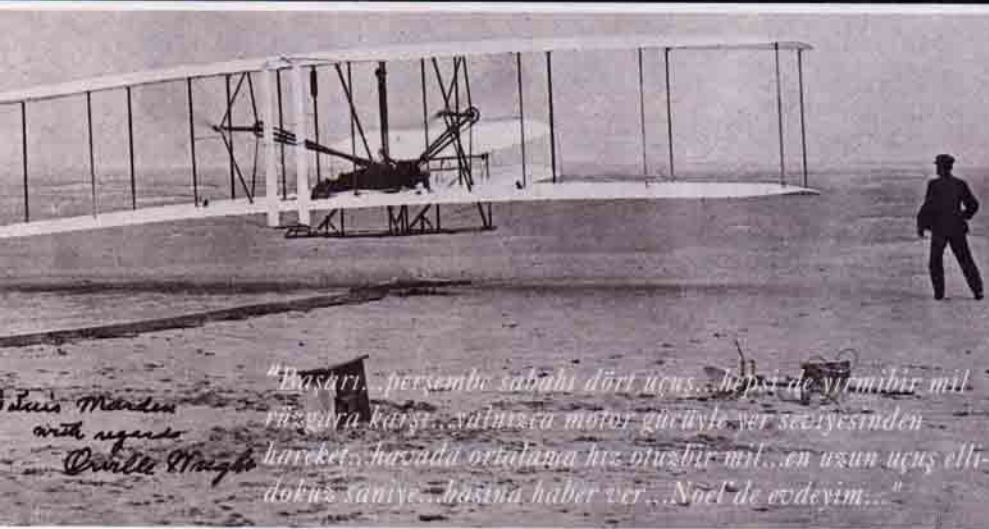




# Uçak Teknolojisi

Eli her sanata yatkın Atina'lı usta Daidalos, Kral Minos'un Girit'te onları hapsediği binbir odalı ve kısırlı Labyrinthos'dan kurtulmak için, kendine ve oğlu İkaros'a birer çift kanat yaparak balmumuyla omuzlarına yapıştırır. Uçmak onlar için tek çıkar yoldur. Daidalos oğluna, fazla yükselirse kanatları tutan balmumunun güneşten eriyeceğini söyler; ona temkinli olmayı, gökyüzünün büyüünden uzak durmayı öğütler... Oysa İkaros için uçmak, sadece bir ulaşma aracı değildir ki! Ulaşılabilecek yer özgürlük bile olsa, uçmayı kurallarla, önlemlerle sınırlayamaz. Varışı değil, uçuşu seçer. Kanatlarını, uçmanın kısacık özgürlüğüne feda eder. Sonunda babası gibi Sicilya'ya varır, ömrünün kalanını güven içinde geçirmez belki ama, Güneş tanrı kanatlarını tutan balmumunu eritene kadarki kısacık sürede gerçekten uçan İkaros olur. Onun için de, yüzyıllardır uçmak; kanatları yapan Daidalos'la değil, gökyüzünün çağrısına yanıt verişinin bedelini Ege'de boğularak ödeyen İkaros'la simgelenir...



Lucius Marden  
with regard  
Orville Wright

"Başarı... perşembe sabahı dört uçuş... hepisi de yirmibir mil  
rüzgarla karşı... yalnızca motor gücüyle yer seviyesinden  
hareket... havada ortalama hız otuzbir mil... en uzun uçuş elli-  
dokuz saniye... başına haber ver... Noel'de ödeyim..."

Milton Wright, Orville Wright'ın 17 Aralık 1903'te Kuzey Carolina'dan gönderdiği bu telgrafi aldığı anda, "Flyer" adlı 16 beygirgücünde, iki pervaneli, havadan ağır bir araçla ilk motorlu uçuş gerçekleştirilmiş ve yepyeni bir çağın başlangıcına imza atılmıştı bile...





Mehmet Kıcıman

TUSAS

Hüseyin Yağcı

TAI

**İ**KINCI Dünya Savaşı ile büyük bir ivme kazanmış olan havacılık teknolojisi, soğuk savaş yıllarında da duraklamadan gelişmiş; 1957 sonbaharında Sovyetler Birliği'nin Sputnik uydusunu atmosfer dışına fırlatması ile daha da hız kazanarak Kore, Vietnam Savaşları ve nihayet insanoğlunun Ay'a ayak basması ile doruk noktasına ulaşmıştı. Her iki bloktaki ülkelerin GSMH'lerinin önemli bir bölümünü havacılık ve uzay sanayii ile ilgili temel ve uygulamalı araştırmalara ayırmalarının sonucu, bu dallardaki ilerleme diğer bütün teknoloji dallarından daha hızlı oldu.

Geride bırakmak üzere olduğumuz yüzyılda teknoloji, gelişmesini büyük ölçüde havacılık sanayiine, özellikle de askeri havacılık sanayiine borçludur. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler bile çoğunlukla askeri havacılık endüstrisinin gereksinimlerinden kaynaklanıyor. Ancak önceleri daha çok uygulamalı mekanik, yapısal ve aerodinamik iyileştirme konularına ağırlık verilirken artık bunların yerini yeni malzemeler, otomatik karar ve kontrol sistemleri almaktadır.

Geleceğin avcı uçakları günümüzdekilerle karşılaştırıldığında radar izi, pilot iş-yükü, görev çeşitliliği ve esnekliği gibi etmenler de artık gözönüne alınacak. Geçmiş ve günümüz avcı uçakları için yapılan karşılaştırmada, araç hızı veya aerodinamik katsayılar gibi parametreler üzerinde duruluyor. Yakın geleceğin avcı uçaklarının bir önce-



ki ne-  
silden  
farkları;  
daha kü-  
çük radar izleri, da-  
ha yüksek manevra  
yetenekleri, görece hafiflik, dayanıklı-  
lık ve azalan pilot sorumluluğu olacak.

Küçük radar izleri; uçak havaday-  
ken radarlarda oluşturacağı izin bilgisa-  
yar modelleri aracılığıyla tasarım aşama-  
sında belirlenmesi ve tasarımın, radar  
izinini küçüleceği şekilde değiştiril-  
mesiyle elde edilmektedir. Bu-  
nun için ayrıca uçağın boyasına  
bazı kimyasal maddeler ve metal  
parçacıklar katılmaktadır.

Yüksek manevra yeteneği  
ise otomatik kontrol sistem-  
lerinin gelişmesiyle olanaklı  
hale gelebilen "kararsız uçak"  
kavramıyla bağlantılıdır. Geçmişte  
herhangi bir uçağın tasarımında en  
çok dikkat edilen konulardan biri uça-  
ğın kararlı olması, yani uçağa etki eden  
küçük ve/veya kısa süreli kuvvetler kar-  
şısında oluşan tepkilerin kendiliğinden

sönümlenmesi-  
nin sağlanmasıydı. Uçağın  
kontrolünün mekanik sistemler aracılı-  
ğıyla tamamen pilota bağlı olması ve sö-  
zü edilen küçük ve/veya kısa süreli,  
yüksek frekanslı kuvvetlerin doğada  
bolca bulunması, uçağın "kararlı" olma-  
sını zorunlu kılıyordu. Günümüzde ise  
uçuşun her anında aracın çeşitli nok-  
talarındaki algılayıcılar-  
dan gelen bilgiler  
bir bilgisayar-



da  
toplan-  
makta,  
bu bilgisayardaki yazı-  
lımlar da pilotun isteği  
doğrultusunda uçak üzerindeki  
kontrol yüzeylerinin yeni konumlarını  
belirlemekte ve yine bu kontrol yüzey-  
lerine emirler göndermektedir. Bu bil-

gi-emir alışve-  
rişi yüksek  
hızlarda ger-  
çekleştirilebildiği  
için artık uçakların kar-  
rarlı olması bir zorunlu-  
luk olmaktan çıkmıştır. Hatta avcı  
uçaklarının kararsız olmaları  
özellikle yeğlenmektedir;  
çünkü uçağın kararsız ol-  
ması, yüksek manevra yetene-  
ğini de beraberinde getirmektedir.  
ABD'de geliştirilmekte olan öne-  
meyilli kanatlarıyla ünlü X-29 da  
bu tür bir uçaktır.

İnsan fizyolojisi ne yazık ki an-  
cak +9g ile -4g (1g = yerçekimi iv-  
mesi, yaklaşık 9.81 m/s<sup>2</sup>) arasındaki  
ivmelere dayanabilmektedir. Bu sınırla-  
madan kurtulabilmek için yeni pilot el-  
biseleri tasarlanmakta ve yüksek ivmeli  
manevralarda kanın, vücudun bazı böl-  
gelerinden boşalmasını ve bazı bölge-  
lerinde toplanmasını önlemek için bu el-  
biselerin gereken bölümleri şişmekte-  
dir. Artık manevra yeteneğini belirle-  
yen faktör, uçağın yapısı ya da kontro-  
lüyle ilgili konulardan çok, pilot elbise-  
leridir.

Yeni askeri uçakların görece hafiflik  
ve dayanıklılık gibi özellikleri, malze-  
me teknolojisindeki yeniliklerin sonu-  
cudur. Pilot yükünün azalmış olması  
ise, geçmişte pilotların bizzat vermek  
ve uygulamak zorunda olduğu birçok  
kararın artık bilgisayar yazılımları saye-  
sinde otomatik olarak verilebilmesi ne-  
deniyledir.

Havacılık sanayii sadece avcı ve yol-  
cu uçakları gibi bilinen ürünlerdeki ge-  
leşmeyi sürdürmekle kalmayıp şimdiye  
dek varılmayan ya da gerçekleşmesi  
mümkün görünmeyen kavramlar ala-



nında da araştırma ve geliştirme çabalarını sürdürüyor. Bunlar arasında askeri amaçlı insansız hava araçları (İHA); iniş ve kalkışta helikopter, havada seyredirken pervaneli uçak özellikleri gösteren "melez araçlar" (Bell-Textron V-22 Osprey), Boeing - DASA ortak tasarımı 800 kişilik sesarası (ses hızına yakın hızlarda uçabilen, transonic) yolcu uçağı, sesüstü (supersonic) ve yüksek sesüstü (hypersonic) yolcu uçakları sayılabilir. Mekanik melezliğin yanısıra görev melezliği (esnekliği) de yeni tasarımların bir başka boyutudur. Mekanik sistemlerin, yerlerini çok daha az hacim ve ağırlıktaki elektronik sistemlere terketmeleri pilotun rutin görevlerinin azalmasını sağlamıştır.

Yeni bir düşünce de sesüstü (Mach 2) ve yüksek sesüstü (Mach 4,5) hızlarda seyredilebilen yolcu uçaklarının yaygınlaştırılmasıdır (Mach sayısı=uçak hızı/ses hızı. Ör. "Mach 1", uçağın ses hızına eşit hızda uçuşunu gösterir). 130 yolcu taşıyabilecek böyle bir uçağın, çok güçlü özel motorlar ve sürtünmeden doğacak yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemeler gerektirmesi nedeniyle, 450 milyon Amerikan dolarına malolacağı hesaplanmıştır.

## Çevre Sorunları

Gereksinimler ve pazarlar dışında, günümüzde havacılık teknolojisinin gelişimini kontrol eden etkenlerden biri de çevreyle ilgili konulardır. Jet yakıtı atıklarının ozon tabakasına verdiği zarar, yakıtların arındırılmasıyla ve motordaki yanma reaksiyonunun daha verimli hale getirilmesiyle yok edilmeye çalışılmaktadır. Yakıt tüketimini azaltıcı önlemler gerek uçuş maliyetlerini düşürdüğü, gerekse menzili artırdığı için zaten her zaman gündemde olmuştur. Yakıt tüketimi aslında sadece motorların verimliliğine değil, uçuş güzergahına da bağlıdır. Bilindiği gibi havanın yoğunluğu, yeryüzünden yükseldikçe azalır.

Uçağa etki eden kaldırma ve sürüklenme gibi aerodinamik kuvvetler de havanın yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Seyir sırasında aracın ağırlığı azalmakta (yakıtın azalması yüzünden), dolayısıyla daha az kal-

dırma kuvvetine gereksinim duyulmaktadır. Fazlalık kaldırma kuvvetinin uçağı bir miktar yükseltmesi, aracın, havanın daha az yoğun olduğu bir yükseklikte uçmasına ve daha küçük bir sürüklenme kuvvetine maruz kalmasına yol açar. Karşı konulacak daha küçük bir sürüklenme kuvveti de, daha düşük yakıt tüketimi demektir. Ancak hava trafik düzenlemeleri uçakların sürekli yükselen bir güzergah izlemesini önlediği için, yükselişler genellikle basamak basamak yapılmaktadır.

Bunların dışında, gürültü-

nün azaltılması sivil havacılık endüstrisinin önüne konan en net ve en yakın hedef durumundadır. Hava meydanları çevresinde oluşan gürültü yalnızca çevrede yaşayan insanları değil, kuş sürülerini de göçe zorlamakta, bunun sonucunda da kuşların beslendiği kurt, böcek gibi hayvanların sayısında büyük artışlar ortaya çıkmaktadır. Bu durum ise bölgede tarımın ölümüne ve böylece uzayıp giden bir ekolojik kaosa neden olmaktadır.

## Hava Trafik Sıkışıyor...

Önemli sorunlardan biri de hava trafik sıkışıklığı. Hava trafik düzenlemeleri, oluşabilecek her türlü hatanın sistem içinde giderilmesine yönelik kontrollerle karmaşıklaşmış organizasyonlardır. Aslında uçakların içinde seyrettikleri hava koridorları, "nereden gitse olur" diye düşünebileceğiniz bu uçakların hareketlerini karayolları ya da raylar kadar kısıtlar. Bir hava koridoru 10 deniz mili genişliğinde ve en az 1000 feet yüksekliğinde, dikdörtgen kesitli bir tüptür.

Hava taşımacılığının yaygınlaşması, hava trafiğini düzenleyen donanım ve organizasyonların giderek daha yetersiz kalmasına neden olmakta ve geçmişteki gereksinimlere göre tasarlanan sistemler bugünlerde oldukça zorlanmaktadır.

Yukarıda sözü edilen otomatik uçuş sistemleri Airbus serisi yolcu uçaklarıyla birlikte sivil havacılığa da girdi. Bu sistemler ve bunlarla uyum içinde çalışan modern yer seyrüsefer ekipmanları sayesinde



bugün Kategori IIIb türü inişler (0 görüş, 0 yükseklik) otomatik olarak emniyetle yapılabiliyor. Havaalanındaki pist ve apron trafiğini kontrol etmek için de artık alanlarda yer radarları kullanılıyor ve bu radarlar özellikle sisli havalarda emniyeti sağlıyor.

Bunların yanısıra hava koridorlarında da yavaş yavaş başgöstermekte olan

sıkışıklıkların kazalara neden olmaması için, artık büyük-küçük tüm sivil uçaklarda Çarpışma Önleme Sistemleri (Collision Avoidance Systems, CAS) kullanılıyor. Bu sistemlerin ana ünitesi ise çevredeki uçakları belirleyen bir radar.

Günümüzde iniş emniyetini daha da artırmak için kullanılması düşünülen

cihazlardan biri de Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System, GPS). Bu cihazlar, özellikle bu görev için uzaya yerleştirilmiş uydulardan gelen sinyalleri değerlendirerek, yerküre üzerindeki konumumuzu sivil sistemlerde 100 m, askerî sistemlerde 25 m hatayla tesbit edebilmektedir. Bu kadar küçük bir hata bile aslında iniş için çok



## Uçak Yapım Malzemeleri



namik kuvvetlere direnmeli; sert iniş darbelerine ve manevralarda oluşan eylemsizlik (atalet) kuvvetlerine dayanmalıdır. İlk uçakların temel malzemesi tahta ve bezdi. Köşelerini çaprazlama birleştiren tellerle sağlamlaştırılmış ahşap iskeletler, yük taşıyıcı gövdeyi oluşturuyordu. 1930'ların ortalarına kadar çift kanatlı olan uçakların kanat iç yapıları da başlangıçta yine tellerle sağlamlaştırılmış ahşaptı; ancak sonradan ahşabın yerini çelik kiriş ve onlara dik nervürler (sinirler) aldı. Kanat ve gövde kaplaması ise bez ya da ahşaptı. Kaplamanın amacı yük taşımak olmayıp kapalı bir mekan yaratmak ve kanada istenen aerodinamik şekli vererek uçağı havada tutan taşıma kuvvetinin yaratılmasını sağlamaktı.



Mehmet A. Akgün  
ODTÜ Havacılık Müh. Böl.

Fransız Clement'in Eole adlı uçağının 1890 yılında motor gücüyle yerden ayrılarak gerçekleştirdiği 50 m'lik uçuştan ve Wright kardeşlerin 1903'te uçan motorlu hava aracından bu yana, uçak yapıları çok değişti. Burada "yapı" sözcüğü, insanları ve nesnelere taşımak ve üzerine binen yüklere direnmek üzere, çeşitli malzemeden parçaların biraraya getirilmesiyle oluşan bir bütün anlamında kullanılmaktadır. İnsanları ve nesnelere barındırmak üzere inşa edilen bir bina, bunların ağırlığını ve ayrıca duvar, sütun, kiriş, çatı, taban gibi yapı elemanlarının ağırlığını taşımaları; rüzgar ve depreme direnmelidir. Bir uçak ise insan, kargo, iniş takımı, motorlar ve haberleşme, seyirüfefer (navigasyon) gibi sistemlerin ağırlığını taşımaları; taşıma (kaldırma) kuvvetini yaratan hava basıncı ve sürüklenme gibi aerodi-

namik kuvvetlere direnmeli; sert iniş darbelerine ve manevralarda oluşan eylemsizlik (atalet) kuvvetlerine dayanmalıdır. İlk uçakların temel malzemesi tahta ve bezdi. Köşelerini çaprazlama birleştiren tellerle sağlamlaştırılmış ahşap iskeletler, yük taşıyıcı gövdeyi oluşturuyordu. 1930'ların ortalarına kadar çift kanatlı olan uçakların kanat iç yapıları da başlangıçta yine tellerle sağlamlaştırılmış ahşaptı; ancak sonradan ahşabın yerini çelik kiriş ve onlara dik nervürler (sinirler) aldı. Kanat ve gövde kaplaması ise bez ya da ahşaptı. Kaplamanın amacı yük taşımak olmayıp kapalı bir mekan yaratmak ve kanada istenen aerodinamik şekli vererek uçağı havada tutan taşıma kuvvetinin yaratılmasını sağlamaktı.

Gövdelerin büyüyerek yoleu taşıır hale gelmesiyle, içinden köşegenlemesine tellerin geçtiği gövde tipi, geçersiz hale geldi. "Uçan tekne" adı verilen deniz uçaklarında; teknelere özgü ahşap malzeme ve yapı şekilleri kullanılarak geniş iç hacimler sağlanmaktaydı. Tekne türü inşaatın önemi, kaplamanın, yapının yük taşıyan bir parçası olmasıydı. Yük altında, kaplamanın içinde gerilmeler oluşmaktaydı. Bu nedenle bu tip yapıya, "gerilmeli kaplama" adı verilmişti. Malzemesi daha sonra ahşaptan metale çevrilen gerilmeli kaplamanın hemen hemen tüm uçak gövde ve ka-

natlarına uygulanması, havacılık yapılarında görülen en önemli gelişme sayılabilir.

Uçak yapılarında önemli diğer bir gelişme, kompozit malzemelerin kullanılmaya başlanmasıdır. Kompozit, sözcük olarak bileşik anlamına gelir ve birden fazla türden malzemenin oluşturduğu nesnelere için kullanılır. Burada ise cam, karbon, boran ya da kevlar elyafları (lifler) ile bunları birarada tutan epoksi gibi bir reçinenin oluşturduğu yapı anlaşılmalıdır. Elyaf lar kırpıntı halinde değil, sürekli- dir. Kompozit plakalar kaplama olarak kullanıldığı gibi iç yapıyı oluşturan kiriş, vb. elemanlar da kompozit olabilmektedir. Metallerden daha hafif olmalarına karşın kompozit yapılar şimdilik daha çok ikincil yapı denem kontrol yüzeyleri, hücum ve firar kenarları, gövde içi zemin panelleri, baş üstü, el bagajı dolapları gibi yerlerde kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler askerî uçaklarda

fazladır; ancak aynı aygıtların alana da yerleştirilmesi durumunda, uçağın piste göre durumu cm mertebesinde bir hatayla belirlenebilmektedir. Bu ise GPS sistemlerinin gelecekte emin inişler için vazgeçilmez unsurlar olacağını göstermektedir.

Sık karşılaşılan rüzgar sağanağı (Windshear) da tehlike yaratan başka bir unsurdur. Rüzgar sağanağı, pist başlarında oluşan ve yerküreye dik güçlü rüzgarlara verilen addır. Bu meteorolojik olayın varlığını haber veren sistemler çoğu havayolu şirketine ait uçaklarda kullanılıyor olup yakın gelecekte tüm yolcu uçakları için zorunlu tutulacaktır.

Havayolu şirketlerinin ve havaalanlarının, geleceği düşünerek yaptıkları yatırımlardan biri de, günümüzde meydana ve uçakları donatmış olan Aletle İniş Sistemi'nin (Instrument Landing Systems, ILS) yerini alacak olan Mikrodalga İniş Sistemi (Microwave Landing System, MLS)'dir. Bu sistemle emniyet ve hassasiyet artırılabilir.



## Kabloyla Uçuş

Diğer bir yenilik de yukarıda çalışma prensiplerinden sözedilmiş olan Otomatik Uçuş Sistemleri (Fly-by-wire Systems)'dir. Bu sistemler pilotun iş yükünü azaltmakla kalmıyor, insan faktörü

nedeniyle oluşan kazaları da en aza indiriyor. Ancak bunların da zayıf noktaları var. Yüzlerce kez ve değişik yöntemlerle kontrol edilmiş olsalar da, yazılımlarda tesbit edilememiş hatalar yine de bulunabiliyor. İsveç'in yeni avcı uçağı JAS-39 Gripen, B-1 ve YF-22'nin prototiplerinin uğradıkları sansasyonel kazaların nedeni, bu tür yazılım hataları. Yazılım eksiklikleri, yani tasarım aşamasında öngörülemeyen bir uçuş kombinasyonunun gerçek yaşamda oluşması da kazalara yol açabiliyor. Bu yıl içinde Uzakdoğuya uçan bir "Lufthansa Airbus"ı iniş sırasında tüm kurallara uymasına karşın; iniş hızının rüzgar nedeniyle

daha hızlı yaygınlaşmakta ve birincil yapılar da da kullanılmaktadır. F-16 uçaklarının C ve D modellerinin iç yapısı ve kaplaması çoğunlukla alüminyum olmakla birlikte, tamamen hareketli olan yatay stabilizenin (yatay kuyruğun) ve düşey stabilizenin kaplamaları ve yanıl finlerin (gövdenin arkaya yakın kısmındaki köpekbalığı yüzgecini andıran yüzeyler) bir kısmı karbon kompozittir. Kompozit kısımlar F-16 uçağında yapısal ağırlığın yaklaşık %3'ünü oluşturmaktadır. Bu şekilde kompozit kaplı ilk F-16, 1976 yılında uçmuştur. Türkiye'de üretilen F-16 uçakları da C ve D modelidir. Elektromanyetik bir ortamda bulunan ya da yakınında şimşek çakan elektrik ve elektronik aygıtların devrelerinde parazit akımlar oluşur (indüklenir). Bu akımlar aygıtların yanlış çalışmasına ve hatta bozulmasına yol açabilir. Elektromanyetik bir alanda bulunan elektronik bir aygıt, iletken duvarlara sahip bir hacmin içine yerleştirilirse; iletkende indüklenecek akımların iç hacimde yaratacağı elektromanyetik alan, asıl alanın zıt yönünde olacağı için; iki etki birbirini götürerek ve elektronik aygıt korunmuş olacaktır. Bu olaya "ekranlama" adı verilir. Ekran görevi gören iletkenin elektrik direnci ne kadar düşükse, görevini o kadar iyi yapar. Uygulamada ekranlama işlemi bakır, alüminyum gibi elektriksel iletkenliği yüksek metallerle yapılır. Günümüzün elektronik aygıt-

larla dolu metal uçaklarında, dış alanlara karşı ekranlama görevini yerine getiren, kaplamadır. Ancak kompozit kaplamalara geçildiğinde sorunlar ortaya çıkmaktadır. Birçok kattan oluşan bir kompozit plakada, her bir kattaki elyafların yönü diğerlerinden farklıdır. Elyafları birarada tutan ve matris adı verilen ortam, başlangıçta sıvı olan ve bir sertleştiriciyle karıştırılarak kontrollü koşullarda ısıtıldığında sertleşen epoksidir. Epoksi, yalıtkan olduğu için ekranlama işlevi görmez. Cam elyaf da iletken değildir. Böylece cam elyaf takviyeli epoksiden yapılmış bir kaplama, ekranlama yapamaz. Boron elyafı kompozitlerin ekranlama yetenekleri de fazla değildir. Karbon ise iletkenidir. Ancak karbon elyafı kompozit bir plakanın iyi ekranlama yapması, çeşitli yöndeki iletkenliğinin yüksek olmasını gerektirir (elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik, ısı ve elektriksel özellikleri, yöne bağlıdır). İyi iletkenlik, plakanın içindeki elyafların birbirine değmesine (çünkü aradaki epoksi yalıtkan) ve bu amaçla kompozit içinde yüksek oranda elyaf bulunmasına bağlıdır. Bunun için kompozit plakanın bir yüzeyi üzerine, alüminyum folyo ya da ızgara yerleştirilmektedir. Sonuç olarak kompozitlerin düşük ekranlama yeteneğine sahip olmalarının, gelecekte yaygın kullanımlarını engelleyici bir etken olmayacağı düşünülmektedir.



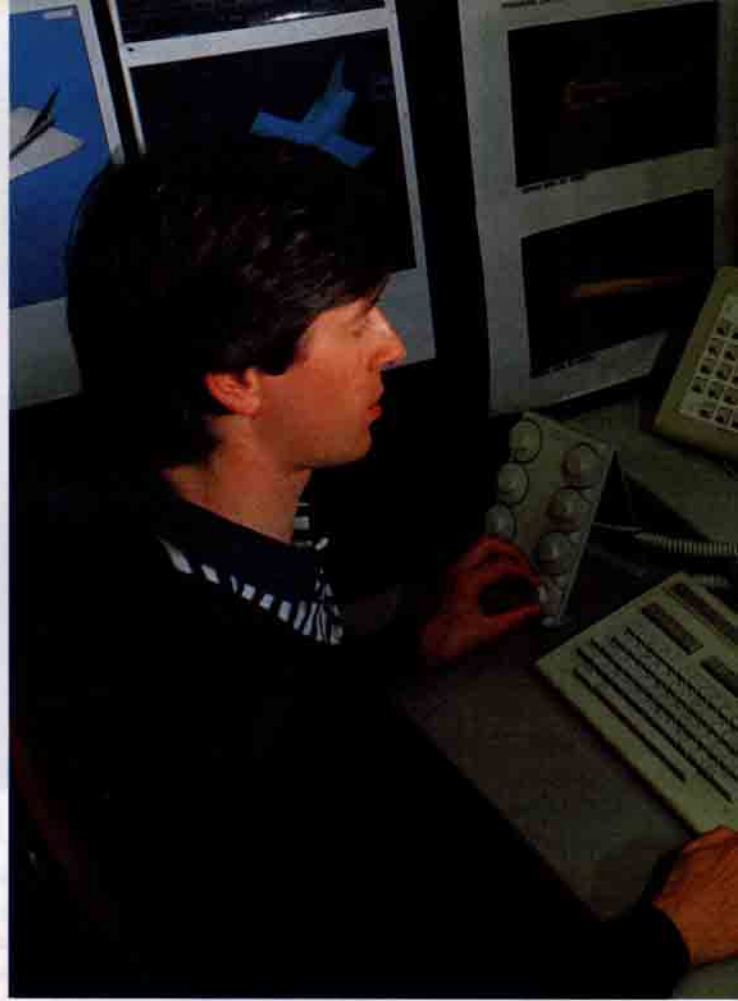


biraz fazla olması, bu yüzden tekerlekler yere değdiği anda kaldırma kuvvetinin de yüksek olması, tekerleklerdeki yüke göre karar veren otomatik sistemin yere inilmiş olduğunu anlamaması ve yer yavaşlatıcılarının (ground spoilers) devreye girmesine izin vermemesi sonucu, uçak yavaşlayamamış ve ancak pist dışındaki bir tepeye çarparak durabilmiştir. Kazada pilot yaşamını yitirmiştir.

Bunlardan başka çevredeki elektromanyetik dalgaların sistemi etkilemesi problemi de, sözkonusu sistemin yolcu uçaklarında kullanılmasını uzun yıllar engelledi. Örneğin yetmişli yıllarda ilk geliştirilen Tornado'ların birkaçının Almanya'nın belirli bir bölgesinde düşmesi o bölgedeki elektromanyetik dalgaların yoğunluğuna bağlanmıştır.

Otomatik Uçuş Sistemleri pilot kabine de birçok yenilik getirdi; herşeyden önce kabini tenhalastırdı. Kabinler-

de üçüncü eleman olan uçuş mühendisine artık gerek kalmadı. Bir kabinde görmeyi umduğunuz yüzlerce göstergeye de... Pilotun isteğine bağlı olarak değişik işlevler üstlenebilen birkaç monitör (Cathode Ray Tube, CRT) uçak ve seyir hakkındaki tüm bilgilere ulaşılmasını sağlıyor. Bununla da yetinilmiyor ve avcı uçaklarında kullanılmakta olan pencere-ekranlar (Head-up Display, HUD), Kategori II-III türü inişlerde (ki bu tür inişlerde başı

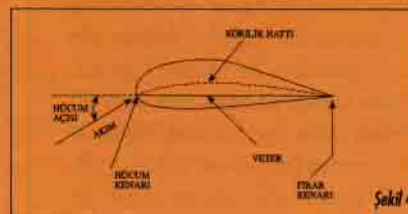
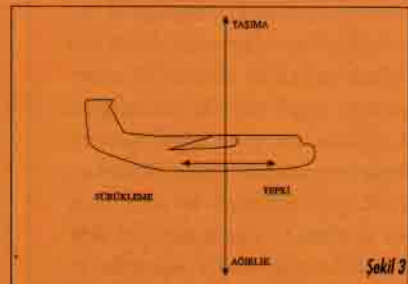
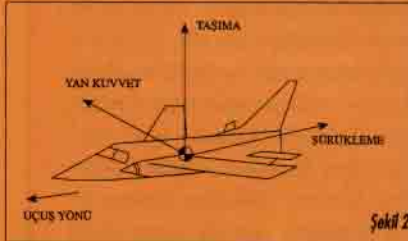
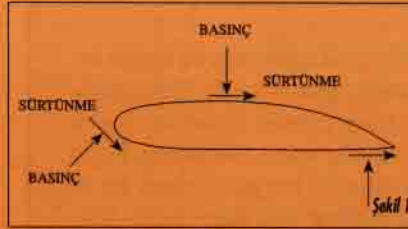


## Uçak Nasıl Uçar?

Mehmet Şerif Kavsaoglu  
ODTÜ Havacılık Müh. Böl.

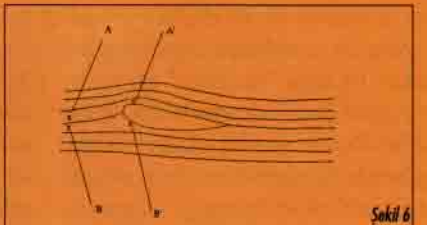
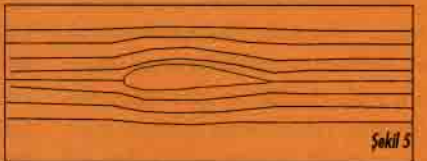
Bir uçağın nasıl uçtuğunu anlayabilmek için öncelikle uçağa etki eden kuvvetler ele alınmalıdır. Bunların başında yerçekimi kuvveti, yani uçağın ağırlığı gelir. Uçağın uçabilmesi, yerçekimi kuvvetinin yenilmesine bağlıdır.

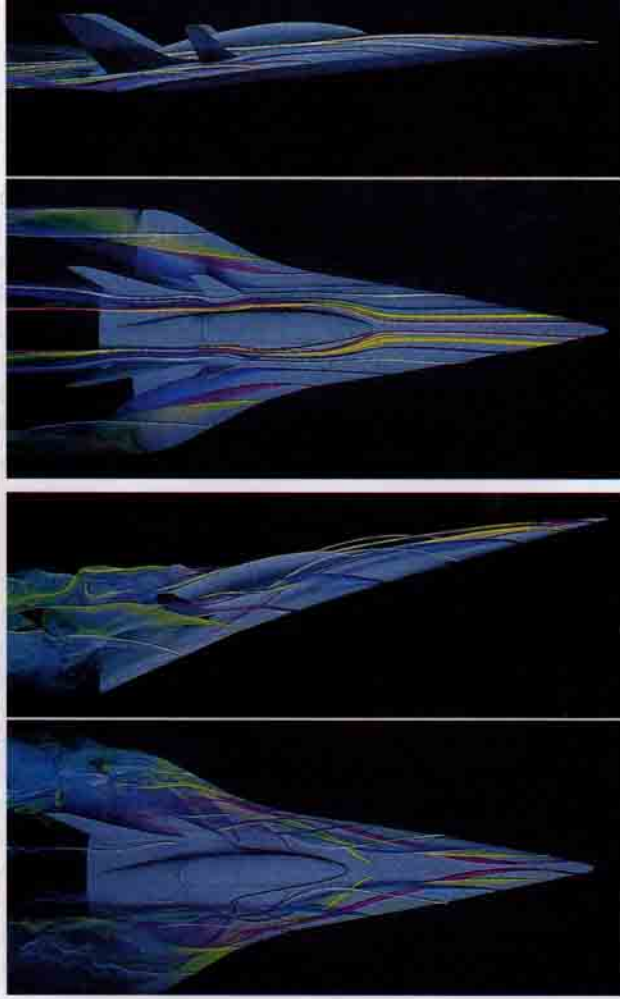
Ortalama yoğunluğu, kendisini çevreleyen akışkanın yoğunluğundan daha düşük olan cisimler, akışkan içinde yükselirler. Balonlar da bu prensip sayesinde uçarlar. İçinde sıcak hava bulunan bir balonun ortalama yoğunluğu, balonun etrafındaki soğuk havanın yoğunluğundan daha düşük olduğu için, balon hava içinde yükselir. Balon yükseldikçe, içindeki havanın yoğunluğu artar; bu yoğunluk, dış ortamdaki yoğunluğa eşitlendiğinde ise yükselme durur. Burada sözü edilen akışkan kaldırma kuvveti, aslında havada bulunan bir uçağa da etki etmektedir. Ancak uçağın ortalama yoğunluğu, havanın yoğunluğundan çok daha fazla olduğundan (bir başka deyişle, uçağın ağırlığı taşıdığı havanın ağırlığından çok daha fazla olduğundan); bu kuv-



vetin yerçekimi kuvvetini yenmedeki etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır.

Uçak havaya karşı hareket halinde iken oluşan kuvvete "aerodinamik kuvvet" denir. Uçağın ağırlığı, yani yerçekimi kuvveti, bir kütle kuvvetidir. Aerodinamik kuvvet ise uçağın, etrafındaki hava ile temas halinde bulunduğu yüzeylerinde oluşur, yani bir yüzey kuvvetidir. Bu kuvvetin yüzeye dik olan bileşenine "basınç", yüzeye teğet olan bileşenine ise "sürtünme kuvveti" denir (Şekil 1). Toplam aerodinamik kuvvetin, uçağın hareket yönüne dik ve yukarı doğru olan bileşenine "taşıma", uçağın hareket yönüne paralel ve geriye doğru olan bileşenine "sürüklenme", bu ikisine dik ve yana doğru olan bileşenine ise "yan kuvvet" denir (Şekil 2). Bir uçağın, düşey bir düzlemdeki yatay uçuşun-





da (Şekil 3) taşıma kuvveti, yerçekimi kuvvetine zıt yönde etki etmektedir. Bu iki kuvvet eşit olduğunda, uçak havada sabit yükseklikte uçabilir. Sürüklenme kuvveti de motor tepkisi ile dengelenirse, uçak Newton kanunlarına göre sabit hızda uçabilecektir.

Aerodinamik kuvvet nasıl oluşur? Bu kuvvetin uçuş hızının karesi, havanın yoğunluğu ve uçağın hava ile temas halindeki yüzey alanı ile orantılıdır. Bir yüzey kuvveti olan bu kuvvet, uçağın dış yüzey geometrisine de son derecede bağlıdır. Taşıma kuvveti esas olarak kanatlarda oluşur. Bu kuvvetin oluşumunda yüzey sürtünme kuvvetlerinin etkisi azdır; daha çok kanat etrafındaki basınç dağılımının etkisi ile oluşur. Ses hızından daha düşük hızlarda uçmak üzere tasarlanmış bir uçağın kanadından, uçağın simetri düzlemine paralel bir düzlemle kesit alınırsa, damlayı andıran bir şekilde karşılaşılır (Şekil 4). Bu kesit simetrik veya eğrilikli olabilir. Profilin en ön noktası hücum kenarı, en arka noktası ise firar kenarı olarak adlandırılır. Hücum kenarını firar kenarına birleştiren doğruya "veter"; üst ve alt yüzeylerden eşit uzaklıkta bulunan noktaların geometrik yerine "eğrilik hattı"; veterin kanada doğru gelen hava akımı ile yaptığı açıya da "hücum açısı" denir. Şekil 5'te simetrik bir kanat kesiti etrafından geçen akım çizgileri sıfır hücum açısı halinde görülmektedir. Akım çizgi-

lerinin özelliği, her yerde hız vektörüne teğet olmalarıdır. Bir başka deyişle, bir akım çizgisinin bir yanında bulunan bir akışkan parçacığı, bu çizgiyi keserek öbür tarafa geçemez. Bu konumda üst ve alt tarafta aynı basınç dağılımı oluşacağından bir taşıma kuvveti meydana gelmez. Bu kesite şekil 6'da görüldüğü gibi bir hücum açısı verirsek; akım çizgilerinin üst tarafta sıkışarak birbirlerine yaklaştıklarını, alt tarafta da birbirlerinden uzaklaştıklarını görürüz. Akışkanın sıkıştırılmaz olduğunu varsayalım. Bu durumda şekildeki A ve B noktalarında hızların ve basınçların aynı olduğu kabul edilebilir. Bu iki noktadaki basınç, atmosfer basıncına eşittir. A noktasındaki birim hacimli bir akışkan parçacığı A' noktasına geldiğinde, daha dar bir kanaldan geçtiği için hızlanır; yani kinetik enerjisi artar. Buna karşılık enerjinin sakınımı (korunumu) yasası gereğince basıncı azalır. B noktasındaki birim hacimli bir akışkan parçacığı ise, B' noktasına geldiğinde daha geniş bir kanaldan geçtiği için yavaşlar ve basıncı artar. Bu durumda kanat, üst yüzeyindeki atmosfer basıncından daha düşük bir basınç alanının etkisiyle yukarı doğru emilirken, aynı anda da alt yüzeyindeki yüksek basınç alanının etkisi ile yine yukarı doğru itilir. Uçağın yerçekimini yenerek havada kalmasını sağlayan taşıma kuvveti bu şekilde oluşur.

aşağıdan yukarıya çevirirken geçen saniyeler bile önemlidir) pilotun aynı anda hem dışarıya konsantre olmasını, hem de uçağı kontrol altında tutabilmesini sağlamak için yolcu uçaklarına da uyarlanmaya çalışılıyor.

## Tasarım ve Üretimde Otomasyon

Uçak tasarımında Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design, CAD) kullanılması; resim çizmede, hataları düzeltmede, arşivlemede, bölümlerarası haberleşme ve pazarlıklarda, üretime geçişte, hem zaman hem kalite açısından büyük avantajlar sağlıyor. CAD günümüzde tüm havacılık endüstrisinde değişik oranlarda kullanılıyor. Bazı şirketler CAD yazılımlarından henüz sadece teknik resim çizmekte yararlanırken, bazıları tüm tasarım ve üretim ortamını otomatikleştirmekte. Boeing, 9000 CADAM (CAD and Manufacturing) istasyonu ile, tam otomasyon amacına ulaşmaya en yakın aday durumunda. Belirli amaçlara yönelik tasarımlar ya da tasarım değişiklikleri artık çok daha az zaman ve paraya mal oluyor; üstelik bunlar CADAM sistemlerine bağlı CNC (Computerized Numerical Control) tezgahlar sayesinde, birkaç yıl öncesine dek hayal edilemeyecek kadar yüksek kalitede. Örnek olarak perçin bağlantılarını ele alalım. Orta boy bir yolcu uçağında yaklaşık iki milyon perçin ve bağlantı elemanı bulunur; daha on yıl öncesine kadar bunların %80'i elle yapılmaktaydı. Her bir perçinin titiz bir işçilikle yerleştirilmesi ve bu işi uzun süre yapanlarda ortaya çıkan "perçin hastalığı"nın önlenmesi gereklilikleri, otomasyonu kaçınılmaz kılmıştı. Bugün pek çok uçak ve helikopter yapımcısı otomatik perçinleme sistemini kurmuştur ve daha önce iki dakika olan ortalama perçinleme süresi, beş saniyeye inmiştir.

## Kompozit Devrimi

Uçan platformların asıl görevleri belirli bir yükü taşımaktır. Platformdaki yararlı yük dışındaki herşey fazlalık olarak düşünülebilir. Bu yükün taşınmasını sağlayan ekipmanların ve yapı-





fişleştirilmesi; daha fazla yararlı yük, daha uzun menzil, daha uzun süre havada kalabilme, daha küçük kaldırma yüzeyleri, daha az sürüklenme kuvveti, daha düşük yakıt tüketimi gibi avantajların biri ya da

birkaçı demek olacaktır.

Platformun ağırlığının azaltılması sözkonusu olduğunda ilk akla gelen, aracın yapısını oluşturan parçalar; yani aracın iskeleti ve kaplamalarıdır. Yapının hafifletilmesi de iki şekilde mümkün olabilir: ya daha hafif malzemeler kullanılacak; ya da aracın yapı sis-

temi daha verimli bir şekilde sokulacak, yani aynı taşıma görevi daha az miktarda parça ile gerçekleştirilecektir. İkinci yöntem tercih edilmesi durumunda, günümüzde, bu amaç için hazırlanmış analiz ya da optimizasyon yazılımları kullanılmaktadır. Bu özgül amaca yönelik optimizasyon yazılımları henüz genel bir ni-

## Jet Motorları

Erhan Tarhan  
ODTÜ Havacılık Müh. Böl.

Jet motorlarının, yani gaz türbinli motorların ana kısımları sırasıyla hava alması, kompresör (ya da fan), yanma odası, türbin ve lüledir.

Hava almanın temel kriteri uçuş hızı (sesüstü ya da sesaltı)'dır. Her iki durumda da hava alması, giren havayı, sürtünme kayıpları en az olacak şekilde fana ya da kompresöre iletmelidir.

Kompresörler santrifüj veya eksenel olabilirler. Eksenel kompresörler genellikle büyük gaz türbinli motorlarda yer alırlar. Santrifüj olanlar havayı eksenleri boyunca alıp, bunu dışarıya doğru girdap biçiminde atarlar. En önemli avantajları yüksek basınç sağlayarak havayı sıkıştırması olduğu halde günümüzde ufak motorlarda veya geniş motorların son basamağında kullanılırlar. Bunun nedeni, eksenel kompresörlerden daha az randımanlı olmalarıdır.

Yanma odası, ısı ilavesi yolu ile gazın iç enerjisini artırdığı; yani gaz moleküllerinin hızının arttığı, yoğunluğunun da düştüğü yerdir. Çalışma prensibi ise yakıtın atomize bir şekilde, ateşin kararlı halde durduğu yerde ateşlenmesinden ibarettir.

Türbinler ise tersine çalışan eksenel kompresörler gibidir. Önce uygun bir kanalda hızlandırılan hava, hareketli kanatlara kinetik enerji vererek onları iş yapmasını sağlar. Elde edilen iş ise kompresörün havayı sıkıştırmasında kullanılır. Türbinin kompresörden farkı, yüksek basınç oranlarının değil; yüksek sıcaklığın tasarım kriteri olmasıdır.

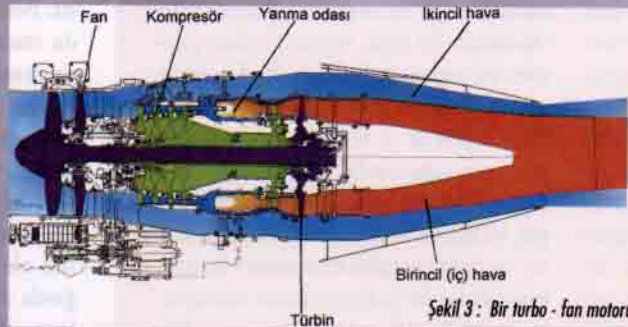
Gaz türbin motorlarının son basamağı olan lüle, yüksek basınçlı egzoz gazının ivmelendirilerek açık hava basıncına yakın bir basınçta fırlatıldığı yerdir. Optimum lüle performansı, lüle çıkış basıncının açık hava basıncına yakın tutulması ile sağlanır.

Bazı askeri uçakların kısa pistlerden havalanması gibi özel durumlarda, küçük roketlerden faydalanılmakta ise de, uçak motorları genellikle hava ile çalışır. Hava soluyan motorların bir bölümünde pervane, dönen bir kanat gibi, uçağa ileri doğru bir kuvvet sağlar. Büyük ve hızlı uçakların çoğunluğunda kullanılan jet motorları ise, aldıkları havayı büyük bir hızla geriye fırlatır. Hava yoğunluğunun yeterli olduğu (4000 m altın-

daki) yüksekliklerde ve uçuş hızının büyük olmadığı durumlarda, pervane verimli bir itki aracıdır. Küçük tip uçaklarda pistonlu motorlar, daha büyüklerinde ise gaz türbinli motorlar pervaneye güç verir. Pervaneli gaz türbinlerinin (turbo-prop) bazıları egzoz gazlarının arkaya atılmasından ek itki sağlar. İtki sistemlerinin çeşitleri Şekil 1'deki şemada görülmektedir.

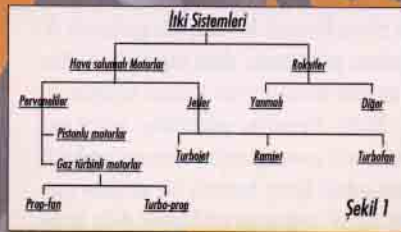
Uçak motorlarının meydana getirdiği itme, arkaya doğru fırlatılan gazın, momentumundaki (hız x kütle) artışı meydana getiren kuvvete gösterdiği tepkidir. Şekil 2a ısıtılmayan bir akışı, Şekil 2b ısıtılan bir akışı göstermektedir. Birinci durumda itme yoktur. İkinci durumda basıncı yüksek olan yanma odasında verilen ısı, gazın sıcaklığını, iç enerjisini ve gaz moleküllerinin hızlarını artırır; yoğunluğu azalan gaz, girdiğinden daha büyük bir hızla fırlatılır.

Şekil 2b ramjet motorunun basit bir şemasıdır. Bu

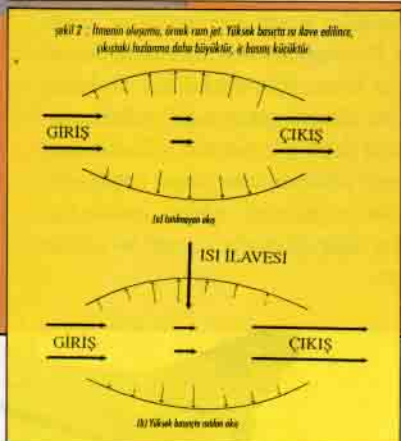


Şekil 3 : Bir turbo - fan motoru

motor çok yüksek hızlarda verimlidir. Ses hızının birkaç katına kadar olan hızlarda hava giriş hızı yetersiz kaldığından, giren hava kompresör tarafından sıkıştır-



Şekil 1



Şekil 2 : İtmenin oluşumu, örnek ram jet. Yüksek basıncı ve ısıya sahip, sıkıştırılmış gazlar daha büyük hızla, 4 basıncı çıkarılır.

lir; sonra yakıt ilavesi ve yanma ile iç enerjisi artırılır. Lüleden dışarıya fırlatılmadan önce, kompresörü döndüren türbinde gerekli bir miktar iş üretilir.

İtki sağlanması, termik bir mekanizmayla ısının mekanik işe dönüşümünü ve buna paralel olarak mekanik işin, itme işine dönüşümünü gerektirir. Gaz türbinlerinde ısının işe dönüşümünün başarı derecesi termik verim ile ölçülür (Termik verim = üretilen mekanik güç / harcanan ısı). Mekanik işin itkiye dönüşümünün başarı derecesi ise itme verimi ile belirlenir (İtme verimi = itme gücü / harcanan mekanik güç). Burada sözkonusu olan mekanik iş, hava akımında meydana gelen kinetik enerji artışıdır. Gerekli matematiksel işlemler yapıldığında itme verimi için şu ifade bulunur:

$$\eta_i = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 + (\Delta v/v)}$$

v<sub>1</sub>: uçuş hızı; Δv: havanın motorda uğradığı hız artışı.

Buradan çıkan önemli bir sonuç, yüksek uçuş hızının itki verimini artırdığıdır. İkinci bir sonuç da itki verimini artırmak için havanın hız değişiminin küçük olması gerektiğidir. İtme, hava debisi ile hız artışının çarpımına eşit olduğundan, küçük hız artışı büyük debileri zorunlu kılar.

Gaz türbinli jet motorlarından turbofanlarda bu nedenle bir ikincil hava akımının momentum artışı sağlanmaktadır (Şekil3). Birincil olan içteki hava akımı, yukarıda açıklanan işlemlerden

geçerken; ikincil hava akımı fan adı verilen kanatçık sıralarında sıkıştırılır ve birincil hava gibi dış lülede hızlandırılır. Bu durumda türbinden elde edilen ve havayı sıkıştırmak için kullanılan güç, hem fana hem de kompresöre harcanır. Turbo-fan motorlarda en büyük itme, birincil ve ikincil hava akımlarının momentum artışı eşit olduğu zaman sağlanır.

Uçak motorlarının niteliğini belirlemede kullanılan önemli bir ölçüt de özgül itme (bir kg/s hava debisinin sağladığı itme)'dir. Hava miktarını artırarak itme verimini iyileştirmek, motor boyutlarının büyümesine, ağırlığın ve dış hava direncinin artışına sebep olur. Bu durumda uygun motor, uçağın üstleneceği görev göz önüne alınarak seçilir; örneğin, yakıt tüketiminin ekonomik bir şekilde gerçekleştirilmesini gerektiren uzun menzilli ticari uçaklarda, uygun motor tipi yüksek bay-pas (ikincil hava) oranlı, düşük fan basınçlı turbo-fan'dır. Askeri uçak motorlarında ise yüksek irtifa uçuşu ve yüksek manevra kabiliyeti için düşük bay-pas oranlı, yüksek fan basınçlı turbofanlar tercih edilir.



telik kazanmadığı için analiz yazılımlarının kullanımı şimdilik daha yaygın durumdadır. Bu alandaki en ünlü yazılım da, havacılık endüstrisinde neredeyse standartlaşmış olan NASTRAN'dır.

Uçak yapımında kullanılan malzemelere baktığımızda uzun yıllar ağırlıklı olarak alüminyuma bağlı kaldığını görüyoruz. Bugün de kanat gibi önemli parçaların üretimi bu malzemeyle gerçekleştiriliyor. Ancak günümüz araçlarında alüminyumun oranı düşmüş durumda. Onun yerine artık termoset, termoplastik, seramik ya da metal matrisli cam, karbon, kevlar, seramik vb. elyafli kompozit malzemeler; kompozit-kompozit ya da metal-kompozit gibi birden farklı malzemenin biraraya getirilmesiyle oluşturulan melez malzemeler (ARALL, GLARE) ya da sürekli geliştirilmekte olan alüminyum-lityum alaşımları gibi alaşımlar kullanılmaktadır. Örneğin 1990'lı yıllarda üretilen Boeing 757'lerde %78 Al, %3 kompozit kullanılmasına karşın, 2010'da hizmete girecek yeni bir yolcu uçağı tasarımında %65 kompozit, %11 Al kullanılacağı öngörülmektedir. Kompozit malzeme kullanımının artış hızının oldukça yavaş olmasının iki nedeni vardır: sertifikasyon zorluğu (yolcu uçaklarının tasarım ve imalatı, Federal Havacılık Dairesi - FAA gibi kamu kuruluşları tarafından denetlenmektedir) ve yüksek maliyet. Bu zorlukların aşılması için birçok proje yürü-

tölmekte, Türkiye'den de bazı araştırma kuruluşları bu projelere katılmaktadır. Bugünlerde kompozit malzeme araştırmalarında en çok önem verilen konulardan biri de, termoset yerine düşük maliyetli ve yüksek sıcaklığa dayanıklı termoplastik matris malzemelerin geliştirilmesidir. Polyetheretherketone (PEEK) ve polyetherimide (PEI) gibi termoplastik malzemeler; hem dayanıklı, hem de üretimi kolay ve ucuz kompozitler oluşturulmasını mümkün kılmaktadır.

## Yüksek Aerodinamik Tasarım, Az Tüketim

Uçan platformun ağırlığının azaltılmasının yolaçaacağı olumlu sonuçlara ulaşmanın bir yolu daha var. Platformların havadaki hareketini engelleyen kuv-

vete, yani hız vektörüne ters yöndeki kuvvete "sürüklenme kuvveti" denir. Bu kuvveti oluşturan birçok etmen arasında ilk akla geleni hava sürtünmesidir. İşte, sürüklenme kuvvetinin azaltılması da yukarıda sözü edilen olumlu sonuçlara ulaşmanın bir yolu.

Sürüklemenin azaltılması için birçok yöntem geliştirilmiş bulunuyor. Bunlar arasında yüzey pürüzlülüğünün azaltılması, türbülansın (sigara dumanı başlangıçta düz bir yol izlerken, biraz yükselince 'türbülanslı' hale gelir) geciktirilmesi ve oluştuktan sonra etkisini hafifletecek önlemler alınması (akışla aynı yönde olukçuklar gibi), akım ayrılması olgusunun önlenmesi ve şok dalgasının oluşmasından kaçınılması sayılabilir. Bu yöntemlerin etkilerinin değerlendirilebilmesi, geçmişte kapsamlı rüzgar tüneli deneylerini zorunlu kılmaktayken, bugün bilgisayar modellemeleri bu tür pahalı deneylerin sayılarının azaltılmasını sağlamıştır.



## Daha Verimli Motorlar

Yakıt tüketimi, menzil, yararlı yük gibi konularda çeşitli geliştirme çalışmaları yapılabilir. Motorların daha verimli hale getirilmesi, bunlardan biri. Sayısal Akışkanlar Dinamiği yazılımları hem kompresör ve türbin pallerinin (blade) daha az kayıp için şekillendirilmelerinde; hem de bu pallerin, içlerindeki soğutma kanallarının görevlerini daha iyi yapabilecek şekilde tasarlanmasında yoğun bir şekilde kullanılıyor.



## Gürültülü Kuyruk Pervanesi

Bundan kazançlı çıkanlar da sadece havayolu şirketleri değil. Daha az tüketim, daha az NO<sub>x</sub> atığına ve daha az gürültüye yol açıyor.

Malzeme teknolojisindeki yenilikler motorların hafiflemelerini ve çalışma sırasında açığa çıkan ısıya daha çok dayanmalarını sağlıyor. CADAM tekniklerinin kullanımı ise kaliteyi artırıyor ve artık hem daha az bakım ve onarıma gereksinim duyuluyor, hem de bu tür işlemler, tasarımda CAD kullanılmış olduğu için daha az zamana maloluyor.

Motorların itme kuvvetini artırmanın iki yolu vardır. Bunlardan birincisi motordan geçen havanın egzoz çıkış hızını yükseltmektir (ki bu çok büyük verim kaybına neden olur). İkinci yöntemde ise motordan geçen hava miktarı artırılarak verimin yükselmesi sağlanır. Bu yüzden günümüzde ileri itki (tahrik, propulsion) teknolojisi, çok yüksek yangeç oranlı (ultra high by-pass ratio) turbofanlar (UHB)'a yönelmektedir. Bugünlerde geliştirilmekte olan bu tür motorlar, 100 000 libreye (45,000 kilogram-kuvvet) kadar kalkış itmesi sağlayabiliyorlar.

Helikopter endüstrisi de yeni üretim tekniklerinden, yeni malzemelerden ve yeni yazılımlardan bolca yararlanıyor. Akışkanlar dinamiği yazılımları, ancak yeni malzemelerle ve yeni tekniklerle üretilmesi mümkün olabilecek yüksek verimli pervanelerin tasarlanmasında kullanılıyor. Bu pervaneler helikopterlerin hızının artmasına ve yakıt tüketiminin azalmasına katkıda bulunuyor.



Helikopter teknolojisinde de en güncel konu, büyük oranda kuyruk pervanesinden kaynaklanan gürültü sorunudur. Gerek yerde, gerekse havada meydana gelen kazalar da çoğunlukla kuyruk pervanesi ile ilgili oldukları için, kuyruk pervanesinin görevini üstlenecek yeni sistemler geliştirilmektedir. Aerospatiale, Fenestron'u; McDonnell Douglas ise NOTAR'ı (No Tail Rotor) bu amaçla geliştirdiler.

Helikopterlerin şehir içinden inip kalkmaları yolcu taşımacılığı açısından büyük avantaj sağlamaktadır; ancak belli bir hız ve yük-

seklik çerçevesinin içinde arızalandıklarında, bu araçları oldukları yere çakılmaktan kurtarmak imkansızdır. Bu nedenle meskun yerlerde, ancak çok sıkı kısıtlamalara tabi olarak uçabilirler. Özellikle okul, hastane gibi yerlerin üzerinden uçmamaları gerekmektedir. ODTÜ kavaklığına ve Boğaziçi Üniversitesi yakınlarına düşen helikopterler, bu konunun ne kadar ciddi olduğunun göstergeleri. Ayrıca

bu araçları işletmek de çok pahalıya maloluyor. Helikopter ve uçağın avantajlarını ekonomik bir şekilde birleştirmek amacıyla, şehir içlerindeki küçük havaalanlarına (600 metreden kısa pist uzunluğuna sahip) emniyetli bir şekilde iniş-kalkış yapabilen STOL (Short Take-Off and Landing) uçakları üzerinde çalışılıyor. Örneğin halen TAI'de ön fizibilite çalışmaları yapılan HD-19 uçağı, 300 metrede iniş-kalkış imkanına sahip olacak. Bu uçağın da, 1950'lerin dünya çapındaki Türk yapımı "Uğur"lardan sonra, ülkemizde tasarlanıp üretilen ilk yolcu uçağı olacağı umulmaktadır.

**Kaynaklar**  
Aerospace America, AIAA, Aralık 1993  
Aviation Week and Space Technology, 14 Mart 1994, 28 Mart 1994, 2 Mayıs 1994  
Flight International, 28 Şubat 1994, 6-12 Nisan 1994

