



UHUK 2020

8. ULUSAL HAVACILIK ve UZAY KONFERANSI

9-11 Eylül 2020, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara



**ÇEŞİTLİ İRTİFALARDA UÇAKLAR İÇİN BUZ BİRİKİM
TAHMİN YÖNTEMİNİN
TÜRKİYE ÜZERİNDE UYGULAMASI**



UHUK 2020

8. ULUSAL HAVACILIK ve UZAY KONFERANSI

9-11 Eylül 2020, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara



- Giriş
- Kullanılan Yöntemler
 - Buz Birikim Yöntemi
 - Hava Tahmin Yöntemi
- Uygulamalar
 - Buzlanma Analizi
 - Hava Tahmin Raporları
- Sonuçlar



UHUK 2020

8. ULUSAL HAVACILIK ve UZAY KONFERANSI

9-11 Eylül 2020, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara

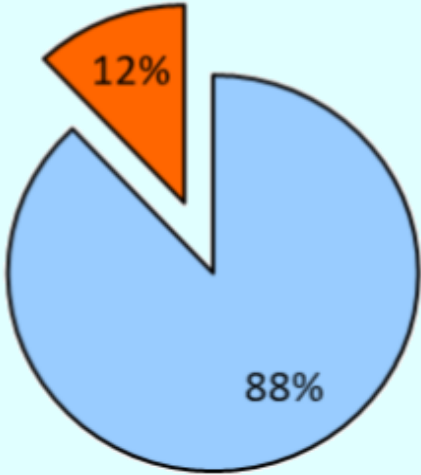


1. GİRİŞ

Federal Havacılık Ajansına (FAA)

Buzlanma: yüzeydeki donma derecesinin altında gözle görülür nem ve sıcaklığa sahip olduğu durum olarak tanımlanmaktadır [FAA, 1991].

■ Diğer Hava Durumu Hadiseleri
■ Buzlanma

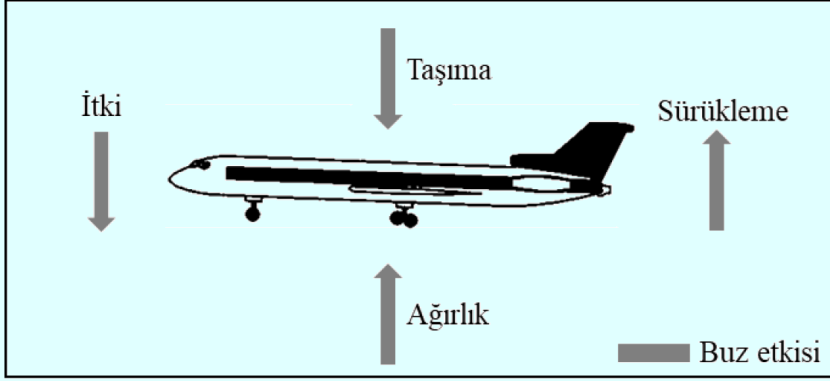


Şekil 1: Buzlanmanın diğer hava durumu hadiseleri arasındaki oranı [AOPA, 1998].

Uçak yüzeyinde buzlanmanın oluşabilmesi için gerekli koşullar;

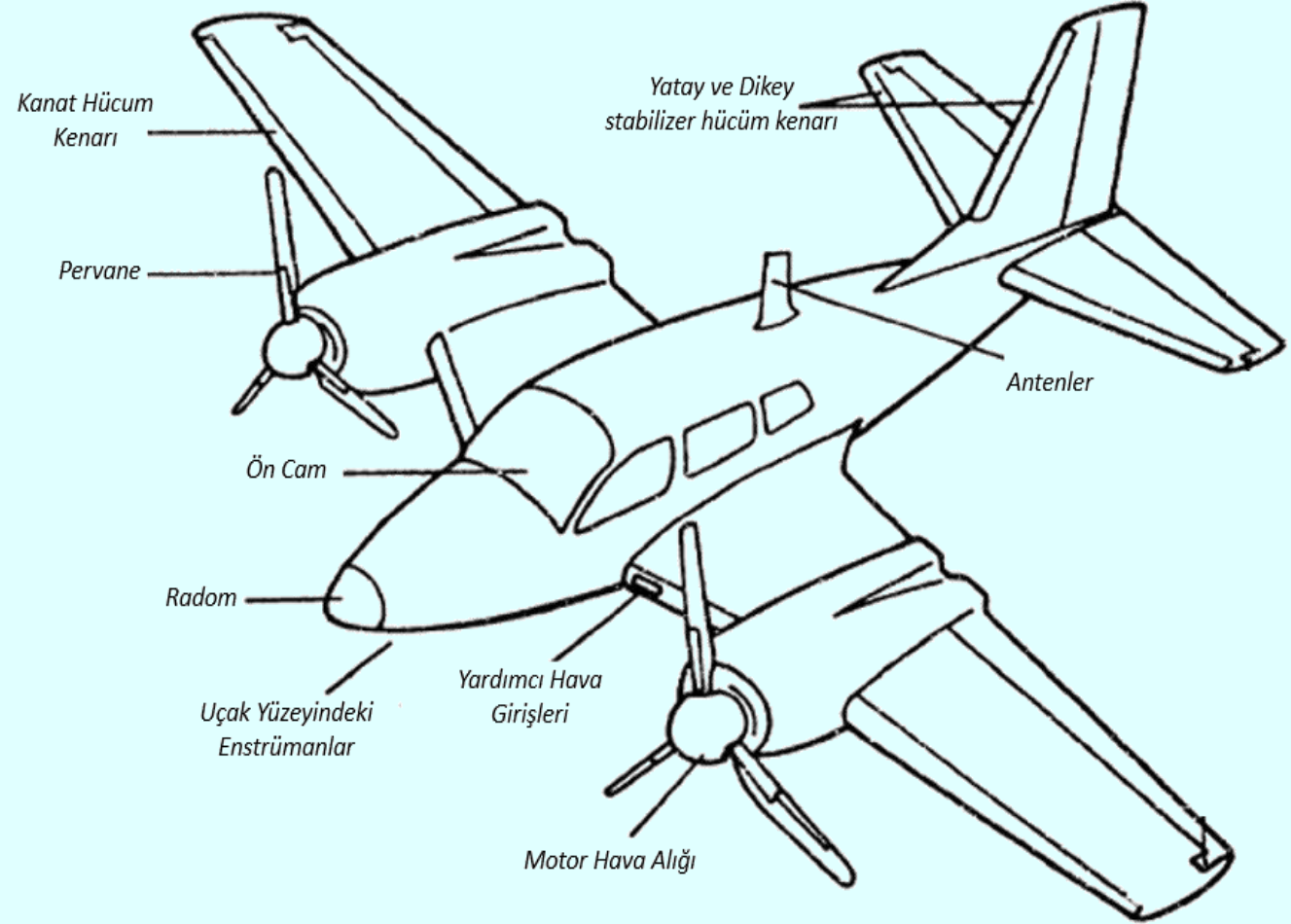
- Ortam ve yüzey sıcaklığı $< 0^{\circ}\text{C}$,
- Havanın belirli bir doygunluğa ulaşması,
- Aşırı soğumuş su damlacığının bulunması,
- Buz oluşumu için gerekli enerji ve ısı transferini sağlayacak uçuş koşulları.

1. GİRİŞ



Şekil 2: Uçaklarda Buzlanmanın Dört Temel Kuvvete Etkisi

- ☐ Sürüklenme kuvvetinin artması
- ☐ Taşıma kuvvetinin düşürmesi
- ☐ Ağırlığın artması
- ☐ Stabilitenin etkilenmesi
- ☐ Sensör ve duyargalarda ölçüm hatası
- ☐ Stall hızının artması
- ☐ Motor arızalanması



Şekil 3: Uçaklarda Buzlanmanın Dört Temel Kuvvete Etkisi

1. GİRİŞ

Buzlanma Çeşitleri



Şekil 4: Cranfield Buzlanma Tünelinden Kanat Üzerinde Oluşan Buz Şekilleri: Karsı Buz (Sol) ve Camsı Buz (Sağ) [Alegre, 2010]



UHUK 2020

8. ULUSAL HAVACILIK ve UZAY KONFERANSI

9-11 Eylül 2020, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara



1. GİRİŞ

Buzlanmayı Etkileyen Parametreler

Aerodinamik Parametreler

Uçak hızı
Uçak geometrisi
Buzlanmaya maruz kalınan süre

OpenFoam

Meteorolojik Parametreler

Sıvı su içeriği
Hava Sıcaklığı
Damlacık çapı
İrtifa

WRF



UHUK 2020
8. ULUSAL HAVACILIK ve UZAY KONFERANSI
9-11 Eylül 2020, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara



2. YÖNTEM

2.1. Buz Birikim Yöntemi

- Genişletilmiş Messinger Modeli
- NACA 0012 kanat profili üzerindeki maksimum buz kalınlığı
 - 1-Boyut
- 8° hücum açısı
- 58.1 m/s hava hızı
- Birikim verimliliği 0.55
- Türkiye üzerinde Rota
- Çeşitli irtifalar

2. YÖNTEM

Akış Alanı

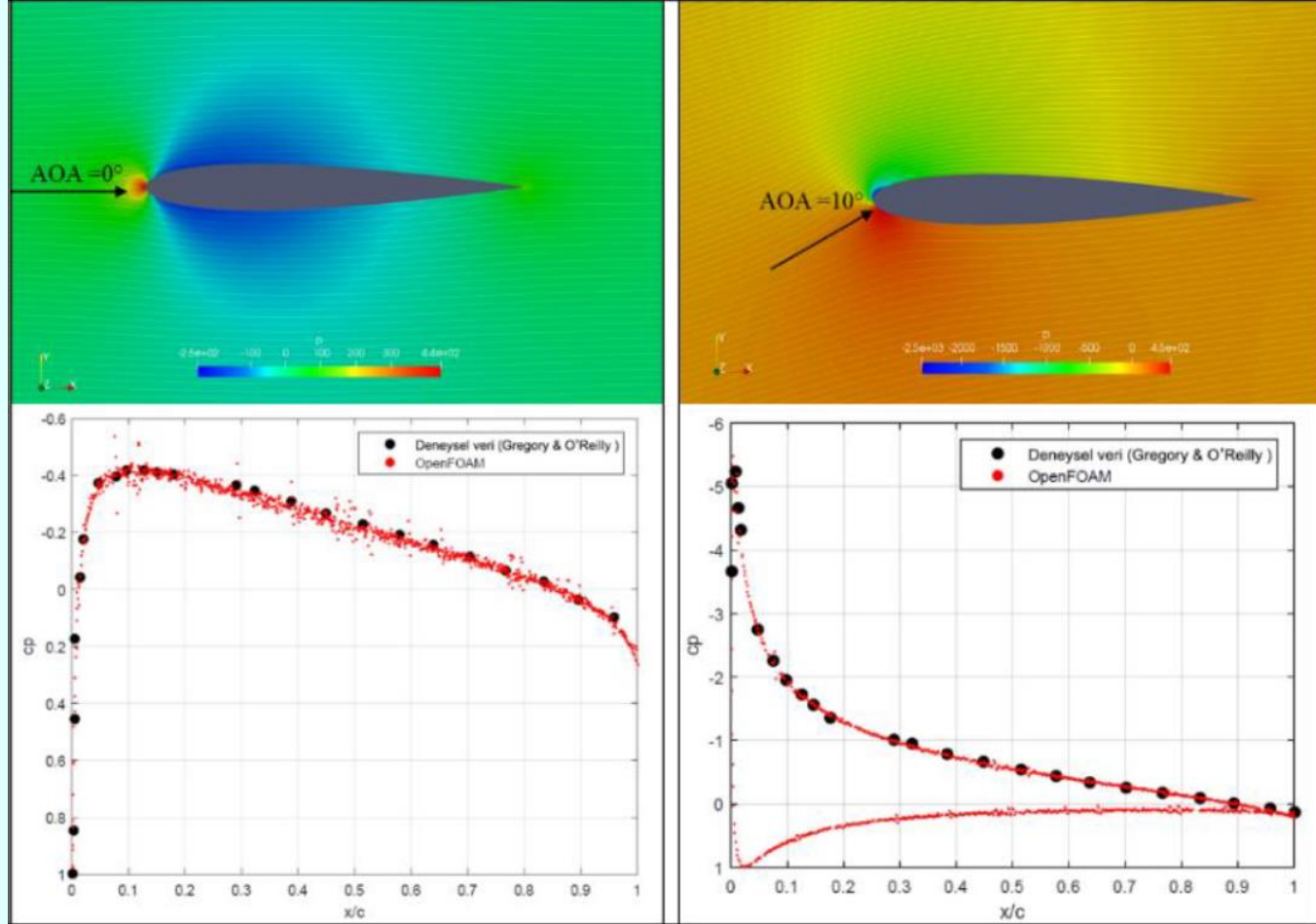
Spalart-Allmaras
türbülans modeli



Uçuş Koşulları



Geometri



Yüzey üzerinde
maksimum hız noktası
(@ 8° -> 102 m/s)

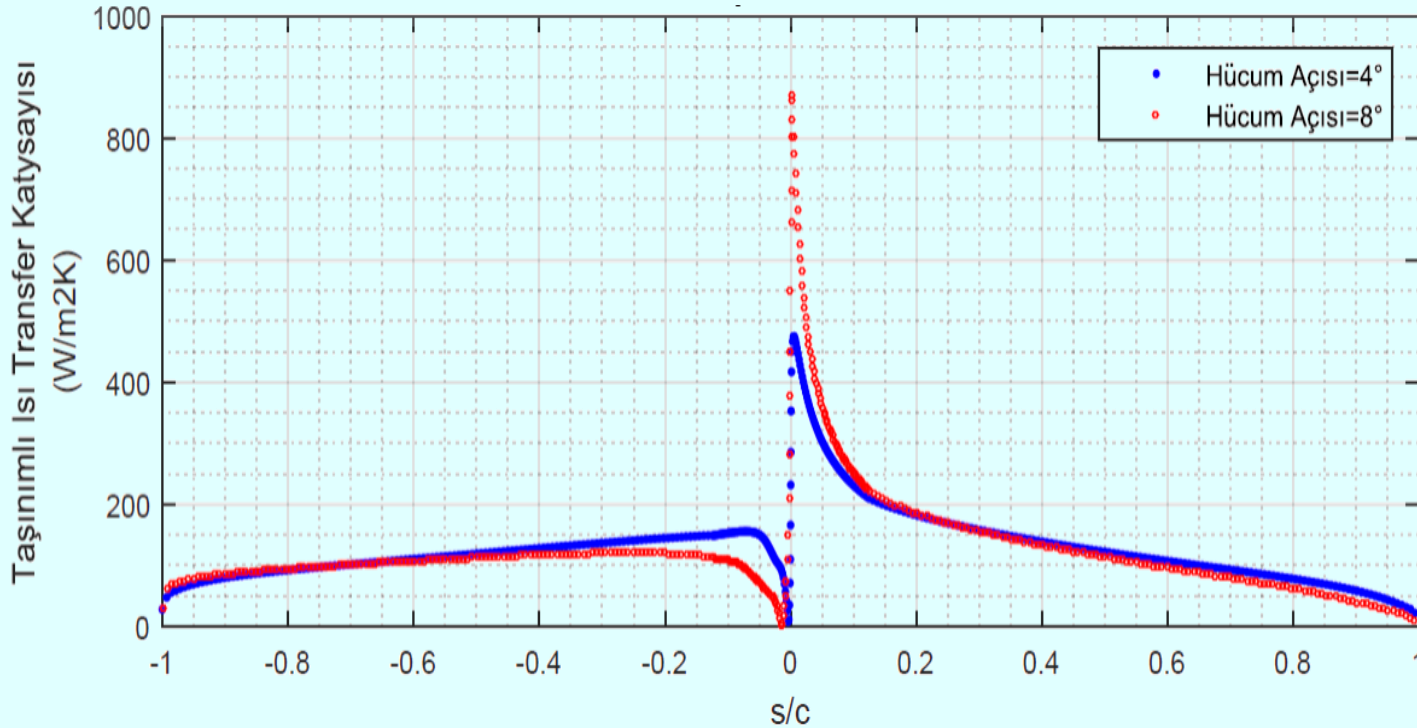


Basınç ve hız dağılımı

Şekil 5 : 0° ve 10° Hücum Açılarında Kanat Profili Etrafındaki Basınç Dağılımı

2. YÖNTEM

Basınç ve hız dağılımı



Taşınımli Isı Transfer Katsayısı:

$$h_c = \frac{\rho_\infty \times V_\infty \times c_p \times c_f}{2}$$

Yüzey sürtünme katsayısı:

$$c_f = \frac{\tau}{\frac{1}{2} \rho V_\infty}$$

Yüzey kayma gerilimi:

$$\tau = \mu \times \frac{\partial u}{\partial y}$$

Şekil 6: Taşınımli ısı transfer katsayısının kanat profili üzerinde dağılımı (4° ve 8°)



UHUK 2020

8. ULUSAL HAVACILIK ve UZAY KONFERANSI

9-11 Eylül 2020, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara



2. YÖNTEM

Enerji Dengesi:

$$q_{taşınım}'' + q_{buharlaşıma}'' + q_{damlacık}'' = q_{kinetik}'' + q_{gizli_{ısı}}'' + q_{aerodinamik}''$$

Karsı buz kütle dengesi ile hesabı:

$$b(t) = \frac{\beta V_{\infty} S}{\rho_k} t$$

Camsı buz kalınlığını ifade eden diferansiyel denklem

$$\rho_c L_f \frac{\partial b}{\partial t} = \left\{ k_s \frac{(T_d - T_y)}{b} k_s \rho_s \frac{(q_{aero} + q_{kin}) - (H_{hs} + \beta V_{\infty} S c_s + X_s e_0)(T_d - T_h)}{k_s \rho_s + s(H_{hs} + \beta V_{\infty} S c_s + X_s e_0)} \right\}$$



UHUK 2020

8. ULUSAL HAVACILIK ve UZAY KONFERANSI

9-11 Eylül 2020, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara



2. YÖNTEM

Parametreler	Değer	Birim
Suyun özgül ısısı (c_s)	4218	J/kg.K
Su yoğunluğu (ρ_s)	1000	kg/m ³
Camsı buz yoğunluğu (ρ_c)	917	kg/m ³
Karsı buz yoğunluğu (ρ_k)	880	kg/m ³
Suyun termal iletkenliği (k_s)	0.571	W/mK
Buzun termal iletkenliği (k_b)	2.18	W/mK
Gizli füzyon ısısı (L_f)	3.344e+05	J/kg
Buharlaşma gizli ısısı (L_E)	2.26e+6	J/kg
Lewis sayısı (Le)	13.4	
Buharlaşma katsayısı X_s	11	m/s

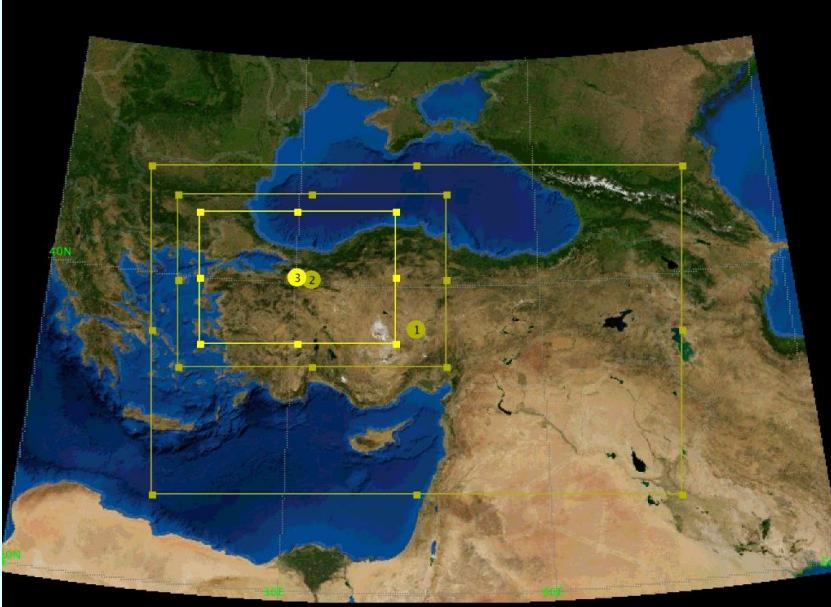
Çalışma Kabulleri

- Buz birikiminin sıfır olduğu durumdaki sıcaklık, uçak kanadı yüzeyi sıcaklığına eşit.
- Faz değişimi esnasında buz ve suyun sıcaklığı donma sıcaklığına eşit.
- Suyun donma sıcaklığı 0°C olarak alınır.
- Kanat üzerinde önce karşı buzlanma oluşur. Daha sonra karşı buz, camsı buza dönüşerek üst tabakada su birikmeye başlamaktadır.
- Rota üzerindeki iki grid noktası arasındaki değişim ihmal edilmiştir.

Tablo 1: Buzlanma analizinde kullanılan parametre ve sabit değerler (Myers, 2001).

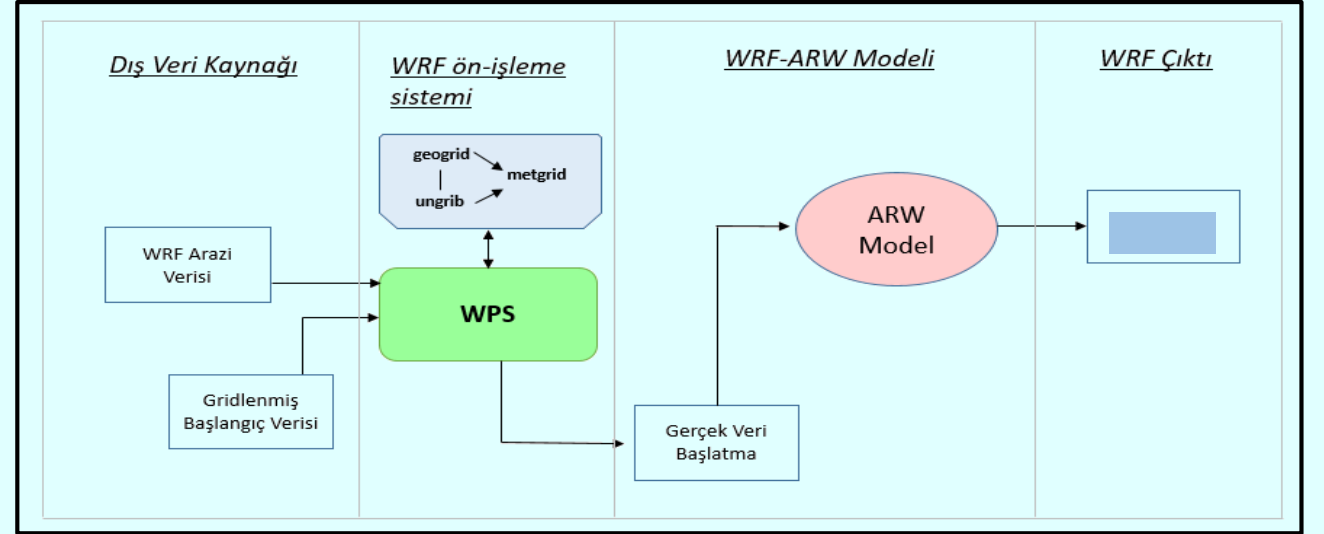
2. YÖNTEM

2.1. Hava Tahmin Yöntemi



Şekil 7: WRF Çalışma Bölgesi

WRF



Şekil 8: WRF-ARW Modelinin Çalışma Şeması

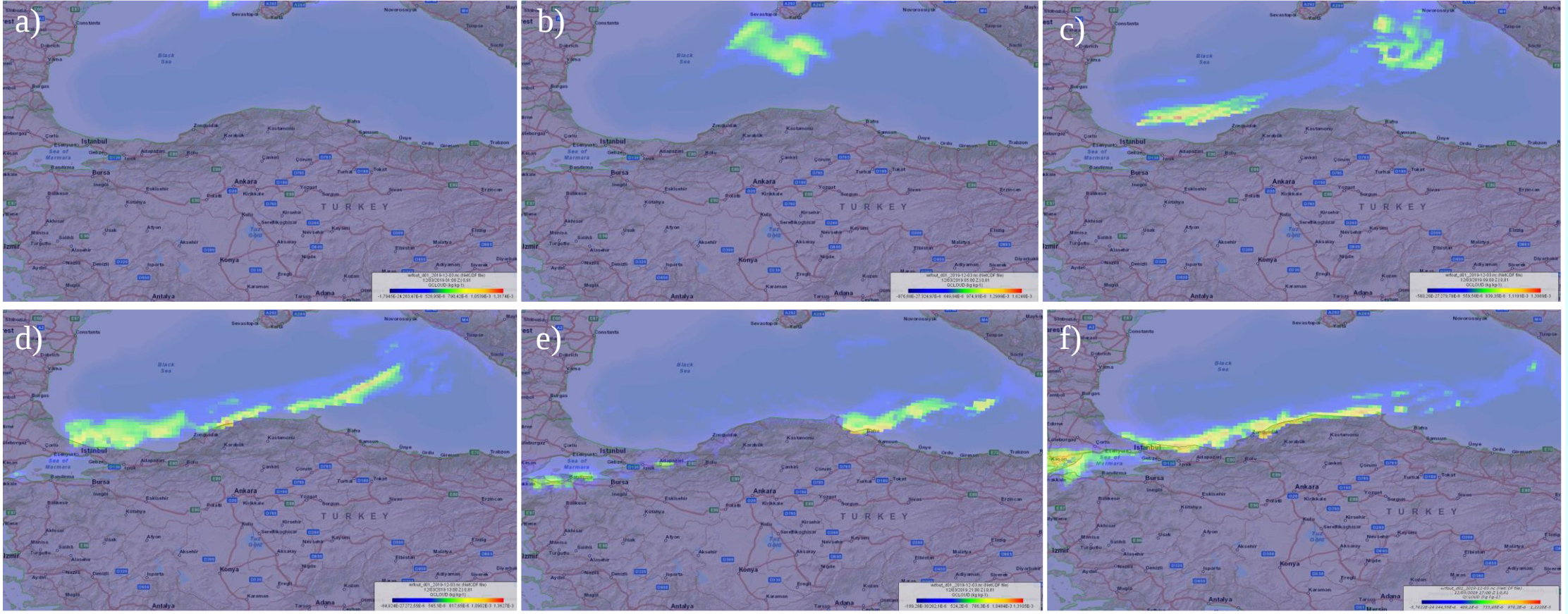
3. UYGULAMALAR



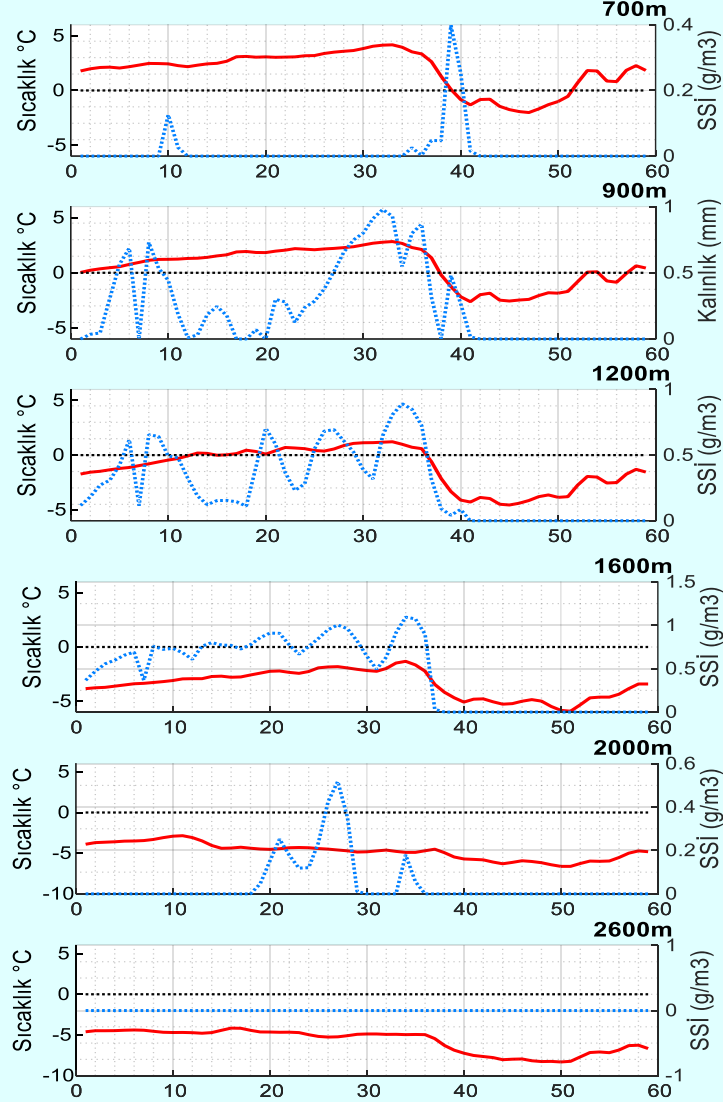
- 9 km çözünürlük
- 58 grid noktası

Şekil 9: Uçuş Rotası

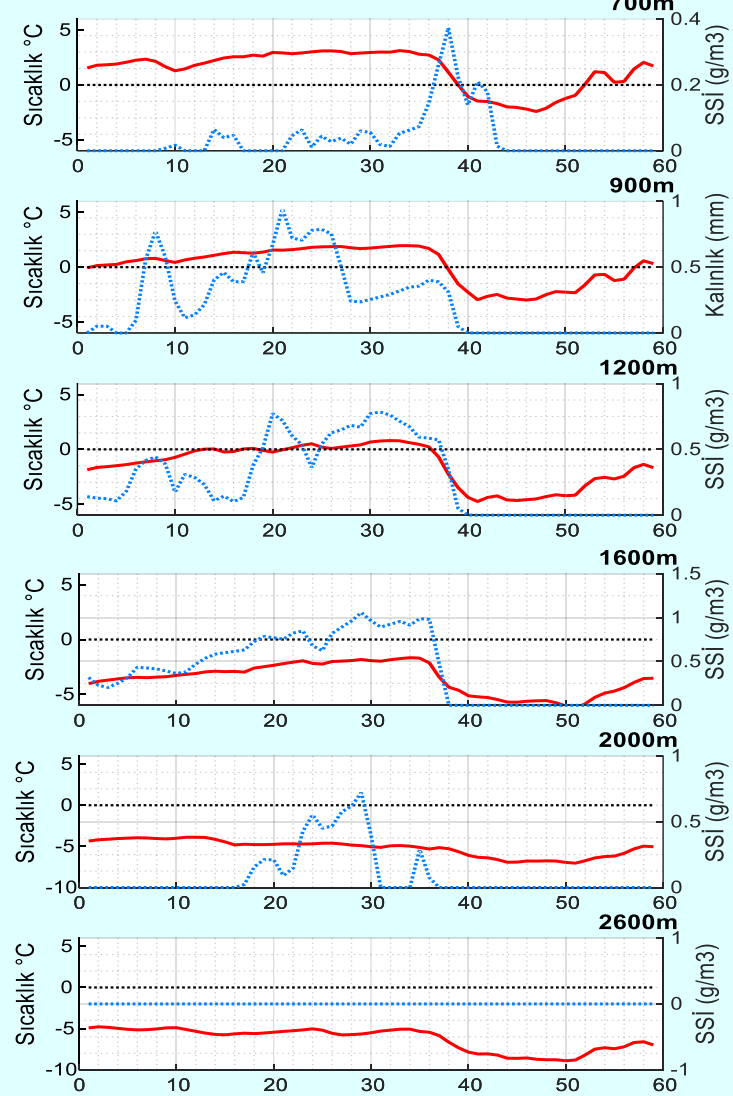
3. UYGULAMALAR



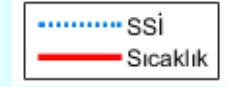
Şekil 10: Türkiye Üzerinde Belirlenen Rota için 1650 m İrtifa ve 3 Aralık 2019 Tarihinde Saatlik Sıvı Su İçeriğinin WRF Çıktısı;
(a) 01:00, (b) 05:00, (c) 09:00, (d) 13:00 (e) 17:00 (f) 21:00



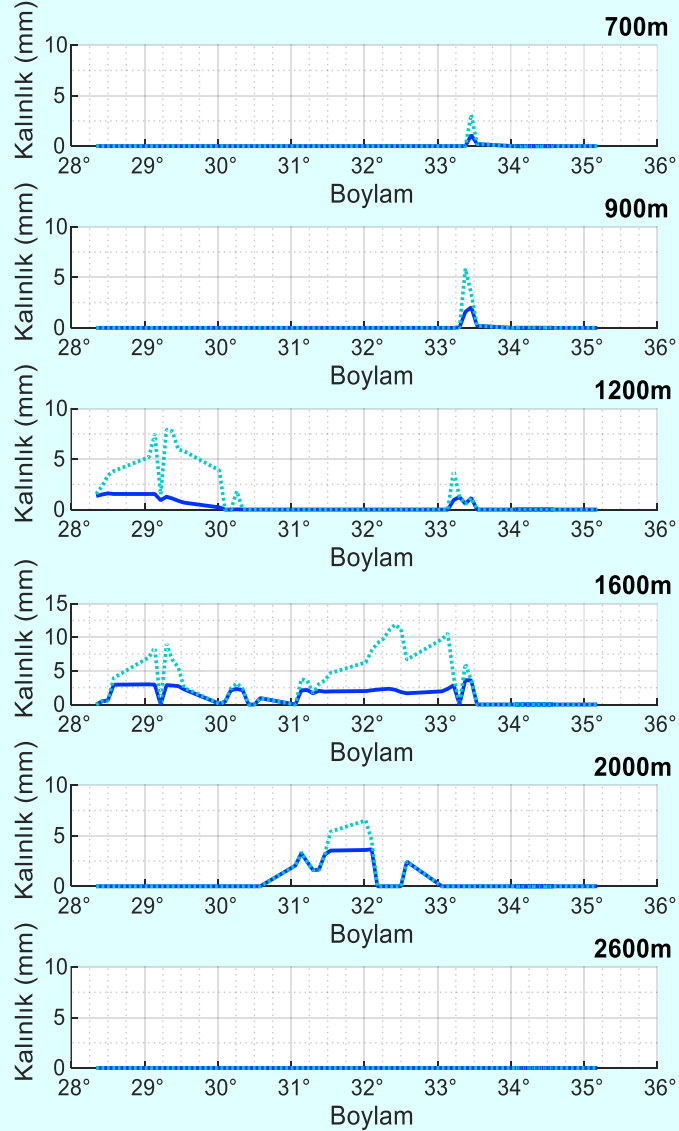
Şekil 11: T= 15:00



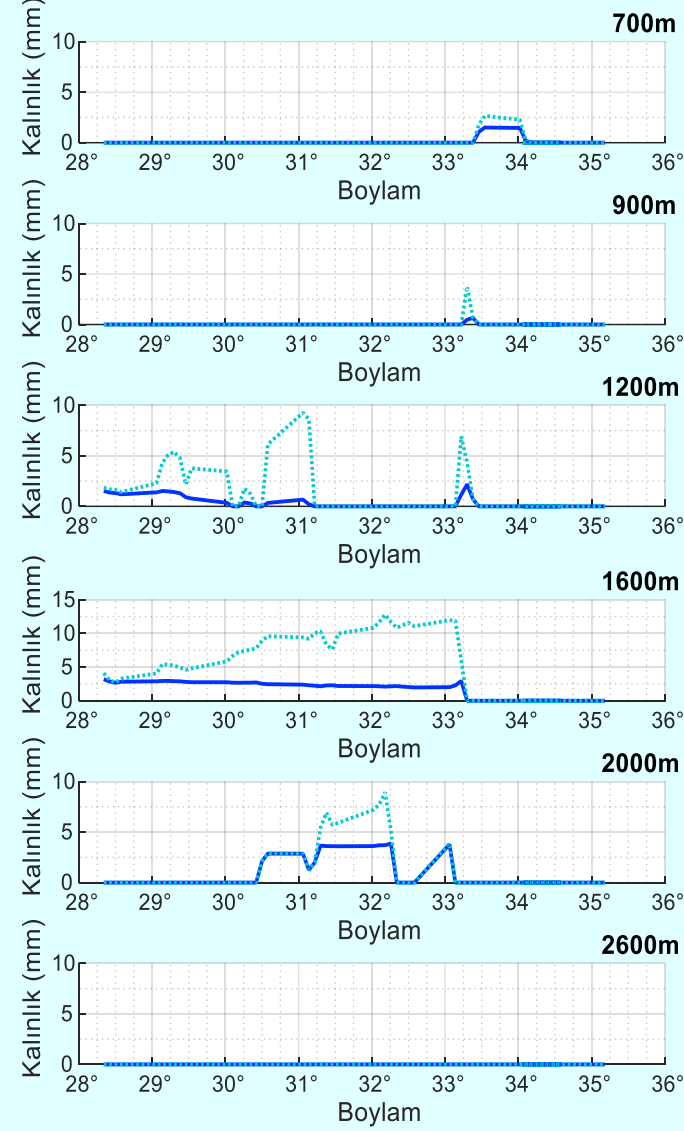
Şekil 12: T= 16:00



3 Aralık 2019,
T= 15:00 ve 16:00 Zaman Adımı
Sıcaklık ve Sıvı Su İçeriğinin Yatay ve
Düşey Eksen Boyunca Değişimi



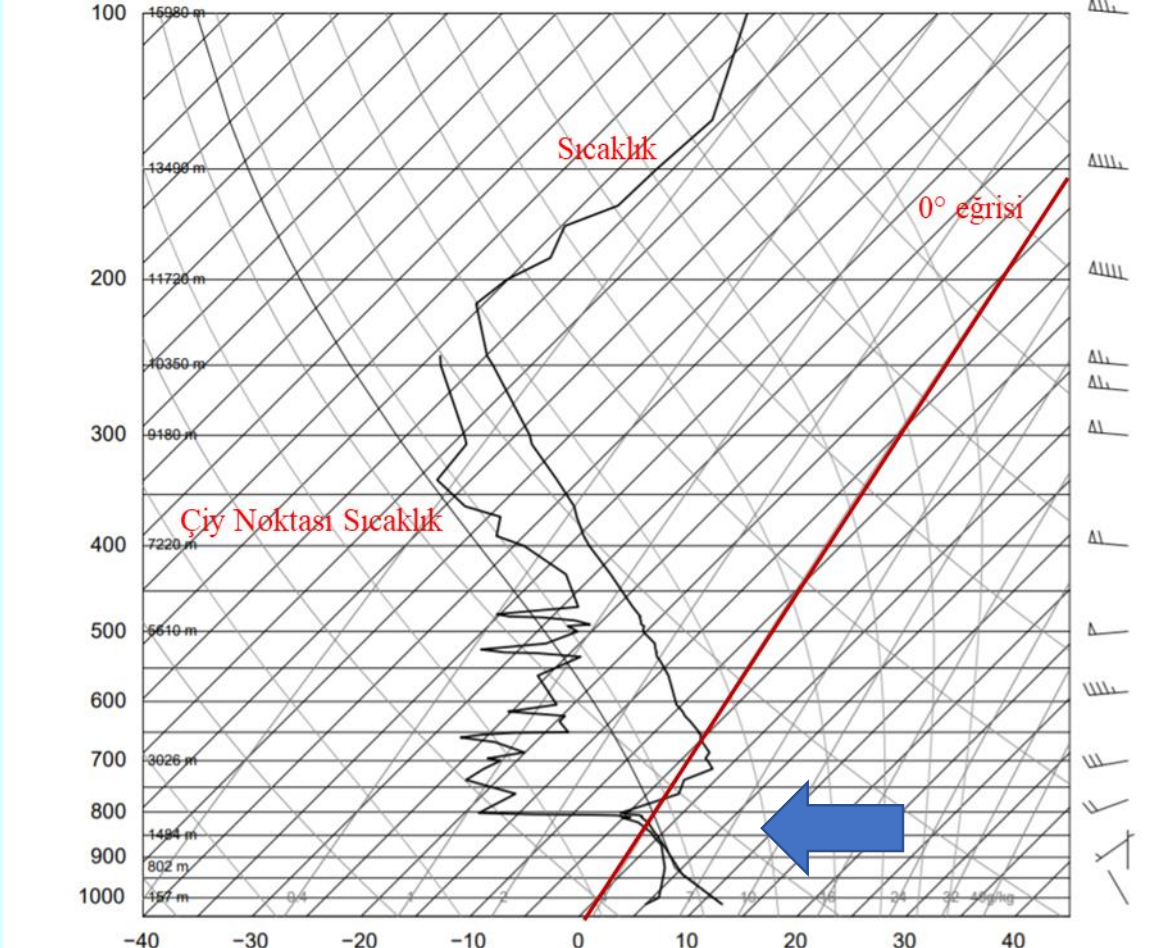
Şekil 13: T= 15:00



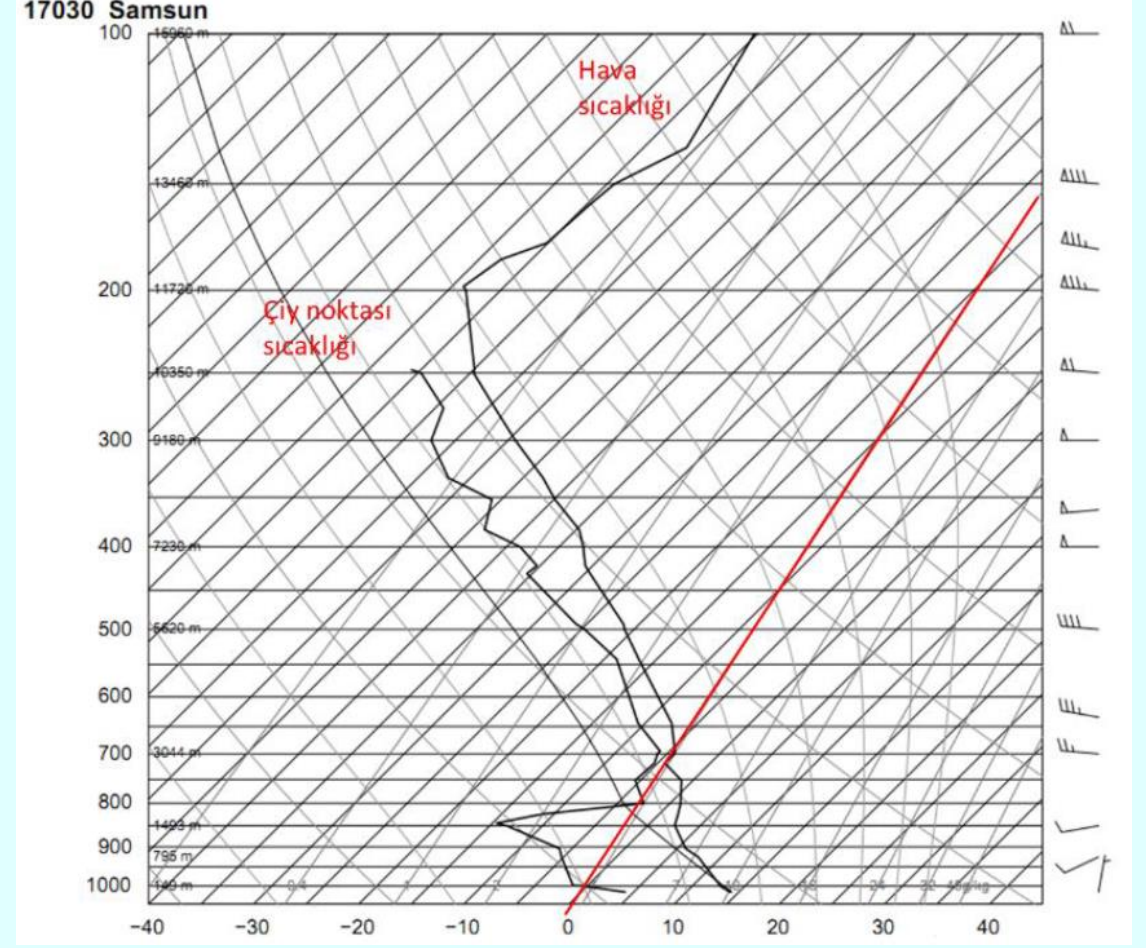
Şekil 14: T= 16:00

3 Aralık 2019,
T= 15:00 ve 16:00 Zaman Adımı
Çeşitli İrtifalarda Rota Boyunca
Buz Birikim Tahmini

Hava Tahmin Raporları



Şekil 15: 3 Aralık 2019 Saat 12:00 UTC İstanbul bölgesi için Skew-T Log-P Sondaj Balonu Diyagramı (UWYO, 2019)



Şekil 16: 3 Aralık 2019 Saat 12:00 UTC Samsun bölgesi için Skew-T Log-P Sondaj Balonun Diyagramı (UWYO, 2019)



UHUK 2020

8. ULUSAL HAVACILIK ve UZAY KONFERANSI

9-11 Eylül 2020, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara



3. SONUÇ

Yapılan çalışmada belirlenen bir rota üzerinde hava tahmini modeli ve nümerik hesaplamalar sonucunda elde edilen parametrelerin buzlanma ile ilişkisi incelenmiştir.

Uçuş rotası boyunca çeşitli irtifalarda oluşan buzlanma bölgeleri, çeşidi ve kalınlığı hesaplanmıştır. Buzlanmanın aynı rota üzerinde irtifa etkisi incelenmiştir.

Uçuş planı üzerinde düşey ve yatay eksen boyunca 41° kuzey enlemi ve 28° - 36° doğu boylamı boyunca 15:00 ve 16:00 yerel saat için 3.12.2019 tarihi için buz birikim tahmin modeli uygulanmıştır.

Buzlanma, 700 m ile 2000 m arasında görülürken, en fazla buz birikim 10-15 mm kalınlık ile 1600 m irtifasında camsı buz olarak belirlenmiştir.

Daha sonra hesaplanan buzlanma bölgeleri ile Skew-T diyagramları karşılaştırarak, hava sıcaklığı ve nemlilik parametrelerine göre hesaplamaların validasyonu yapılmıştır.

Rota üzerinde sıvı su miktarının artması ile yüzey üzerinde hem buz kalınlığının artmasına hem de buz tipinin kırılgı buzdan camsı buza geçişi görülmektedir.