

Geçmişten Günümüze Helikopterler



1493

Leonardo da Vinci

"Spiral kanat"

düşüncesini ortaya attı...



1784

Launoy ve Bienvenu,
yaptıkları modeli Fransız Bilim
Akademisi'nde sergilediler...



1877

Enrico Forlanini,

helikopteri ile Milano'da resmi olarak
gösteri uçuşu yaptı...

Uçmak, çağlar boyunca insanlığın en büyük düşlerinden biri olmuştur. 20. yüzyıla birlikte bu düş gerçekleşmiş ve hızla gelişen teknolojilerin ürünü olan hava araçları sayesinde uçmak, bir tutku ve merak olmanın ötesine geçerek önemli bir ulaşım yolu haline gelmiştir. Yere dik doğrultuda havalanmayı olanaklı kılan "dönen kanatlı hava araçları" üzerinde yapılan çalışmalar, sabit kanatlı uçaklar üzerinde yapılanlardan çok daha eskilere dayanır.

1907
Paul Cornu,
helikopteri ile ilk pilotlu serbest uçuşu
gerçekleştirdi..





Notar= sistemli MD Explorer

Y.Kemal Yıllıkçı
İTÜ Uçak ve Uzay Bil. Fak.

BİR EKSEN etrafında dönen yüzeyler üzerinde bağıl hız sağlanarak aerodinamik taşıma meydana getirilmesi fikri, birkaç yüzyıl süren çalışmalarla bugünkü uygulamaya düzeyine ulaşmıştır. Hakkında somut kanıtlar olan ilk döner kanatlı araç, 1784'de iki Fransız sanatçısı Launoy ve Bienvenu tarafından yapılmıştır. Bir milin uçlarına tutturulmuş kuş tüyünden oluşan iki pervaneli bu ilginç oyuncak, mil etrafına sarılan ve yay ile gerilen bir kiriş ile döndürülmekteydi. Gerilen yay bırakıldığında, pervaneleri birkaç metre uçuran bir dönme sağlanıyordu.

Yaklaşık bir yüzyıl sonra yere dik doğrultuda uçan araç çizimleri ve az çok uçabilen modellerin yapımı hız

kazandı. 1842'de İngiltere'de W.H. Philips, pal uçlarından itkili bir helikopter modeli yapmış; bir yıl sonra da İngiliz havacılığının öncüsü Sir George Cayley "hava arabası" adını verdiği, üstüste dönen (co-axial) iki çift rotorlu bir araç düşünmüş; fakat uygun bir güç sistemi bulamadığı için aracını uçuramamıştı. O zamanlar var olan buhar makinalarının

güç/ağırlık oranı bu uçuş için yeterli olmaktan çok uzaktı. Bright (1861), Castel (1878) ve Alman Achenbach'ın (1874) buhar jeti itmeli araçları, sadece uçuş ile zıplama arası bazı hareketler yapabiliyordu. Bu dönemin en başarılı kişilerinden biri, eş eksenli iki rotora sahip model helikopterini 13 m havalandırmayı başaran Enrico Forlanini'ydі. Gösteri, 1877'de resmi olarak İtalya'nın Milano



kentinde yapılmıştı. Yine aynı dönemde Fransa'da Gustave de Panton d'Amécourt, değişik modellerde birçok helikopter uçurdu.

Spiral ve kanat anlamına gelen iki Yunanca kelime "heliko" ve "pteron"u birleştirerek bu yeni hava aracına adını verdi: "hèlikopterés".

Gerçek anlamda bir helikopterin geliştirilmesi için daha çok çalışılması gerekiyordu. Louis ve Jacques Breguet'in, hocaları Profesör Charles Richet'yle birlikte yaptıkları helikopter, 29 Eylül 1907'de Fransa, Douai'de uçuruldu. Araç yerden sadece 60 cm yükselebildiği ve kumanda edilemez durumda olduğu için, ancak yerdeki dört kişinin yardımıyla kararlı bir durumda tutulabilmişti. Tam anlamıyla bir serbest uçuş gerçekleşmemiş olsa da; bu araç, içinde bir pilot ile yerden



Mi-26 ilk kez 1981'de Paris Havaçılık Fuarında görüldü. Halen üretilen en büyük helikopterdir. Topam kalkış ağırlığı 49.5 ton'dur.

Mi-12 (Homet), bugüne kadar yapılmış en büyük helikopterdir. Toplam kalkış ağırlığı 105 ton'dur.

helikopter üretti ve bu araç 13 Kasım 1907 yılında yerden 30 cm yükselerek 20 saniye kadar kendi kendine havada durmayı başardı.

Aynı yıllarda Fransa'ya ziyarete gelen genç Igor Ivanovich Sikorsky, aldığı 25 beygirlik üç silindürlü Anzani motoru ile ülkesi Rusya'ya döndüğü zaman eş eksenli, iki rotorlu ilk helikopterini yaptı. Uçuş için fazla ağır olan bu aracın havalanamaması somutunda

helikopter tarihinde önemli bir adım atılmasını sağlamış oldu. Ancak A.B.D. Hava Kuvvetleri, oto-gyro (serbest dönen tahriksiz rotor)'larla ilgilenmeye başlayarak verdiği desteği 1923'te kesti ve Dr. Bothezat'ın helikopter çalışmaları pek fazla ilerleyemedi.

1912'de Jacob Ellehammer Danimarka'da iki rotorlu eş eksenli bir helikopter uçurdu. Pallerin dönmesi

1941-Alman Flettner F1-282 Kalibrı helikopteri, denizaltı gözetleme amacıyla kullanıldı.



1943-Gerçek anlamda ilk helikopter seri üretimi ABD Deniz Kuvvetleri için 193 tane ismarlanan R-6'lar ile yapıldı.

dikine yükselen ilk hava aracı olmuştur.

Breguet'ler bu uğraşta yalnız değillerdi. Lisieux şehrinde bir bisiklet yapımcısı olan Paul Cornu, 250 kg ağırlığında 6 m çapında iki rotorlu bir

Igor Sikorsky, ilgisini sabit kanatlı uçaklara çevirdi.

Sikorsky'nin ürettiği prototip kadar karmaşık olmayan fakat çok daha ağır bir başka helikopter, Dr. George de Bothezat tarafından projelendirildi. Başlangıçta A.B.D. ordusu tarafından desteklenen Dr. Bothezat, Sorbonne Üniversite-si'nde uçakların kararlılığının matematiksel modellemesi üzerine yaptığı doktorası ile ünlü bir bilimadamıydı. Tarihî uçuş, 18 Aralık 1922'de, şimdiki adı Wright Patterson olan McCook Field hava üssünde gerçekleşti. Dr. Bothezat'ın altı palli, dört rotorlu ve uçan ahtapota benzeyen helikopteri yere dik doğrultuda havalanarak 1 ila 3 m arasında 1 dakika 42 saniye kadar uçmayı başardı ve bir bakıma ilk pilot kontrollü düz uçuşu gerçekleştirerek

sırasında pal hücum açısının perodik bir değişimle azaltılması ve artırılması olan perodik harve kontrollü kavramı ilk olarak Ellehammer tarafından bu helikopterde kullanılmıştır.

Bu yıllarda geliştirilmeye başlayan o t o -

gyro'larda, sabit kanatların yerine, karşılaştığı hava akımıyla yel değirmeni gibi dönerek taşıma işlevini



1939-Igor Sikorsky'nin geliştirdiği VS-300, tek ana rotor ve kuyruk rotorlu helikopteri, helikopter teknolojisinde önemli bir dönemeç olarak kabul edilmektedir.



üstlenen rotor sistemi bulunmaktaydı. Bunlar tam anlamıyla helikopter sayılamasa da, helikopterlerin geliştirilmesinde önemli katkıları olmuş ve günümüzde de sportif amaçla çok yaygın olarak kullanılan hava araçlarıdır. Oto-gyro, 1920'de İspanya'da Juan de la Cierva tarafından icat edildi. Cierva, aracının öne uçuşunu gerçekleştirebilmek için helikopterciliğin önemli bir problemini çözdü. Pallerin kök kısımlarına mafsal koyarak bunlara hareket serbestliği verdi; böylece oto-gyro ve helikopterlerin yana devrilmelerini önlemiş oldu. İlk oto-gyro 9 Ocak 1923'de Madrid yakınlarında uçtu. Birkaç gün sonra 60 km/saat hıza ulaşan Cierva C-4 oto-gyro'su, 110 beygir gücünde radyal bir motorla, tıpkı bir uçak gibi pervane ile öne doğru itiliyordu. C-4'ü izleyen diğer modeller sonunda geliştirilen C-B modeli, 18 Eylül 1928'de Manş Kanalı'nı tek aşamada geçerek Londra-Paris uçuşunu gerçekleştirdi.

1934'te hizmete giren Cierva C-30 modelinden İngiltere, Almanya ve Fransa'da lisans altında toplam 240 adet üretildi. Oto-gyro'lar geniş bir ilgi gördü ve havacılığın gelişmeye başladığı hemen hemen her ülkede çeşitli tipleri üretildi. A.B.D.'de KD-1 ve YO-60 oto-gyro'ları, ordu tarafından keşif ve devriye amacıyla kullanıldı.

Oto-gyro'ların gelişmesi ve kullanımını yaygınlaştırırken, rotoru tahrik edilen gerçek helikoptere yönelik çalışmalar da hızlandı. Ancak helikopterlerin aerodinamik, kumanda, mekanik-dinamik ve titreşim gibi temel problemlerinin oto-gyro ve uçaklardan çok daha karmaşık olması, bu süreci geciktirdi. 8 Ekim 1930'da İtalyan



ABD'nin ikinci kuşak atak helikopteri, AH-64 Apache, ters takla atabilecek seviyede manevra kabiliyetine sahiptir.

mühendisi Corradino D'Ascanio'nun geliştirdiği eş eksenli çift rotorlu helikopter, yükseklik ve uçuş süresi rekorları kırdı. 18 m. yüksekliğe ulaşabilen bu helikopter, oldukça kararlı ve kumanda edilebilir bir uçuşla 1.078 m uçarak 8 dakika 45 saniye havada kalmayı başardı.

Helikopter çalışmaları Sovyetler Birliği'nde M.L. Mil liderliğindeki bir ekibin çalışmalarıyla gelişti. Projenin teknik sorumlusu ve test pilotu Cheromukhin, 1930'da TSAGI 1 helikopterini uçurmayı başardı. Periyodik hat değişimli ana rotor ve kuyruk rotor sistemi, ünlü Rus uçak yapımcısı Ivan P. Bratukhin tarafından seçilerek geliştirilmiş ve TSAGI 1 serisine uygulanmıştı. Bu helikopter 1932'de 605 m yüksekliğe ulaşarak, helikopterle yükselme rekorunun 30 kat üstüne çıkmış oldu.

Helikopter yarışına 1930'lardan sonra katılan Almanlar, Focke Achge-

lis Fa 61 helikopterini geliştirdiler. 160 beygirlik Siemens-Halske Sh 14 motoruyla döndürülen, yanyana iki palli, çift rotorlu olan bu helikopter, pallere uygulanan hücum açısı (hatve) kontrolü ile ileri-geri ve yana uçuşu gerçekleştirebiliyordu. Fa 61; 230 km menzil, 1 saat 20 dakika uçuş süresi, 3,427 m yükseklik ve 112.5 km/saat hız değerlerine ulaştı. Şubat 1938'de, ünlü Alman kadın havacı Hanna Reisch, Berlin'de üstü kapalı Deutschlandhall stadında uçarak aracın üstün kumanda kontrol yeteneğini gösterdi.

Almanya ve Sovyetler Birliği'nde yürütülen çalışmalar A.B.D.'de helikoptere olan ilgiyi artırdı. Çok motorlu amfibik (denizden kalkan) uçak üretiminde büyük teknik ve ticari başarı kazanan Igor Sikorsky, artık çalışmalarını helikoptere kaydırmıştı. 1939'da uçurduğu VS-300 helikopterini kendisi kullanıyordu ve böylece 30 yıl sonra, heli-



UH-60A Black Hawk



Fransız helikopterciliğinde önemli bir yere sahip Dauphin-Panther (askeri), Fenestron kuyruk rotoru, kompozit rotoru ve üstün performansı ile, sivil ve askeri alanda ilgi gördü.

kopter hayalini gerçekleştirmiş oldu. Bugün kullanılan şekliyle tek ana rotor ve kuyruk rotoru sistemini geliştiren Igor Sikorsky, helikopter alanında önemli bir atılımı başlatmış oldu.

II. Dünya Savaşı sırasında, helikopter alanında Almanya'da da büyük ilerlemeler kaydedildi. 1939'da Flettner, Alman Deniz Kuvvetlerinin de ilgisini çeken iki kişilik FI 282 Kolibri helikopterini yaptı. Ters yönde iç içe dönen (synocopter) rotor sistemine sahip bu helikopter deniz kuvvetlerinde, denizaltı gözetleme amacıyla Baltık, Akdeniz ve Ege Denizlerinde yaygın olarak kullanıldı. Normandiya çıkarması sırasında imha edilmeyen birkaç tanesi müttefiklerin eline geçti ve iç içe dönen rotor sistemi, savaştan sonra A.B.D.'de Kellett ve Kaman tarafından başarıyla geliştirildi.

Igor Sikorsky'nin VS-300 ile ulaştığı başarı, A.B.D.'de helikoptere duyulan ilginin daha da canlanmasına yol açtı. A.B.D. Silahlı Kuvvetleri, Vought-Sikorsky firmasına XR-4 prototipini ısmarladı. 13 Ocak 1942 de uçan XR-4, sadece 20 saatlik test uçuşundan sonra Connecticut'tan Ohio'ya 1,100 km lik uçuşu, II aşamada ve or

talama 90 km/saat hızla gerçekleştirdi. Sikorsky helikopterleri hızla gelişti ve XR-4'ü izleyen XR-6 helikopteri 2 Mart 1944'te, Washington D.C.'den Ohio'ya uçarak; 623 km menzil, 4 saat 53 dakika uçuş süresi ve 1,524 m yükseklik gibi çok üstün performans özellikleri sergiledi. A.B.D. Deniz Kuvvetleri'nin R-6'lardan 193 adet ısmarlamasıyla gerçek anlamıyla ilk seri heli-



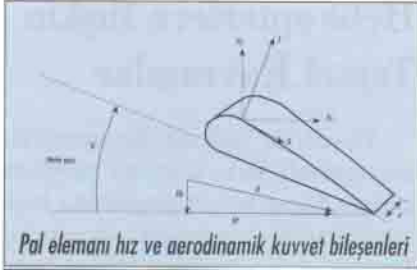
ANAX (Geleceğin Helikopteri):	
Kalkış ağırlığı	500 kg.
Rotor yüklemesi	17.7 kg/m ²
Pal sayısı	3
Rotor uç hızı	200m/sn.
Motor gücü	75 kw
Rotor çapı	6 m.
Rotor vateri	20.4 cm.
Kuyruk sistemi	Nator®

kopter üretimi gerçekleştirilmiş oldu. Aynı dönemde, Arthur Young Bell helikopterlerin adeta simgesi haline gelecek olan iki palli terazi rotor sistemini Model 30 helikopteriyle geliştirdi. Savaştan sonra teknolojisi ve sanayii ayakta kalan tek ülke durumundaki

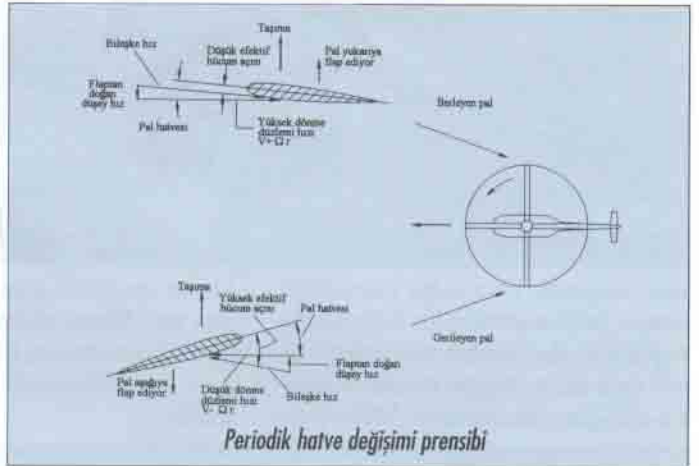
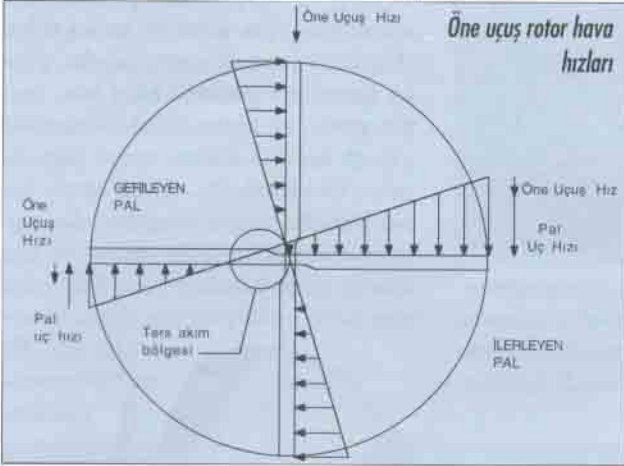
A.B.D.'de helikopter sektörü, rekabetçi askeri projelerin önderliğinde gelişti ve Vietnam savaşından elde edilen askeri ve teknik deneyimler ışığında, büyük askeri helikopter projeleri gündeme geldi. A.B.D. Kara Kuvvetleri öncelikle askeri helikopterleri-



Boeing-Sikorsky ortak projesi Comanche destek/atak helikopteri en aza indirilmiş radar izi, beş palli kompozit yataksız rotoru, yekpare karbo elyaflı gövdesi ve ileri avionik-atış sistemleriyle 21. yüzyılın savaş helikopteri olmaya adaydır.



Eş eksenli Kamov-29 Rusya donanmasının vazgeçilmez helikopteridir.



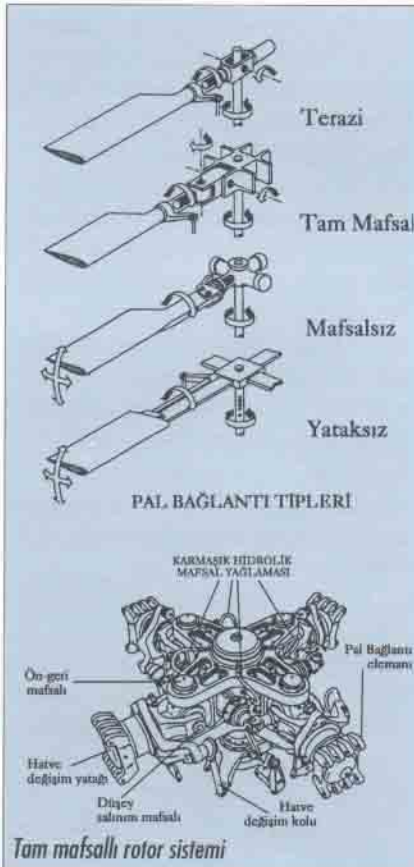
nin teknik-performans özelliklerini, tasarım kriterlerini ve üretim kalitelelerini belirli standartlara bağladı. Gerek sinme duyulan helikopterin önce ayrıntılı tanımını vererek firmaları ön prototip yapmaya davet etme ve daha sonra en uygun bulunandan seri üretime geçme yöntemi seçildi. Özellikle UH-60 Black Hawk ve AH-64 Apache helikopterlerinin projelendirilmesi ve üretimi bu planlama çerçevesinde gerçekleştirildi. A.B.D.'nin gündemdeki en önemli askeri helikopter projesi, LHX (Light Helicopter X-Wing) Projesidir. 21. yüzyılın gelişmiş "hafif atak helikopterleri"nin tasarım projesi, Sikorsky-Boeing ortaklığının geliştirildiği Comanche helikopterinin seçilmesiyle prototip üretimi aşamasına gelmiş durumdadır.

ekol olarak başlamış ve gelişmiştir. Zorlayıcı iklim koşulları ve geniş topraklara sahip Sovyetler Birliği'nde helikopterler, daha çok askeri ve sivil lojistik destek araçları olarak değerlendirilmiştir. İki büyük helikopter tasarımı ve imalat kuruluşundan Mil,

tek ana rotor - kuyruk rotorlu helikopterler üzerinde uzmanlaşırken Kamov da eş eksenli çift rotorlu (kuyruk rotorsuz) helikopterler konusunda dünyada tekel konumuna gelmiştir. Kamov helikopterleri özellikle Sovyet gemilerinin vazgeçilmez helikopterleri olmuşlardır.

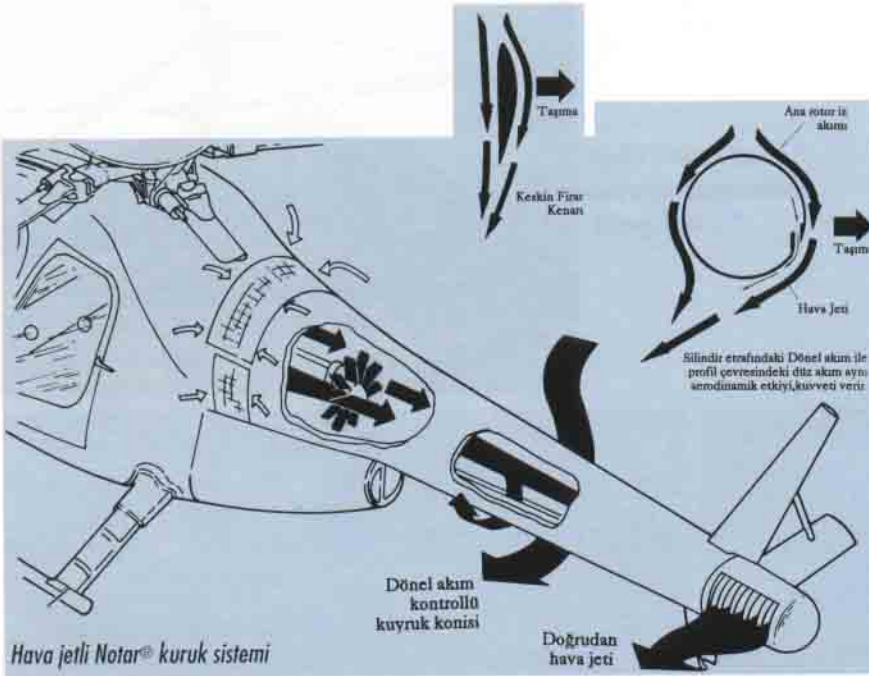
90'lı yıllarda dünya helikopterciliği yeni bir döneme girdi. Soğuk savaşın bir ölçüde bitmesiyle askeri helikopter pazarının daralması ve Sovyet helikopterciliğinin uluslararası serbest rekabet ortamına açılması, yeni yapılanmaları gündeme getirdi. Önemli teknolojik gelişmeler döneminde bulunan helikopter sektöründe, bu durgunluk döneminden sonra küçük helikopter alanına ağırlık verilerek çıkılması beklenmektedir.

Fransa ve İngiltere başlangıçtan itibaren özgün çalışmalarıyla helikopter teknolojilerini pekiştirerek kendi sanayilerini kurdular. Alman ve İtalyan helikopterciliği ise savaş sonrası lisans altında üretim yapmıştır. Avrupa helikopterciliği öncelikle sivil kullanıma yönelik küçük ve hafif-orta boy helikopter modelleriyle gelişmiş, daha sonraları çok uluslu projeler ile model ve tip zenginliğine ulaşarak A.B.D. helikopterciliği ile rekabet edecek konuma gelmiştir.



Hizmet ömürlerini tamamlamakta olan çok sayıda küçük helikopterlerin yenileriyle yer değiştirmesi; ayrıca dört kişilik ve daha küçük helikopterlerin öncelikle yeni kullanıcılara hitap edecek olması, çok önemli bir potansiyel pazar oluşturmaktadır.

Mikro-helikopterlerin yakın bir gelecekte, helikopter alanında yeni bir kategori haline geleceği ileri sürülmektedir. Sabit kanatlı küçük uçakların kullanımı bir yerde sınırlı kaldığı için, pist ve havaalanı gibi geniş bir altyapıya gereksinme duymayacak mikro-helikopterlerin, noktadan nok-



Hava jetli Notar® kuruk sistemi

taya ulaşımında, havacılığın motosikleti olması beklenilmektedir. Mikro-helikopterlere olan talebin yüksekliği, birçok tasarımcıyı değişik teknik ve estetik arayışlara yöneltmiştir. Mikro-heli-

kopter modelleri içinde en ilginçlerinden biri Alman endüstriyel tasarımcısı Peter Naumann'ın Eurocopter desteğiyle gerçekleştirdiği ANAX helikopteridir.

Helikopterlere İlişkin Temel Kavramlar

Uçaklar ile helikopterler arasındaki aerodinamik fark, taşımayı meydana getiren kanat ve pal üzerindeki hava akımlarının oluşturulma biçimidir. Uçaklar ve oto-gyrolar, tiplerine bağlı olarak kısa veya uzun bir kalkış rulesi (koşması) yapmak zorundadırlar; çünkü kanatların gördüğü hava hızı, uçağın gövde ve kanat olarak bütünüyle yaptığı hareket sonucu ortaya çıkmaktadır. Helikopterler, ikinci adıyla döner-kanatlar, taşıma yüzeyleri olan palerinin döndürülmesiyle taşıma ve öne itmeyi gerçekleştiren rotor kuvvetini elde eder; helikopter öne doğru uçmu-yorsa bile. Bu nedenle rotorun dön-



Helikopter Yapabilir miydik?

Kudret Mavitan
İTÜ, Emekli Öğretim Üyesi

Ülkemize helikopter teknolojisi kazandırılması yönünde ilk girişim 60'ların sonlarında olmuştur; Devlet Planlama Teşkilatı'nca; İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi'nden ülkemizde helikopter sanayiinin kurulması yönünde bir fizibilite çalışması talep edilmişti. Bu yıllarda helikopter sanayi ABD ve Avrupa'da hızlı bir gelişme göstermekteydi. Oysa, 1930'larda sadece İspanyol Cierva'nın yaptığı uçak ile helikopter arası bir hava aracı olan oto-gyrolar mevcuttu.

Talep edilen fizibilite etüdlerini gerçekleştirebilmek için helikopter teknolojilerini yakından incelemek gerekiyordu. Sırası ile İtalya, Fransa ve ABD'de tetkikler yapıldı. İtalya'da daha önce motosiklet imalatçısı olan küçük bir firma, lisans altında Amerikan helikopterleri imal ederek İtalyan hükümetinin desteği ile, bu teknolojiye kısa sürede önemli bir seviyeye gelmişti. Lisans ile başkalarının uzun zamanda yaptığı çalışmalara bir anda ulaşabilmek mümkün olduğundan, lisans uygulamasının önemini belirtmek gerekmektedir.

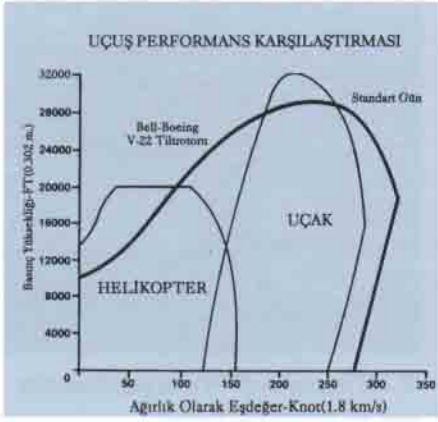
Helikopterlerin palleri ve dişli kutuları teknik açıdan karmaşık olan kısımlardır, geri kalan kısmı ise uçaklar ile genel olarak aynıdır. İtalyanlar, o zaman palleri li-

sans altında yapıyor, dişli kutularını lisans aldıkları firmadan getiriyorlardı. Pallerin imalinde yapıştırma tekniği geniş bir şekilde kullanılmaktaydı. Fransa ise helikopter teknolojisini ve sanayiini kendine kurmuş ve geliştirmekteydi. İncelemeler sonucu İtalya'da lisans altındaki pal üretiminin Fransa'daki pal üretiminden daha ileri olduğu ortaya çıkmıştır. Fransa'da paller yapıştırılıyor ve menginelemlerle sıkıştırılarak fırında pişiriliyordu. ABD'de ve lisans ile imalat yapılan İtalya'da yapıştırılan paller bir bütün olarak özel hazırlanmış fırınlarda özel plastik torbalar içinde vakumlanarak pişiriliyordu. Bu şekilde mengine ile sıkıştırılmaya kıyasla çok daha homojen bir yapıya birleştirilmesi sağlanıyordu. Helikopter teknolojisi ABD'de daha ileriydi. Paller, vakumlama ile yapıştırılmasının yanı sıra açık alanda döndürülerek test ediliyor ve ana rotor şaftı, birçok dinamik aksam ve yapı elemanı, nümerik kontrollü tezgahlarda imal ediliyordu.

Farklı helikopter üretimleri tetkik edildiği gibi, helikopterlerin işleyişleri ile ilgili aerodinamik, uçuş mekaniği ve performansı ile ilgili çeşitli kaynaklar da Türkiye'ye getirildi. Bu çalışmalar sonunda ülkemizde bir helikopter sanayi kurulmasıyla ilgili ayrıntılı bir rapor hazırlayarak DPT'na sunuldu. Bu raporda helikopter

teknolojisinin o zaman ulaştığı seviye, ülkemizde gerçekleştirilebilecek yatırımın çerçevesi ve hacmi, lisans altında bir üretimle yapılabilecek parçalar ve dışardan gelmesi gereken aksamlar kalem kalem belirtildi. Lisans altında üretime başlanılarak beş senede dış piyasayla rekabet edecek seviyeye gelinebileceği de gene bu raporda ayrıntılı bir şekilde ortaya konmaya çalışıldı. Helikopter teknolojileri, Türkiye'de helikopter sanayi kurulması ve özel sektör katılımları konularında bir dizi seminer ve toplantılar düzenlendi. Fizibilite çalışmaları olumlu gözükmesine rağmen lisans altında helikopter üretimi ne yazık ki gereken ilgiyi o sıralarda görmedi ve kanaatimce ülkemiz önemli bir fırsatı kaçırmış oldu. Görünen o ki, hala helikopter üretimi konusunda bir gelişme kaydedilememiştir.

Kudret Mavitan, 1926 yılında Mühendis Mektebi (İTÜ) öğrencisi iken Fransa'ya gönderildi. 1930'da Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace'da (ENSAE) Uçak Yüksek Mühendisi oldu. Silahlı Kuvvetler Hava Müstahzâtı Fırk Şubesi Müdürü olarak alımların hava araçları için yapılmasını sağlamak amacıyla gitti. Kayseri Nuri Demirel Uçak Fabrikası Müdürü olduğu sırada birçok başarılı tasarım ve imalat projesi gerçekleştirdi. Ülkemizde ilk seri paraşüt imalatı yapan ve 1940'ya İTÜ Uçak Mühendisliği bölümünü kurdu.



Helikopter-Uçak performanslarını yakalayan Tilt-Rotor tiplerinin 21. yüzyılda kısa mesafe yolcu taşımacılığında geniş kullanım kazanması bekleniyor.

mesiyle oluşan açılal momentin dengelenmesi, çözülmeye çalışılan temel problem olmuştur. Dönmekte olan rotor palleri, dönmelerini engelleyen aerodinamik direnç kuvvetiyle karşılaşırlar. Rotoru sabit hızla döndürmek için rotor miline gerekli moment uygulandığında, helikopterin gövdesi ters yönde dönmeye çalışır. Plastik pervaneli oyuncak helikopterleri uçurmaya çalıştığımızda bu durumu birçoğumuz gözlemişizdir. Bu dönmenin önüne geçilmesi gerekiyordu ve ilk helikopterlerde akla gelen birincil çözüm, aynı boyda iki rotorun ters yönlerde döndürülmesi olmuştur. Böylece havada tutunma, yani askı (hover) uçuşunda uygulanan toplam moment sıfır olmaktadır. Daha sonra yanyana, arkalı önlü, üstüste yerleştiriliş ve nihayet iç içe dönen (syncopter) rotor ikilileri geliştirildi.

Tek bir ana rotor ve kuyruk rotor kombinasyonu, diğerleri gibi başlangıçta hemen akla gelebilecek bir çözüm değildi. Bu uygulamada, kuyruk rotorunun oluşturduğu yanlamasına kuvvet ve kuyruk rotoru ile ana rotor mili arasındaki uzaklığın çarpımına eşit olan kuyruk rotoru momenti, ana rotor momentini karşılar. Kuyruk rotoru aynı zamanda helikopterin gövdesinin sağa sola dönmelerini sağlayan kontrol mekanizmasıdır. Pal uçlarında jet itmesi veya Curtiss-Bleeker'in düşündüğü gibi, pallerdeki pervaneler ile dönüştürülen rotorlarda da net moment yine sıfır olduğu için, kuyruk rotoruna gerek yoktur. Günümüzde pal uçlarında minik ramjetler ile döndürülen çok basit fakat pratik hobi helikopterler bulunmaktadır.

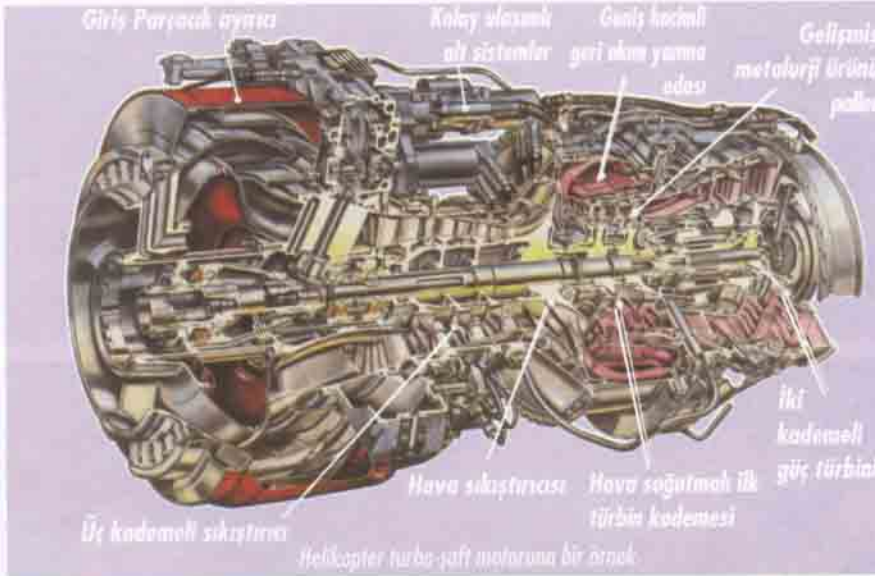


Helikopterlerde en çok kullanılan şekil, tek ana rotor - kuyruk rotoru olmuştur. Arka arkaya iki çift rotor kombinasyonunun en iyi örneği Boeing CH-47 Chinook helikopterleridir. İç içe dönen syncopter tipinin en son örneği, Charles Kaman'ın dizayn ettiği K-MAX helikopteridir. Eş eksenli helikopterler gibi iç içe dönen iki rotorlu helikopterler %17'ye varan kuyruk rotoru gücüne ihtiyaç duymazlar ve askı (havada durma) verimi açısından üstünlüğe sahiptirler. Üstüste eş eksenli ikiz rotor (co-axial rotor) sistemi Sovyetler Birliği'nde, Kamov helikopterlerinin değişik boyda olanları üzerinde başarıyla uygulanmıştır. Yüksek öne uçuş hızına sahip, eş eksenli Kamov-50 Hokum yakın destek helikopteri, 90'lı yıllarda geliştirilmiştir.

Rotor paline verilen aşağı-yukarı hareket serbestliği ve rotora uygulanan hatve değişimi kontrolleri, helikopter rotorunda kullanılan önemli mekanizmalardır. İlk önce havada tutunma, askı (hover), durumundaki bir helikopteri gözönüne alalım. Pal üzerindeki bağıl hava hızları tamamen rotorun dönmesiyle ilgili olup, palin dönme düzlemindeki pozisyonundan bağımsızdır. Pal üzerinde ince bir dilimin taşıma potansiyeli, bu dilimin gördüğü hava hızının karesiyle orantılıdır.

Aerodinamik bir yüzeyin taşınması en basit şekliyle;

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 C_L c_l$$
 olarak ifade edilir. Aerodinamik yüzeyin gördüğü hız V, dik olan profilin toplam taşıması L olup, ρ hava yoğunluğu, C_L yüzeyin taşıma katsayısı, c profil veteri (genişliği) ve l



yüzeyin enidir. Taşıma katsayısı C_L ile α (yüzeyin V ile yaptığı açı) arasındaki değişim $C_L = a\alpha$ en basit şekliyle lineer bir bağıntı olup; a , yüzeyin aerodinamik taşımayı oluşturma yeteneğini gösteren parametredir.

Helikopterin askı durumunda, sağ ve sol paller üzerindeki hava hızı dağılımı simetrik olup rotor merkezinde sıfırdan pal uçlarında maksimum değerine ulaştığı parabolik bir değişim gösterir ve pallerin dönme düzlemindeki her konumu için aynıdır. Öne uçuş halinde ise durum birden çok karmaşık bir hal alır. Pal kesitlerine, helikopterin öne uçuşu nedeniyle ek bir hava akımı gelmektedir ama pallerin bu gelen hava akımına göre hareket ediyor olması, işleri bir hayli karıştırır. Örnek olarak 200 km/saat hızla öne doğru

uçan bir helikopterin, 600 km/saat pal ucu hızına sahip olan rotorunun, sağ taraftaki pal (ilerleyen pal) ucu hızı 800 km/saat düzeyine ulaşırken, sol paldeki hız ise (gerileyen pal) 400 km/saat olacaktır. Böylece ilerleyen pal ucundaki hız, gerileyenin iki katı, taşıma yeteneği de dört katı olacaktır.

Bu hız farklılığı, sabit bir hücum açısına sahip rijit bir pal çifti üzerinde önemli bir taşıma dağılımı dengesizliği ortaya çıkaracaktır. Bu dengesizlik; rotor dönme merkezine göre rotörü ve rijit bir şekilde bağlı olduğu altındaki helikopteri yana yatıracaktır. İlk oto-gyrosunu yapmaya çalışan Cierva da bu problemle çok uğraşmış ve bir opera izlerken çok zekice bir çözüm bulmuştu: pal köklerine mafsallı olarak palin aşağı-yukarı serbestçe hareketine



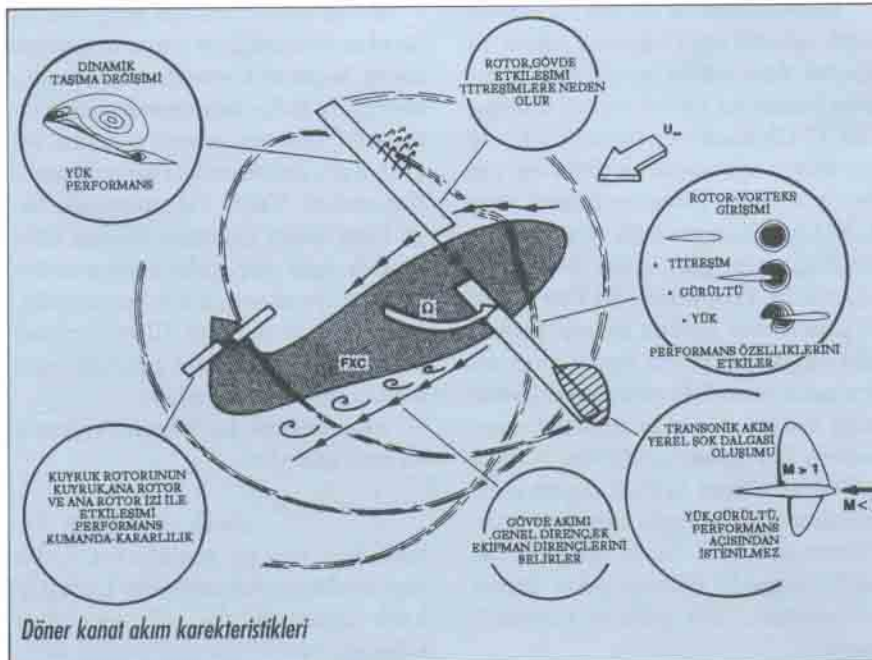
EC-135 yataksız-mafsalsız rotor palı, döner tabla rotor tacı bağlantı mekanizması

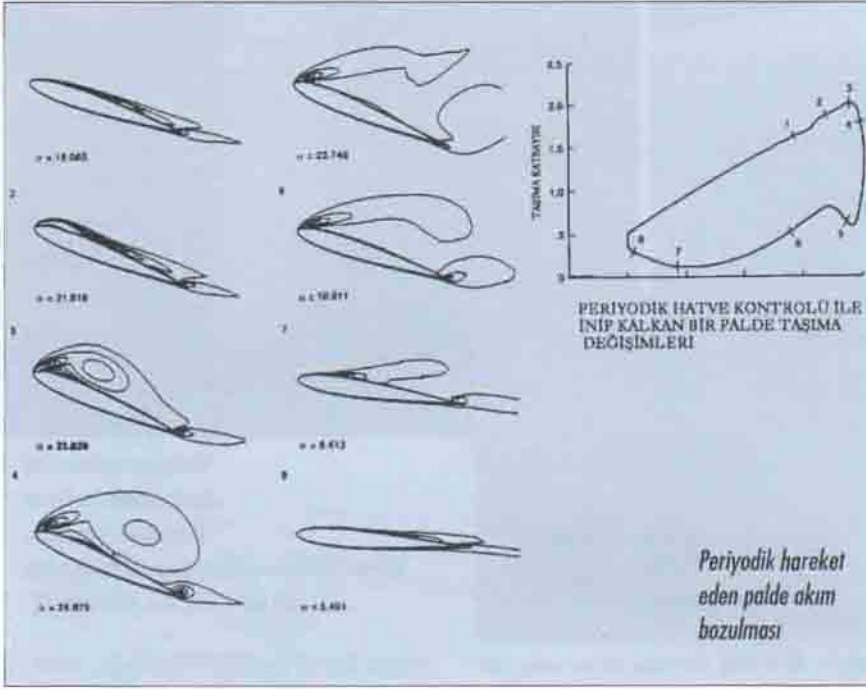
izin vermek. Böylece mafsallı moment iletimini durdurup oto-gyronun yana devrilmesini önledi. Palın bu hareket serbestliği ayrıca dengesiz taşıma dağılımını azaltacağı için, pal mekanizmasında önemli bir gelişme sağlamış oldu.

Rotor pallerine etkiyen merkezkaç kuvveti, aerodinamik kuvvetlerden çok daha büyük olduğu için, pal salınım açıları düşük seviyelerde kalır. Pratik olarak helikopter pallerinde aşağı-yukarı salınıma izin veren mafsallı yanısıra, palın dönme düzleminde de ileri geri salınıma izin veren ikinci bir mafsallı bulunur. Bu mafsallı, palın yüksek hızda dönerken aynı zamanda düşey salınım yapmasıyla oluşan Coriolis etkilerinin azaltılmasını sağlar.

Oto-gyrolar için yeterli bir çözüm olan mafsallı kullanımı, helikopter rotorlarında tam anlamıyla istenilen sonucu veremezdi. Uçak ve oto-gyrolardan farklı olarak helikopter rotorları; aracı taşımak kadar, öne uçuş ve sıfır hızda her yönde manevra yapmasına olanak tanıyacak kuvvetleri de sağlamak durumundadır. Diğer bir deyişle, rotorun dönme düzleminde dik olan ve toplam taşımasını ileri-geri, sağa-sola yatırmak bu yönlerde kuvvet bileşenleri ortaya çıkaracak bir mekanizmaya ihtiyaç vardır. Rotor dişli kutusu gibi, ağır aksamlar ile bağlantılı olan rotor ana milini oynatmak pek de pratik olmadığı için, pallerin hücum açılarını geometrik olarak değiştirmek akla yakın gelmiştir.

Pallerin dönme düzlemindeki konumuna bağlı olarak, periyodik hücum açısı (hatve) değişiminin pal hareket serbestliği ile birlikte kullanılması, rotor kumandasının temel prensibini teşkil etmektedir. Böylece pilot, rotor pal ucu düzlemini istediği gibi oynatarak,





öne uçuş ve manevra için gerekli kuvvet bileşenleri ile manevra momentlerini veren kuvvet çiftlerini oluşturur. Aerodinamik kuvvet dengesini sağlamak için, hızın fazla olduğu pal konumuna doğru azalan; buna karşılık palin düşük hız görmeye başlamasıyla artan pal hatvesi değişimi verilir. Pallere, bir ana hat ve bu hatve açısı etrafında sinüzoidal olarak ikinci bir değişim verilmesi, döner tabla (swash-plate) mekanizmasıyla sağlanmaktadır. Bu aşamada standart helikopterlerin performans yeteneklerini sınırlayan temel aerodinamik olayı anlamamız gerekmektedir. Gerileyen palde artan hücum açısının sağlayacağı taşıma artışı, bir ölçüye kadar olasıdır. Öne uçuş hızı arttıkça gerileyen paldeki hız açığı, çok daha fazla hücum açıları gerektirecek; buna karşılık profilin taşınması ise, belli hücum açılarından (15 derece) sonra aniden düşecektir. Bu durum küçük bir pal

bölgesinde pek etkili olmaz ama, helikopterin uçuş hızı artırılmak istendiğinde, bu bölge genişlemeye başlar ve pal daha zor şartlara itilmiş olur. Taşıma düşüşü ve dengesizliği yayılır, gerekli rotor döndürme gücü ve kumanda kuvvetleri artar, titreşimler keskinleşir. Böylece, pilotun rotoru istediği etkinlikle kontrol edemediği ve hatta helikopterin kararsız uçuş konumlarına girdiği durumlarla karşılaşılır.

Sonuç olarak rotorların, uçak kanatlarına benzemeyen aerodinamik özellikler gösterdiğini rahatlıkla söyleyebiliriz. Kanat, sıfır uçuş hızında bir taşıma meydana getiremez de buna karşılık yüksek uçuş hızlarında çok iyi taşıma verimliliği gösterir. Buna karşılık helikopter rotorları, sıfır uçuş hızında maksimum taşıma verirken öne uçuş hızının artmasıyla taşıma yetenekleri belli hızlardan sonra süratle azalır. Standart helikopterlerin ulaşabileceği



maksimum uçuş hızları bu nedenle 360-380 km/saat düzeyini geçememektedir. Bu sınırlama, standart konfigürasyon dışında, ek taşıma yüzeyli ve ek itkili melez (compound) döner kanat arayışlarına yol açmış; böylece tilt rotor, tilt kanat (tilt wing), duran rotor ve katlanan rotor gibi değişik araçlar geliştirilmesi gündeme gelmiştir. Bu çalışmaların çoğu konsept ve prototip safhasında kalmış, sadece V-22 Osprey ile tilt rotor, pratik olarak gerçekleştirilmiştir.

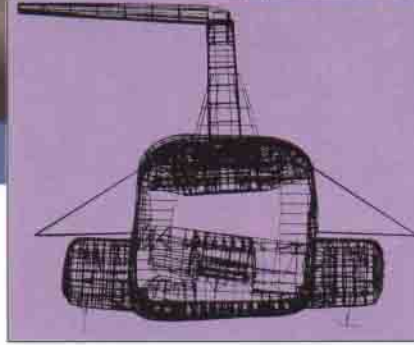
Helikopter Teknolojileri

İlk helikopterlerin uçurulmasından günümüz modern helikopterlerine gelmesi kolay bir süreç olmamıştır. Helikopter aerodinamiği, uçuş mekaniği ve kontrolü; ayrıca helikopter aeromekanik kararlılığı alanında yapılan yorucu teorik çalışmalar, deneyler ve uzun tasarım süreçleri sonunda, yeni teknolojiler geliştirilerek helikopterçiliğin hizmetine sunulmuştur. Bunların içinde kompozit paller, yataksız mafsalsız rotor sistemleri, rotorsuz kuyruk, oto-pilotlu uçuş kontrol sistemleri ve karmaşık avionik (gece uçuş) sistemleri sayılabilir.

Mafsalsız ve yataksız rotor sistemleri ile elastik rotor palleri, yine uzun uğraşlardan sonra geliştirildi. Pallere,



EC 135 Eurocopter'in ikibin, üçbin adet olarak tahmin edilen küçük helikopter pazarı için geliştirdiği yataksız ana rotor, Fenestron kuyruk rotorlu, dördüncü nesil helikopteri EC 135'in bazı parçalarının ülkemizde TAI'de üretilmesi sözkonusu.



ABD ordusu, MH-53E ağır nakliye helikopteri gibi karmaşık helikopterlerin bile yapısal yüklerini sonlu elemanlar modelleriyle ayrıntılı ve hızlı bir şekilde incelemektedir.

mafsallar ile verilen rijit hareket serbestliği, kompozit pallerin elastik eğilmeleriyle sağlanarak; önce karmaşık yatak mekanizmalarından kurtulundu. BO-105 helikopterinde kullanılan Bölkow mafsalı rotorunda, sadece harve kontrolünün verildiği ekseninde yatak bulunuyordu ve taç sistemi ilk defa bir bütün olarak imal edilebilmişti.

Asıl hedef yataksız rotorlardı ve 20 yıllık uzun uğraşlar sonucunda geometrik olarak daha basit, aerodinamik parazit silüeti düşük, parça sayısı az, bakımı kolay taç sistemleri ve ömrü pratik olarak sonsuz olan kompozit rotor palleri geliştirildi. Bu anlamda yataksız rotoru oluşturan öğeler; pali rijit olarak rotor taçına bağlayan, aynı zamanda kolay burulan elastik pal bağlantı kirişi ve bunun etrafında hatve kontrolünün verildiği burulmaya dayanıklı bir ka-

buktur. Burulma kabuğu uçlarında, palin dönme düzlemi içindeki hareketlerine sönüm getiren elastomerik damperler ile, taç mekanizması tamamlanmaktadır. Hemen hemen bütün helikopter firmaları kendi özgün yataksız rotor sistemini geliştirmiştir. Bunlardan BO-108 için tasarlanan ve Eurocopter EC-135 helikopterinde kullanılacak olan yataksız dört palli sistem, en gelişmiş yataksız rotor olarak kabul edilmektedir. Comanche helikopterlerinde de BO-108 rotoruna benzer bir yataksız-mafsalı rotor kullanılacaktır.

Kompozit elyafli dokumaların, elyaf yönüne göre değişen malzeme özellikleri sayesinde; rotor tasarımcıları, metal pallere kıyasla çok geniş bir model geliştirme serbestliği kazanmışlardır. Katmanlar halinde örülen kompozit elyafların doğrultuları, her kat-

Helikopter teknolojisini lisans altında üretim ile kısa sürede yakalayan İtalyan helikopterciliğinin bugün ulaştığı nokta A 129 Mangusta atak helikopteridir.

manda farklı açılarda tutularak, palde istenilen statik ve dinamik yapı özellikleri elde edilir; ama bu model, geliştirme ve analiz aşamasında olduğu kadar üretimde de çok pahalıdır. Buna karşılık helikopterin adeta belkemiği olan rotor pallerinden hiçbir fedakarlık esirgenmez; çünkü kompozit paller bu emekleri fazlasıyla karşılırlar. Kompozit pal üretiminin her aşamasında, bir kuyumcu hassasiyetiyle çalışıldığı söylenebilir. Nemi ve sıcaklığı ayarlı, tozsuz, temiz odalarda üretilen pallerin kalite kontrolleri de bir o kadar zaman alır. Pallerin üretimi sırasında, konumuna göre, gerektiğinde her bir kesitin ultrasonik hatta tomografik görüntüleri alınarak, ileride katman ayrılması ve çatlak oluşumuna neden olacak bir mikro hataya bile imkan verilmemeye çalışılır.

Bell 230 VIP helikopteri



Helikopterin periyodik olarak inip kalkan ve salınım hareketleri yapan rotor palleri etrafındaki aerodinamik olaylar ise hayli karmaşıktır. Rotorun oluşturduğu düşey hava akımı ve dönen palin ardında bıraktığı girdap oluşumları, akım alanını bozar. Rotor pallerinin gerçek verimlerinin belirlenmesi ancak aerodinamik vorteks (girdap) modellemeleriyle mümkün olmuştur. Kök kısmında sıfır olan hava hızı, pal ucunda, ses hızına yakın değerlere varır ve ne yazık ki palin de en hareketli kısmı uçlarıdır. Sürekli inip kalkan pal ucu, "dinamik stall" denilen ve taşımanın önce çok hızlı artıp sonra birden düştüğü aerodinamik olaylarla karşı karşıyadır. Kök kısmında hızın düşük olması, pal uzunluğu boyunca dengelenmiş bir aerodinamik taşıma dağılımı oluşturulmasını gerektirir. Bunun için kök kısmından uca doğru azalan bir rijit hatve açısına sahip burulmuş paller kullanılır. Ayrıca bazı günümüz helikopterlerinde, kök kısmında kamburluğu fazla ve geniş profillerden pal ucunda daralan ve incelik düzleşen profillere doğru bir değişim uygulanmaktadır. Bu iki uygulama, pal üretimini hayli zorlaştırır da helikopterin askı ve öne uçuş aerodinamik verimliliklerinin optimum bir dengeye getirilmesini sağlar.

Pal ucu girdapları ise tam anlamıyla bir sorun olup, helikopterin aerodinamik verimi ile titreşim ve akustik özelliklerinin birinci derecede belirleyicisidir. En hızlı helikopter olan Westland Lynx helikopteri, sahip olduğu yüksek hıza, özel olarak tasarlanmış pal uçlarıyla ulaşabilmiştir. Günümüz palleri-



Çift motorlu BK 117 Alman-Japon işbirliği ile geliştirilmiş üstün özellikleri olan bir helikopterdir.

nin uçları, süpersonik akım oluşumlarını geciktirmek için, geriye ok açılı uçları ovalleştirilerek hatta aşağıya doğru anhedral açısı verilerek yapılır.

Kuyruk rotorları, yüksek dönme hızları yüzünden önemli bir gürültü kaynağıdır ve ne yazık ki ana rotor gibi taşımaya ve itmeye doğrudan faydalı bir katkısı da yoktur. Dahası, iniş-kalkış sırasında ve yerde çalışırken sağa-sola çarpmaları, böylece çevredekilere zarar vermeleri de sözkonusudur. Lüle içinde rotor sistemi, Fenestron alternatif kuyruk kuvvetleri sistemi olarak, Aérospatiale tarafından geliştirilerek Gazelle ve Dauphin helikopterlerinde başarıyla uygulanmıştır. Lüle içinde olmaları sayesinde çarpıp kırılmaları tehlikesi minimuma indirilmiş ve lüle içindeki kuyruk rotoru itki verimi de arttırılmıştır. Bu tartışılmaz üstünlükleri nedeniyle EC-135 ve Comanche gibi birçok yeni helikopterde bu kuyruk tipi benimsenmiştir. Yüksek hızlara ulaştığında helikopterin

kuyruğuna yerleştirilen düşey kuyruk yüzeyleri de yan itme kuvvetleri oluşturur. Birçok helikopterde düşey kuyruk, yüksek hızlara gelindiğinde kuyruk rotorunun yükünü hafifletir ama yine de özellikle askı ve düşük hızla uçuş sırasında, kuyruk rotorunun oluşturduğu yan itme kuvvetinden vazgeçilemez.

Tork-karşıtı kuyruk kuvvet sistemi için daha köktenci bir çözüm; MDHC tarafından geliştirilen hava jeti itmeli, rotorsuz kuyruk sistemi Notar® dir. Kuyruk konisine basılarak hızlandırılan havanın, yan lüle yarıklarından kontrollü olarak bırakılmasıyla, kuyruk silindiri etrafında dönel bir hava akımı oluşur. Bu akım yüzeydeki sınır tabakayı azaltır ve ana rotordan gelen düşey iz akımının kuyruk konisine yapışmasını sağlar. Silindir etrafındaki çevresel dönel bir akım ile, aerodinamik bir profil etrafındaki düz akım birbirleriyle eşdeğerdir. Yarıklardan salınan hava itmesi ayarlanarak, istenilen şid-



Çift pilotlu bir askeri helikopter kokpitinde pilot görüş açısı



Elete, 130 mil/saat hız ve 340 mil mesafe özelliklerine sahip yeni iki kişilik en popüler kit helikopteridir.



AH-1W Süper Cobra dört palli versiyonu ile performans ve manevra özellikleri daha da geliştirildi.

Türk Silahlı Kuvvetleri envanterine katılan Black Hawk askeri helikopteri.

dette bir kuyruk kuvveti elde edilir. Prinsip olarak oldukça basit gibi görülen Notar sisteminin pratik uygulamaları için geliştirilmesi, onyedinci yıllık bir çalışma gerektirmiştir ve pratik uygulama olarak Ekim 1991'den bu yana MD 520N serisinde uygulanmaktadır. Notar ile donatılmış MD 520N helikopterin, emsallerine nazaran %25-40 daha düşük gürültü düzeylerine sahip olduğu belirtilmektedir. Notar, başlangıçta LHX projesine yönelik olarak geliştirilmiş ilk olarak da MD 900/901, Explorer helikopterin standart konfigürasyonu olmuştur.

Helikopter boş ağırlıklarının en önemli kısmını gövde, ardından da motor, dişli kutusu ve rotor sistemi oluşturmaktadır. Turboşaft motorların güç/ağırlık oranları belli seviyelere gelmiş bulunmaktadır. Teknolojik ilerlemeler, motorların emniyeti, bakım kolaylığı ve elektronik kontrol sistemleri yönündedir. Rotor ve pal sistemlerinin ağırlıkları, azalan parça sayılarıyla birlikte bir ölçüde düşmüştür. Mevcut helikopterlerin dişli kutusu ağırlıkları, boylarına göre belli seviyelere kadar düşürülmüştür. Boş ağırlı-

ğın azaltılması için geriye kalan tek yol, gövde ağırlığının azaltılmasıdır. Bilgisayar destekli tasarım ve kompozit malzeme kullanımı, günümüzde buna büyük ölçüde olanak vermektedir. Bu arada uzun kuyruk yapılı helikopter gövdelerinin titreşim modlarının, statik dirençleri kadar önemli bir tasarım kriteri olması, minimum ağırlığı hedefleyen yapısal tasarımları zorlaştırmaktadır. Gelişen bilgisayar teknolojileri sayesinde, helikopter gövdelerine ilişkin tasarım çalışmaları, sonlu elemanlar ile modelleme yöntemleri kullanılarak hızlı ve hassas bir şekilde yapılmaktadır. Tasarım ve analiz metodlarındaki gelişmelerin dışında, helikopter gövdelerinde kompozit malzeme kullanımı da, daha hafif gövdelerin yapımına olanak vermektedir. Kompozit gövde ile yenilenen CH-47 nakliye helikopterlerinin yanı sıra, Eurocopter EC-135, Pahl Tiger, MHDC Explorer ve Alman-Hindistan ALH helikopterlerinde, kompozit malzeme kullanımı önemli boyutlara ulaşmıştır. Sikorsky-Boeing Comanche helikopterin gövdesi yekpare olarak, tamamen kompozit malzeme ile üretilecektir. Büyük kompozit

helikopter yapılarının üretimi için gereken karmaşık geometriye sahip kalıplar, bilgisayar destekli tasarım ortamından, doğrudan sayısal kontrollü tezgahlara aktarılarak; hızlı ve duyarlılığı yüksek bir biçimde yapılabilmektedir.

Helikopter teknolojilerindeki önemli bir atılım da, kumanda-kontrol ve avionik sistemlerindeki gelişmelerle sağlanmıştır. Oto-pilotlu uçuş, askıda durma ve yaklaşma manevraları; helikopterin oldukça karmaşık uçuş mekaniğine uygulanmıştır. Sabit hızda ve yüksekte uçma, iki eksenle konum sabitleştirme, otomatik yaklaşma/tırmanma manevraları, mikro-işlemcili modern kontrol sistemleriyle gerçekleştirilmektedir. Bu otomasyonun ötesinde, yere yakın ve yer konturunu izleyerek yapılan uçuşlar da, bu gelişmiş sistemler olmadan gerçekleştirilemez.

Bir çeşit bilgi, veri ve komut işletim yazılımı olan BUS sistemi üzerine entegre edilmiş olan avionik aletler, her türlü uçuş koşulunda seyahat etmeyi sağlamaktadır. Avionik gelişmeler, sivil helikopterlerin en zorlu IFR, VFR aletli uçuşlarına olanak vermektedir. Bu teknolojilerin daha geniş kullanıldığı askeri helikopterler, uydudan konum verisi olarak (GPS) önlerini bile görmeden; yere yakın, yer hattını izleme ve sızma uçuşlarını, radara yakalanmadan başarmaktadırlar. Günümüzde ABD Hava Kuvvetleri'nin özel hareket helikopterleri olan MH-53J Pave Low ve MH-60 Pave Hawk, havada yakıt ikmali yaparak en zorlu koşullarda bile uçabilecek sistemlere sahip bulunmaktadır. Bunun yanı sıra pilotlara da çok gelişmiş haberleşme olanakları sağlanmıştır.

Katlanır iniş takımlarıyla aerodinamik direnci azaltılmaya çalışılmış S-76, üstün hız, irtifa ve mesafe özellikleri sergiler.



Kaynaklar
Apostolo, G., The Illustrated Encyclopedia of Helicopters, Milano 1984.
Frandsen, E.A., Overview of Helicopters and V/STOL Aircraft, AGARD Report No: 781, 1991.
Rotary Wing International, 1986-1992
Vertiflite, 1986-1992