

# UÇAK İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ VE İÇ HAVA KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

**Bilal ARSLAN**

SKY Havayolları, Antalya,  
bilopen@hotmail.com

**T. Hikmet KARAKOÇ\***

Prof. Dr., Anadolu Üniversitesi,  
Sivil Havacılık Yüksek Okulu,  
hkarakoc@anadolu.edu.tr

**Yılmaz YÖRÜ**

Dr., Eskişehir, yilmazyoru@gmail.com

**Önder ALTUNTAŞ**

Araş. Gör., Anadolu Üniversitesi,  
Sivil Havacılık Yüksek Okulu,  
oaltuntas@anadolu.edu.tr

## ÖZET

Günümüz yolcu uçaklarının yüksek irtifalarda ve farklı iklim bölgelerinde uçtuğu göz önüne alınırsa uçak kabininin sıcaklık ve basıncı ayarlanarak koşullandırılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada THY Teknik'te yazılı kaynaklar ve çeşitli uçak modelleri üzerinde inceleme ve araştırması yapılmıştır. Uçak iklimlendirme sistemlerinin hava kalitesi ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

Yüksek irtifalarda basınç, sıcaklık ve oksijen yoğunluğunun çok düşük olması insan sağlığı açısından olumsuz bir durum oluşturması nedeniyle uçak motorundan alınan basınçlı ve sıcak hava iklimlendirme paketlerinde koşullandırılarak, kabin içinde insan sağlığını tehlikeye sokmayacak bir hava ortamı oluşturulmaya çalışılır. Sızdırmaz bir kap olarak düşünülen uçak kabininin, basınçlandırma yoluyla uçuş irtifasına göre düşük bir irtifada tutulması, kabin basınçlandırması ayrı bir önem taşımaktadır. Basınçlı havada oksijen yoğunluğunun yüksek olmasından yararlanılarak kabin ortamına yeterli oksijen sağlanmaya çalışılır ki bu durum ortamın iyi derecede havalandırılması ve insan sağlığı açısından önemlidir, oksijen yetersizliği Hipoksi gibi bazı rahatsızlıklara yol açabilir.

Bu çalışmada ağırlıklı olarak Boeing 737800 Bakım ve Eğitim kitapları kaynak olarak kullanılmıştır. Bunun yanında iklimlendirme sistemleri ile ilgili farklı kaynaklardan ve iç hava kalitesi ile ilgili kaynaklardan da yararlanılmıştır. Bu çalışma ile Uçak İklimlendirme Sistemleri genel yapısıyla incelenerek, basınç, sıcaklık, nem ve hava kirleticiler gibi unsurlar ışığında Uçaklarda İç Hava Kalitesinin önemine dikkat çekilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak, uçak iklimlendirmelerin uygulamalarında filtreler kadar sistemin sensörleri, indikatörleri ve ekipmanlarının kontrolü ve bakımının da önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İç hava kalitesi, uçak iklimlendirme sistemleri, uçak basınçlandırma sistemleri

## Aircraft Systems and Indoor Air Quality on Climate Effects

### ABSTRACT

It is highly important to have conditioned aircraft cabin temperature and pressure when considered that today's passenger aircraft fly in high altitudes and in different climate regions. In this study, written documents and systems of some aircraft types in Turkish Technic were investigated and researched. Information about Aircraft air conditioning systems on the air quality are given.

Because of very low of pressure, temperature and oxygen densities arise negative effects on human health, it is attempted to create an ambience which is not endanger for the human health on board by conditioning hot and pressurized air taken from aircraft engines in to air conditioning packages. It is very important to keep the cabin that is considered as a non-permeable tank in low altitudes by pressurization. Sufficient oxygen is provided to the cabin by using high oxygen density in the pressurized air and this is important to have better air conditioning and passenger health, because lack of oxygen may results such sickness as hypoxia.

This research is based on Boeing 737-800 Aircraft Maintenance and Training Documents, and utilized by other sources about air condition systems and indoor air quality. It is aimed to point out the importance of Aircraft Indoor Air Quality by the light of some facts such as pressure, temperature, humidity and air pollutants. As a result, in air conditioning applications, control and maintenance of sensors, indicators and equipments are important as filters.

**Keywords :** Indoor air quality, aircraft air conditioning systems, aircraft pressure system

\* İletişim yazarı

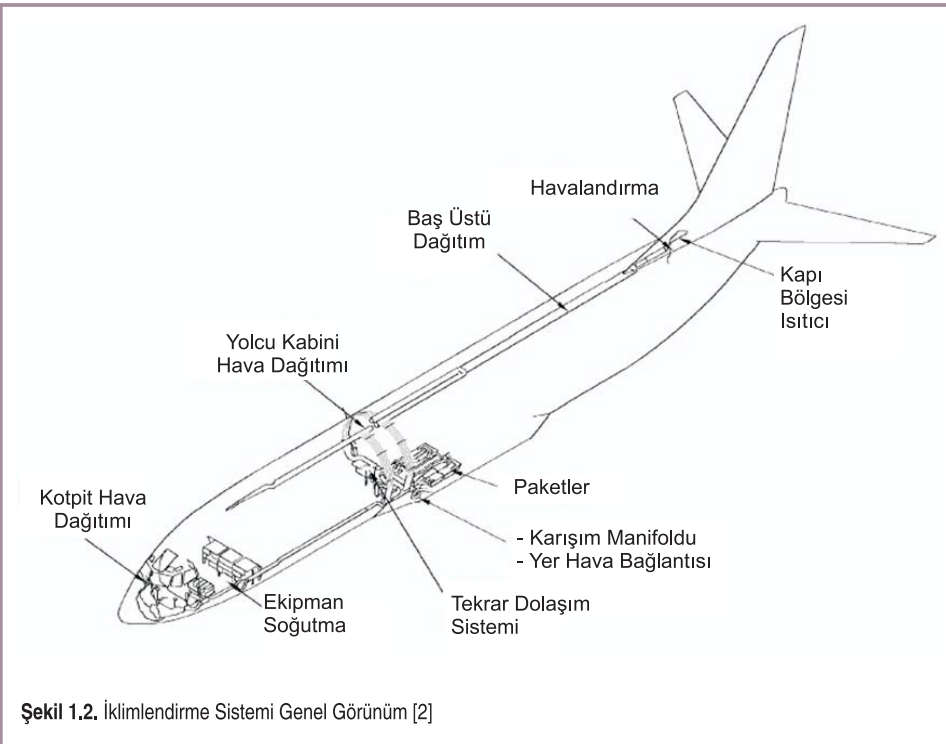
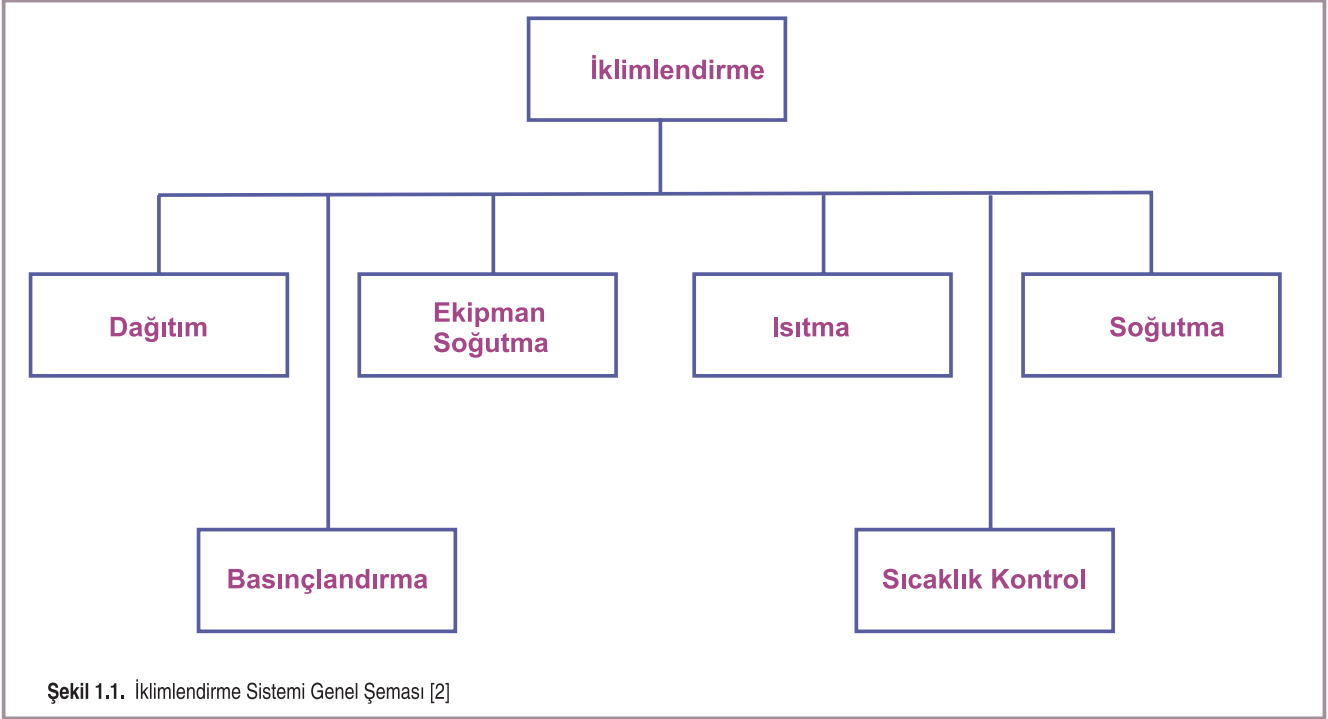
\* Bu makale, 22-24 Ekim 2009 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Denizli'de düzenlenen IV. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi'nde bildiri olarak sunulmuştur.

## GİRİŞ

İklimlendirme, uçak kabininin basınçlandırılması, ısıtılması ve soğutulması gibi konuları içerir. Bu konuların tümünü gerçekleştiren uçağın iklimlendirme sistemidir. Şekil 1.1'deki şemada da bu konular detaylı bir

şekilde gösterilmiştir. Bu sistem sayesinde yolcular ve uçuş mürettebatı, uçağın uçuş irtifa ve bölgeleri değişmesine karşın rahatsız olmayacakları bir hava ortamında uçmuş olurlar [1].

İç hava kalitesinin öneminin giderek daha iyi anlaşıldığı günümüzde Uçaklarda iç hava kalitesi de bu konuda kendi

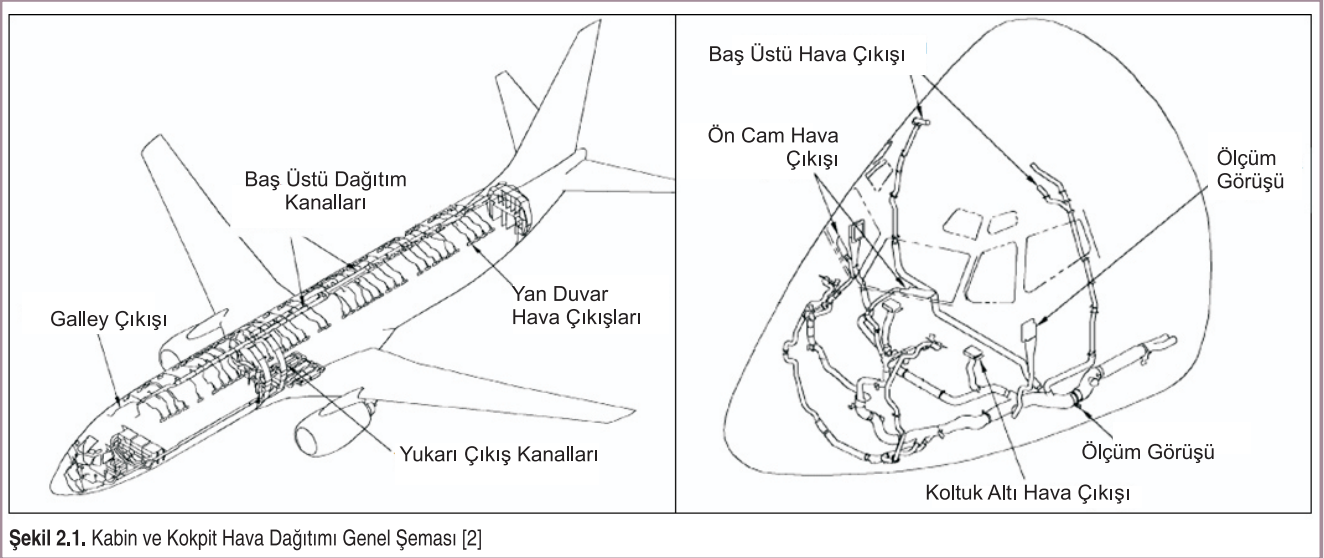


yerini almaktadır. En genel haliyle bir uçakta havalandırma sisteminin bölümler halinde dağılımı Şekil 1.2'de gösterildiği gibidir.

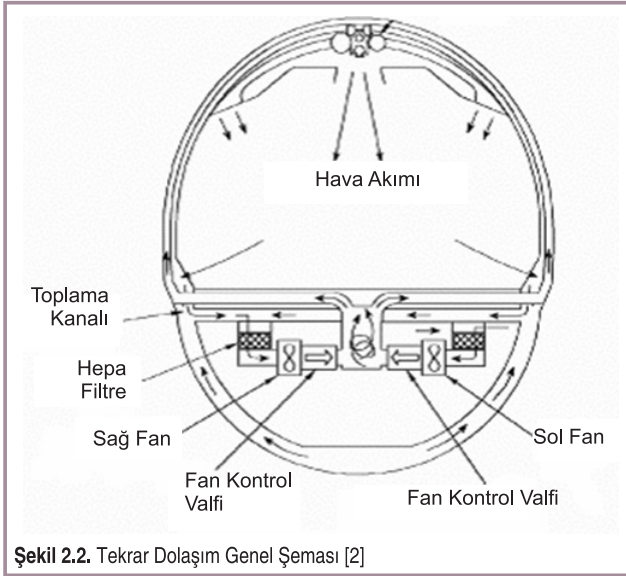
## İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

## Dağıtım

Hava dağıtımında uçak, kokpit ve kabin olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Şekil 2.1'de kabin ve kokpit hava dağıtım şemaları görülmektedir. Kokpite gönderilen hava kabin havasından bağımsızdır. Kokpit ve kabini dolaşan hava elektronik kompartımanı ve kargolara geçer. Bu yolla elektronik ekipmanların soğutulması sağlanır. Bazı uçaklarda kargolardaki hava da koşullandırılırken bazılarında koşullandırma yapılmaz [2].



Şekil 2.1. Kabin ve Kokpit Hava Dağıtım Genel Şeması [2]

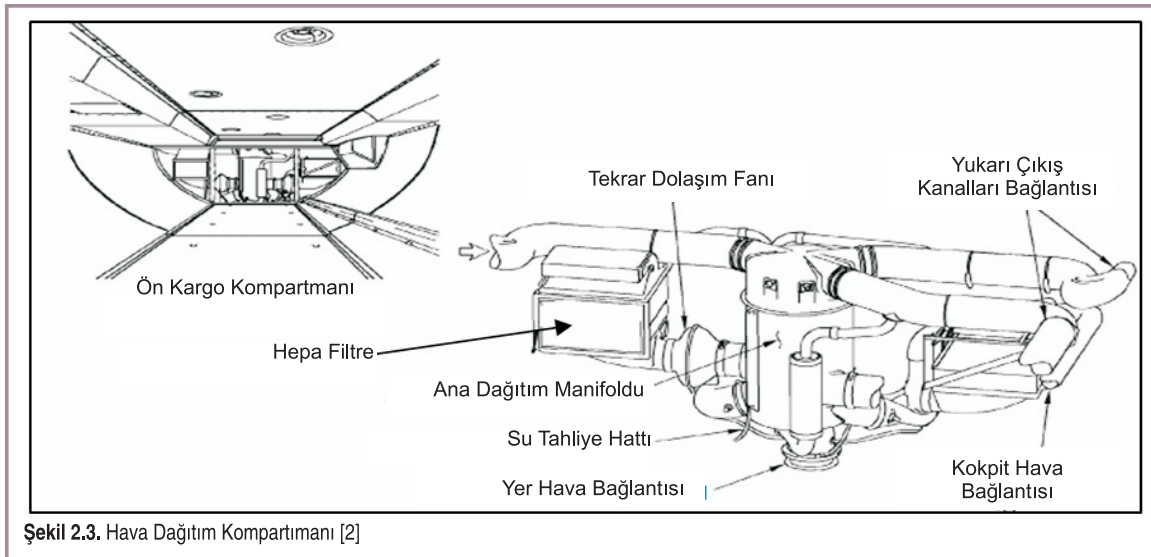


Şekil 2.2. Tekrar Dolaşım Genel Şeması [2]

### Tekrar Dolaşım

Tekrar dolaşım sistemi, dağıtım sisteminin bir alt sistemidir. Şekil 2.2'de uçak üzerinde tekrar dolaşım sistemi gösterilmektedir. Sistemin kullanım amacı motordan alınan besleme havasını azaltarak yakıt tasarrufu sağlamaktır. Tekrar dolaşım sistemi, kabinde aldığı havayı, iklimlendirme paketlerinden gelen taze hava ile belirli oranda karıştırarak dağıtım sistemine geri verir. Kabinde kargo kompartımanına gelen hava fanlar yardımıyla HEPA (High Efficiency Particulate Air Yüksek Duyarlıklı Parçacık Filtresi) filtrelerden geçirilerek karışım manifolduna alınır [3].

Tekrar dolaşım hava filtreleri kabinde gelen hava içindeki çok küçük parçacıkların tutulmasını sağlarlar. Tekrar dolaşım fanları tarafından çekilen hava önce HEPA filtrelerden geçer, sonra karışım manifolduna girer. Bu filtreler bazı hava kirlenmelerin yanında bakteri gibi çeşitli mikroorganizmaları da tutmak üzere tasarlanmıştır. Duyarlılıkları 0,3µm ile



Şekil 2.3. Hava Dağıtım Kompartmanı [2]

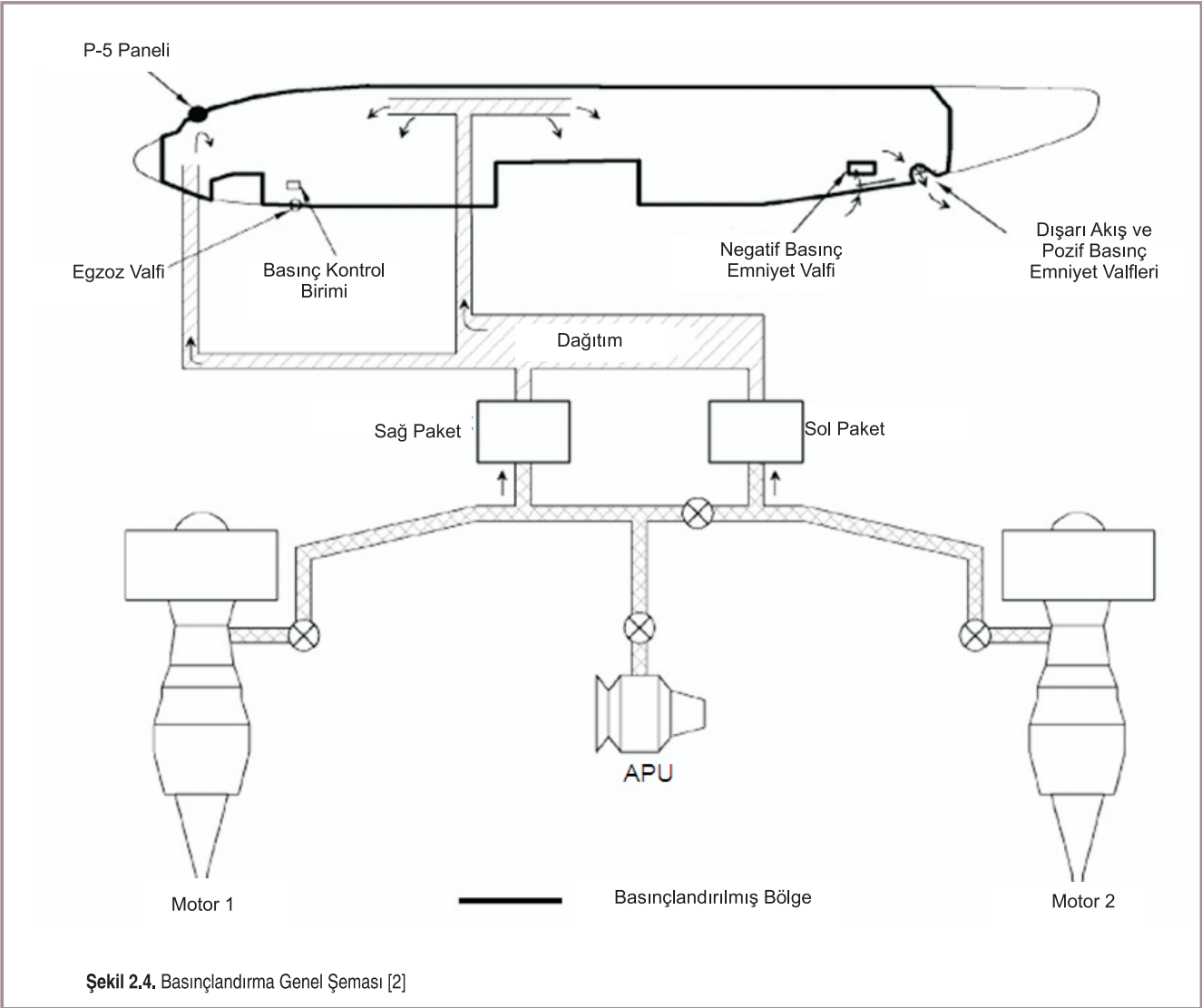
0,5µm arasında değişir. Ön kargo kompartımanı arka duvarında bulunan HEPA filtreler havanın tekrar dolaşım sistemine girdiği ilk noktadır [2, 3, 4]. Gerçekleşen tüm işlemlerden sonra, karışım manifolduna alınan hava tekrar kabine gönderilir. Şekil 2.3.'te görülen ana dağıtım manifoldu aynı zamanda karışım manifoldudur.

HEPA filtrelerin üzerinde biriken toz ve parçacıklarla kirlendikçe verimi düşeceğinden planlanmış değişim zamanlarında mutlaka yenilenmesi çok önemlidir. Bu çalışmada incelediğimiz Boeing 737-800 modelinde HEPA filtre değişimi hangar seviyesi bakımı olan C Bakımlarında yapılmaktadır. Bu uçaklar için C Bakım aralıkları 5000 uçuş saatidir [5]. Bu da yaklaşık olarak 1 ile 1.5 yıl arasında değişmektedir. Ülkemizdeki yolcu uçaklarının turizm sezonu olan yazları çok yoğun bir şekilde uçtuğu, taşınan yolcu sayısı ve ortam tozunun göreceli yüksekliği göz önüne alınırsa planlanan mevcut değişim aralıkları belki de yeterli

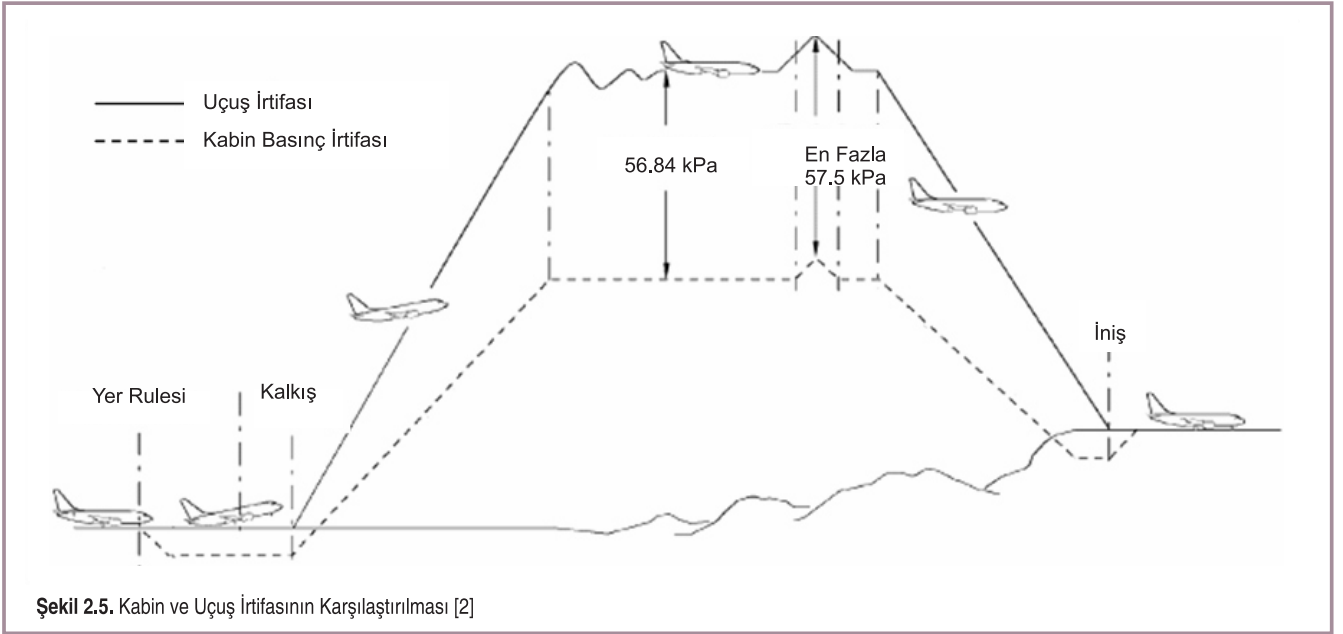
gelmemektedir. Hatta zamanla yapılacak araştırmalar sonucu bu değişim aralıkları daha da kısaltılabilir.

## Basınçlandırma

Yolcu uçakları, oksijen yoğunluğunun insan yaşamı için yeterli olmadığı çok yüksek irtifalarda uçar. Şekil 2.4'te uçak üzerinde sistemin yerleştirilmesi gösterilen basınç kontrol sistemi de uçak kabinini, insan sağlığını tehlikeye sokmayacak bir irtifada tutar. Buna Kabin Basınç İrtifası denir. Yani uçağın kendi irtifası çok yüksek olduğu halde, kabin içi irtifa basınçlandırma yoluyla daha düşük tutularak, yolcu ve mürettebat Hipoksi (atmosfer basıncının düşmesi sonucu kan, hücre ve dokularda oksijen eksikliği nedeniyle normal vücut fonksiyonlarının bozulması) durumuna karşı korunmuş olur. İnsan sağlığı açısından kabinin ulaşacağı en yüksek irtifa 8000 ft'dir. İklimlendirme paketleri havayı kabine göndererek aynı zamanda içeride bir basınç oluşmasını da sağlarlar.

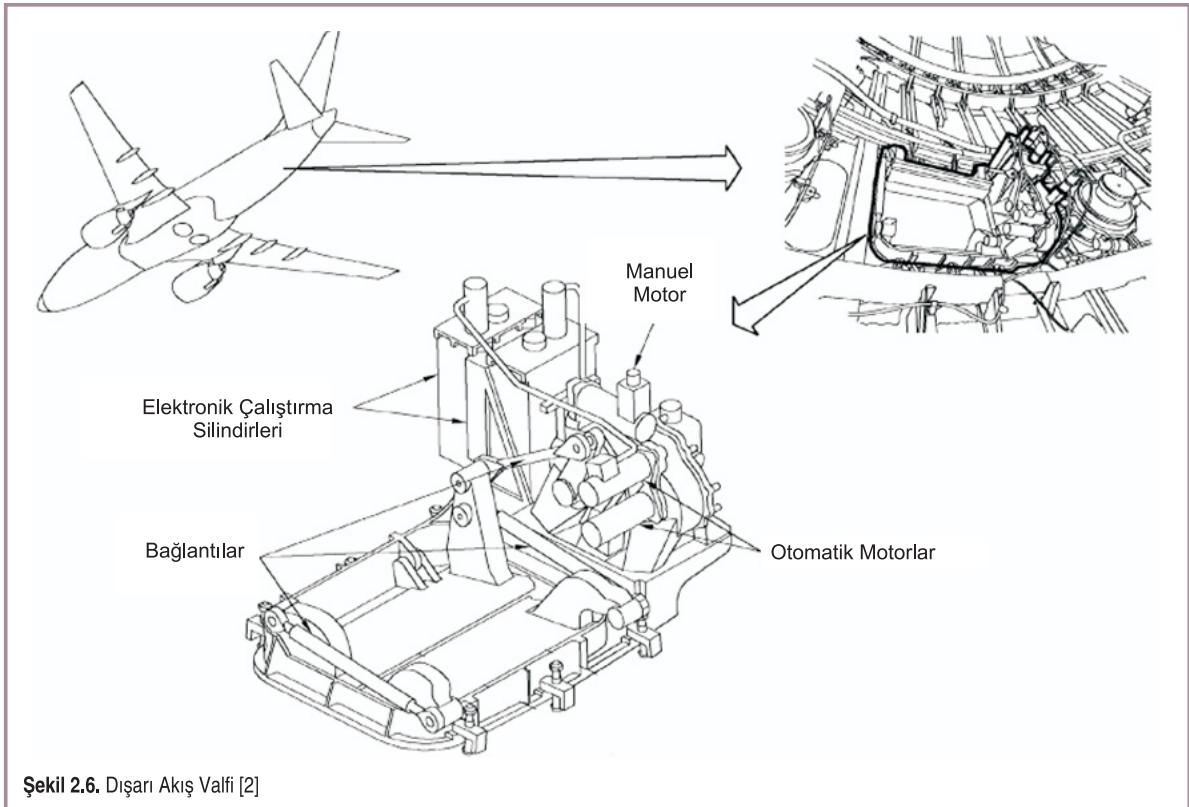


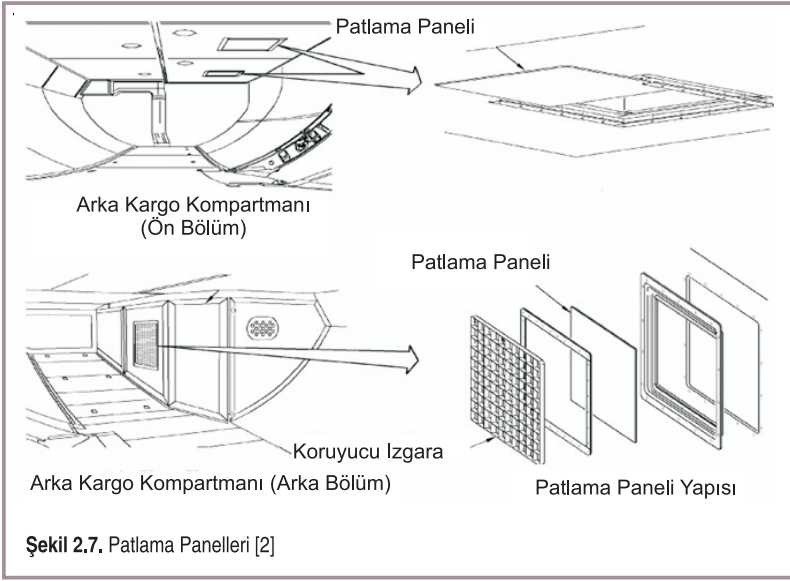




Basınç Kontrol Sistemi kabin basıncını ve irtifasını güvenli bir seviyede tutar. Uçak yapısının güvenliği açısından önemli olan nokta ise Kabin Fark Basıncıdır. Yüksek irtifalarda dış basıncın düşük olmasına karşın kabinin basınçlandırılarak daha yüksek basınçta tutulması sonucu dış ve iç ortam arasında bir fark oluşur. Bu fark nedeniyle gövde iç

çeperlerine basınç uygulanır. Uygulanan basıncın şiddeti aradaki farka bağlıdır ve kontrolsüz olarak bu farkın artması durumunda gövdede çatlama ve hatta kırılmalar oluşabilir. Bunun önlenmesi açısından kabinin en yüksek fark basıncı 56,84 kpa (8,35 psi) olabilir. Şekil 2.5'te kabin ve uçuş irtifasının karşılaştırılması gösterilmektedir. [2, 6, 7].





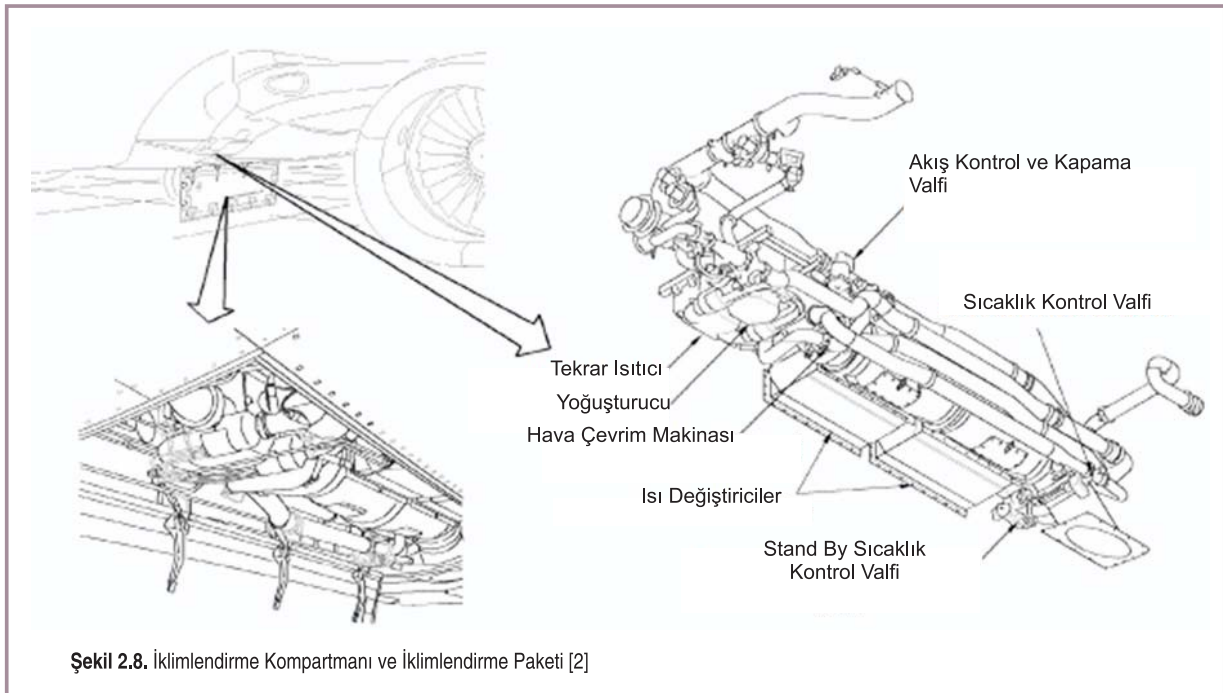
Kokpit baş üstü panelinde bulunan, Basınç Kontrol Paneli üzerinde AUTO mod seçilip kalkış ve iniş irtifa bilgileri girilir. Böylece Kabin basıncı Basınç Kontrol Modülü tarafından otomatik olarak ayarlanır. Kabin Basıncı ve İrtifası Dışarı Akış Valfinin sistem tarafından otomatik olarak açılıp kapanmasıyla ayarlanır. Kabin basınç ve irtifa bilgileri mürettebat tarafından baş üstü panelde bulunan göstergelerden takip edilir. Dışarı Akış Valfi Şekil 2.6'da görülmektedir. Dışarı Akış Valfinin arızalanması durumunda sistemin o anki ihtiyacına göre Pozitif veya Negatif Basınç Emniyet Valfleri devreye girerek kabin basıncının ayarlanmasını sağlar. Basınç ve irtifa göstergeleri, Basınç

Kontrol Paneli ve Modülü, Dışarı Akış Valfi ve bunlara veri gönderen sensörler birbirleriyle bağlantılı çalışmaktadırlar. Herhangi bir aksaklık yaşanmaması için tüm bu elemanların gerekli kontrol ve bakımlarının eksiksiz ve zamanında yapılması gerekmektedir.

Ön ve arka kargo kompartmanlarında bulunan Basınç Eşitleme Valfleri kargo ile kabin bölümleri arasında oluşabilecek basınç farklılığı durumlarında çift yönlü çalışarak basıncı eşitler. Kargo kompartmanlarında bulunan Patlama Panelleri Basınç Eşitleme Valflerinin arızalanması durumunda yerlerinden çıkarak kargo ile kabin bölümleri arasında basıncın eşitlenmesini sağlar. Genel olarak patlama panelinin kargo bölümüne yerleştirilmesi ve yapısı Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

## Soğutma

Pnömatik sistemden iklimlendirme paketlerine alınan hava miktarının kontrol edilmesi, paketlere giren havanın sıcaklığının düşürülmesi ve paketlerden çıkan havanın sıcaklık ve nem miktarının kontrol edilmesi soğutma sisteminin görevidir. Soğutma sistemi yoluyla kabindeki hava sıcaklığı ve nem ayarlanarak iklimlendirme gerçekleştirilir. Soğutma sisteminin en önemli elemanları ısı değiştiriciler, su ayırma sistemi ve ram hava sistemidir. Bunların hepsini bir arada bulunduran birimlere İklimlendirme Paketleri adı verilir. Pnömatik sistemden alınan havanın istenen koşullara getirilip kabine gönderilmesi bu paketler yoluyla gerçekleştirilir. Sağ ve sol olmak üzere iki tane iklimlendirme

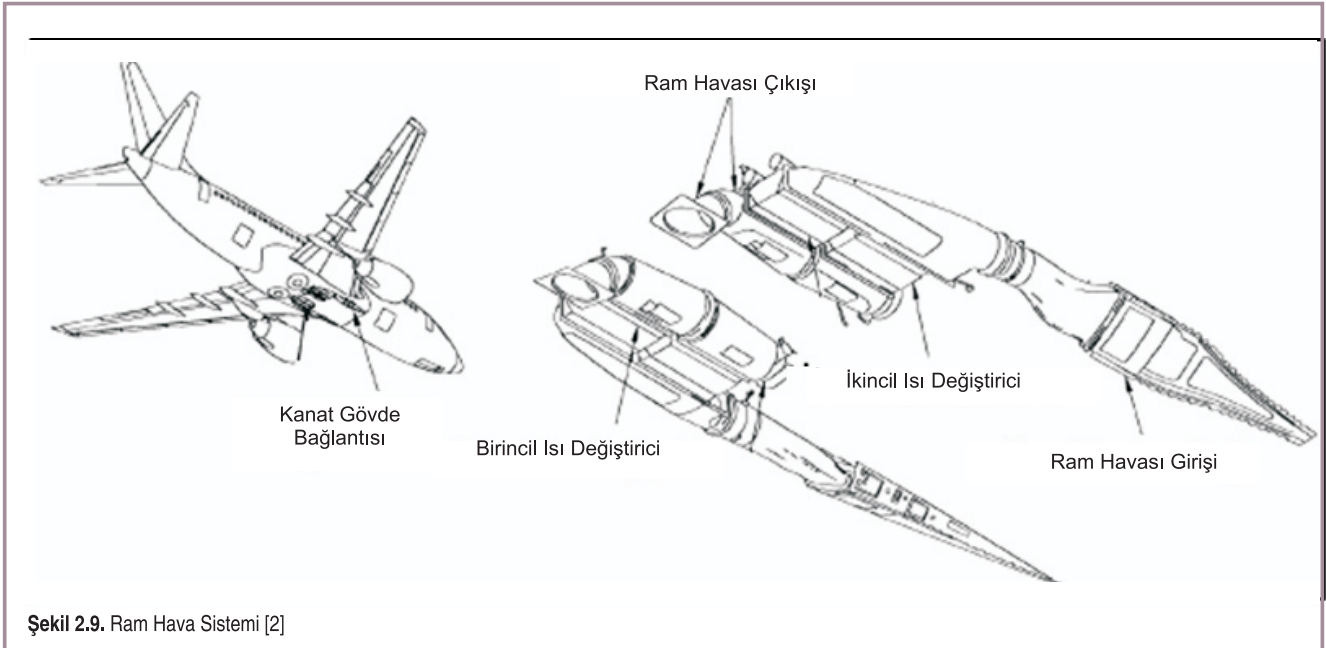


paketi vardır [1]. İklimlendirme kompartımanı ve paketi Şekil 2.8'de gösterilmektedir.

### **Ram Hava Sistemi**

Uçağın uçuşu sırasında havanın çarpma etkisiyle oluşan hava akımı ram havasıdır. Bu hava akımı iklimlendirme kompartımanlarına alınarak paketlerdeki besleme havasının sıcaklığını düşürmede yararlanır. Dış ortam havası göreceli olarak soğuktur ve paketlerdeki havanın sıcaklığını düşürebilir. Ram havası ısı değiştiricilerden geçirilerek ısı alış veriş sağlanır. Isı değiştiriciler radyatör panelleri gibi çalışır. Sıcak besleme havası ve soğuk ram havası birbirinden bağımsız olarak ısı değiştiricilerin kanalları arasından geçerken iletim yoluyla ısı alışverişi gerçekleşir (Şekil 2.9) [1].

makinesi radyal akışlı bir kompresör ve bir türbinden oluşur. Isı değiştiricilerle birlikte çalışarak besleme havasının sıcaklığını düşürür. Sıcaklığın düşürülmesindeki etkili nokta ise havanın türbinden geçerken genişmesidir. Birincil ısı değiştiriciden gelen hava kompresörde sıkıştırılarak ikincil ısı değiştiriciye gönderilir. Kompresördeki sıkışma sırasında havanın sıcaklığı tekrar yükselir ama bu durum ikincil ısı değiştiricide bir miktar giderilir. Buradan su ayırma mekanizmasına gönderilen hava son olarak türbine gelir ve burada sıcaklığı düşürülüp kabine gönderilir. Hava çevrim makinesi ana mili üzerinde türbin, kompresör ve ram havası fanı bulunur [3].

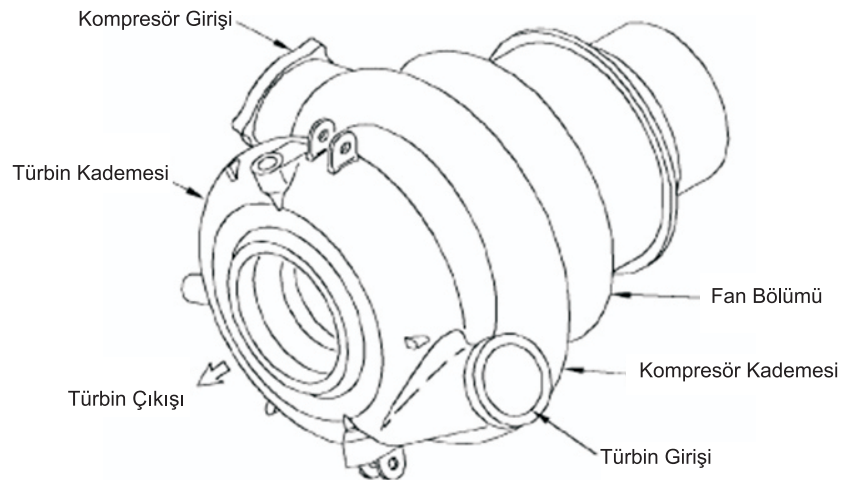


Şekil 2.9. Ram Hava Sistemi [2]

Uçak yerde hareketsizken hava akışını sağlamak üzere ram hava çıkışına bir fan yerleştirilmiştir. Bu fan hava çevrim makinesi ana miline bağlıdır ve dönme hareketini bu milden alır [B-MM]. Böylece iklimlendirme kompartımanlarına yerde de uçustaki gibi hava akımı sağlanır. Ram havası sıcaklık algılayıcısından gelen bilgiye göre ram hava kapağı modülasyonlu çalışarak ram hava miktarını ayarlar.

### **Hava Çevrim Makinesi**

Hava çevrim makinesinin genel yapısı Şekil 2.10'da gösterilmektedir. İklimlendirme paketinin içinde yer alan hava çevrim



Şekil 2.10. Hava Çevrim Makinesi [2]

### İklimlendirme İşlevsel Tanım

İklimlendirme sistemi için gerekli olan hava pnömatik sistemden sağlanır. Motor ya da Yardımcı Güç Birimi (Auxiliary Power Unit-APU) kompresör kademelerinden alınan bu hava Besleme Havası (Bleed Air) adını alır. Motordan alınan besleme havası düşük devirlerde kompresörün 9. kademesinden, yüksek devirlerde kompresörün 5. kademesinden çekilir. Akış kontrol ve kapama valfi, besleme havasının pnömatik manifolddan iklimlendirme paketlerine geçişini kontrol eder [1].

Kompresörden alınan hava, fan kademesinden alınan düşük sıcaklıktaki hava yardımıyla Ön Soğutucuda (Precooler) bir miktar soğutulduktan sonra paket akış kontrol ve kapama valfine gönderilir. Akış kontrol valfine gelen hava, birincil ısı değiştiriciye, sıcaklık kontrol valflerine ve ayar havası valflerine gönderilir. Birincil ısı değiştiriciden geçen hava, hava çevrim makinesi kompresörüne gönderilir. Kompresörde havanın sıcaklığı ve basıncı kısmen artar. Kompresörden çıkan hava ikincil ısı değiştiriciden geçerken bir miktar soğutulur. Buradan sonra su çıkarma kanalını geçer ve tekrar ısıtıcından geçerken ısıtılır. Ardından yoğuşturucuda soğutulan hava, su çıkarıcılarından sonra tekrar ısıtıcından ikinci kez geçer. Bu sırada sıcaklığı artar ve hava çevrim makinesi türbinine geçer. Türbinden sonra yoğuşturucunun soğuk kısmına geçen hava

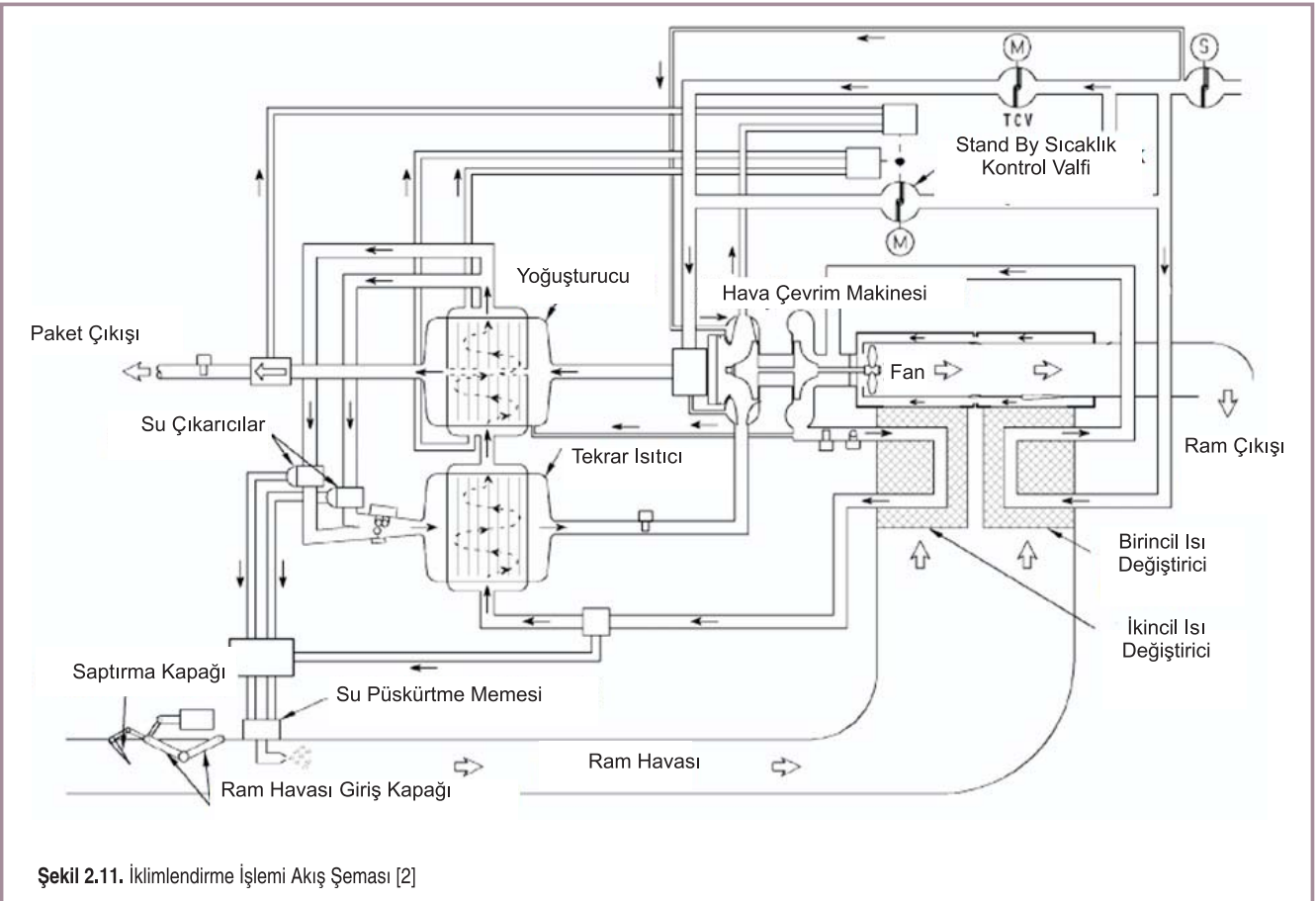
nemi ayarlanmış ve sıcaklığı da yaklaşık olarak 18-19°C'ye düşürülmüş olarak iklimlendirme paketlerinden çıkar ve karışım manifolduna gönderilir [8].

### Isıtma

Uçakta kapı bölgeleri ve kargo kompartmanları ısıtılarak uçuş irtifasında düşük sıcaklıktaki dış ortam havası nedeniyle buzlanma ve ısı kaybı önlenir. Kabin ve EE kompartmanını dolaşan hava kargo kompartmanlarına geçer. Kargo kompartmanları yan duvar ve tabanından geçen sıcak hava dış ve iç ortam arasında yalıtım sağlar. Yalıtımda sıcak havanın yanında cam yününden imal edilmiş ısı yorganları da kullanılır. Kapı ve acil çıkış kapılarında ise elektrikli ısıtıcılar yardımıyla ek ısıtma sağlanarak ısı kaybı önlenmeye çalışılır. Kapılardaki elektrikli ısıtma iklimlendirme sistemi tarafından otomatik olarak kontrol edilir.

## OZON VE HAVA KİRLİTİCİLERİN KONTROLÜ

Uçakta kabin içinden ve dışından kaynaklanan bir hava kirliliği durumu oluşabilir. İçerden kaynaklanan kirlilik; insanların solunumundan, solunum yoluyla bulaşan çeşitli bakteri ve virüslerden, kabine alınan bagajdan, yiyeceklerden, kabin eşyalarından ve tozdan olabilir. Dışarıdan gelen kirlilik





ise dış ortam havasından, uçak motor ve sistemlerinde oluşabilecek sızıntı ve kaçaklardan kaynaklanabilir. Uçak yerde beklerken kapıların açık olduğu zaman aralığında meydana var olan toz ve motor egzoz gazlarının kabine girmesi, uçağın inişi ya da kalkışı sırasında alçak irtifalardaki şehir kaynaklı kirli havanın kabine girmesi dış kaynaklı kirlilik nedenleridir. Uçağın kısa sürede yüksek uçuş irtifalarına çıktığı ve bu irtifalarda havanın son derece temiz olduğu düşünülürse bu durum çok fazla sorun oluşturmamaktadır. Eğer kalkış sırasında dış ortamdan kaynaklanan bir kirlilik söz konusu ise dış hava oranı düşürülerek tekrar dolaşım filtreleri yoluyla kirletici unsurlar kabin havasından temizlenebilir. Bu yolla kabin havası temiz tutulabilir. Ancak uçak kısa sürede havanın temiz olduğu yüksek irtifaya ulaşır ve dış hava oranı artırılarak kabin havalandırılır. Dolayısıyla kirlilik giderilmiş olur. Kirletici unsurların kabinden uzaklaştırılması dış ortam havası sayesinde çok kısa sürede gerçekleştirilir [9].

Yüksek irtifalarda hava çok temiz olmasına karşın insan sağlığı için zararlı olan ozon ( $O_3$ ) ise yüksek miktarda bulunur. Ozon gözlerde ve solunum sisteminde tahrişlere neden olabilir. Bu nedenle kabine alınan havada ozon miktarı düzenlemesi kaçınılmazdır. Motordan alınan hava, akış kontrol ve kapama valfinden önce ozon çeviriciden geçer. Ozon çeviriciler katalitik çevrim elemanlarıdır. Bu elemanlardan geçen hava içindeki ozon  $2O_3 \rightarrow 3O_2$  denklemine göre oksijene dönüştürülür. Günümüz uçakları, ozon miktarını, FAA (Federal Aviation Authority)'nın  $0,1 \mu L/L$  olan standardının önemli ölçüde altında tutabilmektedirler [4, 9].

## KABİN HAVA KALİTESİNİN ÖNEMİ

Uçuş sırasında kabinde bulunan insanlar, düşük nem, düşürülmüş hava basıncı ve çeşitli hava kirleticileri gibi etkenlere maruz kalmaktadır. Uçaklarda iç hava kalitesini belirleyen en önemli değişkenler; basınç, oksijen, sıcaklık, nem ve hava kirleticilerdir. Bu etkenlerin düzeylerinde ani değişim ya da yetersizlik oluşması, kabin iç hava kalitesinin düşmesine ve insan sağlığının olumsuz etkilenmesine neden olabilir. Günümüzde henüz uçaklarda iç hava kalitesi ile ilgili standartlar geliştirilmemiş olup, durum yalnızca uçak üreticileri ve işleticilerinin kontrolindedir. Şirketler de maliyeti azaltmak için konuya yeteri kadar önem vermemektedir [10].

Temiz hava, belirlenen standartlara göre belirli düzeylerde kirletici madde içermeyen ve bu havayı kullanan insanlarda hava kalitesi ile ilgili tatminsizlik oluşturmayan havadır. Bu nedenle uçak kabininde temiz bir hava ortamı oluşturulması önemlidir. Bunu sağlamak için yeterli miktarda dış hava alınmalı, tekrar dolaşım sisteminin etkili bir şekilde çalışması sağlanmalıdır [10].

Uçak kabinlerinin 1940'larda basınçlandırılmaya başlaması

uçuş tavanlarının artmasını sağlamıştır. Bu durum uçak sürüklemesini düşürmüş, yakıt tüketimini de %38 oranında azaltmıştır (9144 m irtifa, deniz seviyesine göre). Fakat havalandırma için gerekli olan daha fazla miktarda basınçlandırılmış dış hava %2 oranında yakıt tüketimi artışına neden olmuştur. 1945 model Boeing Stratocruiser, kabin havasının bir kısmını tekrar kullanmak yoluyla yakıt tüketimindeki bu artışı azaltmaya çalışan ilk uçaklardan biriydi. Bugün için uçakların yarıya yakını kabin havalandırmasında tekrar dolaşım havası kullanılmaktadır. Bu oran bazı uçaklarda toplam havanın %52'sine karşılık gelmekle birlikte hedeflenen oran %80'dir [4].

Havalandırmada tekrar dolaşım havası oranlarının artması, enerji tasarrufu ile birlikte bazı sağlık risklerini ortaya çıkarmıştır. 1970'lerde ortalama bir yolcu uçağı yolcu başına  $0,42 \text{ m}^3/\text{dk}$  ( $15 \text{ ft}^3/\text{dk}$ ) dış hava sağlamaktaydı. Artık günümüzde bazı uçaklar o zamanki miktarın yarısından bile az bir şekilde yolcu başına yalnızca  $0,17 \text{ m}^3/\text{dk}$  oranında dış hava kullanılmaktadır. Zaten ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers) tarafından uçak yolcuları, çok dar alanlarda uzun süre oturarak en az miktarda hava kullanan kişiler olarak tanımlanmaktadır. Tam dolu bir uçakta, yolcu başına  $12 \text{ m}^3$  ( $35\text{-}70 \text{ ft}^3$ ) hava hacmi düşmektedir. Bunun, sıradan bir büro çalışanın kullandığı havanın yalnızca  $1/10$ 'una karşılık gelmesi yukarıdaki tanımın bir kanıtıdır. ASHRAE tarafından belirlenen standartlara göre uçak kabininde yolcu başına sağlanan dış hava miktarı en az  $0,42 \text{ m}^3/\text{dk}$  olmalıdır. Böylece yukarıda tanımlanan temiz hava ortamı kabin içinde oluşturulabilir [4].

Kabin havalandırma sisteminin tasarımı, bir koltuk sırasına gönderilen havanın yine o koltuk sırasından alınarak kabinden atılmasını sağlayacak şekilde yapılmıştır. Bu yolla kabin içinde enfeksiyon yayılma riski azaltılmaya çalışılır. Buna karşın yine de kabin içinde enfeksiyon geçişi olur ve çoğu zaman yolcular yakalandıkları rahatsızlıkların yolculuktan kaynaklandığını bilmezler. Böyle bir ortamda dış hava oranı düşerse ve bir de yolculardan biri hastaysa, hava yoluyla hastalık bulaşma riski daha da artar [4, 10].

Tekrar dolaşım havası kullanan uçaklar, havalandırmayı yalnızca dış hava yoluyla yapan uçaklara göre, filtrelenemeyen hava bileşenlerini ortam havasında daha fazla miktarda biriktirir ve havaya karıştırır. Tekrar dolaşım havasının olumlu taraflarından biri de yüksek irtifalarda dış havanın çok kuru olması ve tekrar dolaşım havasında solunumdan dolayı nemin birazcık yüksek oluşudur. Ancak nemin fazlaca artması da uçak yapısı ve iklimlendirme sisteminde donmalara ve korozyona neden olabilir. Tekrar dolaşım havası kabine dönüşünde dış havayla karıştırılmadan önce arıtılır. Ancak kullanılan filtrelerin etkinliği hava yolu şirketinin politikasına göre %90 ( $0,5 \mu\text{m}$  duyarlılık) ile %99,97 ( $0,3 \mu\text{m}$  duyarlılık) arasında değişir. Hastalık tecrübeleri ve diğer çalışmaların gösterdiğine göre hava yoluyla hastalık

geçiren virüsler o kadar küçüktür ki (0,003-0,05 µm) bunları tutacak bir filtreleme tekniği henüz bilinmemektedir. Tüm bunlara ek olarak düşük etkili filtre kullanımı, yetersiz contalama, conta kaçakları, yetersiz bakım vs. ya da dönüşüm havasının yalnızca bir kısmının temizlenmesi, bakteri ve virüslerin yolcu kabinine yayılmasına katkıda bulunabilir. Bu nedenle HEPA filtre kullanımı, filtre ve contaların bakım ve kontrolü, bakım mevzuatlarında belirtilen aralıklarda değişimleri çok önemlidir. Diğer iç mekanlara kıyasla uçaklarda bakteri barındırma özelliği çok düşük malzemeler kullanılmasına karşın, uçak kabinlerinde kişi başına daha az hava düşmesi, tekrar dolaşım yapan uçaklarda tek-geçiş havalandırma sistemini kullanan uçaklara göre hastalık bulaşma riskini artırmaktadır [4].

Karbondioksit, karbonmonoksit, ozon ve çevresel sigara dumanı (Environmental Tobacco Smoke (ETS)) kabin hava kalitesi üzerine yapılan çalışmalarda her zaman ölçülen en temel kirleticilerdir. 8000 ft eşdeğer irtifaya karşılık gelen 0,74 atm (565 mmHg) kabin basıncında yüksek CO<sub>2</sub> yoğunluğunun fizyolojik etkileri yer seviyesine göre çok daha fazla olmaktadır. Çünkü bu irtifada oksijen kısmi basıncı deniz seviyesine göre %26 azalmaktadır. Kabindeki oksijen yoğunluğunun sürekli olarak ölçüldüğü bir çalışmada atmosferdeki normal oksijen oranında (%21,9) %2,3'lük kısa süreli bir düşüşün yolculara verilen havada solunum için az gelen oksijen miktarına neden olduğu kanıtlanmıştır. Düşük oksijen kısmi basıncı, oksijen yoğunluğundaki kısa süreli bir düşüşle birleşirse, deniz seviyesindeki açık havaya göre oksijen sağlanabilirliği %63,5'e düşer. Oksijen yetersizliği, düşük basınç ve nem sonucu insanlar üzerinde bir takım rahatsızlıklar oluşması söz konusudur [4].

Uçuş ortamından kaynaklanan rahatsızlıklara örnek olarak, hipoksi ve derin damar trombozu gösterilebilir. Hipoksi oksijen yetersizliği durumunda dokulara yeterli miktarda oksijen gitmemesi sonucu oluşan bir rahatsızlıktır. Derin damar trombozu ise damarlardaki kanın pıhtılaşmasıdır. Bunun nedeni uzun uçuşlardaki hareketsizlik, düşük basınç ve yetersiz su buharıdır. Düşük nem durumunda ayrıca deride, mukozada ve göz zarında kurumalar oluşabilir. Göz zarı kuruması ise gözün sürekli olarak sulanmasına ve ağrılara neden olur. Bu noktada kabindeki nem, sıcaklık, oksijen ve basınç değerlerinin düzenlenmesinin ne derece önemli olduğu bir kez daha öne çıkmaktadır [10].

Hava yolu şirketleri ASHRAE tarafından önerilen 0,42 m<sup>3</sup> (15 ft<sup>3</sup>) dış hava miktarının pahalı olduğunu öne sürmektedirler. Douglas ve Boeing şirketleri tarafından uçağına göre, her 0,028 m<sup>3</sup> (1 ft<sup>3</sup>) dış havaya karşı saatte 0,03 litre ya da 0,06 litre yakıt tasarrufu sağlandığı açıklanmıştır. Yani bu da her 1 ft<sup>3</sup> havaya karşı ortalama olarak saatte 0,05 litre yakıt tasarrufu anlamına gelmektedir. Jet yakıtının litre fiyatı 0,25 ABD dolarıdır (Amerikan Petrol Piyasasına göre,1999). Buna göre yolcu başına bir saat boyunca, 0,14

m<sup>3</sup>/dk (5 ft<sup>3</sup>/dk) dış havanın ortalama maliyeti 0,06 dolar; 0,42 m<sup>3</sup>/dk (15 ft<sup>3</sup>/dk) dış havanın ortalama maliyeti ise 0,18 dolardır. Sonuç olarak dış havayı 0,42 m<sup>3</sup>/dk' dan 0,14 m<sup>3</sup>/dk'ya düşürmek şirkete yolcu başına bir saatte 0,12 ABD doları kâr sağlar. Yine 4 ile 10 saat arası süren bir yolculuk boyunca yolcu başına ortalama 0,48 ile 1,20 ABD doları kâr sağlar. Eğer bir tek yolcu bile tekrar dolaşım havasından dolayı o uçuş sonunda hastalanırsa, iş kaybı ve tedavi masrafları ışığında bunun topluma maliyeti şirketin yaptığı kârın çok daha üstünde olur. Şu noktayı da göz önüne almak gerekir ki; kabine %100 oranında taze hava verilmesi durumunda ise son derece sağlıklı bir hava ortamı oluşturulmakla birlikte; yüksek uçuş irtifalarında basıncın düşük olması ve kabine gönderilen havanın daha fazla sıkıştırılması gerekliliği çok yüksek maliyetlere neden olmaktadır [4].

Tekrar dolaşım havası kullanılmıy ya da kullanılmıyın şirketler her zaman en az 0,42 m<sup>3</sup>/dk yolcu başına dış hava sağlamalıdır. Bu miktar, CO<sub>2</sub> yoğunluğunu 1000 ppmv'de (m<sup>3</sup> başına parçacık sayısı) tutabilmek için gerekli olan en düşük dış hava düzeyidir. Bu da ASHRAE tarafından belirlenen CO<sub>2</sub> standardının sağlanması için yeterlidir [4].

Yolcular üzerinde çok iyi düzenlenmiş bağımsız bir sağlık taraması ve kabin içinde çeşitli değişkenlerin ölçümü şeklindeki ileri düzey çalışmalardan elde edilecek bilgiler konunun öneminin daha nicel olarak belirlenmesini sağlayacaktır. Özellikle araştırmalar kış şartları gibi hasta yolcuların fazla olduğu dönemlerde planlanıp yapılırsa daha az maliyetle konuya daha iyi odaklanılmış çalışmalar ortaya çıkacaktır [4].

Tekrar dolaşım havasını %50'den fazla kullanmamak gayet makul bir yaklaşım olabilir. Düz uçuş irtifalarındaki bakteri ve virüs miktarı tekrar dolaşım havasındaki miktardan her zaman daha düşüktür. Hava yolu şirketleri aynı zamanda tekrar dolaşım oranlarındaki düşüşü de bir yolcu özendirme yöntemi olarak kullanabilirler [4].

Tekrar dolaşım havası kullanan bütün şirketler, havayı temizlemek için HEPA filtreleri kullanmak zorundadırlar. %90 etkili filtreleri HEPA filtrelerle değiştirmek sonucu oluşacak toplam maliyet, yolcular tarafından fark edilir bir konfor artışına göre çok düşük olacaktır. Bazı şirketler hâlihazırda bu politikayı benimsemiş bulunmaktadır. Hatta bazıları çok küçük parçacık duyarlı filtreler (ULPA-Ultra Low Particle Air- filters ) kullanmaya başlamıştır. Bu filtrelerin duyarlılığı HEPA filtrelerden de yüksektir (%99,99995). Parçacık duyarlılıkları 0,12 µm' dir ve bu sayede virüslerin tutulmasında bile etki gösterebilirler. Ancak bunlar henüz çok pahalı filtrelerdir [4].

Tekrar dolaşım öncesi filtrelenmiş havanın bakterilerden arındırılması için uygulanabilecek daha başka önlemler de göz önüne alınmalıdır. Bu işlemlerden biri de Mercury

Rezonans Işınlama yöntemidir. Düşük basınçlı mercury ark lambaları tarafından üretilen bu ışınlar 253.7 nm dalga boyundadır ve bakterilere karşı öldürücü etkisi vardır. Lamba ve uygulama maliyeti düşüktür; 28317 m<sup>3</sup>/dk (1000 ft<sup>3</sup>/dk) havaya 50 watt' tan az bir enerji gider. Böylece etkin ve ucuz bir bakteri arındırma yöntemi kullanılabilir [4].

Bugüne kadar uçuşlardan sonra yolcu ve mürettebattan, kabin ortamına ve fizyolojik koşullara bağlı olduğu düşünülen şikâyetler alınmış ve rahatsızlıklar tespit edilmiştir. Ancak bu bilgiler düzenli olarak bir kaynaktan derlenmediği için kabin hava kalitesi değişkenleri ve sağlık riskleri arasında kesin bir bağlantı kurmak çok zordur. Bu nedenle uçaklarda iç hava kalitesi üzerine çalışmalara ağırlık verilmesi, düzenli araştırma ve sağlık taramalarının yapılması, kabin ortamı içinde uçuş sırasında basınç, sıcaklık, nem gibi değişkenlerin ölçülmesi ve bütün bulguların sistemli bir şekilde ortak bir havuzda toplanması gerekmektedir. Ancak bu sayede tüm dünya kamuoyunun konuya ilgisi çekilebilir ve uluslararası ortak bir bilgi birikimi ile daha hızlı gelişmeler sağlanabilir. Zaten 1989-98 yılları arasında bir önceki 10 yıla oranla konuyla ilgili makale sayısının 8 kat olması konunun öneminin giderek daha çok dikkat çektiğini göstermektedir [4, 10].

## SONUÇ

Yolcu uçaklarının 1940'larda basınçlandırılmaya başlamasından itibaren günümüze kadar uçak iklimlendirme sistemleri sürekli olarak gelişmiştir. Bugün için uçak iklimlendirme sistemleri, kabindeki sıcaklık, oksijen, basınç, nem ve ozon gibi değişkenleri ayarlayarak kabin içinde koşullandırılmış bir hava ortamı oluştururlar. Bu sayede uçaklar çok yüksek irtifalarda ve farklı iklim bölgelerinde rahatlıkla uçabilir. Bunun sonucu olarak irtifa ve bölge değişimi nedeniyle hem yolcuların rahatsız olmaları önlenmiş, hem de yakıt maliyetleri çok düşmüştür. Uçak iklimlendirme sistemleri bu açıdan bakıldığında büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle ilk olarak mevcut sistemlerin cihaz, sensör ve filtrelerinin bakımı, ilgili bakım mevzuatlarında belirtilen aralıklarda ve bakım prosedürlerine uygun olarak yapılmalıdır. HEPA filtrelerinin değişim aralıklarının kısaltılması kabin hava kalitesinin artırılmasında olumlu katkı sağlayacaktır. İkinci olarak iklimlendirme sistemleri ile ilgili araştırmalara daha çok yer verilmelidir ve belki de bu yolla yolcu ve mürettebat için daha sağlıklı bir kabin ortamı sağlayacak şekilde öneri ve yenilikler getirilebilir.

9144m (30000 ft) irtifada dar bir alanda oturan bir uçak yolcusunun, deniz seviyesindeki bir büro çalışanı gibi pencereyi açarak temiz hava alması gibi bir şansının olmaması konunun ne derece önemli olduğunun bir başka göstergesidir. Dış hava kullanım oranının düşük olması ya da tekrar dolaşım sisteminin etkinliğindeki bir azalma sonucu

kabin hava kalitesinin nasıl etkileneceğini tahmin etmek çok zor bir konu değildir. Bu nedenle mevcut standartlar dâhilinde dış hava oranlarına kesinlikle uyulmalıdır. Tekrar dolaşımında mutlaka HEPA filtreler kullanılmalı; bunların bakım ve gerekirse değiştirilmeleri ihmal edilmemelidir. Bu durum hem müşteri memnuniyeti hem de bir toplumsal sorumluluk gereğidir. Belki de ULPA filtrelerin yaygınlaşması ile kabin havasının temizlik oranı daha da artacaktır.

Bu çalışma sonucu dikkati çeken bir nokta dış ortamdaki gelen besleme havasının hiçbir filtreleme işleminden geçmeden kabine ulaşabilmesidir. Burada incelenen Boeing 737/800 modelinde ve diğer uçak modellerinin genelinde durum bu şekildedir. Besleme havasının filtrelenmemesi havaalanında beklerken veya şehirler üzerinde alçalma ve tırmanma sırasında kabinde dış kaynaklı kirliliğe neden olabilir. Bu kirliliğin giderilmesi çok büyük bir sorun oluşturmaya da kirliliğin başlamadan önlenmesinin kabin hava kalitesine katkıda bulunacağı açıktır. Bundan sonraki çalışmalarda bu nokta araştırılabilir, besleme havasının filtrelendiği uçak modelleri tespit edilebilir ve hatta gerekirse bazı öneriler geliştirilebilir. Çünkü artık bilimsel çevrelerin, uçak iklimlendirme sistemlerine ve kabin hava kalitesine karşı ilgisi giderek artmaktadır. Bu konu üzerine, 198-998 yılları arasında bir önceki 10 yıla oranla 8 kat daha fazla yayın çıkması bu ilginin bir göstergesidir.

İç hava kalitesinin önemi ülkemizde yeni yeni anlaşılırken, konu üzerinde yurt dışına oranla az olan çalışma sayısı giderek artmaktadır. Uçaklarda iç hava kalitesi konusunda da nicel ölçümlere dayalı yerli inceleme ve araştırmaların yapıp yayımlanması gerekmektedir. Ancak bu sayede standartlaşma yoluna gidilip, ilgili mevzuatlar zamanla oluşturulabilir.

## KAYNAKÇA

1. Jet Aircraft Maintenance Fundamentals (JAMF), 2000.
2. Boeing 737600/700/800/900 Maintenance Manual, 2000.
3. Boeing 737600/700/800/900 Training Manual, 2000.
4. **Hocking, M.B.** 2000. "Passenger Aircraft Cabin Air Quality", CHEMOSPHERE.
5. Boeing Maintenance Steering Guide, 2000.
6. **Tanatmış, A.** 2005. "Uçak Yapıları ve Gövde Sistemleri" Yayınlanmamış Ders Notları, Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu.
7. **Zaim, C., Çetingüç, M.** 2000. "İnsan Performans ve Limitleri", Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu.
8. Boeing 737 Computer Based Training (CBT), 2000.
9. **Atmaca, F., Toka, S., Kaba, Ş.** 2005. "Kabin İç Hava Kalitesi" (Bitirme Ödevi), Anadolu Üniversitesi, Haziran.
10. **Karakoç, T.H., Işıklı, B., Atmaca, F., Toka, S., Kaba, Ş.** 2005. "Uçaklarda İç Hava Kalitesi ve Neden Olabileceği Problemler," VII. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi, Kasım.