

## KİMYASAL BUZDAN KORUMA SİSTEMİ BUZLANMA TÜNELİ TEST FAALİYETLERİ

Yunus AKMAN<sup>1</sup>  
Türk Havacılık Uzay Sanayii A.Ş., Ankara

### ÖZET

*Bu bildiri kapsamında yerli olarak geliştirilen Kimyasal Buzdan Koruma Sistemi buzlanma tüneli test faaliyetleri anlatılmaktadır. Hava araçları üzerinde kullanılmakta olan farklı buzdan koruma metotları bulunmaktadır. Hava aracının görev profiline ve mevcut kaynaklara uygun olarak koruma sistemleri tasarlanmaktadır. Yerli olarak geliştirilen Kimyasal Buzdan Koruma Sistemi çözüm yönteminin doğrulanmasında; uçuş testlerinde karşılaşılabilecek riskleri ve yüksek maliyetleri azaltmak amacıyla Buzlanma Tüneli Testleri tercih edilmiştir. Test sonuçlarına uygun olarak sistem parametrelerinde güncelleme yapılmış ve hava aracının CS ve FAR standartlarında tanımlanmış olan buzlanma şartlarından uzaklaşabileceği bir sistem geliştirilmiştir.*

### GİRİŞ

Uçuş sırasında hava araçları su damlacığı veya nem oranı yüksek bulutlardan geçerken hava aracının dış yüzeyi donma noktasının altında ise bu damlacıklar hava aracının dış yüzeyine yapışarak buzlanma olayı oluşabilmektedir. Oluşan buzlanma nedeniyle hava aracının performansında azalmalar olmaktadır:

- Kaldırma kuvveti azalır
- Sürüklenme kuvveti artar
- Hava aracının ağırlığı artar
- Yakıt tüketimi artar
- Güç ihtiyacı artar

Uçaklar da oluşan buzlanmalar maddi hasarlı ve ölümcül kazalara neden olabilmektedir. 2012-2016 yılları arasında gerçekleşen kazalar ve nedenleri Tablo 1’de verilmiştir [Annual Safety Review, 2017].

---

<sup>1</sup> Kıdemli Tasarım Uzmanı, E-posta: yakman@tai.com.tr

Tablo 1: 2012-2016 Yılları Arasında Gerçekleşen Kazalar ve Nedenleri [Annual Safety Review, 2017]

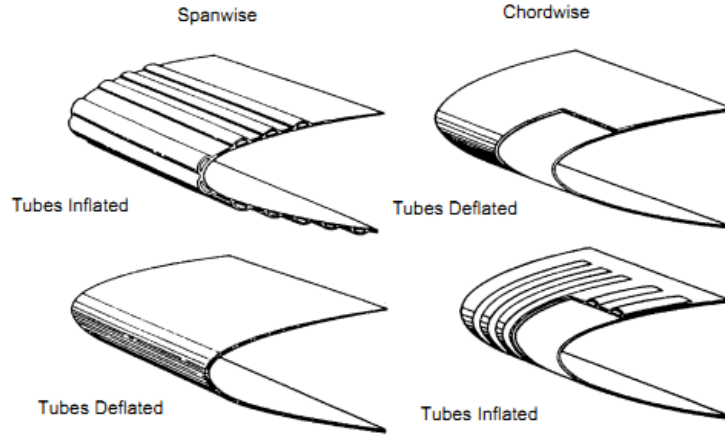
|  <b>COMMERCIAL AIR TRANSPORT - AEROPLANES, AIRLINES</b> |                                                           |                   |                     |                 |                |                  |                                |               |                   |                              |                  |                    |                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|-----------------|----------------|------------------|--------------------------------|---------------|-------------------|------------------------------|------------------|--------------------|--------------------------|
| Outcome Percentage of Fatal Accidents (2007-2016)                                                                                        | 8                                                         |                   |                     |                 | 75%            | 13%              | 13%                            | 0%            | 0%                | 0%                           | 0%               | 0%                 | 0%                       |
| Outcome Percentage of Non-Fatal Accidents (2007-2016)                                                                                    | 226                                                       |                   |                     |                 | 19%            | 30%              | 0%                             | 26%           | 2%                | 1%                           | 1%               | 1%                 | 4%                       |
| Safety Issues                                                                                                                            | Total number of occurrences in 2012-2016 per safety issue |                   |                     |                 |                |                  |                                |               |                   |                              |                  |                    |                          |
|                                                                                                                                          | Incidents (ECR data)                                      | Serious Incidents | Non-Fatal Accidents | Fatal Accidents | Aircraft Upset | Runway Excursion | Non-Safety Security/non-Safety | Ground Damage | Terrain Collision | Obstacle Collision in Flight | Runway Collision | Airborne Collision | Taxiway/ Apron Excursion |
| Operational                                                                                                                              |                                                           |                   |                     |                 |                |                  |                                |               |                   |                              |                  |                    |                          |
| Handling of Technical Failures                                                                                                           | 288                                                       | 14                | 5                   | 2               | •              | •                |                                |               |                   |                              | •                | •                  | •                        |
| Icing in Flight                                                                                                                          | 277                                                       | 6                 | 0                   | 1               | •              |                  |                                |               |                   |                              |                  |                    |                          |
| Turbulence                                                                                                                               | 2 936                                                     | 5                 | 20                  | 0               | •              | •                |                                |               | •                 |                              |                  |                    |                          |
| Approach Path Management                                                                                                                 | 2 658                                                     | 13                | 5                   | 0               | •              | •                |                                |               | •                 | •                            |                  |                    |                          |
| Flight Planning and Preparation                                                                                                          | 3 687                                                     | 11                | 5                   | 0               | •              | •                |                                |               | •                 |                              | •                |                    | •                        |
| Windshear                                                                                                                                | 3 919                                                     | 2                 | 5                   | 0               | •              | •                |                                |               | •                 | •                            |                  |                    |                          |
| Crosswind                                                                                                                                | 224                                                       | 5                 | 2                   | 0               | •              | •                |                                |               | •                 | •                            |                  |                    |                          |
| Hail                                                                                                                                     | 17                                                        | 1                 | 2                   | 0               | •              | •                |                                | •             |                   |                              |                  |                    |                          |
| Icing on Ground                                                                                                                          | 116                                                       | 0                 | 2                   | 0               | •              | •                |                                | •             |                   |                              |                  |                    | •                        |
| Airborne Separation                                                                                                                      | 2 667                                                     | 42                | 0                   | 0               |                |                  |                                |               |                   |                              |                  | •                  |                          |
| False or Disrupted ILS Signal Capture                                                                                                    | 314                                                       | 8                 | 0                   | 0               | •              | •                |                                |               | •                 | •                            |                  |                    |                          |
| Handling and Execution of Go-Arounds                                                                                                     | 219                                                       | 8                 | 0                   | 0               | •              | •                |                                |               | •                 |                              |                  | •                  |                          |
| Deconfliction with Aircraft Not Using Transponders                                                                                       | 192                                                       | 4                 | 0                   | 0               |                |                  | •                              |               |                   |                              |                  | •                  |                          |
| Entry of Aircraft Performance Data                                                                                                       | 50                                                        | 3                 | 0                   | 0               | •              | •                |                                |               | •                 |                              | •                |                    |                          |
| Bird/ Wildlife Strikes                                                                                                                   | 13 003                                                    | 2                 | 0                   | 0               | •              |                  |                                | •             |                   |                              |                  |                    |                          |

## BUZDAN KORUMA YÖNTEMLERİ

Buzlanma koşulunda uçuş performansının olumsuz etkilerini azaltmak ve uçuş emniyetini arttırmak amacıyla Buzdan Koruma Sistemleri kullanılmaktadır. Havacılıkta yaygın olarak kullanılmakta olan sistemler aşağıda açıklanmıştır.

### Pnömatik Buz Giderme Sistemi

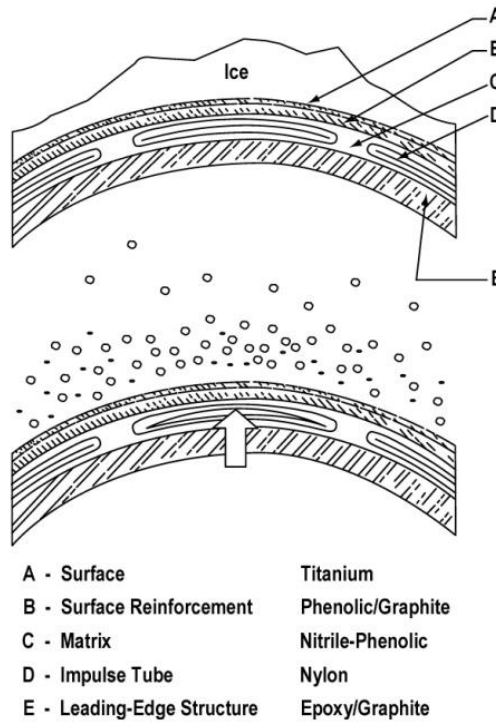
Pnömatik buz giderme sistemleri 1930'lu yıllardan itibaren havacılıkta kullanılmaya başlanmıştır. Buzlanma oluştuğundan sonra hücum kenarında bulunan kauçuk tüpler şişirilerek oluşan buz kırılmaktadır.



Şekil 1: Pnömatik Buz Giderme Sistemi [Aircraft Icing Handbook (DOT/FF/CT-88), 1991]

### Pnömatik Titanyum Buz Giderme Sistemi

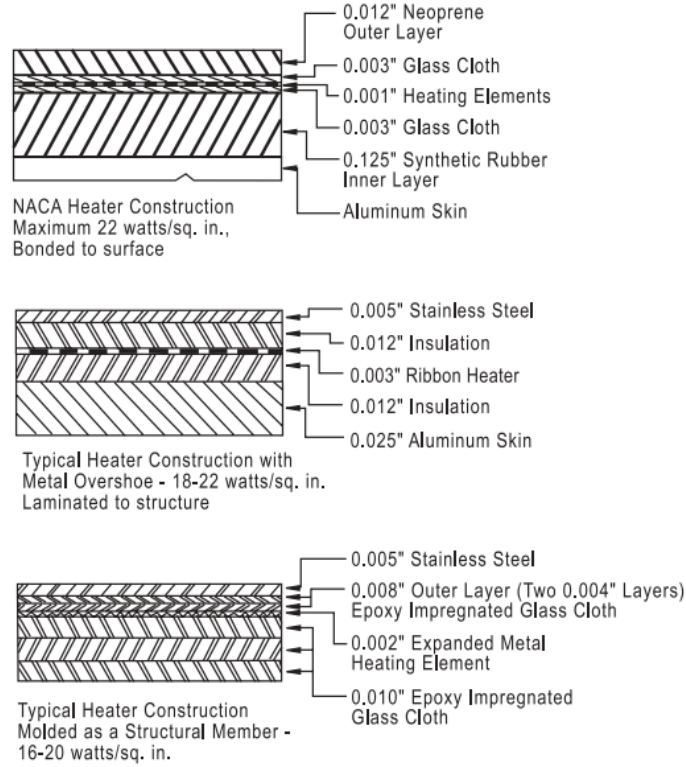
Bu sistemin çalışma mantığı klasik pnömatik buz giderme sistemlerine benzemektedir. Sistemin farkı hücum kenarında titanyum malzeme kullanılmasıdır. Buzlanma oluştuğundan sonra hücum kenarında bulunan titanyumun altında yer alan kauçuk tüpler şişirilerek oluşan buz kırılmaktadır. Daha sonra sistem dış ortama açılır ve hücum kenarının orijinal şekline dönmesi sağlanır.



Şekil 2: Pnömatik Titanyum Buz Giderme Sistemi [Aircraft Icing Handbook (DOT/FF/CT-88), 1991]

### Elektrotermal Buz Önleme ve Giderme Sistemi

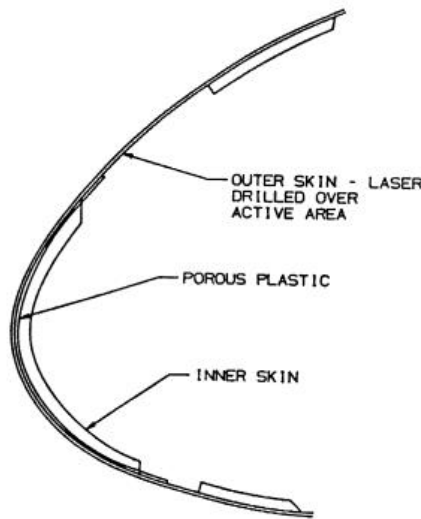
Elektrikli ısıtıcılar kullanılarak yüzey sıcaklığının donma noktasının altında olması engellenir. Bu tip sistemler kanat/kuyruk hücum kenarlarında, pervanelerde, camlarda, harici sensörlerde ve hava alıklarında kullanılmaktadır.



Şekil 3: Elektrotermal Isıtma Sistemi Kesitleri [Aircraft Icing Handbook (DOT/FF/CT-88), 1991]

### Kimyasal Buz Önleme ve Giderme Sistemi

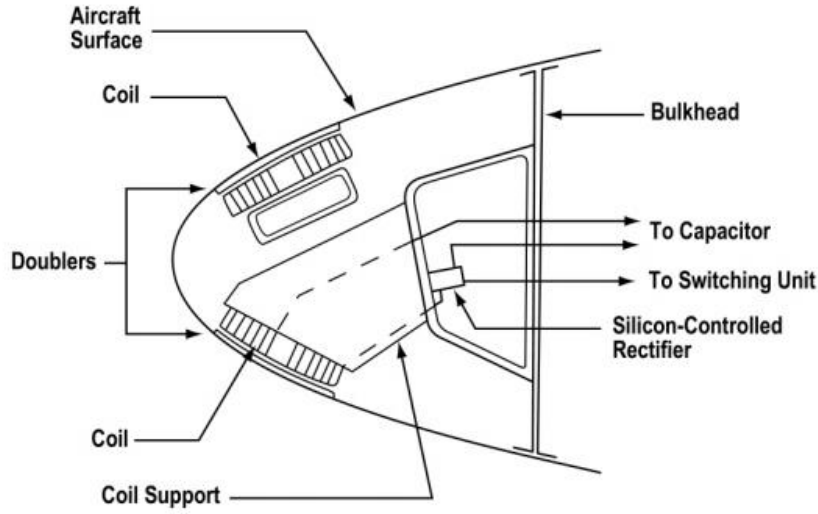
Hücum kenarlarından donma noktası düşük kimyasal bir sıvı sızdırılmaktadır. Havadaki su damlacıkları ile kimyasal sıvının karışması sağlanmaktadır. Karışımın donma noktası düştüğü için buzlanma olayı gerçekleşmemektedir.



Şekil 4: Kimyasal Buz Önleme ve Giderme Sistemi Kesiti [Aircraft Icing Handbook (DOT/FF/CT-88), 1991]

### Elektro Impulse Buz Giderme Sistemi

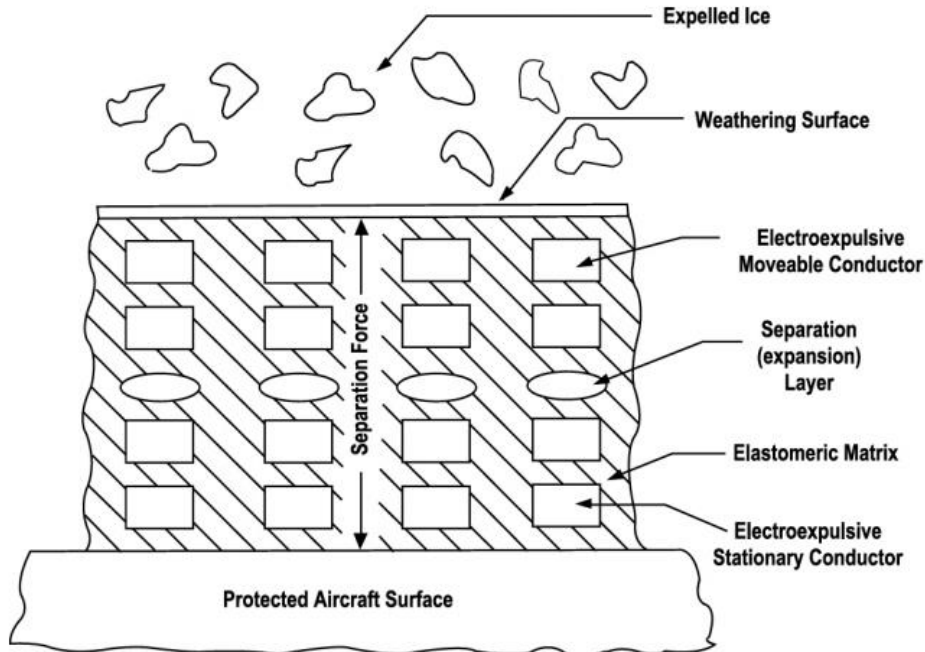
Elektro Impulse buz giderme sistemi mekanik çalışan bir sistemdir. Hücum kenarların iç yüzeyine yerleştirilen elektrik bobinlerinden geçirilen yüksek voltaj ile itme hareketi sağlanır. Bu hareket darbeli olarak hücum kenarına iletilerek oluşan buzlanmanın giderilmesi sağlanır.



Şekil 5: Elektro Impulse Buz Giderme Sistemi Kesiti [Aircraft Icing Handbook (DOT/FF/CT-88), 1991]

### Elektro Expulsive Buz Giderme Sistemi

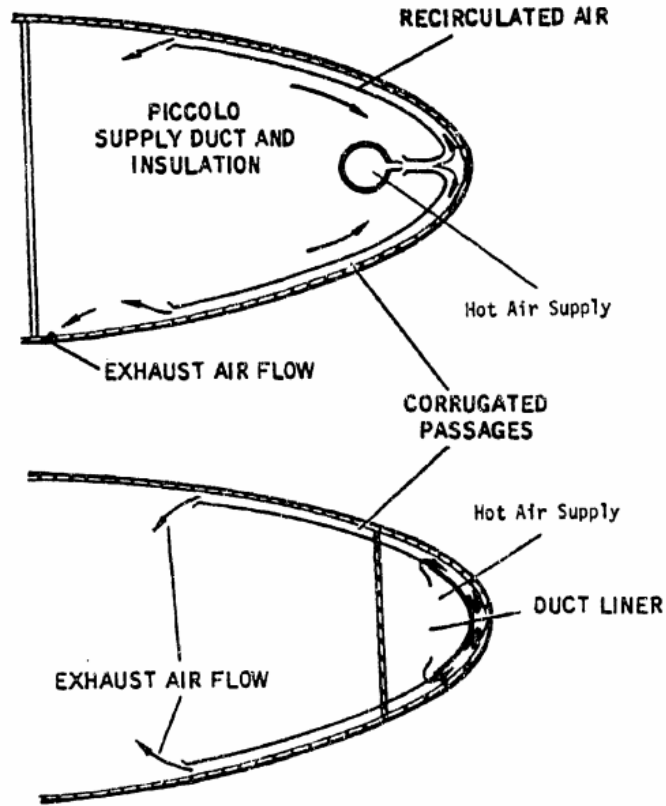
Elektro Expulsive giderme sisteminde hücum kenarların iç yüzeyine iletken battaniyeler yerleştirilir. Battaniyelerden zıt elektrik yükler geçirilerek itme hareketi sağlanır. Bu hareket darbeli olarak hücum kenarına iletilerek oluşan buzlanmanın giderilmesi sağlanır.



Şekil 6: Elektro Expulsive Buz Giderme Sistemi Kesiti [Aircraft Icing Handbook (DOT/FF/CT-88), 1991]

**Sıcak Hava Buz Önleme ve Giderme Sistemi**

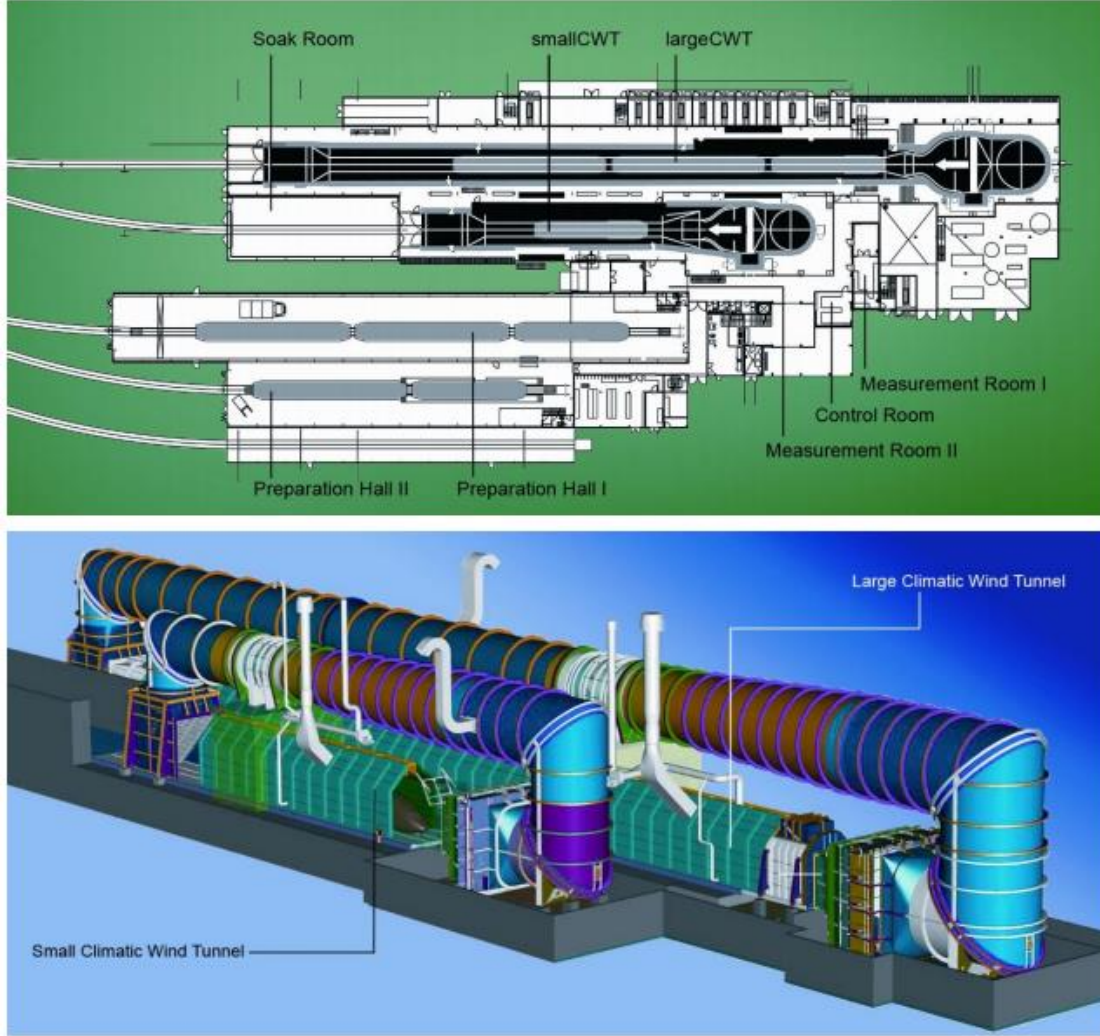
Sıcak hava kullanılarak yüzey sıcaklığının donma noktasının altında olması engellenir. Sıcak hava kaynağı olarak motor basınçlı havası, kompresör, egzoz gazları veya harici ısıtıcılar ile ısıtılan hava kullanılabilir.



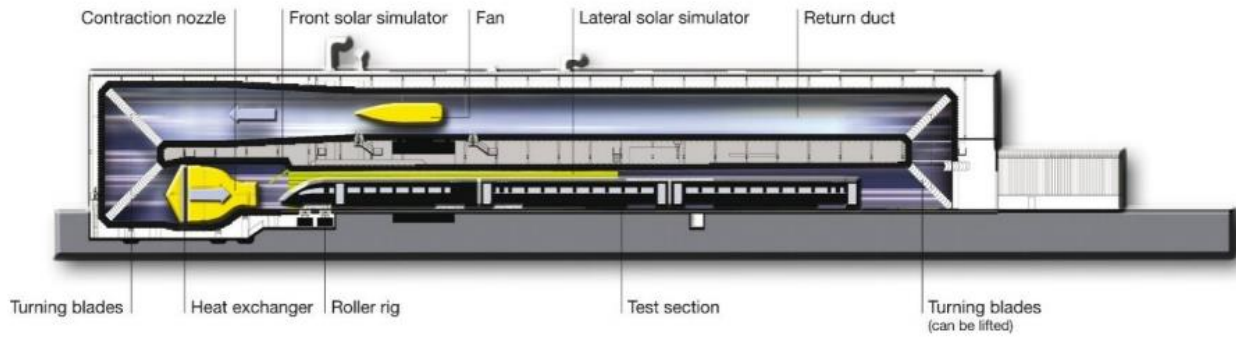
Şekil 7: Sıcak Hava Buz Önleme ve Giderme Sistemi Kesitleri [Aircraft Icing Handbook (DOT/FF/CT-88), 1991]

## TEST SİSTEMİ

Buzlanma testleri Rail Tech Arsenal (RTA), Viyana, Avusturya tesislerinde gerçekleştirilmiştir. RTA tesislerinde iki adet rüzgâr tünel bulunmaktadır. Tünel yerleşimi Şekil 8 ve Şekil 9 da verilmiştir. Tünelere ait özellikler Tablo 2 'de tanımlanmıştır.



Şekil 8: RTA Rüzgâr Tünel Yerleşimi

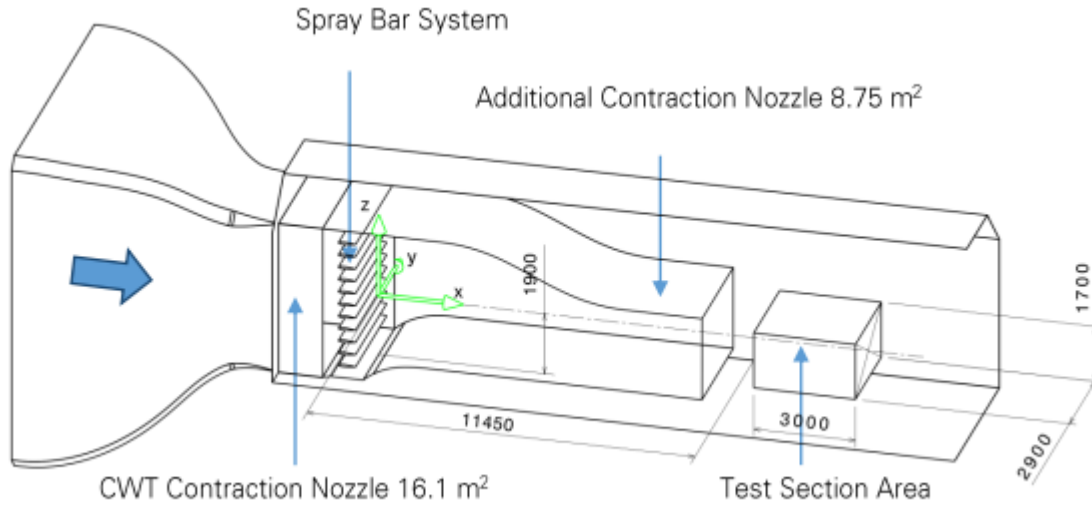


Şekil 9: RTA Rüzgâr Tünel Yerleşimi (Büyük Tünel)

Tablo 2: RTA Rüzgâr Tünelleri Özellikleri

| Description                                                                                                                                                                                 | small CWT                                                                      | large CWT / IWT                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| CWT contraction nozzle dimensions<br>width / height / area                                                                                                                                  | 3.5 m / 4.6 m / 16.1 m <sup>2</sup>                                            |                                                                                |
| Contraction ratio of nozzle                                                                                                                                                                 | 3.98                                                                           | 5.72                                                                           |
| Test section<br>width<br>height<br>cross sectional area                                                                                                                                     | 4.9 m to 5.1 m<br>5.9 m to 6.0 m<br>27.2 m <sup>2</sup> to 28.7 m <sup>2</sup> | 4.9 m to 5.6 m<br>5.9 m to 6.2 m<br>27.2 m <sup>2</sup> to 32.2 m <sup>2</sup> |
| Distance between nozzle / <i>spray bars</i> and start of<br>test section / <i>test area</i>                                                                                                 | 3.5 m / 11.45 m                                                                |                                                                                |
| Test section length                                                                                                                                                                         | 33.8 m                                                                         | 100.0 m                                                                        |
| Dimensions of lateral solar simulator<br>length / height                                                                                                                                    | 30.0 m / 4.3 m                                                                 | 47.5 m / 4.3 m                                                                 |
| Maximum wind speed<br>restrictions at low temperatures<br>-20 °C (no load inside CWT)<br>large and small CWT combined<br>-30 °C (1.1 MW load)                                               | 120 km/h<br><br>120 km/h<br><br>-                                              | 300 km/h<br><br>200 km/h<br><br>150 km/h                                       |
| Maximum temperature range                                                                                                                                                                   | -45 °C to +60 °C                                                               |                                                                                |
| Maximum temperature gradient<br>in the temperature range -20 °C to +60 °C                                                                                                                   | 10 K/h                                                                         |                                                                                |
| Relative humidity at temperatures > +10 °C                                                                                                                                                  | 10% to 98%                                                                     |                                                                                |
| Solar intensity of lateral solar simulator<br>at fixed 30° angle of incidence<br>operating temperature > -10 °C                                                                             | 200 W/m <sup>2</sup> to 1,000 W/m <sup>2</sup>                                 |                                                                                |
| Solar intensity of front solar simulator<br>maximum wind speed:<br>at incidence angles < 45 ° up to 120 km/h<br>at incidence angles >= 45 ° up to 50 km/h<br>operating temperature > -10 °C | 200 W/m <sup>2</sup> to 1,000 W/m <sup>2</sup>                                 |                                                                                |
| Exhaust systems (mixed air)                                                                                                                                                                 | max. 9 kg/s with +300 C                                                        |                                                                                |
| Water supply for water brake system                                                                                                                                                         | max. 5.5 bar 700 l/min                                                         |                                                                                |
| Kerosene (JetA1) tank for permanent supply                                                                                                                                                  | 4500 l / max. 550 l/h                                                          |                                                                                |
| General rain, snow and ground icing systems                                                                                                                                                 | stationary ceiling-mounted rain and icing<br>system, mobile (snow) nozzles     |                                                                                |

Rüzgâr tüneli test bölgesinden önce yerleştirilen spreyleme sistemi vasıtasıyla buzlanma koşulları sağlanmaktadır.



Şekil 10: RTA Rüzgâr Tüneli Test Bölgesi (Büyük Tünel)

## BUZLANMA TESTLERİ

### Test Matrisi

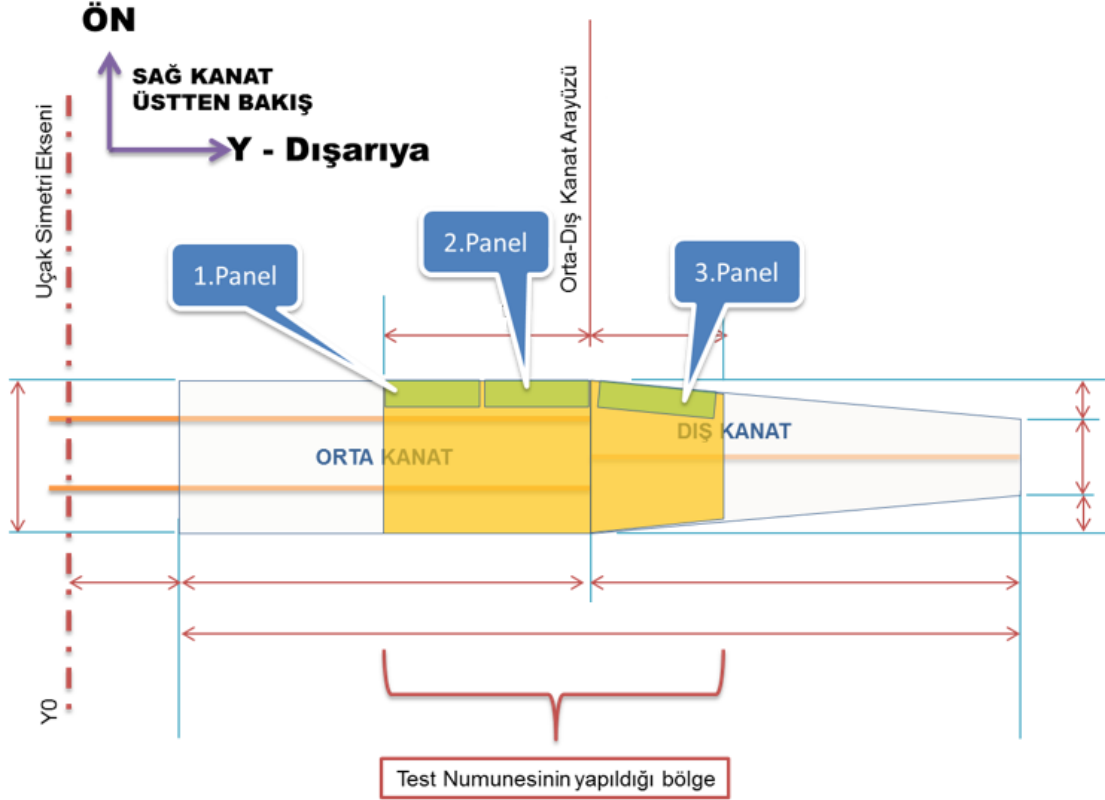
Buzlanma tüneli testleri kapsamında Tablo 3 de tanımlanan farklı test noktalarında testler gerçekleştirildi.

Tablo 3: Test Matrisi

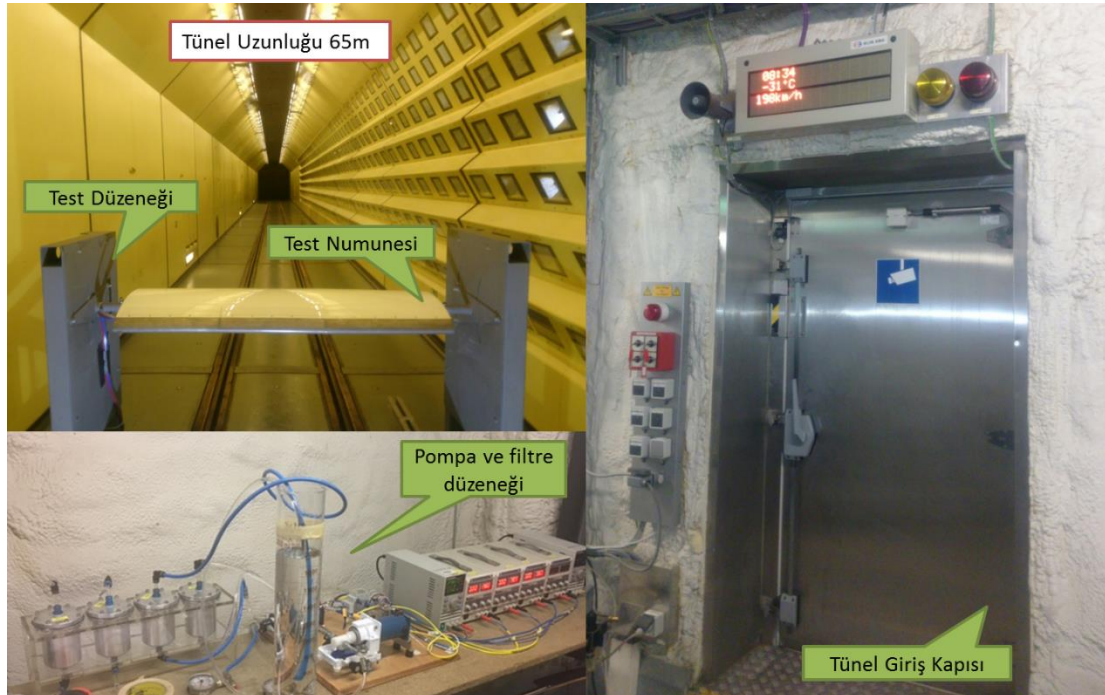
| Değişken                     | Aralık                   |
|------------------------------|--------------------------|
| Ortam Sıcaklığı              | -30 - 0 °C               |
| Rüzgâr Hızı                  | 50-70 m/s                |
| Sıvı Miktarı (LWC)           | 0.1-1.0 g/m <sup>3</sup> |
| Damlacık Ortalama Çapı (MVD) | 15-40 mikron             |
| Hücum açıları                | Farklı açılar            |
| Buzlanma Süreleri            | 0-30 dakika              |
| Delik Çapı                   | Fark çaplar              |
| Delik Oryantasyonu           | Farklı yerleşimler       |
| Çalışma Basıncı              | Farklı basınçlar         |

### Test Numunesi

Testler sırasında aynı anda birden fazla parametreyi değiştirmek amacıyla testlerde parçalı hücum kenarı kullanılmıştır. Her bir panelin delik çapı, oryantasyonu ve basınç sağlayan pompası birbirinden bağımsızdır. Paneller sökülebilir olacak şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu sayede paneller değiştirilerek maksimum varyasyonlar denenebilmiştir.



Şekil 11: Test Numunesi



Şekil 12: Test Ortamı

**Test Sonuçları**

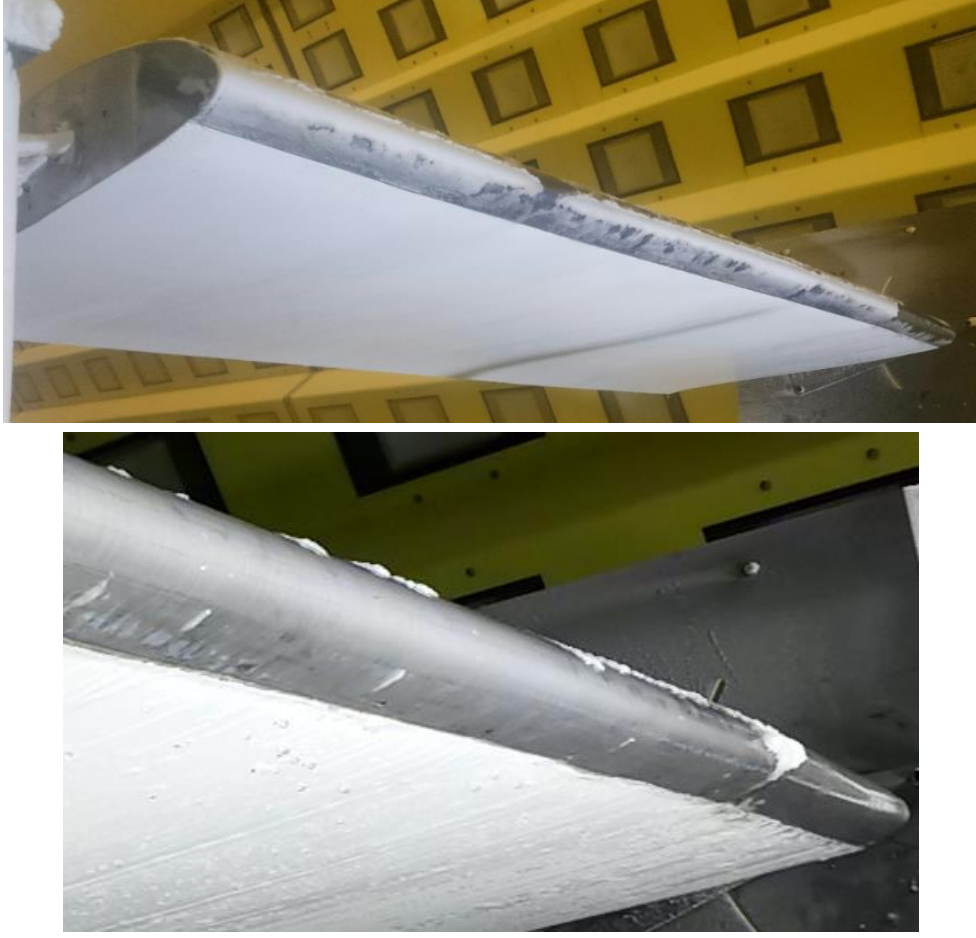
İlk testte elde edilen sonuçlar kullanılarak sistemde iyileştirmeler yapılmıştır. Temel olarak yapılan değişiklikler:

- Delik çapı
- Delikler arası mesafe
- Delik oryantasyonu
- Pompa çalışma basıncı

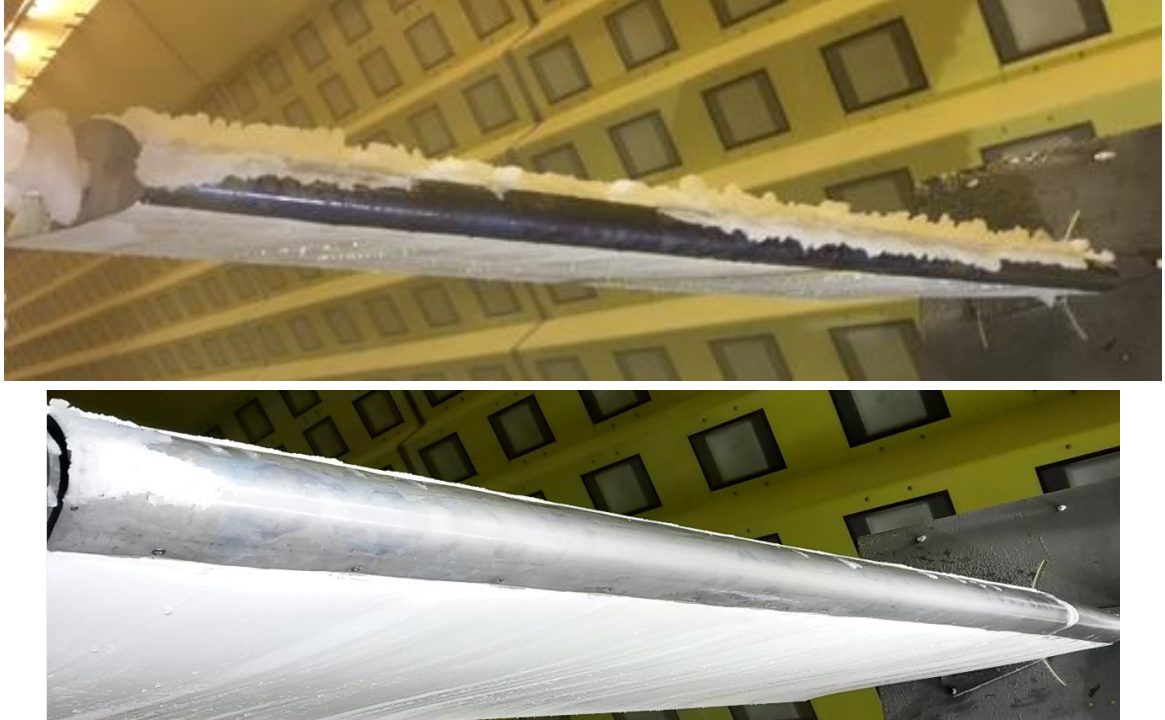
Test sonuçlarına ait örnek görseller aşağıda yer almaktadır:



Şekil 12: -30 °C'de yapılan ilk test ve iyileştirme sonrası tekrarlanan testlerin örnek sonuçları



Şekil 13: -20 °C'de yapılan ilk test ve iyileştirme sonrası tekrarlanan testlerin örnek sonuçları



Şekil 14: -10 °C'de yapılan ilk test ve iyileştirme sonrası tekrarlanan testlerin örnek sonuçları



Şekil 15: Hata durumu: Orta panelin oluşan arıza nedeniyle görev yapamadığı durum



Şekil 16: -4 °C'de sistemin çalışmadığı durum



Şekil 17: -4 °C'de sistemin çalışmadığı durum

## SONUÇ

Hava araçlarının her türlü hava koşulunda emniyetli uçuş sağlayabilmek amacıyla Buzdan Koruma Sistemi kullanılması zorunludur.

Yapılan getiri-götürü analizleri sonucunda yerli imkânlarla Kimyasal Buzdan Koruma Sistemi tasarımı, imalatı ve doğrulanmasına karar verilmiştir.

CS ve FAR standartlarında tanımlanan hava koşullarına uygun test matrisi hazırlanmıştır. Farklı sistem parametrelerinin test edilebilmesi amacıyla parçalı ve değiştirilebilir test numuneleri üretilmiştir.

Yapılan testler sonrasında sistemde geliştirilecek noktalar tespit edilmiştir. Tasarım güncellemeleri sonrası ulaşılan yeni sistem ile testler tekrarlanmıştır.

Sonuç olarak CS ve FAR standartlarında tanımlanmış olan buzlanma şartlarında hava araçlarının emniyetli şekilde uzaklaşabileceği bir sistem geliştirilmiş ve doğrulanmıştır.

## Kaynaklar

Aircraft Icing Handbook (DOT/FF/CT-88), 1991, FAA  
Annual Safety Review, 2017, EASA