabileceğini anlatalım.

Gerçekte taşıma kuvveti rotor tarafından taranan disk üzerinde aynile dağılmış değildir daha ziyade rotor palleri üzerinde toplanmıştır.

Basıncılara ve endüi hızlara gelince; uzay içindeki noktalarda sabit olmayıp, periyotlu olarak değişmektedir. Bu değişim pallerin frekansları ile orantılıdır. Bu bakımdan iki önemli gözlem vardır.

1°) Akımın periyotlu özelliği, sıkı olarak akışkanın rotordan geçişindeki toplam basınç $\left(\frac{F_N}{S}\right)$ e bağlıdır.

2°) Taşıyıcı disk teorisi, hakiki akımın değişen periyodik değerinin ortalama değer ile değiştirilmesini kabul eder. Burada, bahis konusu fizik değerlerin tam değerleri üzerinde açıklık yoktur. Filhakika, değişik hallere göre hızlar ortalama hızlar ile gösterilir.

— Taşıma kuvveti hesabında hareket miktarı alınan ortalama hızlar

$$\int_0^T \frac{\vec{V} dt}{T} \quad \text{olarak alınır.}$$

— Ortalama kuadratik hızlar

$$\sqrt{\frac{\int_0^T \vec{V}^2 dt}{T}} \quad \text{olarak güç hesabında kabul edilmiştir.}$$

(Kinetik enerji değişimi) $P = \frac{1}{2} Q (\bar{V}_2^2 - \bar{V}_0^2)$

Bu iki değer birbirinin aynı olmayıp fark, hız modülasyonunun oranına tabidir.

Taşıyıcı disk teorisi pratikte hız modülasyonunun küçük olmasından dolayı bir değer taşır. Zira endüi hızlara göre rotorlar hızla döner.

Hakiki rotor üzerinde, esas kanununu doğrulayacak olan hususları gösterelim ve bu konuyu bitirelim.

$$P = -\vec{F}_N \times \vec{V}$$

Düşey uçuş halinde bir rotor düşünelim.

Palin bir elemanın toplam hızını $\vec{V}_2$ olarak kabul edelim. $\vec{V}_2$ hızı, $\vec{V}_1$ hızı ile $-\omega r$ hızı, yani elemanın bulunduğu yerdeki dönüş hızı olan $-\omega r$ hızı, toplamına eşit olsun.

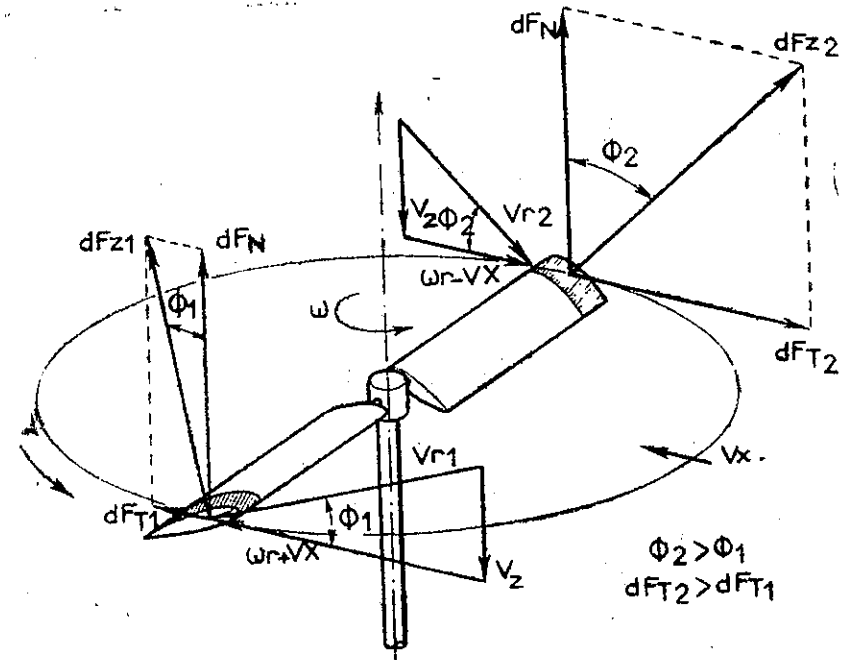
Havayı tam gaz kabul edelim ve pal elemanına isabet eden taşıma dF_z ile gösterilirse, dF_z kuvvetine $\vec{V}_1$ diktir. dF_z in bileşenleri, pal elemanın çizdiği daireye teğet ve buna dik yönlerde gösterilirse (Şekil. 23)

$$dF_N = dF_z \cos \phi$$

$$dF_T = dF_z \sin \phi$$

$$\text{Tg } \phi = \frac{V_1}{\omega r}$$

buradan



(Şekil : 24)

$$\frac{dF_T}{dF_N} = \text{Tg } \phi$$

$$dp = -F_T \times \omega r = -dF_N \times \omega r \text{ Tag } \phi = -dF_1 \times V_1$$

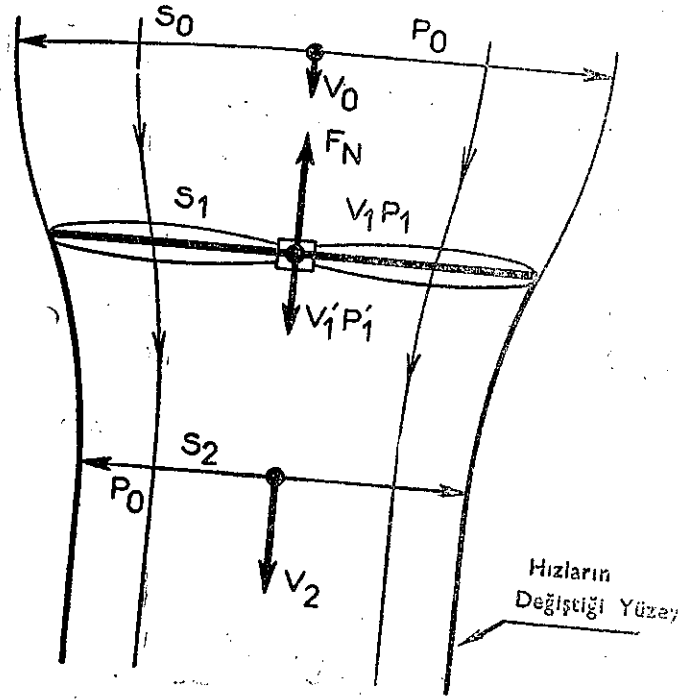
Bu formülü entegre edersek

VIII $P = -\vec{F}_N \times \vec{V}_1$ denklemini buluruz. Buradan hususile anlaşılır ki $P=0$ olursa otorotasyon mekanizması olur ki, pal üzerine gelen momentlerin toplamının 0 olduğunu gösterir. Yani

$$P = \int_S dF_N V_1 = \frac{F_N}{S} \int_S V_1 ds = 0$$

demektir ki $\int_S V_1 ds = 0$ olduğundan rotoru kesen hava filelerinin toplamı 0 dır. Fakat lokal olarak S yüzeyinden geçen hava fileleri bir yönden veya ters yönden gelir.

Genel halde rotor yüzeyine paralel geçen bir V_x hava hızı bileşeni bulunursa, meseleler bir az karışır, zira simetrik olan pal üzerinde.



(Şekil : 25)

deki iki elemana (Şekil. 24) gelen sürüklenme kuvvetleri eşit olmaz. Bu taktirde bir moment ve bir de rotorun gidiş yönüne paralel bir kuvvet husule gelir.

Buradan rotor yüzeyinde bir itici endüi kuvvet doğar ki, taşıyıcı disk teorisinin dışına çıkar.

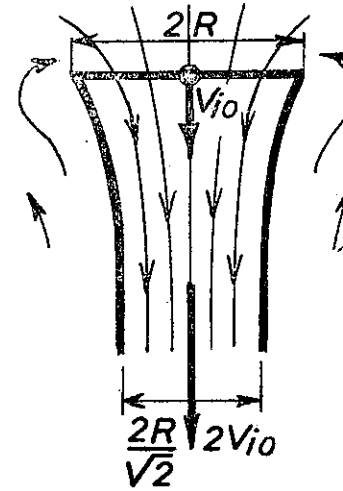
Hesap kolaylıkla gösterir ki, rotorun çektiği güç, bu halde de $-\vec{F} \times \vec{V}_1$ olur burada F , toplam $\vec{F}_N$ ile yukarıda yazdığımız yatay endüi bileşenin toplamıdır. Bu endüi bileşen çok küçük olup, genel olarak ihmal edilir.

Değişik Uçuş Rejimlerinin Etüdü :

Düşey Uçuş Hali :

Bu uçuş halinde rotor kendi dönüş aksına paralel olarak hareket eder. Uçaklarda pervanenin hareketi gibi. Şu halde FROUDE teorisine göre inceleyelim.

Turbiyon teorisi de, ilâvesi gerekli bazı düzeltmeleri açığa çıkar- mağa yarayacaktır. Akım düzenli bir hortum içinde olur, bu hortu- mun kenarları, diskten sonra, geri kalan atmosfer ile hava hızların- da devamsızlık arz eder. (Şekil. 25)



Teorik Akım

Şekil: 26

Hortumun hız ve enerji değişimi, taşıma ve rotor üzerindeki güç arasındaki münasebetleri hesaplamaya yarar.

Teoride şu kabulleri yapacağız :

- rotor sonsuz sayıda palleri hâvidir.
- rotorun diskisi sonsuz değerinde bir inceliktedir.
- havanın rotor aksı etrafındaki dönüşü ihmal edilir orandadır.

— akışkan parfe dir, tamdır.

— itiş ve hızların disk üzerindeki yayılımı üniformdur.

Bu suretle :

P_0', V_2', S_0 basınç, hız ve kesitin, hortumun sonsuzda ve girişteki değerleri.

P_1', V_1', S Aynı değerler girişte disk üstünde.

P_1', V_1', S Aynı değerler çıkışta ve disk üstünde.

P_2, V_2, S_2 Aynı değerlerin sonsuzda ve çıkıştaki değerleri

hızları aşağı doğru + ve taşımaları yukarı doğru + olarak alırsak denklemler :

$$V_1 = V' \quad (\text{debinin devamlılığı nedeniyle})$$

$$Q = \rho S_0 V_2 = \rho S V_1 = \rho S_2 V_2 \quad (\text{debinin devamlılığı nedeniyle})$$

$$p^2 = p_0 \quad (\text{çıkışın sonsuzunda akımın dengede olması})$$

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 = p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 \quad (\text{Bernouilli Kanunu})$$

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 = p_1' + \frac{1}{2} \rho V_1^2 \quad (\text{Bernouilli Kanunu})$$

diğer taraftan :

$$F_N = S(p_1' - p_1) \quad \text{dir.}$$

bunu son iki Bernouilli denklemleri ile birleştirirsek,

$$X \quad F_N = \frac{1}{2} \rho S (V_1^2 - V_2^2) \quad \text{olur.}$$

diğer taraftan M hareket miktarı teoremine göre edilirse,

$$XI \quad F_N = Q (V_2 - V_1) = \rho S V_1 (V_2 - V_1)$$

yukarıdaki iki denklem ile karşılaştırırsak

$$2 V_1 (V_2 - V_1) = V_2^2 - V_1^2$$

buradan

$$V_1 = \frac{V_2 + V_1}{2}$$

bulunur ki bu özel hal için evvelce bildirdiğimiz genel hal bulunmuş olur. Bu münasebetler boyutsuz değerler ile şöyle de yazılabilir.

Güc,

$$F_N = 2 \rho S |V_1| (V_1 - V_2) = 2 \rho S |V_2 + V_1| V_1$$

$$P = F_N \cdot V_1 = F_N (V_2 + V_1)$$

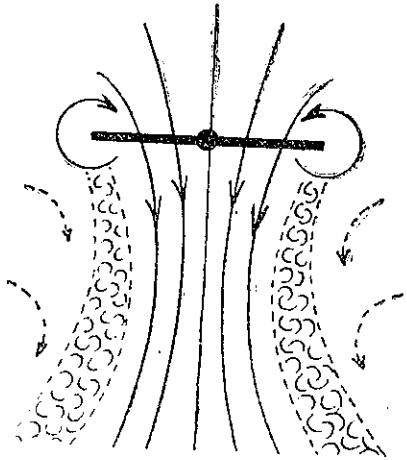
XII

$$\frac{S_0}{S} = \frac{V_1}{V_2} = 1 + \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{S_2}{S} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1 + \frac{V_1}{V_2}}{1 + \frac{2V_1}{V_2}}$$

bu denklemlerin yardımı ile sabit uçuş, çıkış ve iniş hallerini inceleyelim.

Sabit Uçuş Hali: $V_2=0$ (Şekil. 26) (Şekil. 27)



Hakiki Akım

Şekil: 27 — Sabit uçuş

XII denklemleri yardımı ile

$$F_N = 2\rho S V_{i_0}^2 \text{ yahut } V_{i_0} \sqrt{\frac{F_N}{2\rho S}}$$

$$P_{i_0} = F_N \cdot V_{i_0} = 2\rho S V_{i_0}^3 = F_N \sqrt{\frac{F_N}{2\rho S}}$$

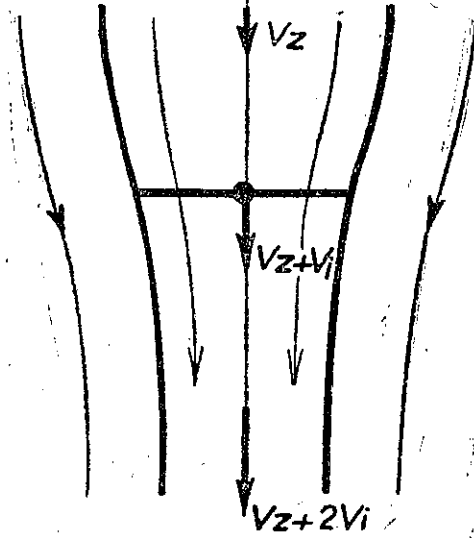
XIII

$$\frac{S_0}{S} = \infty$$

$$\frac{S_2}{S} = \frac{1}{2}$$

elde edilir. V_{i_0} teori kendü hız, sabit uçuş hali ve aynı taşıma kuvveti N için referans hızı olarak alınmıştır.

(Şekil. 26) da işaret edilen duruma göre akım hakiki akımdan (Şekil. 27) havanın viskozitesi dolayısı ile az farklıdır. Viskozite rotordan geçmeyen havayı kısmen sürükler ve hava hızlarını yekdiğerine yakın hale getirmeğe çalışır. Bu suretle rotordan geçen hava hortumu içindeki hava hızı azalır, hortum çapı büyür. Çıkışta ve sonsuzda, taşıma kuvvetine eşit olan hareket miktarı değişmez. Yalnız havanın



Şekil: 28 — Çıkış

toplam enerjisi azalır. Çünkü bir kısım enerji sürtünme ile kaybolur.

Bu olay rotorun performansına önemli bir tesir icra etmez. Lâkin diğer faktörler, rotorun aldığı gücü, yukarıdaki denklemlerde gösterilen değerden daha fazla yapar.

Bu faktörler yâni gücün artmasına sebep olanlar, pal'ın sürüklenme kuvveti ve endüi zayıfların sonuçlarıdır.

1°) Hortumun sınırlarındaki ayrılma tabakası sonsuz incelikte değildir. Bu tabaka bir kalınlık arz ederek rotorun faydalı yüzeyini azaltır. Bunlar pallerin uç kayıplarıdır ki ileride tam sebebini anlatacağız.

2°) Endüi hız, kabul ettiğimiz gibi, hiç bir zaman her yerde aynı değildir. Bundan başka endüi hızın teğet bileşenleri de vardır.

Teğet hızlar ihmal edilirse, endüi hızın yayılımı aynı olursa muayyen bir taşıma kuvveti temin için daha az güce ihtiyaç gösterir. Böyle olacağı aşikâr olmakla beraber isbatı da kolaydır. Bu halden uzaklaşıldığı oranda endüi gücünde artmış olur. Teğet hızlara gelince, çıkışta ve sonsuzda havanın dengesini incelediğimiz zaman taşıma kuvvetini azaltan basınç azalması görülür. Rotorun aldığı güç ise değişmez.

Aynı Çapta İdeal bir FROUD Rotoru ile Hakiki yâni Kullanılan Rotorun Tesir Derecesini Mukayese Edelim.

Endüi Nitelik : (pal uçları kaybı ve endüi hızın üniform olması)

$$\eta_{i_0} = \frac{P_{i_0}(\text{Teorik endüi gücü})}{P'_{i_0}(\text{Hakiki endüi gücü})} = \frac{F_N}{P'_{i_0}} \sqrt{\frac{F_N}{2\rho S}}$$

Rotor üzerinde sarf edilen hakiki toplam güç P_T alınırsa «taşıma kalitesi»

$$\eta_s = \frac{F_N}{P_T} \sqrt{\frac{F_N}{2\rho S}} \text{ olur.}$$

buradaki η_i ve η_s biri değerinden küçüktür. Rotor ne kadar tam mükemmel olursa bu değerlerin de biri diğerine o kadar yaklaşır.

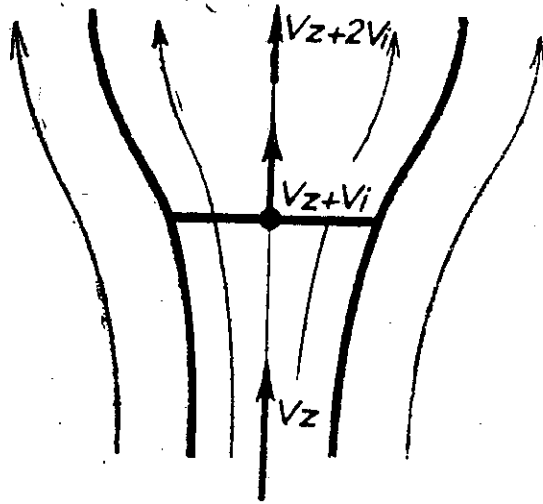
Tatbikatta bu değerler;

$$\eta_i = 0,8 \text{ ila } 0,9 \quad \eta_s = 0,6 \text{ ila } 0,8$$

aralarında değişir. P_i ile P_T arasındaki fark profil sürüklemesinden ileri gelir.

Dikey Yönde Çıkış: $V_z > 0$

Hava akımı sabit uçuş haline çok benzer (Şekil. 28)



Şekil: 29 — Moline - Fren olarak hızlı iniş

XII denklemleri $V_z > 0$ hali için yazılacak olursa, boyutsuz durumda referans hızı olarak V_{i0} teorik endüi hız, sabit uçuş ve aynı taşıma kuvveti F_N için alınır:

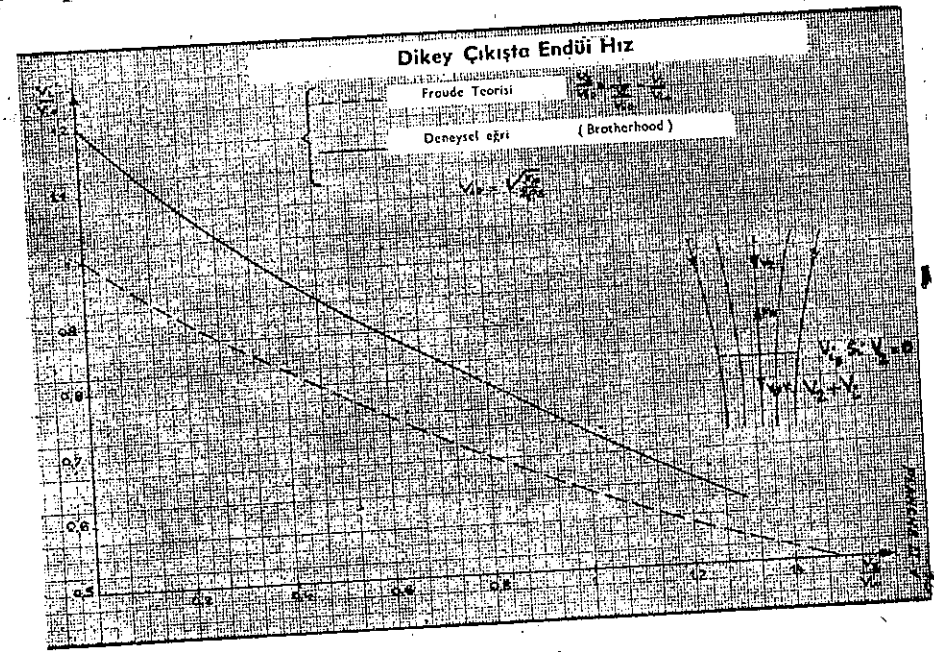
$$\text{XVI} \quad \left| \begin{aligned} V_{i0} &= \sqrt{\frac{F_N}{2 \rho S}} \\ \left(\frac{V_z}{V_{i0}} + \frac{V_i}{V_{i0}} \right) \frac{V_i}{V_{i0}} &= 1 \end{aligned} \right.$$

$$P = F_N \cdot V_{i0} \left(\frac{V_z + V_i}{V_{i0}} \right) = P_{i0} \left(\frac{V_z}{V_{i0}} + \frac{V_i}{V_{i0}} \right)$$

V_z in küçük değerleri için,

$$\text{XVI} \quad P = \frac{P_{i0}}{\frac{V_i}{V_{i0}}} \text{ olur.}$$

V_z biliniirse kolaylıkla V_i ve P , II-1 planş üzerinden okunur. II-1 planşı XII denklemlerinin grafik halidir.

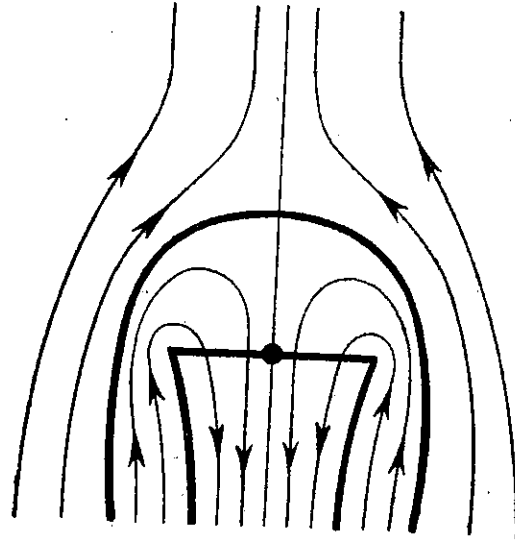


Planş II — 1

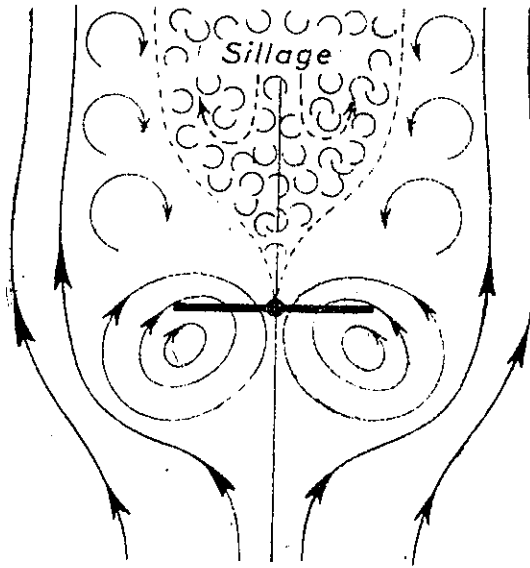
Pratikte V_i endüi kaybı dikkate alınarak bir katı ile arttırılır. V_z in küçük değerleri için P hesabı ilgi çekicidir. Şöyle ki:

$\frac{V_z}{V_{i0}} < 0.25$, bu değeri genellikle tatbikatta kullanılan değerdir. $\frac{V_z}{V_{i0}}$ küçük olduğundan XVI denklemlerinin ikincisinin diferan-

siyeli alınacak olursa yani



a) Teorik Akım

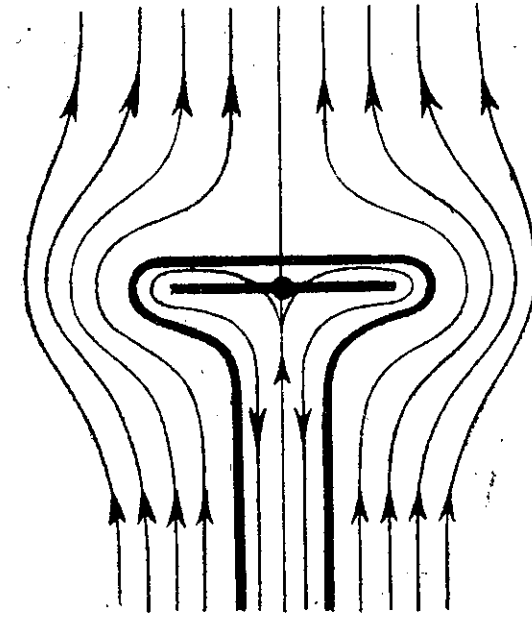
b) Hakiki Akım
(Turbilyon Halkaları)

Şekil: 32 a, 32 b
Helikopter rejimi yavaş iniş

Bu uçuş hali de Moline fren $P < 0$ halidir. Ancak havanın viskoz olması dolayısıyla akan akışkan hortumu V_z hızı yönünde sürüklenir. Hakikatte bu rejimde rotor seviyesinde halkalı turbilyonlar gözükür. (Şekil. 31)

Evvelce işaret ettiğimiz gibi hava, teorinin gösterdiği akımı oklar yönünde izlemez ve XIX denklemleri de tatbik edilemez.

Yavaş iniş halinde de aynı $|V_z| < V_i$ olup, helikopter rejimidir. $P > 0$ dur. Teorik akım (Şekil. 32) gibidir. Yavaş iniş halinde böyle gözükür ise de, V_z önemli bir değer aldıkta (Şekil. 32 b) hali olur ki evvelki hale çok benzer. Diyelim ki turbilyon daha önemlidir ve rotorun altındadır. Fizik izahına gelince, rotor inerken kendi hasıl ettiği hava filelerini yutar ki bu da akımın turbulan görüntüsünü izah eder.



a) Teorik Akım

Şekil: 33 -- Teorik akım

$V_z=0$ dan $V_z=-2V_i$ değerlerine kadar, rotorun yakınında turbilyon halkalarının bulunması ile aynı tip akımda olduğunu gösterir. Bu nevi işleme aşağıdaki durumdadır.

1°) Hava rotorun üstünde sıyrılma yaptığından turbilyonlu bir iz yapar.

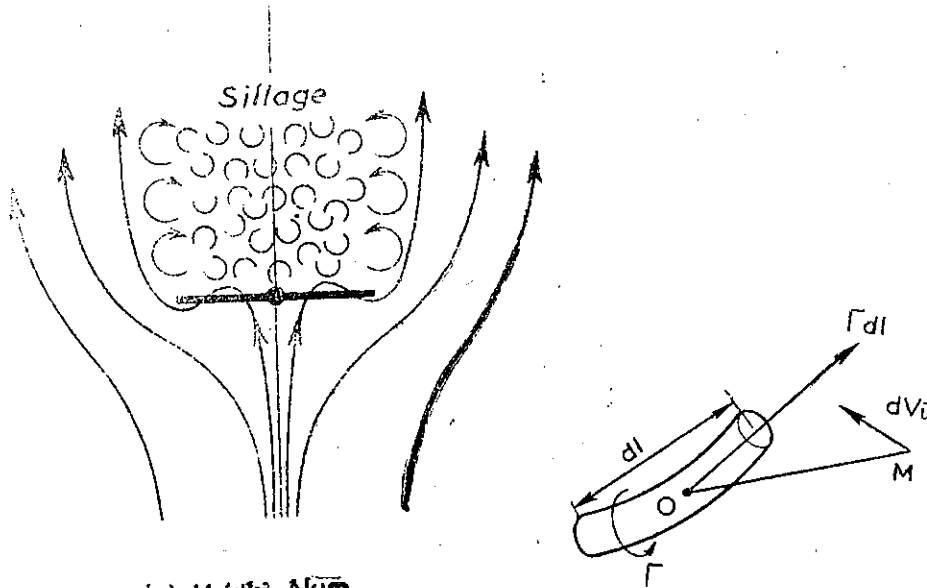
2°) Bu olay sürekli değildir. Rotora bağlı turbilyon periyodik olarak, iz içinde sürüklenen turbilyon halkalarını bırakır.

Bu halin benzeri fena karene edilmiş bir cismin arkasında husule gelen akıma benzer.

Bizim etüd ettiğimiz havanın aktığı yöndeki taşıma kuvvetidir alınan örnekteki cismin arkasında husule gelen ise bir sürüklemedir.

Bununla birlikte ve genellikle, rotor herhangi bir cisme benzeti-
lemez. Çünkü rotor ile hava arasında devamlı bir enerji nakli vardır. Yalnız $P=0$ hali (düşey otorotasyon) istisna teşkil eder. Şimdi bu hali etüd edelim.

Düşey Otorotasyon : Bu uçuş rejimi helikopter rejimi ($P>0$ iniş hızı az) ile Moline - fren rejimi ($P<0$ yüksek iniş hızı) arasında sınır yapar.



b) Hakiki Akım

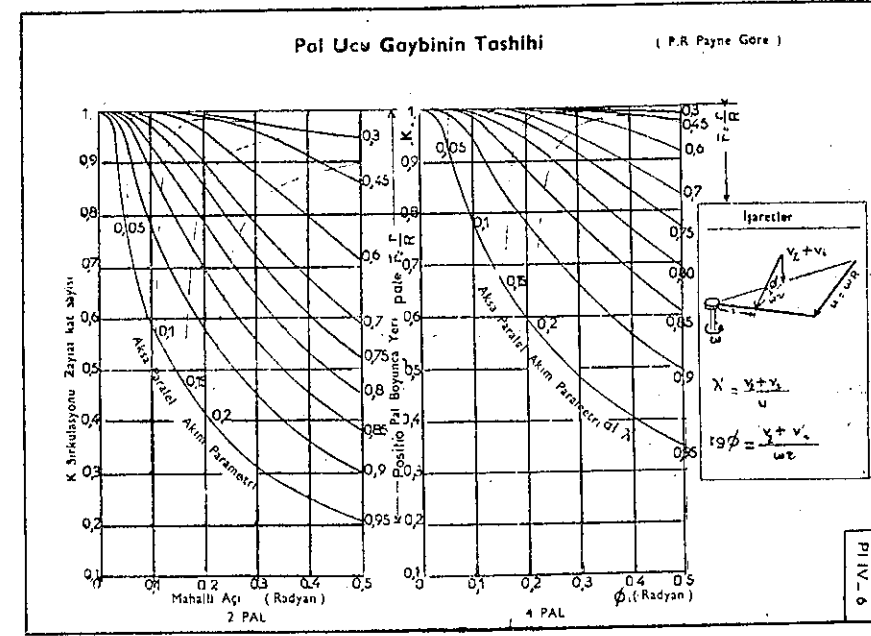
Şekil: 34 — Otorotasyon

Şekil — 35
Bir turbilyon elemanında endüi hız

Teorik akım (Şekil. 33) de gösterilmiştir. Hakiki akımı gösteren (Şekil. 34) den anlaşılacağı üzere rotor hava akımının geçmesine engel olmağa çalışır. Rotor diskinin üstünde hasil olan iz dairesel bir diskin yüzeyine dik olarak gelen hava akımında yaptığı ize benzer.

Hava tüneline yapılan deneyler, kalite ve kantite itibarile bu benzerliği gösterir.

Gördüğümüz gibi, turbilyon halkalar rejimleri, FROUDE teorisi ile izah edilemez. Endüi hız yaklaşık olarak dahi bir anlam taşımaz. Bu nunla beraber efikas endüi hız, aşağıki denklem ile dikkate alınacak bir bilgi olarak düşünülebilir.



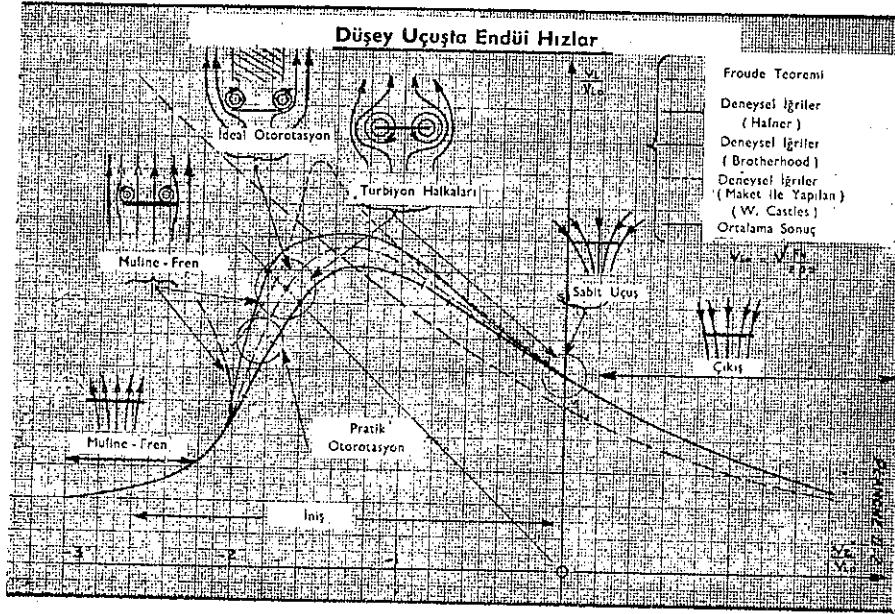
Planş II — 7

$$P = -\vec{F}_N \times (\vec{V}_z + \vec{V}_i)$$

Hava tüneline ve uçuş deneylerinde elde edilen sonuçları kullanarak V_i değerini V_z e bağlı olarak izah etmek mümkündür.

Düşey Uçuş Halindeki Bilgileri Özetliyelim :

II-2 planşı, düşey uçuşla ilgili olaylar toplamını sentetik olarak gösterir.



Planş II - 2

Endüi ve düşey hızlar V_{i0} değerine göre irca edilmiştir. Dolgun çizgili eğri deney sonuçlarını gösterir.

Hızlı iniş ve çıkışlar, FROUDE teorisinin eğrilerine yaklaşıp (nokta nokta eğriler). Bu alandaki farklar, endüi kaybı dolayısı ile yapılan, ortalama düzeltme farklarıdır.

Turbilyon halkalarının rejimlerine tekabül eden eğri kısmını biraz daha etraflı inceleyelim.

Bu kısımda, kaynağı değişik deneysel bir çok eğriler verdik. Bunlar FROUDE akımı bölgelerinde tersine olarak gösterir ki, önemli bir dağılıp vardır. Akımlardaki bu dağılıp, viskosite olaylarının önemli etkisiyledir. Özellikle, mikyasın etkisi önemlidir.

Eğrinin durumu bazı yönlerden dikkati çeker. Bu diyagram üzerinde eşit güç eğrileri ikinci dörtgen diyagonaline paralel doğrulardır.

$$\frac{V_i}{V_{i0}} + \frac{V_z}{V_{i0}} = \text{sabit}$$

İdeal otorotasyon temsili noktası doğru üzerindedir.

$$\frac{V_i}{V_{i0}} + \frac{V_z}{V_{i0}} = 0$$

otorotasyonun hakiki halleri gerçekte muline-fren halleridir.

Bir kısım enerji; pallerin sürüklemesine, transmissiyonun sürtünmesine, tertibatın çalıştırılmasına veya mukavemet kupline ve diğer hususlara gider. Ayrıca planşta görülürki, bu işleme alanındaki güç değerleri iniş hızı üzerinde az etkilidir.

Buna mukabil iniş hızı az olan alanlarda

$$\left| \frac{V_z}{V_{i0}} \right| < 1,2 \text{ eğri yönü eşit güç eğrilerine çok yakındır.}$$

Bu halde gücün ufak değişimi iniş hızı üzerinde büyük değişiklik yapar.

Bu hale, rotor altındaki turbilyon halkalarının çalkalanmasında ilâve edilirse, rotorun kontrolü, bu nevi uçuşa sokan pilot tarafından, güç sağlanır.

Kullanıcıların dilinde, turbilyon halkaları rejimi bu zor rejimi gösterir, ancak otorotasyon ve muline-fren halleri bu olayın dışındadır.

Planş II-2 deki diyagram, akımın üniform olmayan kaybını genellikle gösterir. Daha hassas bir değerlendirme yapmak istenirse FROUDE teorisi denklemlerini mümkün olduğu kadar dar çevre elemanlarına tatbik etmek lâzımdır.

Bu metodun tatbiki performans hesaplarında görülür.

Rotorun Turbilyon Teorisi Elemanları — Düşey Uçuşa Tatbiki :

Bu paragrafta, turbilyon teorisi bakımından rotorun işleyişini tetkik edeceğiz.

Meselenin matematik tarafı, daha çok fizik izahlara feda edilecektir. Bu kısımda rotorun, taşıyıcı diskten neden farklı olduğunu anlatacağız. Buraya kadar aynı kabul etmiştik. Ayrıca hareket eden uçuşta daha uygun olan turbilyon görüşüne göre bir hazırlık yapacağız.

Turbiyon Teorisi Prensipleri :

Rotorun hareketi ile husule gelen turbiyonlardan faydalanılarak, uzayın her noktasında endüi hızı hesaplamak turbiyon teorisi ile mümkündür.

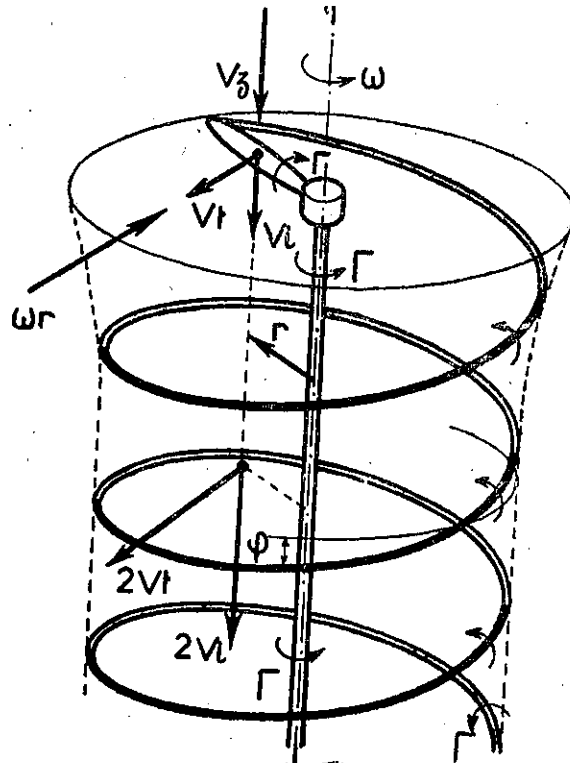
Pallere bağlı turbiyon ile, pallerden kopup iz içine sürüklenen serbest turbiyonu birbirinden ayırt edeceğiz.

Akışkanlar mekaniği göstermiştir ki, akışkan içindeki hızların hesabı, uzaydaki her noktada turbiyon şiddetini bilmekle bulunabilir.

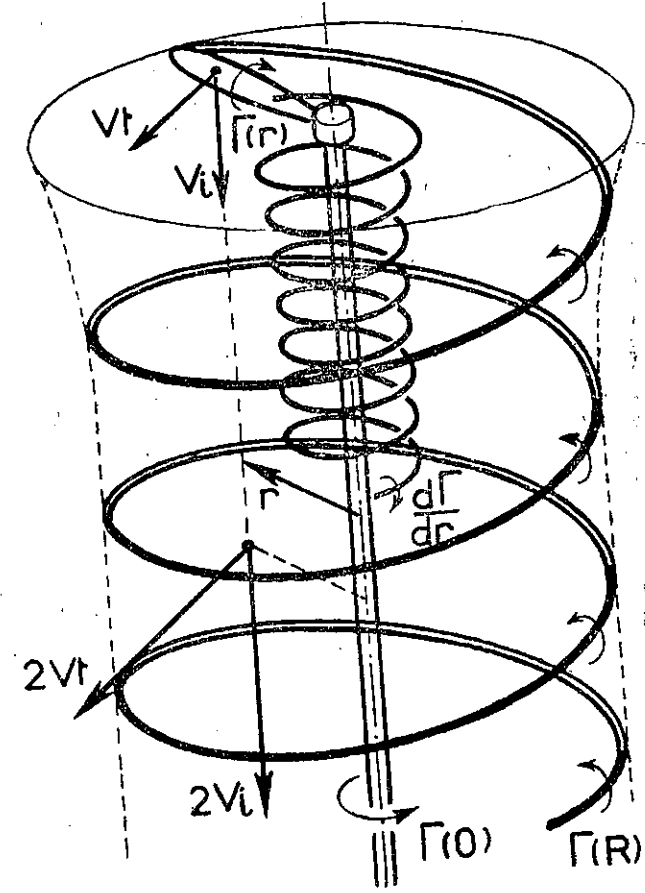
T şiddetinde dl uzunluğundaki her turbiyon elemanının M noktasındaki endüi hızı

$$dH = \frac{I}{10} \frac{dl \sin \alpha}{r^2} \quad \vec{dv}_i = \frac{\vec{I} dl \wedge \vec{OM}}{4\pi |\vec{OM}|^3}$$

Bilindiği gibi bu formül, elektromanyetikteki BIOT ve SAVART formülüne, değişik katsayı ile eşittir, $dH = \frac{I}{10} \frac{dl \sin \alpha}{r^2}$ bunu şu suretle ifade edebiliriz.



Şekil — 36-a



Şekil — 36-b

Bir turbiyon sisteminin yarattığı endüi hız alanı, turbiyon ipliğinden geçen $\frac{\Gamma}{4\pi}$ şiddetindeki bir elektrik akımının hasıl ettiği elektromanyetik alana eşittir.

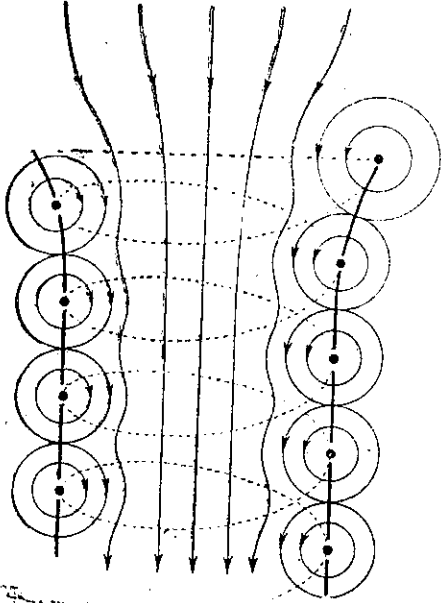
Genel olarak, turbiyon teorisinin müşkülleri çifttir.

1°) Serbest turbiyonları uzayda yerleştirmek ekseriya zordur.

2°) Herhangi bir durumda hesapların yapılması çok karışıktır. Sonuç alabilmek için kaba yaklaşıklar yapmak zorunluğu vardır.

Düşey Uçuştaki Rotoru Tatbiki : Sabit sirkülasyonlu palin basit bir durumu ile başlayalım. (Şekil. 36) da olduğu gibi, anlaşılmasını

kolaylaştırmak için bir pal alalım. Burada pal, r üniform sirkülasyonlu, taşıyıcının bir parçasıdır. İki ucundan şiddeti Γ olan serbest turbiyon çıkar.



Şekil 37 — Uc kayıpları

Disk düzlemi içinde pal boyunca endüi hız simetri dolayısıyla sıfırdır. Aynı şekilde çıkış sonsuzunda da sıfırdır. Şu halde yalnız endüi hıza hayat veren serbest turbiyonları etüd edeceğiz. Palin aksa bağlandığı yerden çıkan turbiyon palin düzlemi içinde V_t endüi hızını hasıl eder. Bu da akım hortumu içinde $2 V_t$ yapar.

V_t endüi hızı, taşıyan disk teorisinde, yoktu. Burada ise rotorun dönen bir taşıyıcı olması nedeniyle yeni bir anlam getirmiştir.

Bu bileşen pratikte çok küçüktür. İlerideki vereceğimiz denklemlerden de böyle oluşu anlaşılacaktır.

V_t değeri, Γ yarı çapındaki daire boyunca sirkülasyonu $\frac{\Gamma}{2}$ olan değere göre yazılacak olursa,

XX

$$V_t = \frac{\Gamma}{4\pi r} \text{ olur.}$$

Palin ucundan çıkan serbest turbiyon bir elis çizer. Elisin çizdiği yüzey, rotor ile üflenlen akım etraftaki atmosferden ayırır. Yüzey, hız süreksizliği yapan turbiyon alanıdır.

Pal ucundan çıkan turbiyonları bir solenoide benzetebiliriz. Solenoidin hasıl ettiği manyetik alan bu taktirde FRCUDE teorisinin bildirmedığı endüi hızdır. Turbiyonun helezonlarını oldukça sık kabul ederek solenoidin elektromanyetik hesabına uyduracağız. Bu hal bir çok palli bir rotorun hızla dönmesi hali olur ve aks yönündeki hız rotorun daire hızına göre küçüktür.

Bu şartlar içinde solenoidin içindeki manyetik alan karakteristikleri şöyledir :

— Pal uçlarında uzakta akse paralel akım sürekli ve aynıdır. Şiddeti $H = 4\pi n I$ formülünün gösterdiği olup burada n birinci boydaki helezonların sayısını gösterir. I ise her helezondan geçen elektrik akımını gösterir.

— Girişte, aks yönündeki alanın bileşkeni sürekli olup, değeri $2\pi n i$ olur ki evvelki değerin yarısıdır.

Böylece, çıkışta ve sonsuzdaki endüi hızın diski geçişteki endüi hızın iki misli olduğu tekrar görülür.

Endüi hızın hesabına gelince, hesap edebilmek için kenar turbiyonun teşkil ettiği elisin hatvesini bilmek lâzımdır. Bu da serbest turbiyonun dengede olduğunu yazmakla mümkündür. Yani her noktada herhangi bir kuvvete maruz değildir. Turbiyonun bir parçasına tesir eden kuvvet vektöriyel çarpma $\vec{\rho} \vec{V} \wedge \vec{\Gamma} dl$ şeklindedir. Elise teğet her noktada, havanın izafi hızı paraleldir, buradan (Şekil. 36)

$$\text{Tg } \phi = \frac{V_z + V_t}{-V_t}$$

, silindirin çıkış sonsuzunda silindire sarılan solenoidin yarı çapıdır. Aks yönünde elisin dairelerini birbirinden ayıran aynen uzaklığa 1 dersek,

$$1 = 2\pi r \text{ tg } \phi = \frac{2\pi}{\omega} \times \frac{V_z + V_t}{1 - \frac{V_t}{\omega r}}$$

$$\text{XXI} \quad n = \frac{1}{l} = \frac{1}{2\pi r \tan \phi} = \frac{\omega}{2\pi} \times \frac{1 - \frac{V_t}{\omega r}}{V_z + V_i}$$

Endüi hız V_i

$$V_i = 2\pi \times \frac{\Gamma}{4\pi} \times \frac{\omega}{2\pi} \times \frac{\left(1 - \frac{V_t}{\omega r}\right)}{V_z + V_i}$$

veya

$$\text{XXII} \quad V_i = (V_z + V_i) = \Gamma \frac{\omega}{4\pi} \left(1 - \frac{V_t}{\omega r}\right)$$

genellikle $\frac{V_t}{\omega r}$, 1 değeri önünde önemsiz bir değer olduğundan

$$\text{XXIII} \quad V_i(V_z + V_i) = \Gamma \frac{\omega}{4\pi}$$

V_i ile V_t arasındaki münasebet XXI formülüne göre V_i

$$V_i = 2\pi \frac{\Gamma}{4\pi} \cdot \frac{1}{2\pi r \tan \phi} = \frac{\Gamma}{4\pi r \tan \phi} \text{ olur.}$$

Buradan XX denkleminde göre

$$V_t = V_i \tan \phi \text{ bulunurki bu.}$$

denklemin manası şudur. Her noktada özetle pal doğrusunda, toplam endüi hız, havanın izafi hızına dikeydir. Bu hal pervanesinin genel olarak, uzunluğu muayyen olan kanadın bir özelliğini teşkil eder.

Gücün ve Taşımanın Hesabı: Yatay olarak $\omega r - V_i$ hızı olan bir pal parçasının taşıması

$$dF_N = \rho \Gamma dr \left(\omega r - \frac{\Gamma}{4\pi r} \right)$$

$$\text{toplam taşıma } F_N = \rho \Gamma \int_0^R \left(\omega r - \frac{\Gamma}{4\pi r} \right) dr \text{ dir.}$$

XXIV

Şimdilik, teğet hız V_t in getirdiği düzeltmeyi bırakırsak,

$$F_N = \rho \Gamma \int_0^R r dr = \rho \Gamma \omega \frac{R^2}{2} \text{ olur.}$$

bu değeri XXIII denklemindeki değeri ile gösterir ise XXVI

$$F_N = 2\rho SV_i(V_z + V_i)$$

bulunur.

GÜÇ:

Akse paralel hız $\rho \Gamma dr (V_z + V_i)$ gibi bir sürüklenme verir.

Güç de

$$P = \int_0^R \rho (V_z + V_i) \Gamma dr \omega r$$

XXVII

$$P = \rho (V_z + V_i) \Gamma \omega \frac{R^2}{2} \text{ olur.}$$

XXVIII

XXV formülünü dikkate alırsak

$$P = (V_z + V_i) F_N$$

bulunur.

XXVI ve XXIX denklemleri, XII denklemlerine benzer ki FROUDE teorisinin değerlerini tekrar bulmuş oluruz. Bu hal rotorun çok sayıda palli ideal hali demektir. (Halkaları sık solenoid). Burada teğet endüi hızın tesiri ihmal edilmiştir. Pal boyunca sirkülasyon sabittir.

Turbiyon şeması, süreksiz ve devamlı haldeki hortum kenarındaki izde hasıl olan turbiyon sık halkalarının, devamıdır.

Şimdi, hakiki rotorun daha hassasiyetle tashihini icabettiren teorisinin neler olduğunu tetkik edelim. (Teğet endüi hız ve mahdut sayıdaki palli hali).

Teğet endüi hızın bileşeninin tesiri

XXIV denklemini entegre etmeği denersek

$$F_N = \rho \int_0^R \Gamma \left(\omega r - \frac{\Gamma}{4\pi r} \right) dr$$

palin akse bağlandığı yerde eksi taşımanın sonsuza gittiği görülür. Bu durum bize; $r=\text{sabit}$, ve V_i hızı disk üzerinde aynı olması halinin, taşıyan disk teorisinden çıkardığımız sonuçlara uygun olmadığı fikrini getirir. Zira taşıyıcı rotor dönmektedir.

Dolayısıyla pal boyunca değişen sirkülasyon dağılımını ve (r) kanununu aramağa mecburuzki daha doğru bir görüş getirelim.

(Şekil. 27) de görüldüğü gibi turbiyon pal'in aksdaki nihayetinden buna pal'in ayağı diyecek olursak, pal'in ayağındaki turbiyon, pal boyunca file gibi turbiyonların çıkmasıyla bir örtü yapar. Şiddeti $\frac{d}{dr}$ dir. Bu fileler elikoid sistem teşkil ederek akım hortumu içinde tesirini gösterir ki $\frac{d\Gamma}{dr} > 0$ ise yukarı doğru hızlar ile yumaklanır.

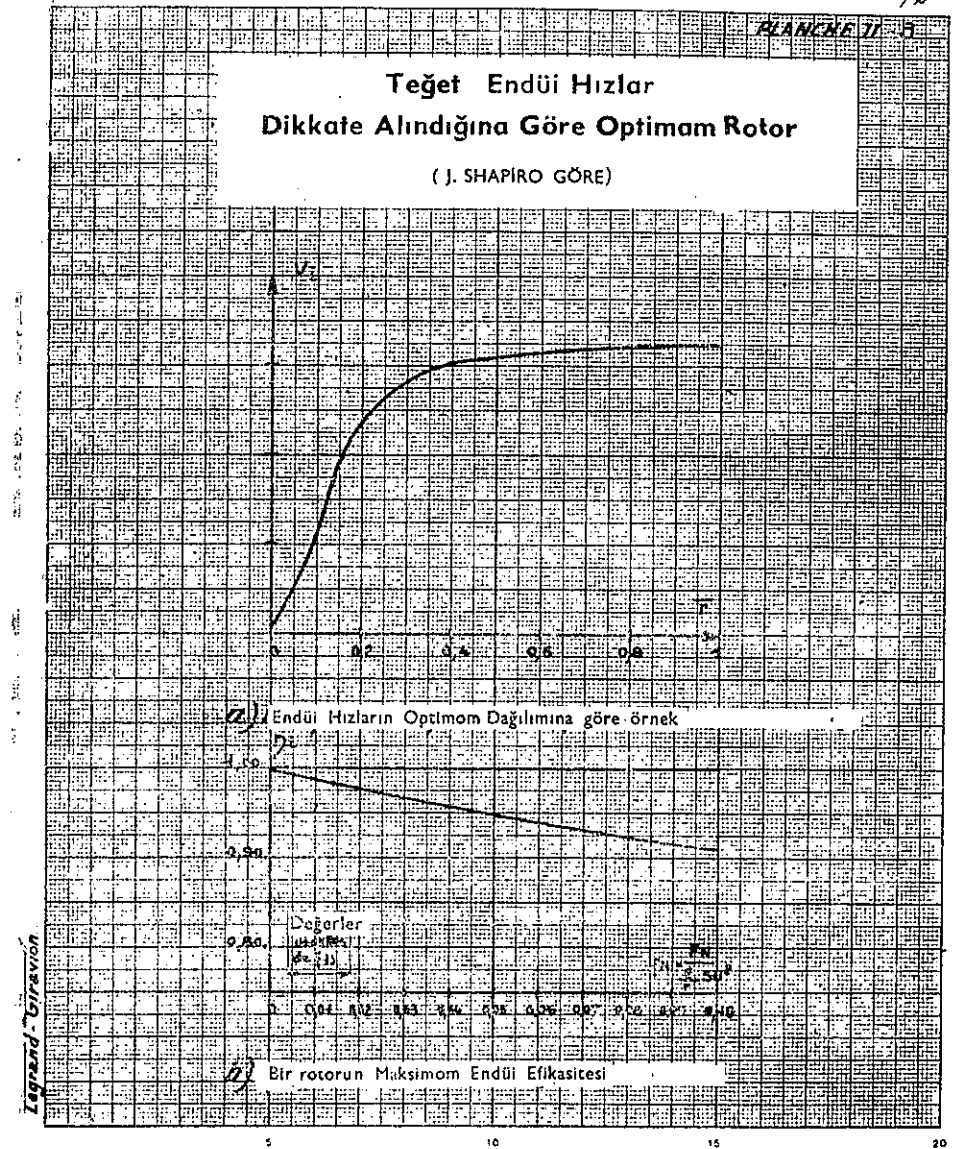
Ek II-I de matematik izah, pratikte en fazla alâka çeken sabit uçuşta, endüi hızların münasip dağılımını gösterir. Sonuçlar planş II-3 de gösterilmiştir.

Görülür ki, üniform yâni, aynı hızların dağılımı kanununa göre yapılacak düzeltmeler, beklendiği gibi palin ayak kısmında bilhassa kendini gösterir. Zira burada hızlar çok küçülmüştür.

$\frac{V_i}{U}$ oranı küçük oldukça, hız yayılımı $[V_i=\text{sabit}]$ kanununa o kadar yaklaşır.

Pratikte, rotor imalât usulleri dolayısıyla büyük endüi hız temini mümkün olmadığından $r < 0,2$ yapılacak düzeltmeler önemli değildir. Bu suretle endüi hız yayılımını rotorun merkezine kadar sabit kabul etmekte mahzur yoktur.

Şayet, endüi hızın münasip dağılımı elde edilse bile, icap eden güç, FROUDE teorisinin gösterdiği değerden, daha fazla olduğu aşikârdır. Münasip pervane, münasip taşıyıcı diskten biraz daha az tesirlidir. Denilebilir ki XIV denklemindeki esaslara göre hareket etmek taşıyıcı diske oranla daha iyi sonuç verir. Maksimum tesirlilik değerini gösteren II-3 lavhasındaki diyagramda, F' değerine göre farkı göreceğiz. Burada görülür ki pratik değerlerde dönen taşıyıcının (F_N) tesir kaybı çok azdır.

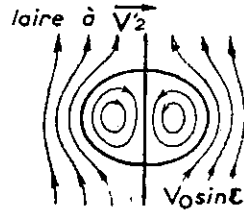


Planş II — 5

Pal Ucu Zayıyatı: Buraya kadar rotorun pal sayısını açık ve kapalı olarak sonsuz kabul ettik. Halbuki hakikatta pal sayısı bir rotorda belirlidir. Bu neden ile teoride rötüş yapmak gerekir. Bu arada şimdi pal ucunu ele alalım.

Fazla detaya girmeden planş IV-6 da turbiyon teorisine göre yapılacak düzeltmeyi göreceksiniz.

Bu zayıyatın fizik nedenlerini göstermekle yetinelim. Pal'ın ucu turbiyonlarının teşkil ettiği solenoid bitişik değildir. Akım hortumunu daraltır ve hortum etrafında da turbiyonlar yapar (Şekil. 37)



Şekil — 38 V_2' ye dikey bir yüzeyde hava akımları

Şekilde görüldüğü gibi akım hortumu sınırları, turbiyonlar arasında geçer. Bu suretle evvelce söylediğimiz gibi, faydalı kesit daralır, bundan kanatlar ucunda, taşıma kuvvetini azaltan bahis konusu yan zayıyat gibi, pal ucu zayıyatı meydana gelir.

Olayın böyle oluşu, endüi hızın sabit oluşu kanununun kabulüne aykırı olarak V_1 =sabit olmaz. Pal ucunda endüi hız değişik olur.

İleride anlatacağımız gibi, pal'ın her noktasındaki zayıyat dikkate alınacaktır. Pratikte rotor çapını, bir yüzde hesabı ile küçülterek, kabul etmek yeterlidir. Yani R rotor yarı çapı yerine BR almak yeterlidir. $B < 1$ olup B yi veren bir çok formüller vardır. Bu kitapta en pratik olan PRANDLE formülünü kullanacağız.

$$B = 1 - \frac{1.386}{b} \frac{\lambda'}{\sqrt{1 + \lambda'^2}}$$

λ' akstaki akım parametresi olup $\frac{V_z + V_i}{U}$ değerine eşittir. b pal adedidir.

Sabit uçuş halinde

$$\lambda' = \sqrt{\frac{F_N}{2\rho S U^2}}$$

taşımayı azaltan katsayıyı kullanırsak

$$f_N = \frac{F_N}{\frac{\rho}{2} S U^2}$$

aşağıdaki sonuç bulunur.

$$B \approx 1 - \frac{\sqrt{\frac{F_N}{2}}}{b}$$

XXX

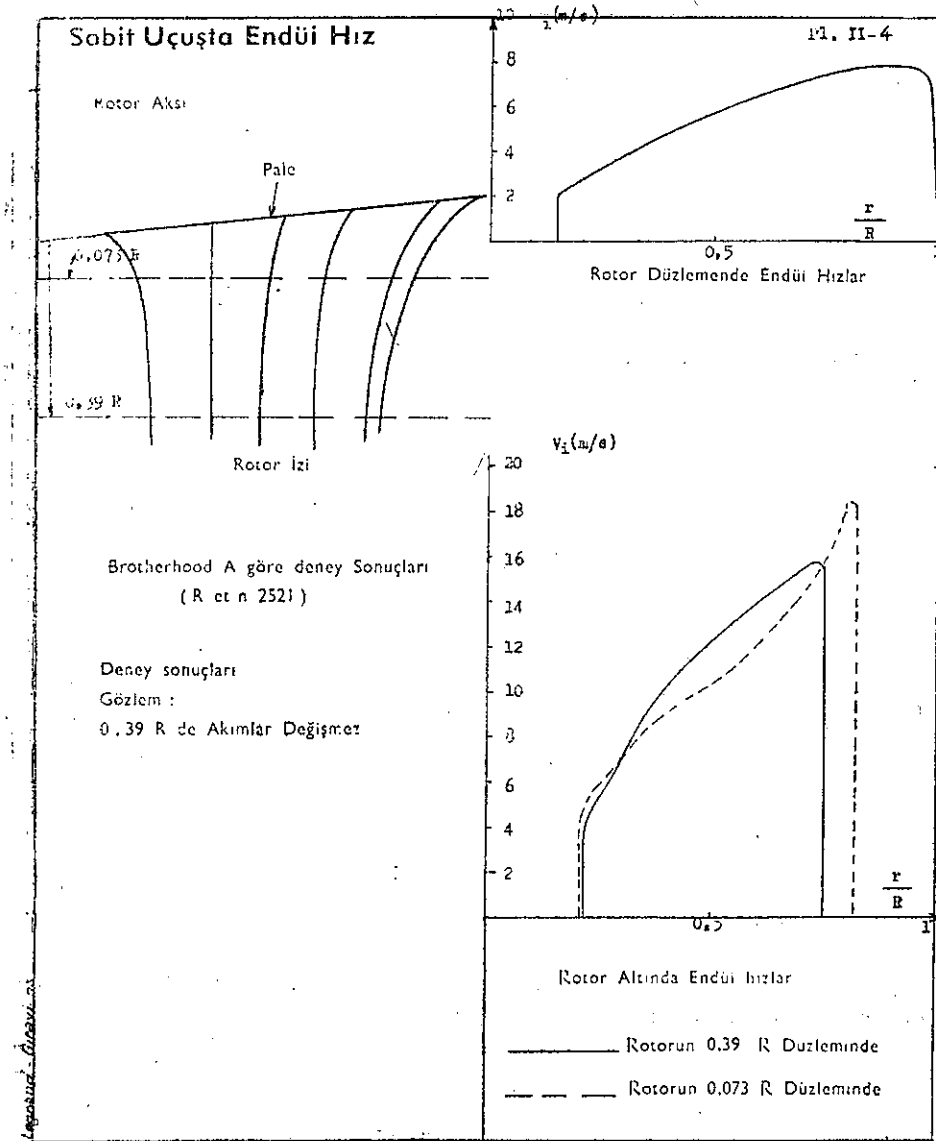
Gözlem :

PRANDLE formülünün analitik izahı aşıkardır. Yan turbiyonların arası birbirinden uzak oldukça fiktif pal çapı o kadar küçük olur. Yani B o kadar küçük olur. Yan turbiyon aralığına 1 dersek XXI formülünden 1 değerini alarak

$$\text{XXXI} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{b} \times 2\pi \frac{V_z + V_i}{\omega R} = 2\pi \frac{\lambda'}{b} \quad \text{bulunur.}$$

Rotorun durumu hakkında turbiyon teorisinin bize öğrettiğine göre; η_i endüi nitelik maksimum olarak erişebildiği değer 1 den küçük fakat 1 e yakın olur.

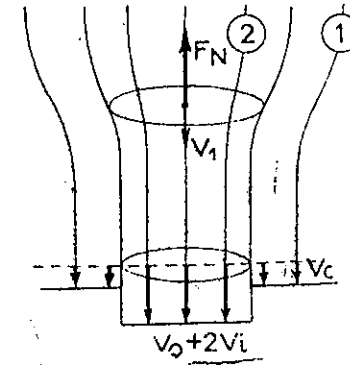
Sonuç olarak diyebiliriz ki, endüi hızın en münasip dağılımı üniform değildir. Bu hız pal kökü veya ayağı ile pal ucunda zayıflar. Örnek olarak, planş II-4 de hakiki bir rotorda endüi hızın yayılımını gösteriyoruz.



Planş II — 4

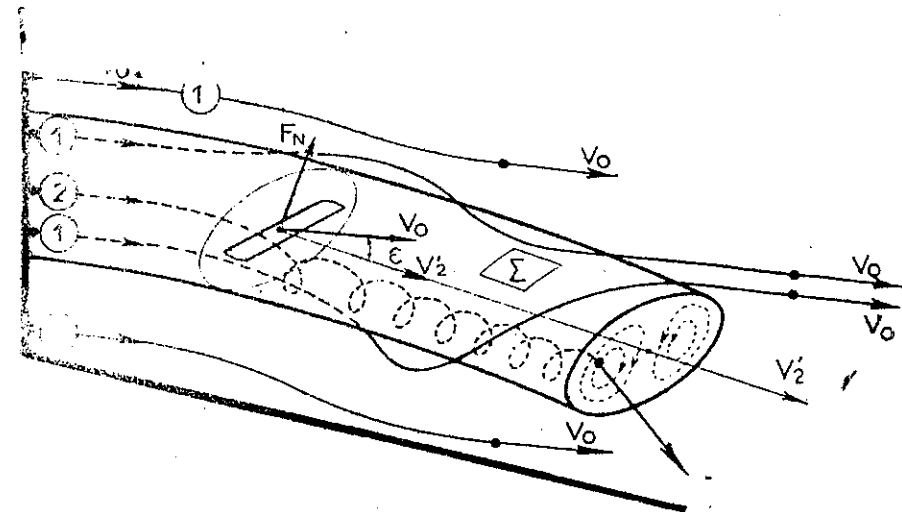
Genel Uçuş Hali : Helikopterin havada herhangi bir hareketi, evvelce de beyan ettiğimiz gibi, etüdü en zor olanıdır. Bu zorluk hava akımlarının karışık olması sonucudur.

Genel Düşünceler : Dikey uçuşta pervanenin tutumu ile kanat uzunluğu sınırlı olan kanat uçuşunun tutumu arasında bir kıyaslama yaparsak, rotorun bu uçuş halinde durumunu daha iyi anlarız (Şekil. 38)



Şekil — 39 Dikey uçuşta rotor

(Şekil. 39) rotorun dikey uçuşunu gösterir taşıma kuvveti $\vec{F}_N$, $\vec{V}_1$ hızına paraleldir. Gördüğümüz gibi rotorun altında basınç artar. Bu hal sonsuz çıkışta, rotordan geçtikten sonra hava hızında artış yapar.



Şekil — 40 Kanat açıklığı sınırları

$$|\vec{V}_2| > |\vec{V}_0|$$

Şimdi, sınırlı uzunluğu olan kanat haline geçelim.

XXXII

$$\vec{F}_N = -2\rho S |\vec{V}_0| \cdot \vec{V}_1$$

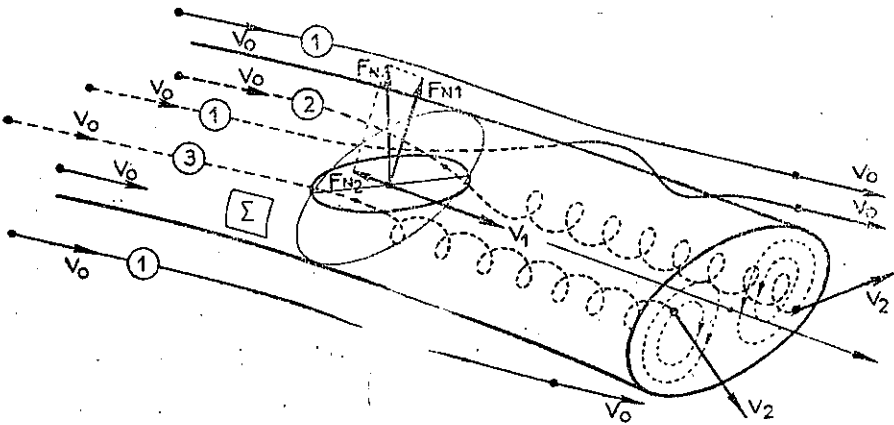
PRANDLE teorisine göre çıkardığımız formüllere dayanarak yazalım :

$$\vec{F}_N = -2\rho S |\vec{V}_0| \cdot \vec{V}_1$$

- F_N kanadın taşıma kuvveti
- V_1 kanat boyunca endüi hız
- V_0 girişte ve sonsuzda hız
- S kanat boyu kadar çapı olan dairenin alanı

Hava akım hortumunun sonsuz çıkıştaki endüi hızı $2V_1$ olsun.

Bu formül genellikle taşıma kuvvetinin; S kesidinden geçen ve $2V_1$ hızına sahip havanın aşağıya yönelmesinden hasil olur. Anlatabilmek için böyle söylemek en iyi yoldur. Ancak bu formülün ardında fizik bir gerçek vardır. (Şekil. 40) ı ele alalım.



Şekil 41 Yürüyen rotor

Kanaddan çıkan turbiyonlar tamamen V_0 hızına paralel değildir.

İnhiraf miktarını ϵ açısı ile gösterirsek ϵ açısı, V_1 ve V_0 hızlarına tabi olarak hava hızını aşağı doğru yöneltir. Böylece akan hava moleküllerinin hızı V_2 olur. Bu suretle akan hava filelerini turbiyonları içine alan Σ zarfı veya hortumu içinde ve dışında olarak ayırmak gerekir. Şekilde (1) diye gösterdiğimiz Σ zarfını saran akım olup sonsuz çıkışta V_0 olur, (2) fileleri de Σ zarfı içinde kalıp V_2 hızına paralel aks etrafında elisler çizer. Kanatla hava arasında enerji mübadelesi bahis konusu olmadığına göre, taşıma kuvveti, Σ hava zarfı içindeki havanın, kanadın olduğu yerde yön değiştirmesi nedeniyle hasil olur. Σ zarfının dik kesitine S dersek.

$$-\vec{F}_N = \rho S_{\Sigma} |\vec{V}_0| (\vec{V}_2 - \vec{V}_0)$$

evvelki formül ile kıyaslanırsa

$$XXXIII \quad 2\rho S |\vec{V}_0| \cdot |\vec{V}_1| = \rho S_{\Sigma} |\vec{V}_0| \cdot |\vec{V}_0| \sin \epsilon \quad \text{bulunur.}$$

İki Önemli Gözlem :

1— (Şekil. 40) ın tetkiki, turbiyon sisteminin ortasındaki endüi hız $2V_1$ inhiraf eden akımın ortalama hızı olan $V_0 \sin \epsilon$ dan büyüktür. Endüi hızın fazlası Σ zarfı içindeki havanın turbiyon haline gelmesine yarar.

$S_{\Sigma} |V_0| \sin \epsilon = 2SV_1$ denklemi S_{Σ} kesitinin S den büyük olduğunu gösterir.

2— Σ zarfının sınır yüzeyi iç ve dış akım arasında devamsızlık yüzeyi değildir. Bir süre beraber akan hava moleküllerini yekdiğerinden ayırarak sonsuz çıkışta birbirinden ayrılırlar.

Şimdi genel uçuş halinde rotorun durumunu daha iyi anlamaya çalışalım.

Taşıma kuvveti $\vec{F}_N$ i ikiye ayıralım biri $\vec{F}_{N1}$ olup $\vec{V}_1$ e dik, diğeri $\vec{F}_{N2}$ olup $\vec{V}_1$ e paralel olsun. Rotor denebilir ki en az iki görev

yapar. Biri $\vec{F}_{N1}$ kuvvetini hasil etmektedir. Bu neden ile hava akımını ϵ açısı kadar saptırır. Diğer $\vec{F}_{N2}$ olup rotor bir pervane gibi çalışarak pervane dönüş yüzeyinden geçen havaya giriş ve çıkışta basınç farkı vererek, sonsuz çıkışta hava akımına hız artışı sağlar. Demekki hava üç kısım içindedir.

1— (1) hava fileleri Σ zarfının etrafında olup sonsuz çıkışta V_0 hızını alır.

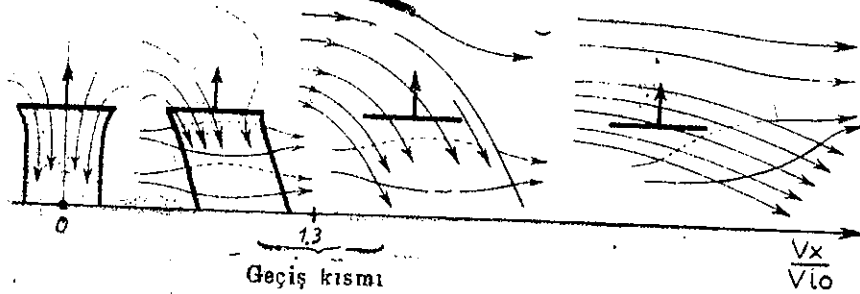
2— (2) hava fileleri Σ zarfı içinde olup rotordan geçmez. Toplam basıncı değişmez ortalama sapışı ile $\vec{F}_{N1}$ kuvvetini yaratmağa yardım eder.

3— (3) hava fileleri rotordan geçerek sapma yapar ve giriş çıkışta toplam basınç farkı yapar. Toplam basınç farkı dolayısı ile $\vec{F}_{N2}$ kuvvetini hasil eder ve sapması ile $\vec{F}_{N1}$ in elde edilmesine yardımcı olur. (2) ve (3) fileleri Σ zarfı içinde birbirine sarılı olarak akar.

Gözlem :

1— Rotorun çalışma durumu anvergür boyunca pervaneler takılmış bir kanadın durumu ile kıyaslanabilir.

2— (Şekil. 41) de iz içinde hızların değişkenliği görülmektedir. $\vec{V}_2$ hızının üniform kabulünün performans hesaplarına da ortalama bir değer olmaktan başka anlamı yoktur.

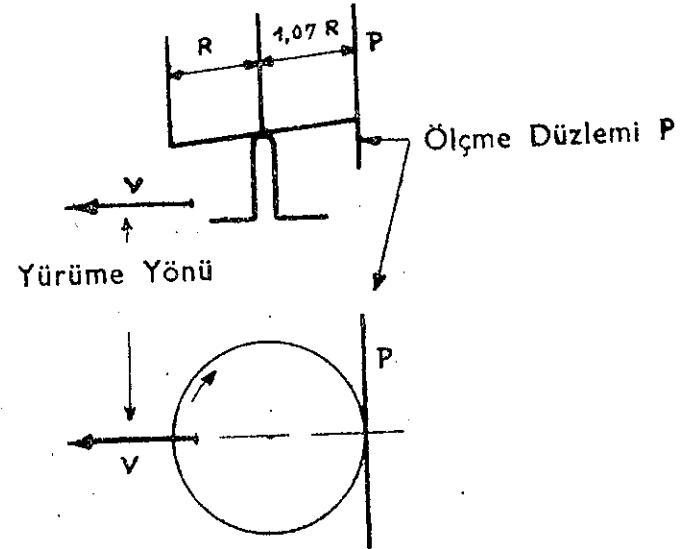


Şekil — 42 Yürüyen bir rotora değişik akım halleri

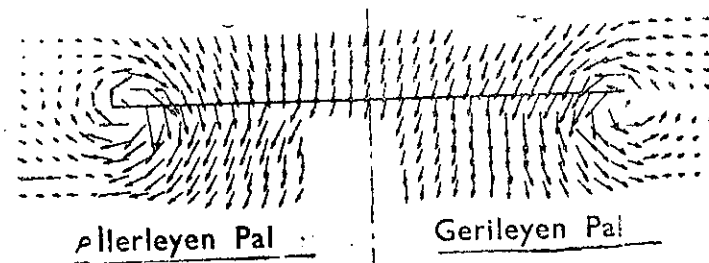
3— Ayrıca pratikte, havanın viskozitesi iz içindeki hızları bir miktar homojen hale getirir.

$\vec{V}_1$ hızının yönüne göre rotorun iki tesirden biri daha önemli olacaktır.

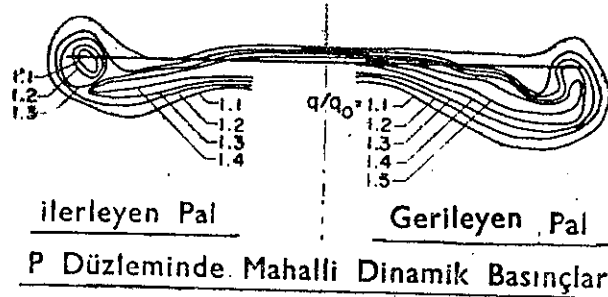
Örnek olarak: Sabit uçuştan başlayarak helikoptere artan yatay bir hız verilecek olursa; pervane gibi dikey bir hava akımından, kanat-taki gibi eğilen bir hava akımına geçilir. (Şekil. 42 e bakınız)



Şekil — 43-a



Şekil — 43-b



Şekil — 43-c

$$\mu = 0.15 \frac{F_N}{\frac{1}{2} \rho S V^2} = 0.321$$

(NACA) TN 3242

Hız farkları dolayısıyla bir uçuş halinden diğerine geçişe (transizyon hali) denir. Disk üzerinde endüi hızların eşitsiz dağılımı, akımdaki türbulans, bu uçuş halini hiç de hoş yapmaz. Kuvvetli titreşimler, pal-lerde değişken kontrentler ve diğer şeyler olur.

Bu uçuş hali $\frac{V_s}{V_{10}} = 1.3$ değeri yakınında veyahut rotor yüküne göre 30 ile 70 Km/saat hızda olur.

Niteliğe Değin Etüd: Evvelce yazdığımız gibi FROUDE usulünü kullanmak mümkün değildir. Turbiyon teorisi, konuya memnurluk verici girişi sağlar.

Turbiyon teorileri henüz çok kaba ve detaylarda pek inanç verici değildir. Zorluklar turbiyon şemalarında ve aynı zamanda endüi hızı veren denklemlerin halli hususundadır.

Genellikle kabul edilen hipotez pal boyunca sirkulasyonun sabit kabul edilmesi ve $\vec{V}_1 = \vec{V}_0 + \vec{V}_i$ hızı yönüne göre hareket eden rotor dis-kinin hasıl ettiği serbest turbiyonların silindir üzerine sarılmış olma-sıdır.

İncelikle analiz yapılmak istenirse, havanın değişik izafi hızlarına rağmen üniform bir taşımayı muhafaza etmek için değişik bir sirkü-lasyon kabul etmek zorunluğu vardır.

Burada yalnız rotorun genel hareketi için belli başlı özellikleri gös-termekle yetineceğiz.

Ortalama Endüi Hızın Tayini: Turbiyon halkaları rejimine benzer haller dışında aşağıdaki denklem kullanılır.

$$XXXI \quad \vec{F}_N = -2 \rho S | \vec{V}_0 + \vec{V}_i | \vec{V}_i$$

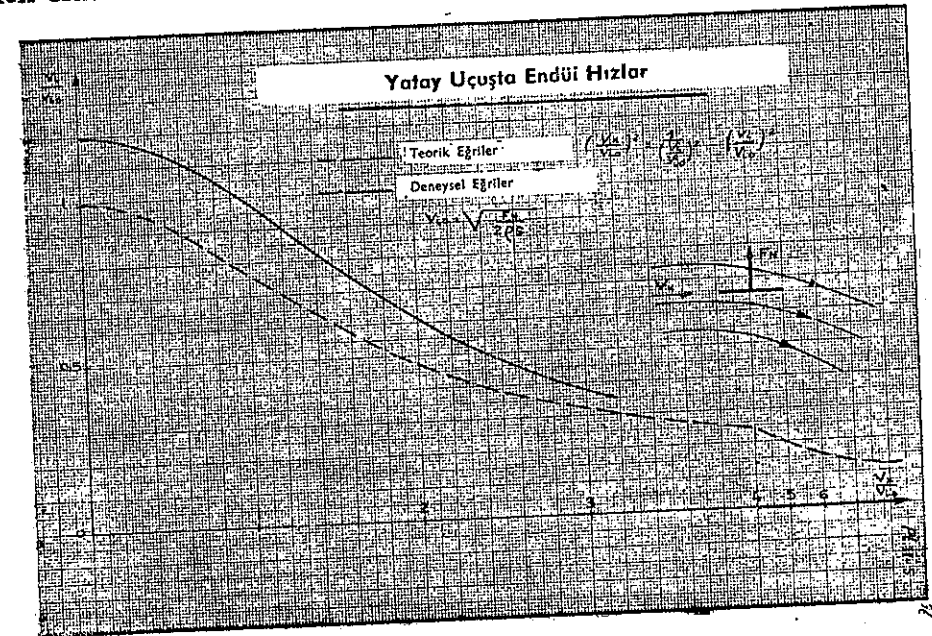
Genel hallerde bu formülün kat'i isbatı yoktur ancak aşağıdaki husus-lar bunu doğrulayıdır.

1— Bu hal sınırlı uzunluktaki kanatla, aynı zamanda da rotorun dikey uçuş haline uyan formülün genelleşmiş bir şeklidir. Evvelki pa-ragrafta geliştirdiğimiz gibi, rotorun pervane—kanat kompozisyonun-daki benzeyişi isbatlamanın bir kademesidir.

2— Turbiyon teorisi ileride belirtilen aynı münasebetleri verir.

3— Tünel ve dönüş kulesindeki deneylerdeki izin inhirafi ve per-formans ölçüleri, yeterlikle doğruladığı anlaşılmıştır.

Yatay bir hareket halinde $V_z = 0$, V_i değeri kolaylıkla (planş II.5) den elde edilir. (planş II.5) ise II denkleminin grafiğidir.



Planş II—5

Bu taktirde denklem

$$\left(\frac{F_N}{2\rho S}\right)^2 = V_i^2 (V_x^2 + V_i^2)$$

veyahut

XXXV

$$\left(\frac{V_{i0}}{V_i}\right)^2 = \left(\frac{V_x}{V_{i0}}\right)^2 + \left(\frac{V_i}{V_{i0}}\right)^2$$

olur.

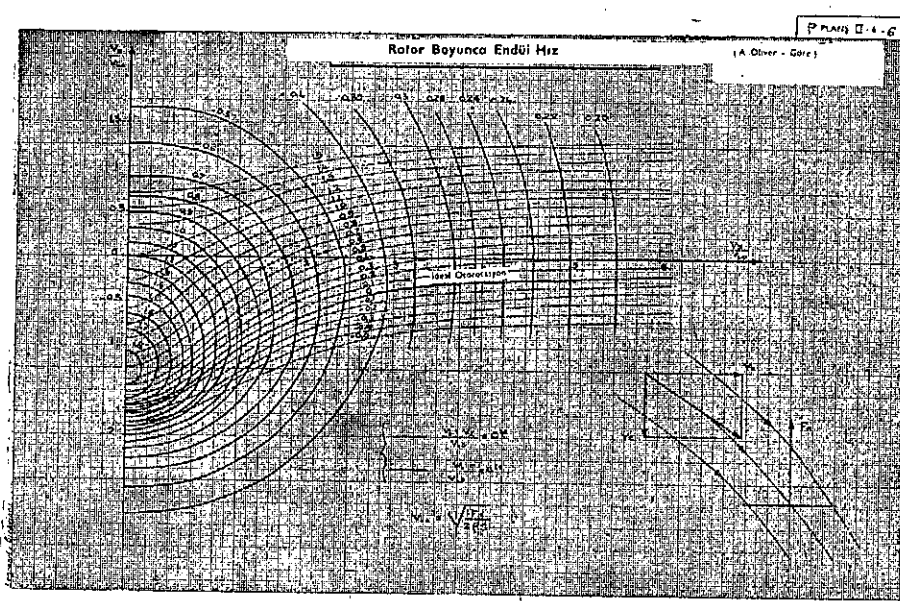
Pratikte, dikey uçuşta olduğu gibi, bulunan hız, endüi zayılatı dik-kate alarak bir katsayı ile çarpılır. Uymayan hallerde aynı değerde kat-sayı kullanılır.

En genel hallerde, IV denklemi aşağıdaki şekli alır.

$$\left(\frac{V_{i0}}{V_i}\right)^2 = \left(\frac{V_x}{V_{i0}}\right)^2 + \left(\frac{V_z + V_i}{V_{i0}}\right)^2$$

Dikkati çekelim ki parametir olarak $\frac{V_i}{V_{i0}}$ alınırsa $\frac{V_z}{V_{i0}}$ değerine göre

$\frac{V_x}{V_{i0}}$ eğrileri, $V_x=0$ aksi üzerine merkezlenmiş daireler olur.



Planş II — 6

(planş II-6) daki diyagram bunu göstermektedir. Bu planş XXXIII denklemlerini pratik olarak değiştiren faktörleri dikkate alarak deney-

sel düzeltmeler yapılarak çizilmiştir. Özellikle turbilyonların halkaları-nın bulunduğu yerlerde de bu işlem yapılmıştır. Aynı diyagram üzerine $\frac{V_z + V_i}{V_{i0}}$ eş değerleri ki P_{i0} ya göre gösterilmiş güç eşdeğerleridir.

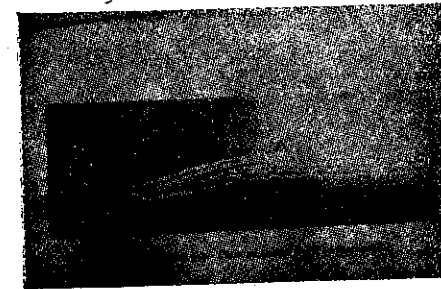
Gözlem : Toprağa yakın sabit uçuş halinde taşıma $\vec{F}_N$ değerini görüşte 1 randman üstünde çalışacağını göstermiştik. Yükselmek için

lüzumlu ilâve güç, $\vec{F}_N$ nin V_z hızı ile yalnızca $\frac{\vec{F}_N \times \vec{V}_z}{2}$ dir.

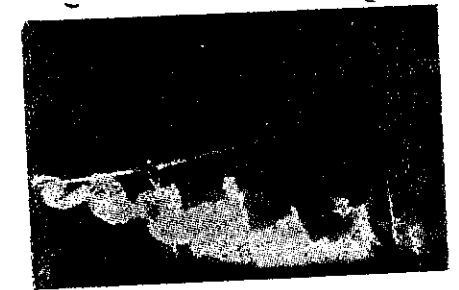
Bunun yatay uçuş halinde ne olduğunu görmek istersek; $\vec{V}_z (V_z=0)$ hızına dikey olan $\vec{F}_N$ taşıma kuvvetinden başlayarak işlemde aynı ta-şımaya temin için lüzumlu ilâve ve güç V_z belirli olduğuna göre ne olur? Pratikte bu ilâve güç rotorun kullanımında parazit sürük-lemeleri yenmeğe veya eğik çıkış uçuşuna tekabül eder. Planş II-6 diyagramı incelenirse pratikte kullanılan hızlarda kolayca görülür ki, sarfı gereken ilâve güç rotorun yaptığı itici işe göre biraz azdır.

Rotorun görünen itiş randımanı, endüi kaybını da dikkate alsak 1 den hafifçe üstündür. Pervanenin, itici işinde olduğu haldeki randman anlamı dışında performans hesaplarını yapacağız.

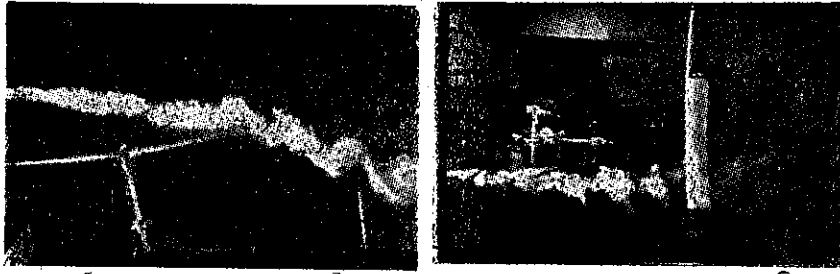
İz : Akımın gerçek yapım hakkında (Şekil. 43, 44) ve (Şekil. 45) leri inceleyerek bir fikir sahibi olunur.



Şekil — 44-a

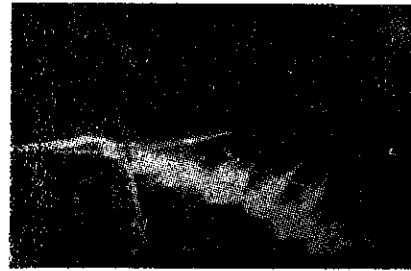


Şekil — 44-b



Şekil — 44-c

Şekil — 44-d



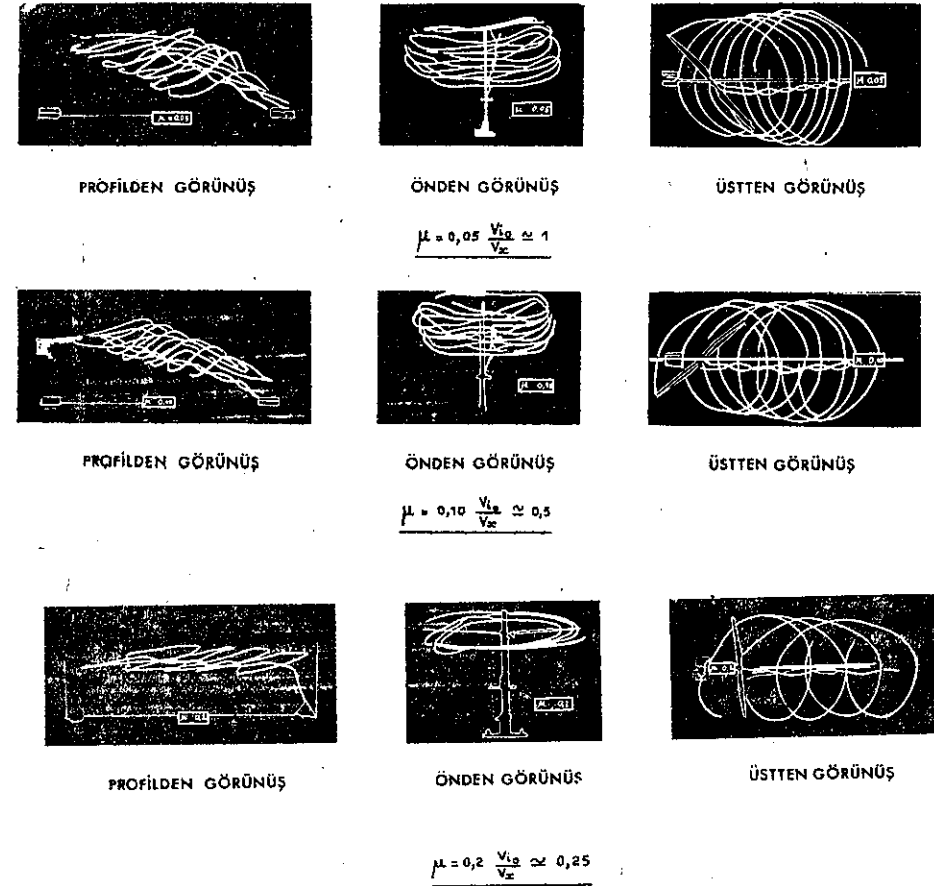
Şekil — 44-e

Şekil— 44-, b, c, d, e de yürüyen rotor arasındaki hava akımının hava tüneline görünür hale gelmiş.

Hususile (Şekil.45) de yan turbiyonların durumlarını hava tüneline akımların görünür hale getirilmiş olması ile anlamak kabildir. Ufak ilerleme hızlarında elislerin burkulması görülmektedir.

Bu olay, genellikle kabul ettiğimiz teori şemalarındaki dengesizliğin, disk üzerindeki değişik endü hızlarından ileri gelir.

Yatay hız önemli bir değere ulaşınca iz kanatta olana benzer. Turbiyon yüzeyleri rotorun teşkil ettiği diskin iki kenarından çıkarak kıvrıntılar yapar.

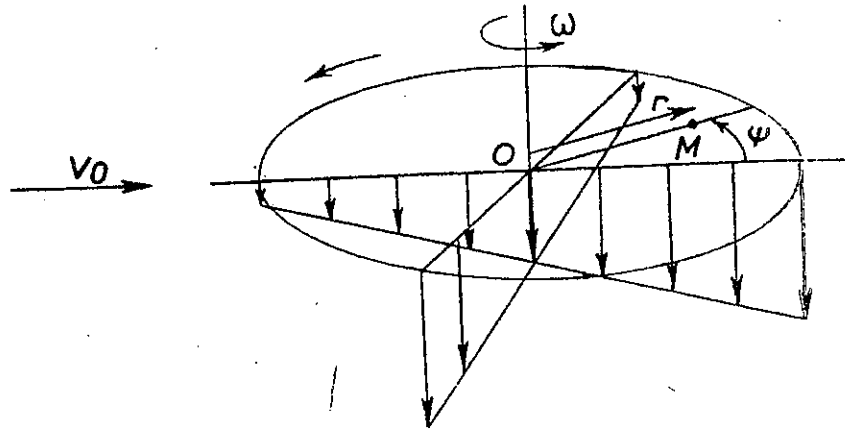


Şekil — 45 Turbiyonların şema haline getirilmesi

Endü Hızın Disk Üzerinde Yayılımı : Endü hızlar disk üzerinde eşit değerde yayılmış değildir. Diskin ileri kenarında sıfıra yakın, diskin geri kenarında ise ortalama endü hız değerinin iki misli civarındadır. Yanlarda ise zayıflar, ilerleyen kısımda azalır gerileyen kısımda çoğalır. (Şekil. 46)

Hatta bazı hallerde endü hız diskin ilerisinde ve gerileyen pal'in kökünde ters yön alır. Eşitsizlik halinin, ilerleyen uçuş halindeki disimetric turbiyon sisteminden doğduğu aşikârdır.

Disk üzerindeki endü hızı hesaplayacak birçok formül abaklar vardır.



Şekil — 46 Yürüyüşte Endüi Hızların Dağılımı

Bunlardan Meijer DREES tarafından hesaplanmış formüller şöyledir.

$$V_i = V_{im} + V_{ic} \frac{r}{R} \cos \psi - V_{ia} \frac{r}{V} \sin \psi$$

$$\frac{V_{i0}}{V_{i0}} = \frac{1}{\left(1 - \frac{3}{2} \mu^2\right) \sqrt{\left(\frac{V_x}{V_{i0}}\right)^2 + \left(\frac{V_z + V_{im}}{V_{i0}}\right)^2}}$$

XXXIV

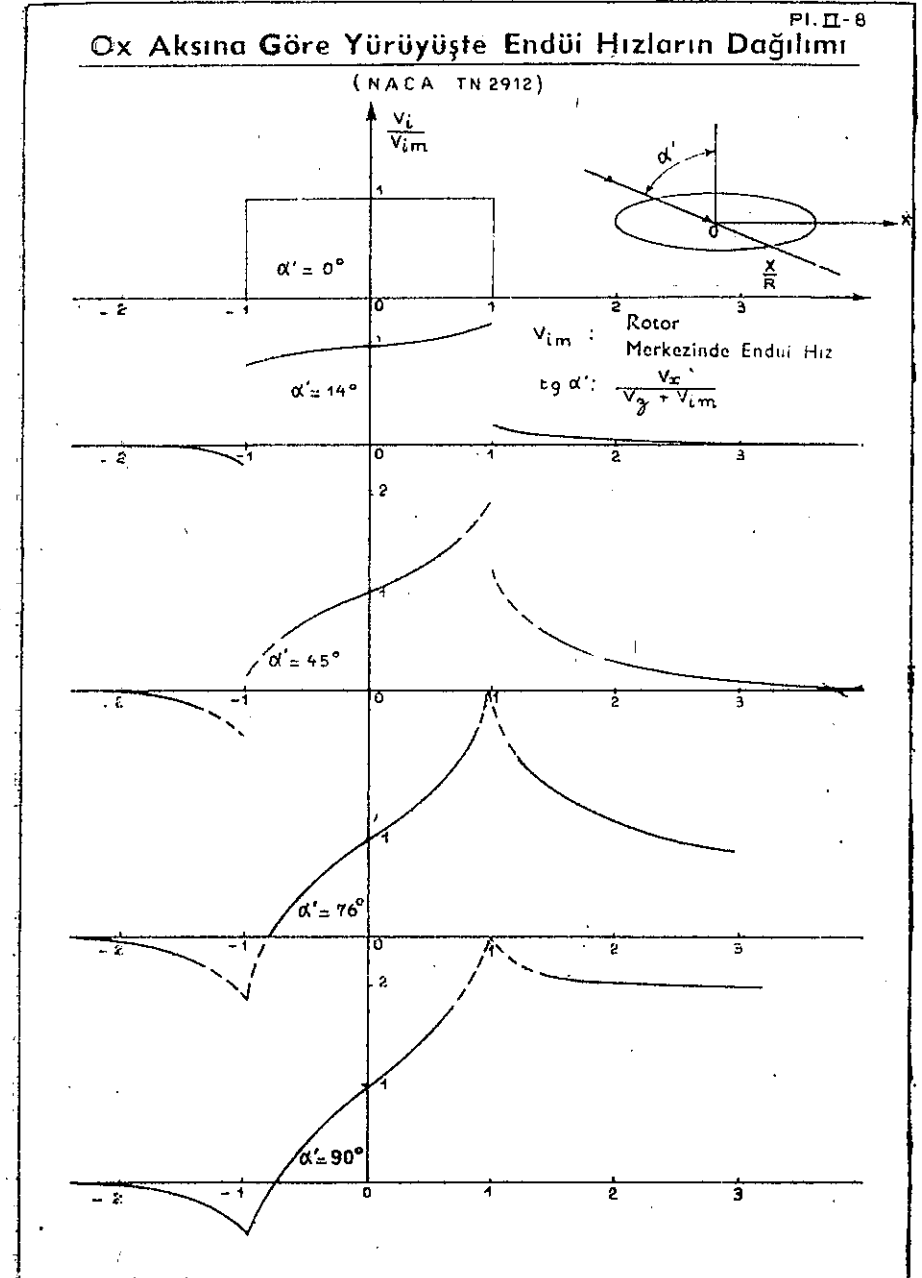
$$V_{ia} = 2 \mu V_{im}$$

$$\text{Tg } \alpha = \frac{V_z + V_{im}}{V_x}$$

Orijini değişik bir diyagram olan, planş II-7 de gösterilmiştir. Bu planş $\cos \psi$ modülüne göre bilinmesi en faydalı olan endüi hız kısmını kolaylıkla verir. Planş II-8 ve II-9 da $\psi=0$, $\psi=\pi/2$ akslarına göre hesaplanmış endüi hızların dağılımı bulunacaktır.

Otorotasyon :

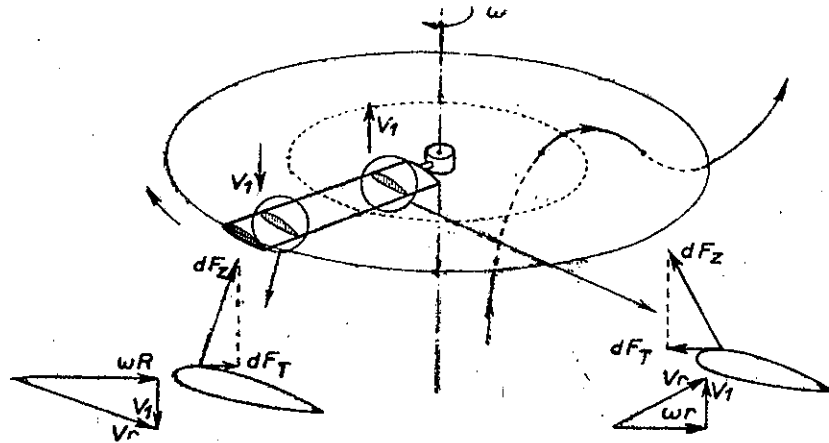
Nitelik hesabına geçmeden evvel otorotasyon halinde dönen rotorun durumunu anlayalım. (Şekil.248) de görüldüğü gibi dikey otorotasyondan başlayalım.



Planş II — 8

Daha evvel anlattığımız gibi profil sürüklemesi ihmal edilirse tek bir pal üzerinde taşıma ile beraber bir sürükleme veya havanın rotordan yukarıdan aşağıya yahut aşağıdan yukarıya doğru geçtiğine göre bir sürükleyici bileşen bulunur. (Şekil. 23)

Otorotasyon rejimi o şekilde husule gelir ki, pal aksı üzerinde kupl sıfır olmalıdır. (Şekil. 48) de görüldüğü gibi rotor iç kısmı, muline-fren gibi çalışarak, pervane rejiminde çalışan rotor etrafında merkezden aldığı enerjiyi verir.



DIŞ KISIM : Bir sürüklemeye
var — Helikopter Regimi

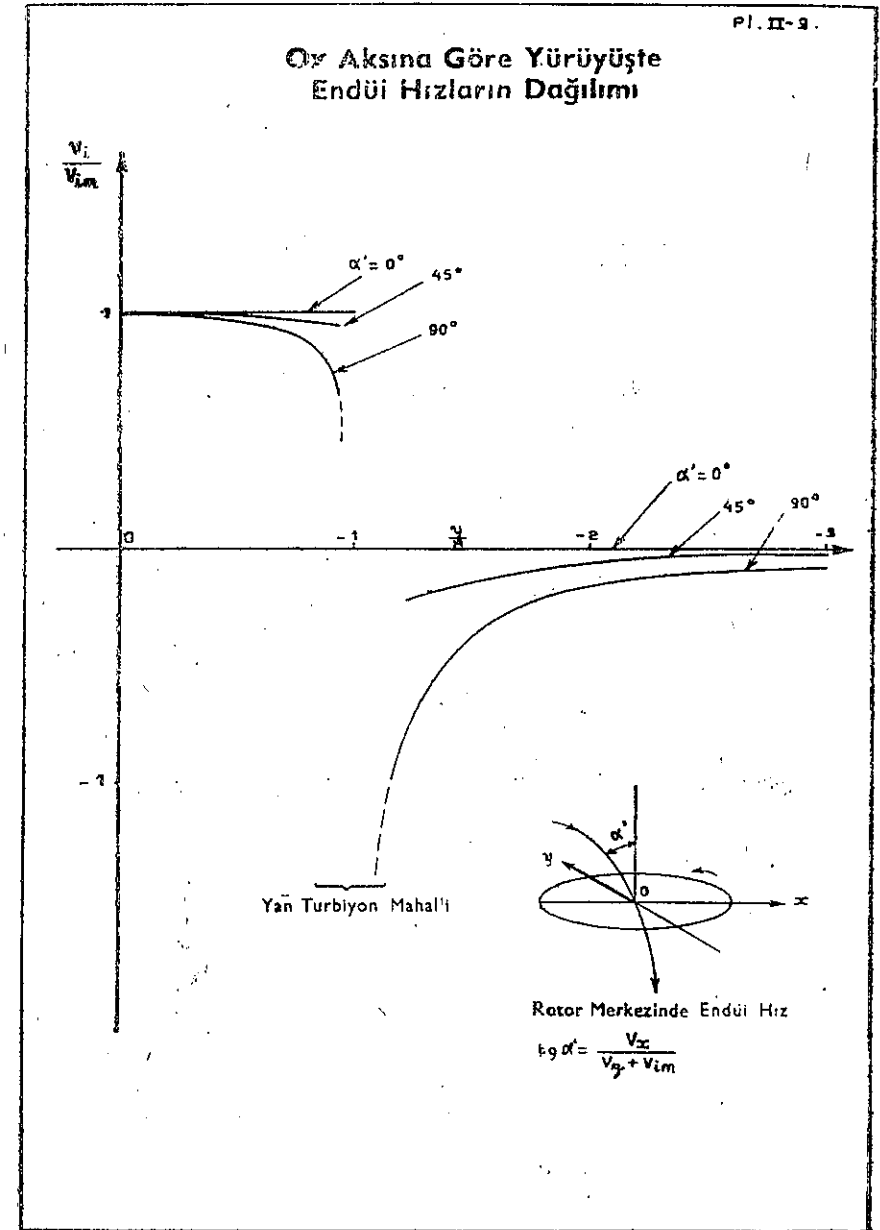
İÇ KISIM : İtici Bir Bileşen
var — Muline Fren Regimi

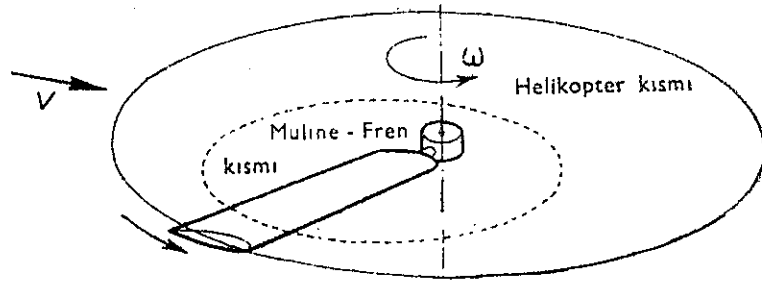
Şekil 47 ve 48 — İdeal Düşey Otorotasyon

Hava, rotoru merkezden geçerek diskin etrafından emilir, böylece rotor diskinin tamamı üzerinde dolaşma yapar.

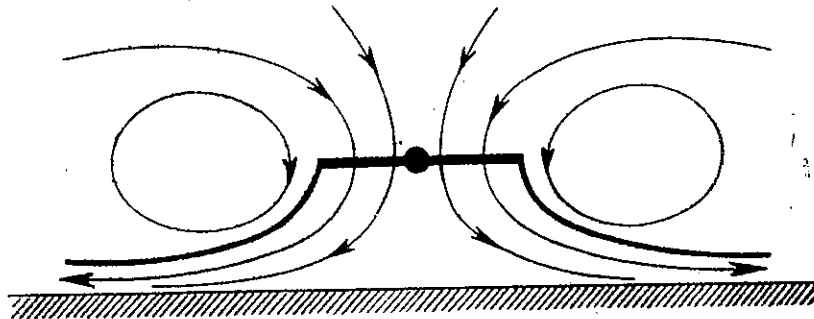
Pallerin «profil sürüklemesi» sini hesaba katarsak, o zaman havanın, bu mukavemeti yenmesi için, enerji sarfetmesi lâzımdır. Rotordan geçen hava fileleri sıfır olmaz ancak (Şekil. 47) de görülen şemada pek değişmez. Bununla beraber palın ayak tarafında profillerin hücum açısı fazla olduğundan palın merkez alanında bir dekolman alanı hal alır.

Helikopterin yürüyüş halinde de, muline-fren ve helikopter alanlarını beraber bulacağız. (Şekil. 49) muline-fren alanı, gerileyen pal üzerinde ve yana doğru kaymış olur.

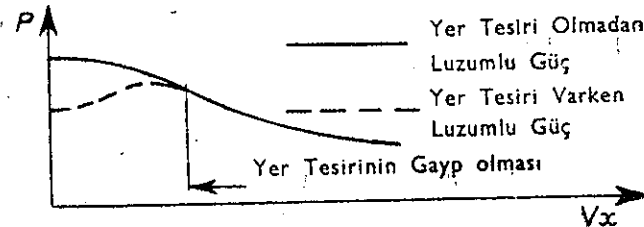




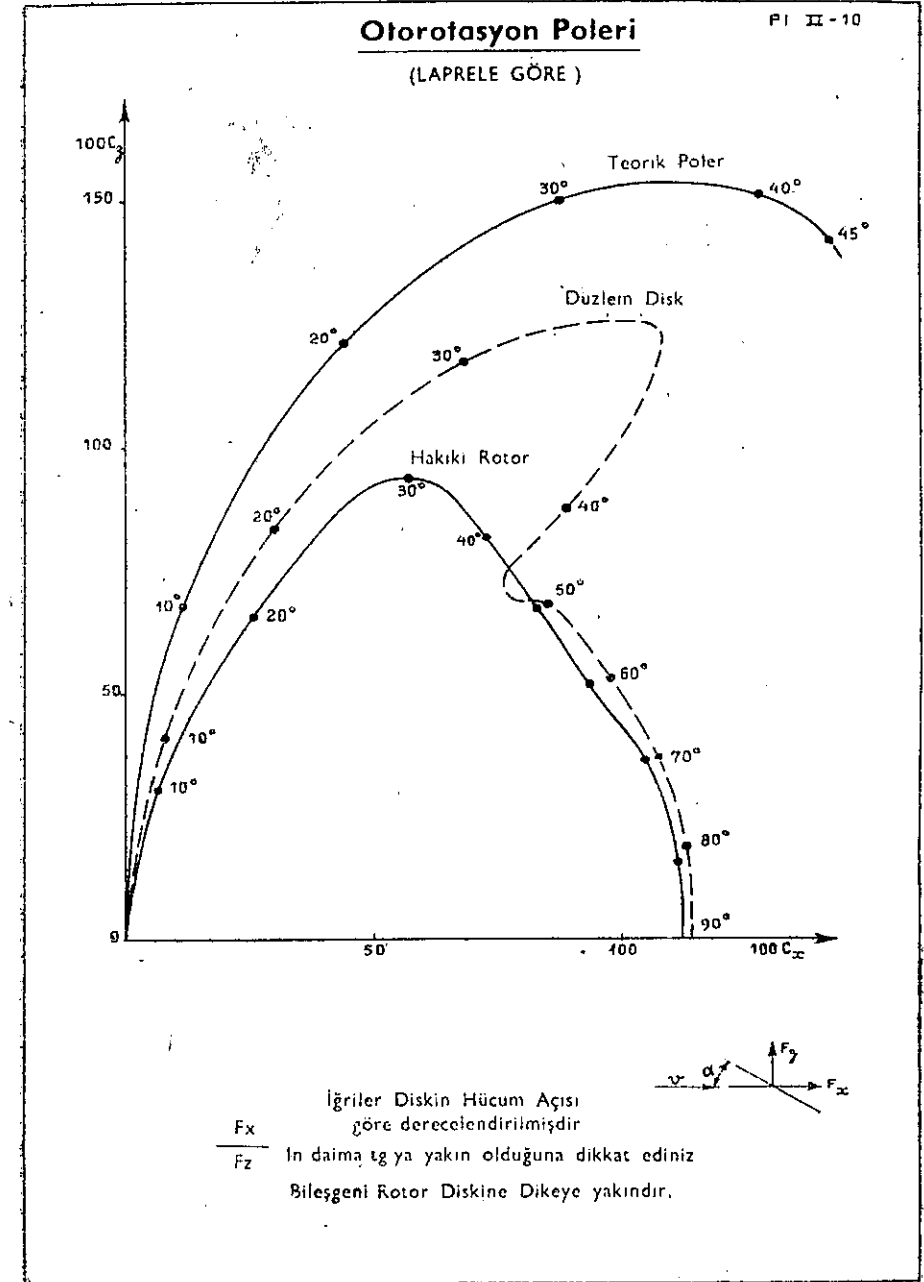
Şekil — 49 Yürüyüşte otorotasyon



Yer Tesiri



Şekil — 50 Yer tesirine, yatay hızın etkisi



Planş II — 10

Önemli Gözlem :

1— (Şekil. 48) de, normal uçuş haline göre pal hatvesinin otorotasyon halinden neden daha zayıf olduğu görülür. Havanın izafi hızları yukarıya doğrudur. Profillerin eğimi, münasip bir hücum açısı muhafaza edebilmesi için azaltılmıştır.

2— Rotorun bu alandaki otorotasyonu için merkezdeki kısmen güç rolünü evvelce anlattık.

Niteliğe Değin İnceleme :

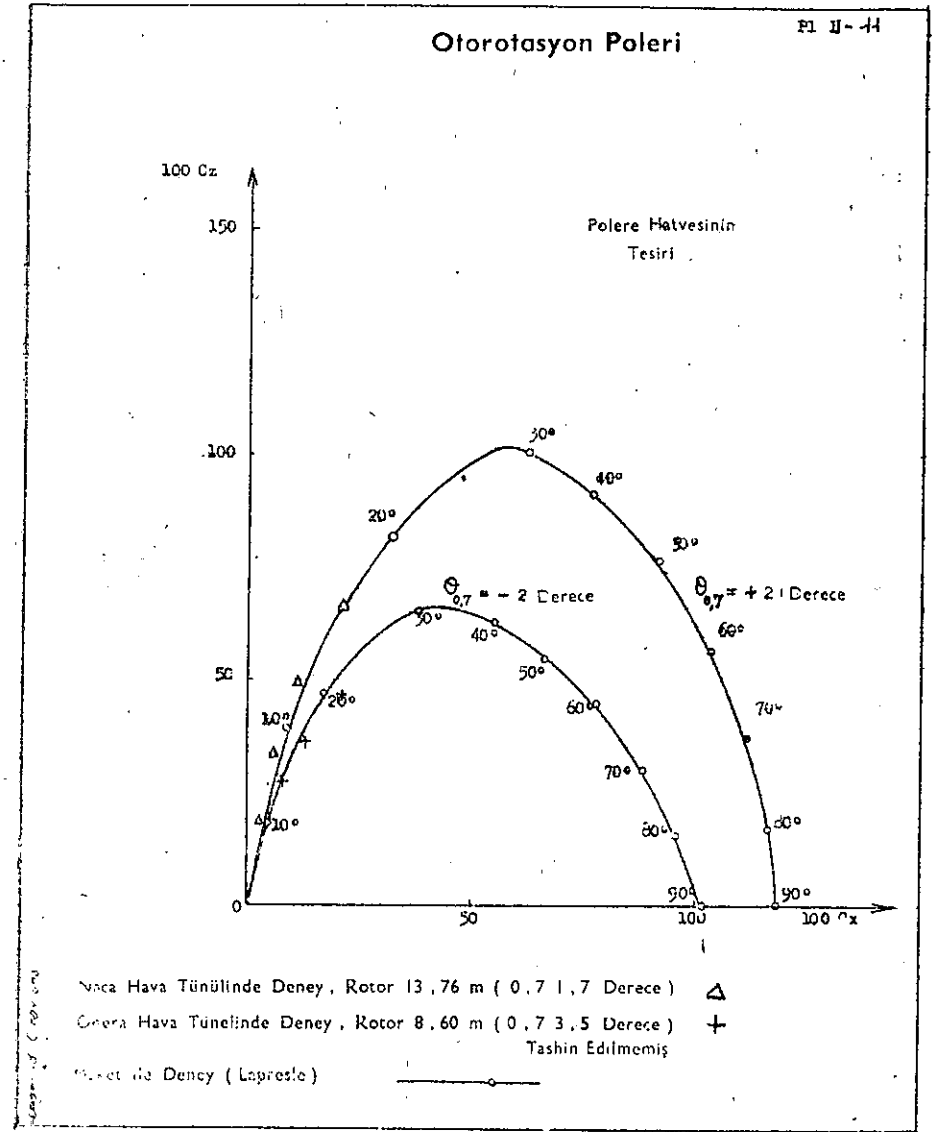
Otorotasyona dair bilgiler planş II-2 ve II-6 da verilmiştir. Burada biz sorunu bir az değişik açıdan ele alacağız.

Belirli bir hatveye ayarlanmış ve aksı etrafında serbest dönen bir rotorun izafi bir rüzgâr tesiri ile dönüşünde otorotasyon rejimi tamamen belirlidir. Dönme hızı, sürüklenme ve taşıma belirlidir. Bu taktirde kanatlarda olduğu gibi C_x ve C_z notasyonlarını alarak kanat yüzeyi yerine de rotorun döndüğü alanı S alarak, polerleri çizebiliriz. Tabiidir ki poler, palin yapılışına ve hatve açısına bağlıdır.

II-10 planşında diskin anormal kısmı dışında, diskin teşkil ettiği düzlem ile rotor maketinin teşkil ettiği şekil arasında polerin benzerlikleri büyüktür.

Aynı zamanda fikir vermek için I, II, III formüllerinden çıkardığımız teorik poleri de yanına çıkardık. Evvelce bildirdiğimiz gibi bu formüller tamamen yanlış sonuç vermektedir. Yalnız ufak hücum açıları bunun dışındadır.

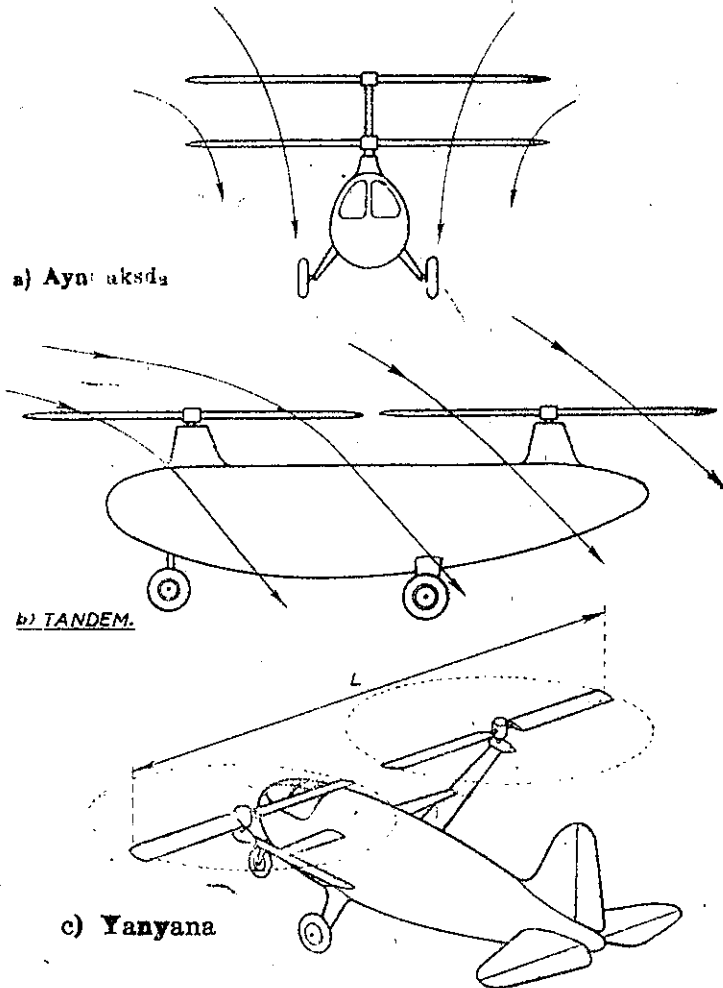
LANGLEY — FIELD ve CHALAIS — MEUDON Hava tünellerinde hakiki rotorlarla yapılan deneylere dayanarak çıkarılmış rotor poler parçaları üzerinde planş II-11 de hatve tesiri görülmektedir. Teoride hatve büyük oldukça otorotasyon daha iyidir. Ancak pratikte küçük hatveler kullanmak zorunluluğu vardır. Zira belirli bir taşıma kuvveti için, rotor rejimi yani devir sayısı düşmekte, aynı zamanda hatve ve hücum açıları artmaktadır. (Şekil. 47). Kâfi bir rotor rejimini muhafaza etmek ve hız kaybı tehlikesini önlemek gereklidir.



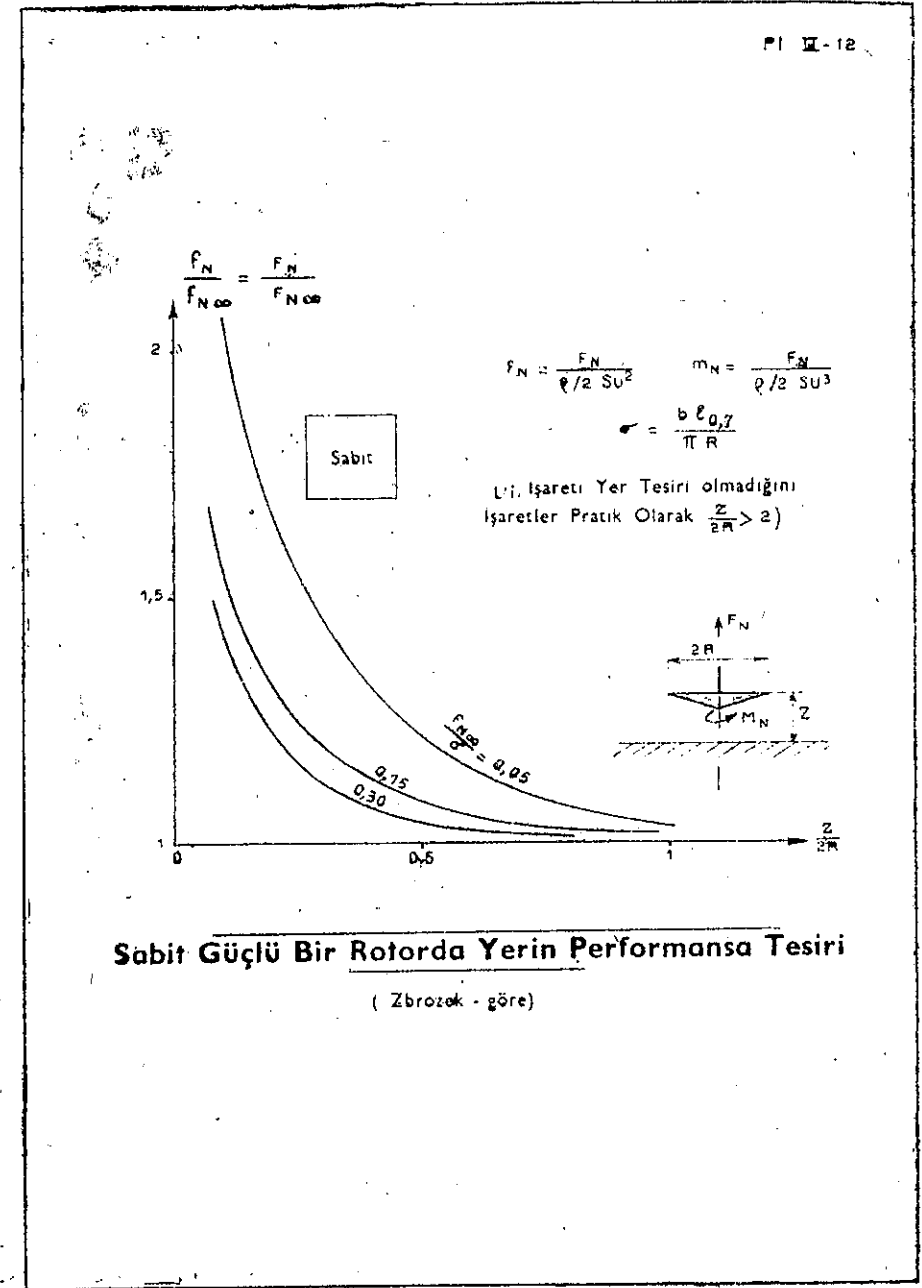
Panş II — 11

Yer Tesiri : Buraya kadar söylememekle beraber rotorun işlemini serbest atmosfer içinde kabullenmiş idik. Yani rotor yakınında herhanki bir engel yoktur demiştik. Bu uçuş hali vardır ki burada iş böyle değildir bu da yere yakın uçuş halidir. Sabit uçuş hali örneğinde olduğu gibi. Hava aks boyunca kaçamaz, rotor altında yere paralel olarak gitmek zorundadır. (Şekil. 50)

Bu tesir, belirli bir taşımayı hasil etmek için lüzumlu gücü, endü hızlar azaldığı nedeniyle azaltır.



Şekil — 51 Çok rotorlu Helikopterler



Olayın getirdiği değerler karışıktır. Birçok parametrelere bağlıdır, rotorun hızı, REYNOLDE adedi, kullanılan profilin niteliği, yerin otlu veya beton oluşu gibi. En önemlisi, rotor çapına göre yerden uzaklığıdır.

Planç II-12 de $\frac{Z}{2R} > 1$ değişkenine göre aynı güçte taşıma değeri değişikliği gösterilmiştir.

Kullanılan bütün hallerde iki özelliği gözden kaçırmamalıdır.

1— Yer tesiri, pratik olarak $\frac{Z}{2R} > 1$ olduğu değerlerde kaybolur.

2— Yer tesiri helikopterin yerden kalkışında yerden olan mesafe

fesi 1 m ile 1.50 m arasında iken yani $\frac{Z}{2R} = 0.35$ ila 0.40 olduğu zaman sarfı lüzumlu güç miktarı, duruma göre, % 5 ile % 20 arasında azalır.

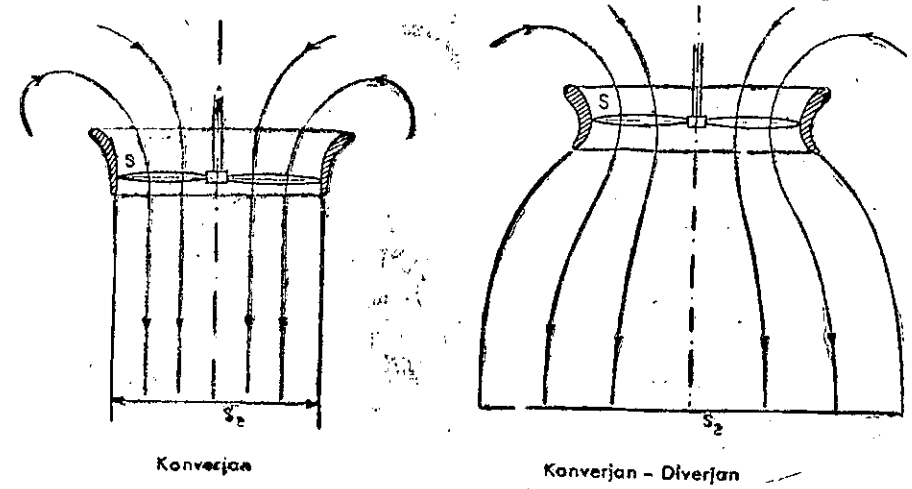
Yan Rüzgârın Yer Tesirine Etkisi: Rotorun üflediği yerde yatay esen bir rüzgârın tesiri tabiidir ki yer tesirini ortadan kaldırıncıdır. Yer tesiri ile dekolaj yapan helikopter ufak hız ile yol almağa başladığı zaman rotora verilen gücü de artırmak gerekir. Aksi halde yer tesiri ile dekolaj yapan helikopter aynı güç ile yol almağa başlarsa düşme tehlikesi ile karşılaşır.

Çok Rotorlular: Rotorun yakınındaki maniaların rotor aerodinamiği üzerindeki tesirinden söz ettik şimdi de daha az önemli olmayan çok rotorlularda aynı aks üzerinde olsun veya tandem olsun birbirlerine göre olan ve entraksiyon dediğimiz karşılıklı etkilerin önemini belirtelim.

Entraksiyonlar, dikey uçuşta, genel uçuşta, otorotasyonda ihmal edilmesi mümkün olmayacak etkiler yapar. Buna göre performansların hesabını yapmak gerekir.

Bu konuda genellikle bazı halleri ele alalım.

Bir aks'ta iki Rotor: İki rotor yekdiğerinden kâfi derecede uzak ise dikey uçuşta aynı çaptaki tek rotordan daha tesirlidir. Daha büyük kütlede havayı emerek çalışır, başkaca teğet endüi hızlar sıfır veya çok küçüktür. (Şekil.51).



Şekil — 52 Kavene pervane

Tandem iki Rotor :

1— Yer tesirinde ve sabit uçuşta bir az daha tesirli görülür.

— Genel uçuşta eğer rotorlar arka arkaya ise arkadaki öndekinin izi içine girer. Öndeki rotorun tesiri ile aşağı yönelen rüzgâr içinde arkadaki rotor sanki çıkış halinde bir uçuş yapan rotor aerodinamiği gibi olur.

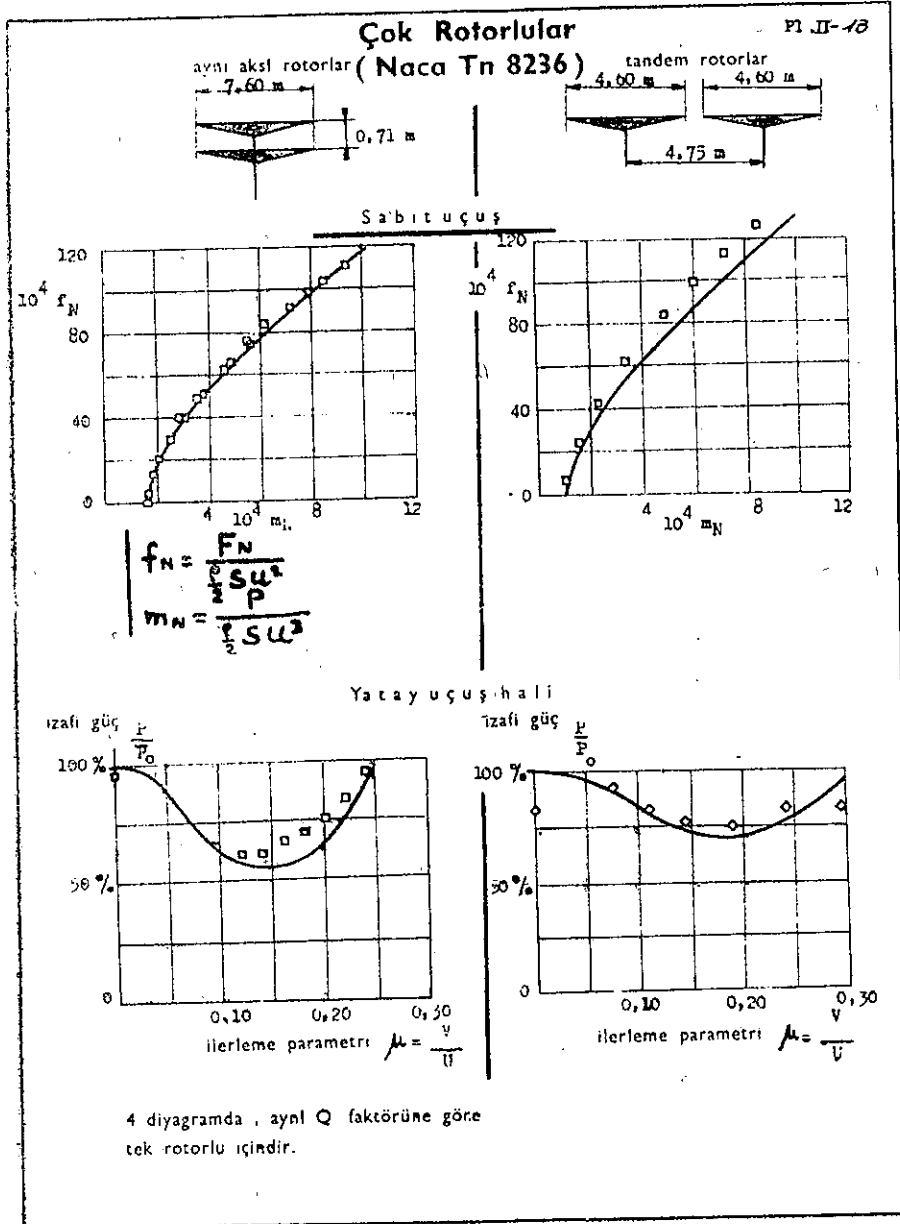
Sarf edilen endüi güç, aynı çapta ve aynı m^2 ye yüklü bir rotorun sarf ettiği güçten daha büyük olur.

Bu sebeple arkadaki rotoru daima yükselterek öndeki rotorun entraksiyonundan yani hasıl olan izin dışına çıkarmağa gayret edilir.

Yanyana iki Rotor : Yer tesiri ile sabit uçuş halinde, tandem de olduğu gibi, etkililikte az bir artış olur.

Hızlı genel uçuşta, lüzumlu endüi güç, aynı m^2 yüklü tek rotorlu ya göre, daha azdır. Bunun nedeni, «anvergür» kanat açıklığı artışından ötürüdür. Rotorun çapı yerine, iki diskin uzak kenarları arası boyutu L alınır.

$$F_N = 2\rho \frac{\pi L^2}{4} |\vec{V}_1| V_1 \quad \text{denklemini}$$

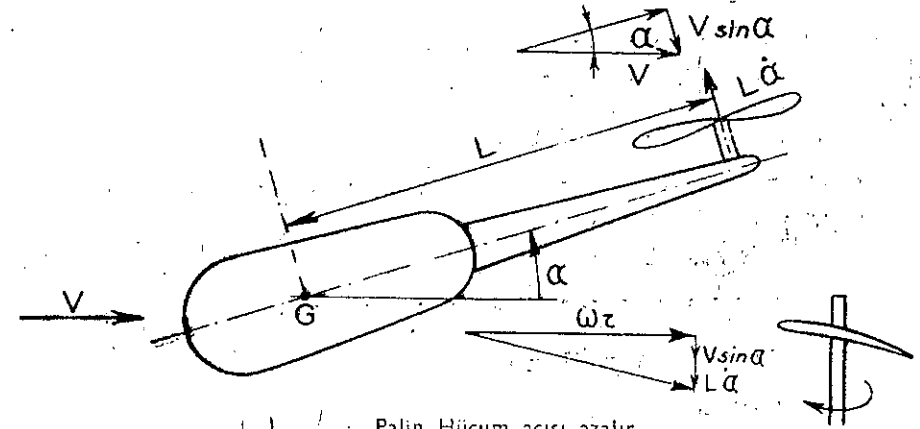


Planş II — 13

$$\frac{F_N}{2} = 2\rho\pi V^2 \left| \vec{V}_1 \right| V_1 \text{ yerine alınır.}$$

Değişik maketler üzerinde yapılan deneylerin mukayeseli sonuçları (planş II-13) dğerler üzerinde bi rfikir verir.

Karene Edilmiş Pervane : Helikopter grubuna giren bazı araçlarda karene edilmiş rotor kullanılır (Şekil 15 ve 52).



Palin Hücüm açısı azalır
Rotorun Çekmesi Azalır

Şekil — 54 Anti - kupl Rotorun dengelemede rolü

Bu usulün aerodinamik faydası; belirli çapta bir rotorla belirli bir taşıma kuvvetini daha küçük bir endüi güç ile elde etmektir.

(Şekil. 52) de görüldüğü gibi, akım hortumunun sonsuz çıkıştaki kesidinin pervanenin bulunduğu kesite eşit olmasıdır. Bu neden ile

$$S = S_2 \text{ olur halbuki } S = 2 S_2 \text{ idi.}$$

FROUDE formülüne bu değişikliği tatbik edersek.

$$\frac{F_N^{3/2}}{\sqrt{2\rho S}} \text{ yerine}$$

$$P_{10} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{F_N^{3/2}}{\sqrt{2\rho S}} \text{ olur.}$$

için, rotor rejini yani devir sayısı dükmekte, aynı zamanda hatve ve

Serbest bir pervaneye göre, endüi güçten % 30 fayda sağlar.

Konverjan — diverjan karenaj kullanarak bir az daha ileri gidersek. Teorik olarak (Şekil. 52) de görülen akım tipine göre güç:

$$P_{10} = \frac{F_N^{3/2}}{2 \sqrt{\rho S_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{F_N^{3/2}}{\sqrt{\rho S}} \quad \text{olar ki}$$

$\frac{S_2}{S}$ oranı büyüdükçe P_{10} küçülür.

Pratikte zorluk stabl olarak bu tip akımı temin edecek bir diverjan yapmaktır. Bununla beraber bu konuda bir çok yerlerde cesaret verici deneyler yapılmaktadır.

Rotorda Değişken Aerodinamik: Değişken rejimlerde rotorun tutumunu bazı problemlerde incelemek için, sabit kanatlarda olduğu gibi, aerodinamik akımlarda acaba dikkate almağa lüzum yok mudur?

Bu meseleyi iki değişik kademede inceleyelim.

- Pallerin çalışma şartları
- Endüi akım

Pallerin çalışma şartlarında ileride göreceğimiz gibi genel uçuş halinde veya bir manevrada profillerin hücum açısı değişmektedir. Bu şartlarda acaba, palleri etkileyen kuvvetlerin hesabında değişken aerodinamik kavramını dikkate almak lüzum mudur?

İki boyutlu kullanılan formüllerin tatbikatında görüldü ki şayet rotor rejimi frekansları aşılmayacak olursa getirilmesi lüzumlu düzeltmeler zayıftır, ihmal edilebilir.

İleride göreceğimiz Pallerin «batman» (battement) hesaplarını, taşımının gecikmeden profiller üzerine tatbiki, doğrular. Ancak batmanın yüksek armonik titreşimlerinde olduğu gibi yüksek frekanslara gidilmez ise yapılacak düzeltmeler önemsizdir. Pallerdeki kontrentlerde de böyledir.

İkinci nokta, endüi akımların teşekkül zamanı daha geniş çapta düştürülmesi gereken bir olaydır.

Pratik faydası şudur:

Beraberce veya sıklık olarak değişen pal hatveleri, Paller düzleminin değişmesi, pallerin taşımına tesir eden akımının durumu, olaylarında hızlı değişme olursa, rotorda endüi hızlar ne duruma girer problemi, bize aracın uçuş kalitesi tizerinde ve hızla verilecek kumandalara aracın hızla cevap verip vermeyeceği bakımından, önemlidir.

Bu konuda az çalışma yapılmıştır. Bununla beraber bugünkü deneylerin verdiği sonuçlara bakılırsa bir işlemeden diğerine geçiş zamanı bakımından saniye mertebesinde dir.

Antikupl Rotorun Aerodinamiği: Kuyruk rotoru dediğimiz bu pervanenin aerodinamiği evvelce söylediklerimizden farklı değildir. Şunu ilâve edelim ki bu rotorun çalışma şartları çok ağırdır. Uçuşta, esas rotorun izindeki hava filelerinden geçer. Başkaca aracın yol aksı etrafındaki döntüşlerinde genellikle turbiyon halkalarının içinde kalır. Bu iki olay antikupl rotorun önemli titreşimlere sahne olmasını izah eder. Pervaneyi teşkil eden bazı parçaları da fazlasile zorlar.

Ayrıca, antikupl rotor esas rotorun kuplünü ayarlar ve gövdenin yol dengesini sağlayarak uçaktaki deriv, diğer bir deyimle yol dümeni görevini yapar ki, görüldüğünden daha önemlidir. (Şekil. 53) de görüldüğü gibi deriv işini yapar. Yol dengesini sağlayarak, yol açısı ile orantılı olarak aerodinamik bir kuvvetle yol doğrusuna kayar, ve bu tür inhirafı da amorti eder.

Evvelce gösterilen metodlara dayanarak bulunacak olan formülde S_0 avnı değerindeki disk yüzeyini verir ki deriv olarak antikupl rotorun tesirine eşittir.

$$S_0 = S \times \frac{1.32}{1 + 3.1 \frac{\mu}{\sigma \left(\frac{dc}{di} \right)_{\infty} G_1}}$$

G_1	Pal formu parametrisi (ilâve III-2)
σ	rotorun parametrisi
μ	ilerleme parametrisi
S	Rotor yüzeyi

Bu formül tünel deneylerinde maketin yol dengesini incelemek için dönen rotor yerine sabit diskin S_0 yüzeyini verir.

Tabiidir ki bu yüzey gövdenin izi içinde olmalıdır. Görüldü ki, S_0 değeri $\mu = \frac{v}{u}$ ile küçülür.

Antikupl rotoru ndengelemede ki değeri, aracın hızı arttıkça azalır.

Gövdenin Aerodinamiği : Helikopterin gövdesi hafiflik ve basitlik dolayısıyla imal edildiğinden uçak gövdesine oranla çok değişik şekildedir. Bu şekil, özetle tek rotorlu ve kuyruklu bulunan antikupl rotoru alanlarda daha açıktır. Ön taraftaki gövde parçasında pilotları ve personeli iki veya üçer hatta dörder olmak üzere yerleştirme, gövde üstünde turbomotorun yerleştirilmesi ve nihayet ince ve uzun bir kuyruk ucuna antikupl rotorun yerleştirilmiş olması gövdeyi uçağa göre aerodinamik formdan hayli uzaklaştırır. İşte bu nedenlerle helikopter gövdesini uçak gövdesi etüdünden ayırmak gereklidir.

Sürükleme : Uçuş yönüne dikey geniş kesitleri aynı olarak bir helikopter ile bir uçağı mukayese edersek helikopterin uçaktan 3-4 misli fazla sürükleme kuvvetine muhtaç olduğunu görürüz.

Fikir vermek için diyelim ki, 2 veya 3 kişilik bir helikopter sürüklemesi yaklaşık olarak, dört motorlu büyük tonajda bir nakliye uçağının iki mislidir. Bu durumun gittikçe hızı arttırılan helikopter de ne kadar önemli olduğu anlaşılır.

İzin Bulunuşu : Gayet kötü karene edilmiş helikopterin ön kısmı arkasında önemli bir iz teşekkül eder. Turbiyon bölgesi olan bu iz içine giren stabilite yüzeylerinin düz uçustaki rolü çok küçüldür.

Memnunlukla diyebiliriz ki antikupl rotor helikopterin yol ekseni etrafında dengesini sağlamaya yeterlidir. Yani helikopteri her türlü düz uçusta yol yönüne getirebilir. Buna karşılık toslama ekseni etrafındaki dengeyi kuyrukta bu gerekçe ile konan yüzeyler yeterlilikle temin edemez.

Uçuşlarda önemli zorluklar doğar. Yavaş uçuşlar yapan helikopter tiplerinde pek önemli olmamakla beraber hızlı uçuş yapan yeni helikopter tiplerinde sürükleme kuvvetinin azaltılması ve toslamada dengenin sağlanması gereklidir.

Sürüklemenin azaltılması usulleri uçaklarda olduğu gibi; gövdeyi boylu boyunca karene etmek, gövde dışında sürüklemeye yapan çıkıntıları yok etmek, iniş takımlarını içeri çekmek veya karene etmek ve buna benzer usulleri kullanmakla olur.

Helikopter gövdesi uçakta olduğundan fazla, hücum açıları ile uçar. Bu durum dolayısıyla bir de altimetre ve anemometre gibi aletlerin statik basıncı olan sondaların yerleştirilmesi zorluğu vardır.

BİBLİYOGRAFYA

- L'HELICOPTERE — THEORIE — PILOTAGE et UTILISATION, J. Moine, (Edité par la Société Fenwick, Paris, 1953)
- Principles of Helicopter Engineering — J. Shapiro, (Londrea, Temple Press, 1955)
- Helicopter Analysis — A.A. Nikolsky (New-York, John Wiley et sons, inc.)
- Aerodynamica of the helicopter — Gessow A. et Myers G. G. (New-York, Mac Millian co. 1953)
- Les giravions, I. C. Garry (Cours de l'ENSA, 1953)
- Théorie des hélicoptères monorotors — J.J. Ginoux, (Bruxelles, Office de Publicité)
- Eléments d'aérodynamique à l'usage du pilote d'hélicoptère — Owen G. Niehaus et Richard Batchelder, (Document Bell Aircraft Cion. Traduction C.E.V. no 302)
- (Ouvrage élémentaire, mais clair et assez complet)
- Helicopter Engineering — R.A. Young; (New-York, The Ronald Press Co, 1949)
- Introduction to Helicopter Aerodynamics — W.Z. Stepniewski, (Rotorcraft Publishing Committee, Morton Pa. (U.S.A) — 1956) Théorie et calculs de performances présentés de façon simple à l'usage des bureaux d'études).
- Review of Information on induced flow of a lifting rotor (Alfred Gessow, N.A.C.A' Technical Note 3283 — 1954)
- An Invertigation In Flight of the Induced Velocity Distribution under a Helicopter when Hovering, P. Brotherhood, (British ARC, R et M no 2531)
- Distribution of Normal Component of Induced Velocity in Lateral Plane of a Lifting Rotor - Walter Castles Jr. et Howard L. Durham Jr. (NACA T.N. 3841, 1956).
- Full Scale Investigation of the Aerodynamic Characteristics of a Typical Single - Rotor Helicopter in Forward Flight -

Richard C. Dingeldein et Raymond F. Schaefer (NACA,
Report no 905, 1948)

- Propulsion par réaction des pales de rotor d'hélicoptères. A. Stepan
(Traduction S.D.I.T.M.R. 474, 1949)
- Methods for Obtaining Desired Helicopter Stability Characteristics
and Procedures for Stability Predictions - F.B. Gustafson
et Robert J. Tapscott, (NACA, Technical note 3945, 1957)
- Stabilité au sol des hélicoptères tripales — J. GILLY et Y. NORMAND
(Technique et Science Aéronautique no 6, 1952)
- Mesure en vol des contraintes dans des pales d'hélicoptères es G.
PETIT, (C.E.V. Rapport d'Etude no 196/E)
- Têtes de rotor de griavions — E. LEYGUE et P. LEFORT
(S.D.I.T. Docaéro no 11)
- Lévolution de l'hélicoptère et la technique française, I.C. LEGRAND
(Technique et Science Aéronautiques, T. 2;1957)