

SAYISAL HAVA TAHMİN MODELLERİ KULLANILARAK BUZLANMA ANALİZ VE TAHMİNİ

Canberk KARADAVUT¹, Tayfun DALKILIÇ², Yüksel YAĞAN³

(1) Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Tahminler Dairesi Başkanlığı, ckaradavut@mgm.gov.tr

(2) Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Tahminler Dairesi Başkanlığı, tdalkilic@mgm.gov.tr

(3) Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Tahminler Dairesi Başkanlığı, yyagan@mgm.gov.tr

ÖZET

Buzlanma adyabatik ve adyabatik olmayan sistemler içinde gelişen fiziksel bir süreçtir. Buzlanmanın meydana gelmesinde sistem içerisindeki nemlilik ve hava sıcaklığı en önemli rolü oynar. Ancak buzlanmanın şiddeti sıvı su içeriği, sıcaklık ve damlacık çapı ile doğrudan ilgilidir. Bu bağlamda, buzlanma analizi yapılabilmesi için hava sıcaklığı, damlacık çapı ve sıvı su içeriğine bağlı çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Çalışmada, sayısal tahmin modelleri verileri kullanılarak buzlanma için geliştirilen algoritmaların uygulamaları yapılmıştır. Böylece tahmini buzlanma ürünleri de elde edilebilmektedir. Elde edilen ürünler uçuş seviyelerinde harita şeklinde ve düşey atmosferik analiz verisi olarak sunulmuştur. Ayrıca termodinamik diyagramlar kullanılarak her meydana grid verileri buzlanma yönünden analiz edilmiştir. Bununla birlikte, buzlanmanın temel fiziği ve buzlanma şiddeti detaylı olarak açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Bulut İçi Buzlanma, Uçaklarda Buzlanma, Buzlanma Çeşidi, Buzlanma Şiddeti, Sayısal Hava Tahmini*

ABSTRACT

Icing is a physical process which occurs in adiabatic and non-adiabatic systems. Humidity and air temperature in the atmosphere play the most important role in occurrence of icing. However, severity of icing depends on liquid water content, temperature and droplet size directly. Thus, to analyze icing processes, different algorithms improved based on liquid water content, temperature and droplet size. These algorithms implemented by using numerical predictions model data. As a result, estimated icing outputs obtained. These outputs are presented at flight levels both in maps and vertical atmospheric profile. Additionally, grided model data analyzed in terms of icing by using thermodynamic diagrams. At the same time, physics and severity of icing are explained in detail.

Keywords: *Inner Clouds Icing, Aircraft Icing, Icing Type, Icing Severity, Numerical Weather Prediction*

GİRİŞ

Havacılık için en önemli meteorolojik olaylardan biri buzlanmadır. Buzlanmanın etkilerinin maddi boyutları olduğu kadar insan yaşamını etkileyebilecek önemli sonuçları da olabilmektedir. Havacılıkta buzlanma, atmosferde bulunan suyun uçağın yüzeyinde donarak tutunması olarak tanımlanır. Uçak üzerindeki hava akışının bozulmasına, uçağın ağırlığının

artmasına ve kanatlar üzerindeki kaldırma kuvvetinin azalmasına neden olarak uçuş güvenliğini, şiddetine ve tipine bağlı olarak tehlikeli bir biçimde etkileyebilir. Ancak birden fazla meteorolojik parametre ve uçak tipine göre farklılık gösteren buzlanmanın serbest atmosferde tespit edilmesi ve gözlemlenmesi oldukça zordur. Bununla birlikte uçuş güvenliği açısından buzlanma tahmini önemlidir (Meteorological Techniques, 1998).

1. UÇAKLARDA BUZLANMA

Uçaklarda görülen buzlanma, genellikle 0 °C ila -40 °C sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir. Kümülonimbus bulutunun içerisinde daha düşük sıcaklıklarda da buzlanma olabilmektedir. Daha genel ifadeyle, 30.000 feet'in altında ve -30 °C'nin altında donma çok hızlı bir şekilde gerçekleşir. Atmosferde herhangi bir seviyede buzlanmanın olabilmesi için yeterli miktarda nemin olması gerekmektedir. Uygun nemlilik koşullarında, meydana gelecek soğuma sonucunda bulut oluşumu, buzlanmanın temel mekanizmalarından birisidir. Bu bağlamda bulut oluşumunda, arazi yapısı, cephesel etkiler ve hava kütleleri önemli rol oynar (A Comparison of Aircraft Icing Forecast Models, 1995).

Uçaklarda meydana gelen buzlanmaya etki eden meteorolojik faktörler, Sıvı Su İçeriği (Liquid Water Content, LWC), sıcaklık ve sıcaklığa bağlı yükseklik ve damlacıkların büyüklüğü olarak sıralanabilir (Meteorological Technician, 1996).

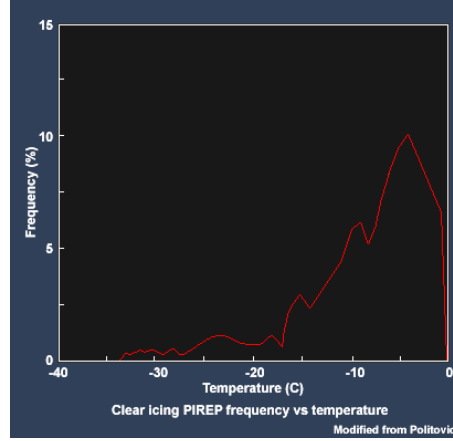
Uçak buzlanmasının tespiti ve tahmin edilebilmesi için pek çok çalışma yapılmıştır. Ancak bu çalışmalar, buzlanmanın tespit ve tahmininin zor olduğunu ortaya koymuştur. Günümüzde, uçak buzlanmasının belirlenmesinde ve verifikasyon çalışmalarında, yüksek atmosfer gözlem sistemleri kullanılmaktadır. Söz konusu gözlem sistemleri ile atmosfer üç boyutlu olarak gözlemlenmesine rağmen, sinoptik ölçekte, gözlem sistemlerinin doğasından kaynaklanan eksikliklerden dolayı tatminkâr sonuçlar elde edilememektedir.

2. BUZLANMA ÇEŞİTLERİ

Genel olarak, uçakları etkileyen buzlanma, üç ana sınıfta değerlendirilir. Bunlar, şeffaf (clear), kırağı (rime) ve karışık tip (mixed) buzlanmadır (Meteorological Techniques, 1998).

2.1 ŞEFFAF BUZLANMA

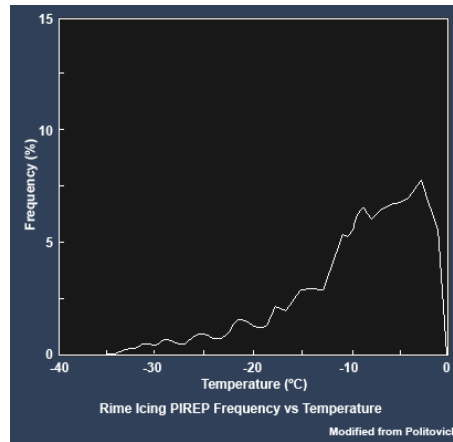
Şeffaf buzlanma, 0 °C'nin hemen altındaki sıcaklıklarda meydana gelir. Bu sıcaklık değerlerinde buz ile aşırı soğumuş su damlacıkları birlikte bulunurlar. Ancak aşırı soğumuş su damlacıkları yarı saydam görünümündedir. Şeffaf buzlanma, uygun sıcaklıkta uçak yüzeyinde çok çabuk oluşabilir ve fark edilmesi zordur (Şekil 1).



Şekil 1. Pilot raporlarına göre, şeffaf buzlanma için, çeşitli sıcaklıklardaki frekans durumu.

2.2 KIRAĞI TİP BUZLANMA

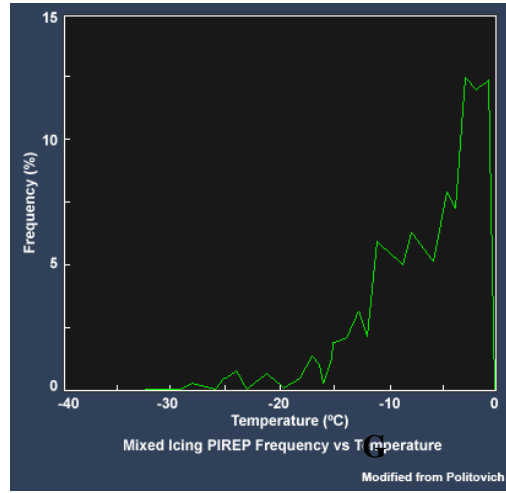
Kırağı tip buzlanma, şeffaf buzlanmaya oranla daha düşük sıcaklıklarda meydana gelir. Buzlanma meydana geldiğinde, aşırı soğumuş su damlacıkları azalmıştır. Oluşan buzun fiziksel yapısı, statik ve dayanıklı olmakla birlikte, geçirgenliği de azdır. Gerek buzun yapısı, gerekse de fiziksel zarar verme etkisinden dolayı bu tip buzlanma uçaklar için oldukça tehlikelidir (Şekil 2).



Şekil 2. Pilot raporlarına göre, kırağı tip buzlanma için, çeşitli sıcaklıklardaki frekans dağılımı.

2.3 KARIŞIK TİP BUZLANMA

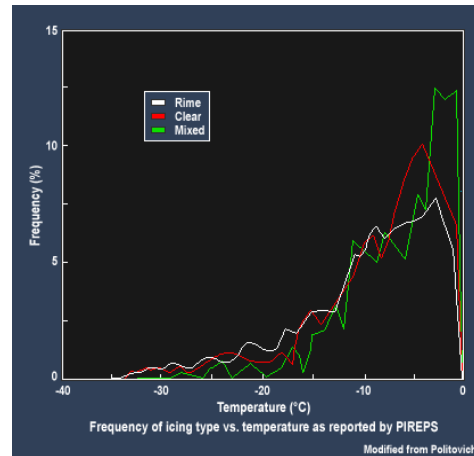
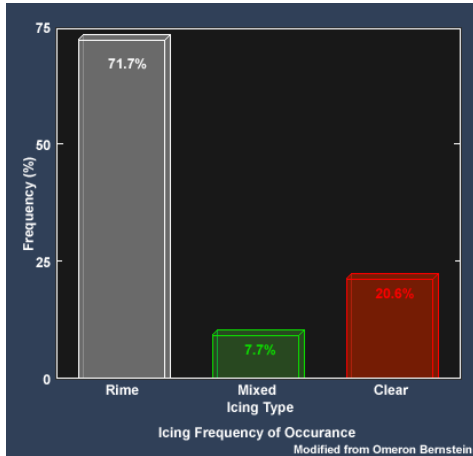
Karışık tip buzlanma, şeffaf ve kırağı tip buzlanmanın birleşimidir. Karışık tip buzlanmanın oluşumunda, hava sıcaklığı, damlacık çapı, LWC, aşırı soğumuş su miktarı ve rüzgâr önemli rol oynar (Politovich ve diğ., 1991). Karışık tip buzlanmanın yapısından dolayı tahmin edilmesi zordur. Oluşturduğu tehlike bakımından şeffaf tip buzlanmayla benzerlik gösterir. Aşırı soğumuş su damlacıklarının, şeffaf ve kırağı tip buzlanmanın bir arada bulunması dikkat çekicidir (Şekil 3).



Şekil 3. Pilot raporlarına göre, karışık tip buzlanma için, çeşitli sıcaklıklardaki frekans dağılımı.

2.4 ŞEFFAF, KIRAĞI VE KARIŞIK TİP BUZLANMANIN OLUŞUMU

Buzlanma tipi ve sıcaklık ilişkisi çokça araştırılmış konuların başında gelmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar aşağıdaki grafiklerde özetlenmiştir (Şekil 4).

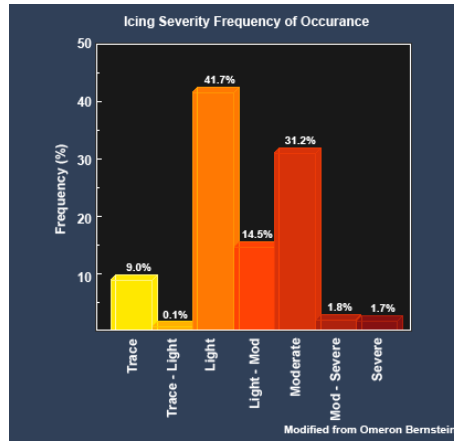


Şekil 4. Buzlanma tipinin dağılım frekans grafiği ve gözlemlendiği sıcaklıklar.

Grafiklerden de görüldüğü üzere kırığı tipi buzlanmaya daha sık rastlanmaktadır. Bununla birlikte, genel olarak şeffaf buzlanmaya 0 °C ile -10 °C, kırığı tip buzlanmaya -15 °C ile -40 °C, karışık tip buzlanmaya ise -10 °C ile -15 °C sıcaklık aralıklarında rastlanmaktadır (Meteorological Techniques, 1998).

3. BUZLANMA ŞİDDETİ

Buzlanma şiddeti, iz şeklinde (trace), hafif (light), orta şiddetli (moderate) ve şiddetli (severe) buzlanma olarak dört sınıfta incelenir (Politovich ve diğ., 1991). Bu sınıflandırma, uçak yüzeyindeki buzlanmanın durumuna göre yapılmıştır. İz şeklinde buzlanma durumunda uçak yüzeyinde çok az bir birikme meydana gelirken, şiddetli buzlanmada uçak yüzeyinde meydana gelen buzlanmanın kalınlığı 5 cm'yi aşabilir (A Comparison of Aircraft Icing Forecast Models, 1995). Bu durumda, atmosferdeki LWC miktarı ön plana çıkar. LWC, buzlanma şiddetinin tespit edilmesinde önemli bir parametredir (Politovich ve diğ., 1995). Söz konusu parametre, günümüzde gözlemlerle elde edilmekle birlikte, sayısal hava tahmin model çıktıları kullanılarak adyabatik yöntemlerle hesaplanabilmektedir (Politovich ve diğ., 1991). Şekil 5'te görüldüğü üzere atmosferde genellikle hafif ve orta şiddetli buzlanma görülmektedir.



Şekil 5. Buzlanma şiddeti frekans dağılımı.

4. BUZLANMA TAHMİN VE ANALİZİNDE KULLANILAN ALGORİTMALAR

Buzlanmanın belirlenmesi ve tahmin edilmesiyle ilgili pek çok deneysel ve matematiksel yöntemler geliştirilmiştir. Pilotlardan alınan buzlanma raporları algoritma çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Bu doğrultuda ilk önemli ve veriye dayanan çalışma, Brown ve arkadaşlarının 1993 yılında yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada, uçak gözlemlerinden elde edilen objektif veriler kullanılarak buzlanmanın olduğu durumlardaki meteorolojik parametreler

incelenmiştir. 1977 yılında, Abromovich ve diğ. yaptığı çalışmalar ile LWC ve sıcaklık arasındaki ilişkinin buzlanmaya etkisi ortaya konulmuştur. 1989 yılında, Bernhardt düşey atmosferde meydana gelen yoğunlaşma değişimini kullanmış ve bu metodu “Condensation Supply Rate, CSR Method” olarak adlandırmıştır. Günümüzde sayısal hava tahmin modellerinden elde edilen veriler kullanılarak geliştirilmiş olan çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır. Buna örnek olarak, Politovich ve Sand’in 1991 yılından itibaren geliştirmeye başladığı Buzlanma Şiddet İndeksi (Icing Severity Index) gösterilebilir. LWC, damlacık çapı ve düşey hız gibi meteorolojik parametreler kullanılarak Buzlanma Şiddet İndeksi hesaplanır.

4.1 ÇALIŞMADA KULLANILAN ALGORİTMA

Çalışmada, buzlanma tipi ve şiddeti iki farklı algoritmaya göre sayısal hava tahmini modellerinden elde edilen parametreler kullanılarak hesaplanmıştır.

4.1.1 BUZLANMA TİPİ ALGORİTMASI

Buzlanma tipi algoritmasında, sıcaklık eşik değerleri temel alınmıştır. Söz konusu eşik değerleri, laboratuvar ortamında yapılan deneyler ve gerçek atmosfer şartlarında yapılan uçak gözlemleriyle elde edilmiştir. Serbest atmosferde 0 ila -10 °C arasındaki yerlerde şeffaf buzlanma, -10 ila -15°C arasında karışık tip buzlanma, -15 to -40°C arasında da kırağı tip buzlanma tespit edilmiştir (Meteorological Techniques, 1998).

4.1.2 BUZLANMA ŞİDDETİ ALGORİTMASI

Buzlanma şiddeti algoritmasında, öncelikle serbest atmosferde bulut tespit işlemleri yapılmıştır. Bulut içerisindeki LWC değerleri hesaplanmış ve söz konusu değerlerin sınır şartlarına göre buzlanma şiddeti sınıflandırılmıştır. Böylelikle bulut içi buzlanma şiddeti algoritması uygulanmıştır (Smithsonian Meteorological Tables).

LWC, bulutun içerisinde, soğuma, gizli ısının açığa çıkması vb. fiziksel etkiler sonucunda meydana gelen yoğunlaşma ile birlikte açığa çıkan sıvı su miktarıdır. LWC, gözlemler ve adyabatik yöntemlerle hesaplamalar sonucu elde edilmektedir. Çalışmada, gözlemlenmiş LWC değerleri olmadığı için adyabatik yöntemler sonucunda elde edilen LWC değerleri kullanılmıştır (Smithsonian Meteorological Tables).

LWC řu formüle göre bulut tabanı esas alınarak uçuş seviyelerinde hesaplanmıştır:

$$LWC = (W_0 - W_1) \frac{P_1}{2.87T_1} \quad (1)$$

Formülde, W karışma oranlarını, P basıncı T ise sıcaklığı göstermektedir. LWC, bulut tabanından ilgili uçuş seviyesine kadar 1 hPa aralıklı olarak hesaplanmıştır. 0 indisi bulut tabanını ve ardışık seviyeleri, 1 indisi ise bir üst seviyeyi göstermektedir. Hesaplanan LWC'nin birimi g/m³'tür.

Tablo 1. *Buzlanma şiddeti ve Kritik LWC Değerleri (URL-1)*

LWC (g/m ³)	Buzlanma şiddeti
< 0.1	İz şeklinde
0.11 – 0.6	Hafif
0.61 – 1.2	Orta şiddette
>1.2	şiddetli

5. ÇALIşMADA KULLANILAN SAYISAL HAVA TAHMİN MODELİ

Weather Research and Forecasting (WRF) modeli yeni nesil, açık kaynaklı, mezo ölçekli sayısal hava tahmin modelidir. Atmosferik simülasyon sistemi ve veri (noktasal, radar ve uydu) asimilasyon eklentilerini de içeren sistem operasyonel olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'de kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan model; WRF'in eularian, hidrostatik olmayan versiyonudur. Düşeyde sigma koordinatlar kullanılmaktadır. Yatay grid yapısı Arakawa-C grid ve zaman integrasyonu Runge-Kutta ikinci ve üçüncü mertebeden şemalardır. Model iki şekilde çalıştırılabilir. Birincisi ARW (Advanced Research WRF – Gelişmiş Araştırma WRF) ve diğeri NMM (Non-hydrostatic Mesoscale Model- Non-hidrostatik Orta lekli Model). ARW, Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi (NCAR) tarafından araştırma amaçlı geliştirilmiştir. ARW sigma koordinatlarında, keskin topografik değişimlerin olduğu bölgelerde genellikle kullanılan, arazi yapısını takip eden düşey koordinat sistemini kullanılmaktadır.

Çalışmada kullanılan WRF modeli i içe iki alan birbirini besleyecek şekilde tasarlanmıştır. Dıştaki alan yatayda 13.5 km çözünürlükte ve 480x300 grid sayısı ile düşeyde 46 sigma seviyesinde koşulurken, iteki alan yatayda 4.5 km çözünürlükle 649x430 grid sayısı ve düşeyde de 46 sigma seviyede koşturulmuştur.

Modelin başlangıç ve sınır koşulları için 0.125x0.125 (Yaklaşık 15 km.) yatay çözünürlükte Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) küresel modeli olan Integrated Forecasting System (IFS) kullanılmıştır. ECMWF, Türkiye'nin de tam üyesi olduğu, 26 Avrupa ülkesi tarafından desteklenen bağımsız bir uluslararası kuruluştur (ARW Version 3 Modeling System User's Guide, 2014).

Tablo 2. Modelde kullanılan mikrofizik paketleri

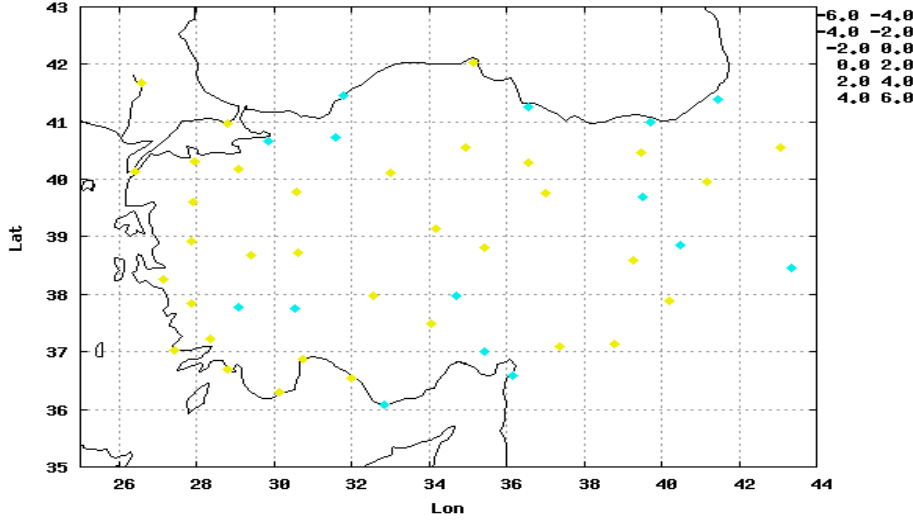
Parametrizasyon	WRF
Mikro fizik	Single-Moment 5-class
Radyasyon	RRTM/Dudhia
Bulut	Kain-Fritsch
LSM	Noah
PBL	YSU

5.1 WRF MODELİ VERİFİKASYON SONUÇLARI

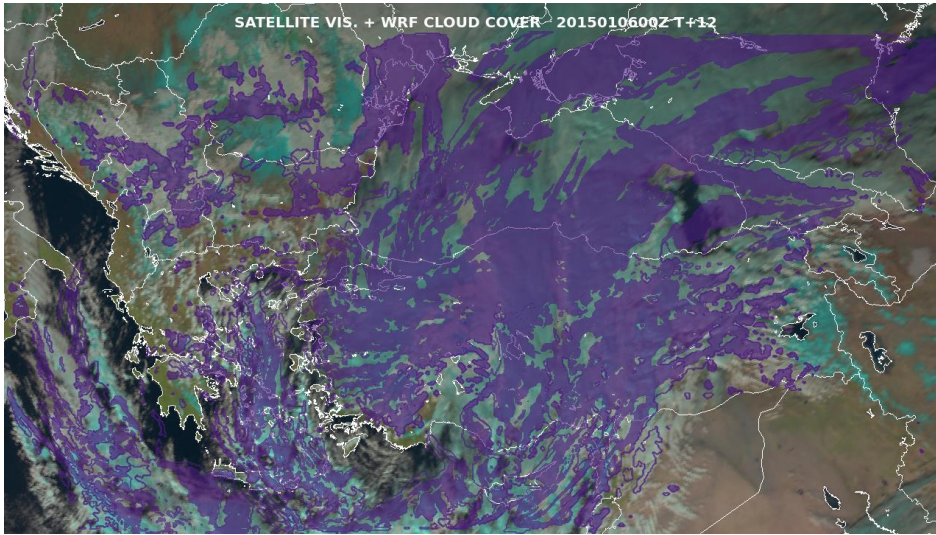
6-9 Ocak 2015 tarihlerinde ülkemiz, arktik kaynaklı soğuk çekirdekli siklon etkisine girmiştir. Havacılık faaliyetlerini de olumsuz etkileyen bu sistem çalışmada incelenmiştir. Buzlanma ile ilgili verifikasyon çalışmasının yapılabilmesi için gerekli olan gözlem verilerinin olmaması nedeni ile buzlanma algoritmasında kullanılan meteorolojik parametrelerin seçilen periyottaki tutarlılık oranları incelenmiştir. Sayısal Hava Tahmin modellerinden elde edilen ürünlerin tutarlılığı parametrenin kendisine ve modelin yapısına göre farklılık göstermektedir. Örneğin atmosferik sınır tabakanın üzerinde tahmin tutarlılıkları daha yüksekken yer parametrelerinin tahmin edilebilirliği daha düşüktür. Bununla beraber yukarı atmosfer için sıcaklık, geopotansiyel yükseklik gibi parametrelerin verifikasyon sonuçlarından daha iyi neticeler alınırken, bulut kapalılığı gibi diagnostik parametrelerin verifikasyon sonuçlarının daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Şekil 6'da 1-31 Ocak 2015 tarihleri arasında operasyonel olarak MGM'de çalıştırılan WRF Modeli'ne ait bulut kapalılığı verifikasyon sonuçları görülmektedir. Model tahmin değerleri ile sinoptik gözlem verileri kullanılarak yanlılık (bias) hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplanan değerlerden de görüleceği üzere 8 oktav üzerinden bulutluluk +2 ile -2 oktav yanlılık değeri arasında değişmektedir. Bu durum, seçilen periyotta yüksek doğruluğa işaret etmektedir.

Şekil 7’de ise 6 Ocak 2015 günü 00 UTC’de koşturulan modele ait T+12 tahmini ile 12 UTC’de gerçekleşen görünür kanala ait kompozit uydu görüntüsü görülmektedir. Şekilde koyu mavi alanlar WRF Modeline ait bulut kapalılığını göstermektedir.



Şekil 6. WRF Modeli- Gözlem Arasındaki Bulutluluk Yanlılık (Bias) Değerleri (1-31 Ocak 2015 WRF Tahmin periyodu için hesaplanmıştır)

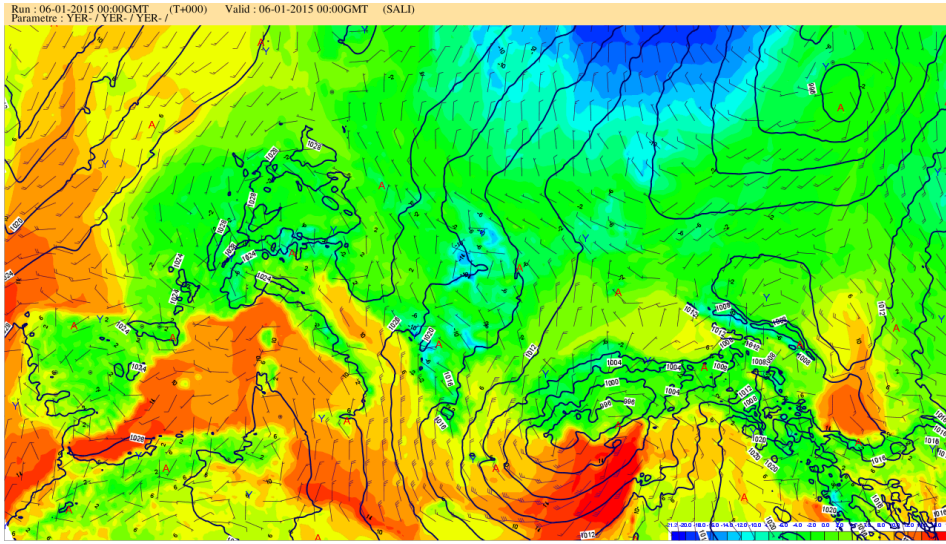


Şekil 7. WRF Modelinin 6 Ocak 2015 12 UTC Tahmini İle 12 UTC’de Gerçekleşen Görünür Kanal Kompozit Uydu Görüntüsü

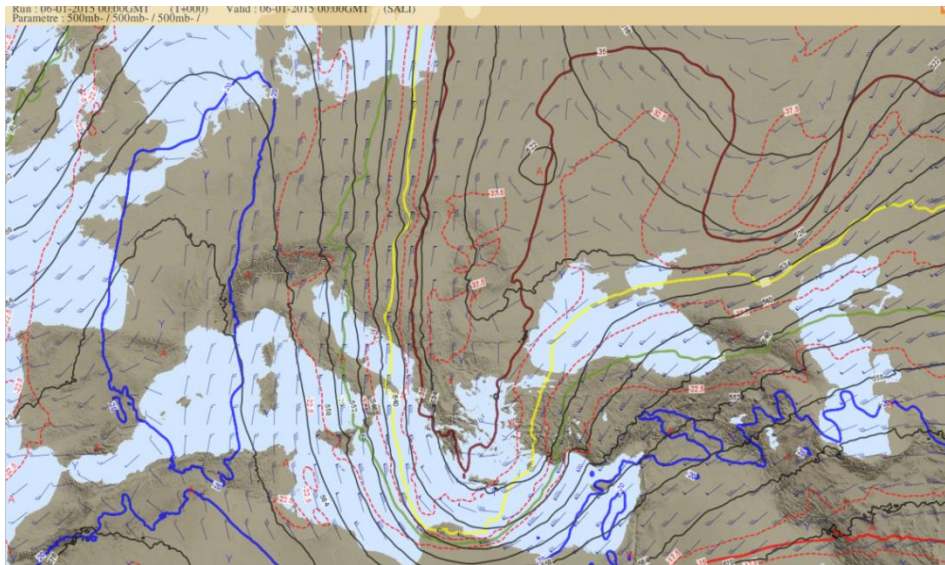
6. BUZLANMA TAHMİN VE ANALİZİ İÇİN ÖRNEK ÇALIŞMA

6.1 SİNOPTİK ANALİZ (6-9 OCAK 2015)

Alçak basınç ve cephe sistemi 6 Ocak günü ülkemizi etkilemeye başlamıştır. Kuzeyden çok kuvvetli soğuk adveksiyon ile birlikte, yer ve yüksek seviye arasındaki sıcaklık farkını arttırmıştır. Örneğin, 500 hPa seviyesinde sıcaklık -37.5 °C iken periyodun ilk başında yer seviyesinde ortalama alansal sıcaklıklar (6 Ocak) $4-5$ °C civarındadır. Bununla birlikte, periyodun diğer yarısında (8-9 Ocak) yer seviyesi ortalama alansal sıcaklık değeri -10 °C'ye yaklaşmıştır. 6 Ocak 2015 gününe ait, 00 UTC yer seviyesi ve 500 hPa sabit basınç seviyesi meteorolojik haritalar Şekil 8 ve Şekil 9'da yer almaktadır.



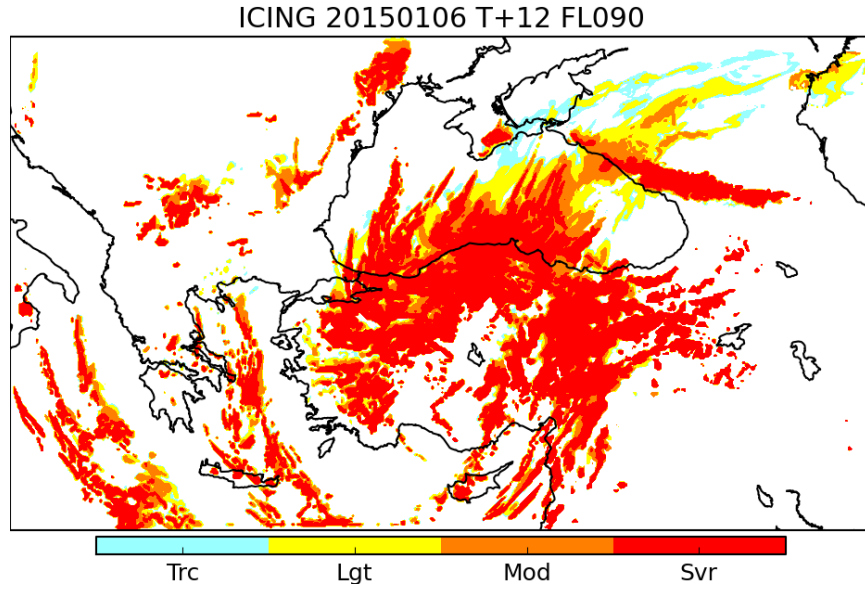
Şekil 8. 6 Ocak 2015 00 UTC Yer Seviyesi Meteorolojik Haritası.



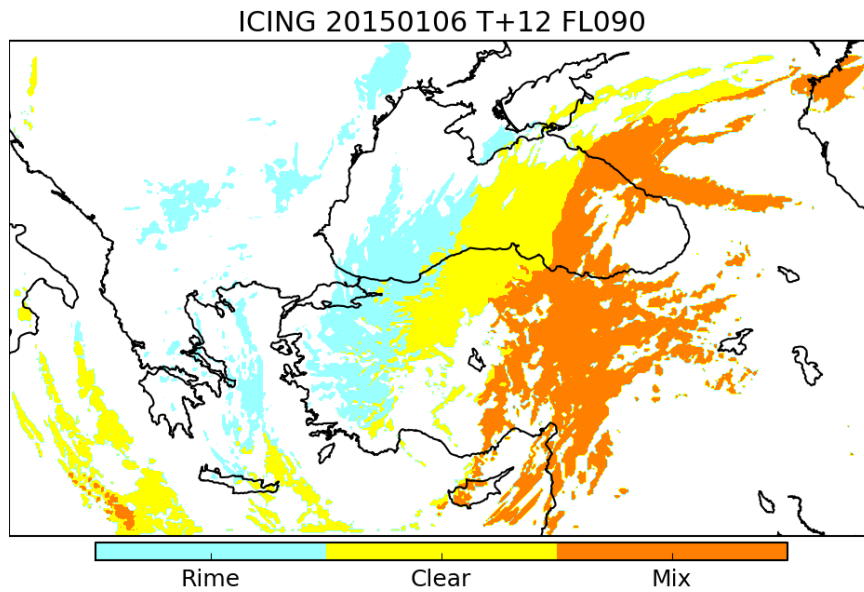
Şekil 9. 6 Ocak 2015 00 UTC 500 hPa Seviyesi Meteorolojik Haritası.

6.2 BUZLANMA TAHMİN ÜRÜNLERİ

Çalışmada bulut içi buzlanma algoritmaları kullanıldığından, WRF model çıktılarından öncelikle toplam bulut kapalılığı alanı tespit edilmiştir. Bu alanda hesaplanan bulut taban yüksekliklerinden adyabatik olarak 1 hPa aralıklarla tahmini yapılacak uçuş seviyesi yüksekliğine kadar LWC değerleri ile sıcaklık profili incelenmiş ve 1'deki formüle göre hesaplanmıştır. Buzlanma şiddeti 4 ayrı kategoride Şekil 10'da, buzlanma tipi ise 3 farklı tipte Şekil 11'de FL090 için verilmiştir.



Şekil 10. FL090 T+12 Buzlanma Şiddeti Tahmin Haritası



Şekil 11. FL090 T+12 Buzlanma Tipi Tahmin Haritası

7. SONUÇ

Havacılık sektöründe, kaza/kırımlar başta olmak üzere, maddi zararlarının azaltılması ve yönetilebilirliğinin artırılabilmesi için buzlanmanın tahmin edilebilmesi önem arz etmektedir. Çalışmada sayısal hava tahmin model çıktıları kullanılarak, buzlanma şiddeti ve tipine ait tahmin ürünleri elde edilmiştir. Söz konusu ürünlerin verifikasyonunun yapılabilmesi için gerekli gözlem verilerine (PREP – Pilot Report) ihtiyaç duyulmaktadır. Verifikasyon çalışmalarının PREP'ler ile desteklenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, çalışmadaki buzlanma tahmin ürünleri değerlendirilerek, literatürde bulunan farklı algoritmaların denenmesi, kullanılan sayısal hava tahmin modelinin çeşitlendirilmesi ile ülkemizde operasyonel olarak kullanılabilir buzlanma ürünleri elde edilecektir.

KAYNAKLAR

- Abramovich, K.G., G.V. Vasil'yeva, and V.M. Prokhorova, 1977: *The Prediction of Quantitative Characteristics of Aircraft Icing*. Trudy Gidrometeorologicheskogo, 176, 76-85 (translation).
- AFCCC/TN—95/004, *A Comparison of Aircraft Icing Forecast Models*, December 1995
- AFWA/TN-98/002, *Meteorological Techniques*, 1998
- Air Weather Service, 1980: Forecasters' guide on aircraft icing. USAF/AWS Rep. AWS/TR-80/001, 58 pp.
- ARW Version 3 Modeling System User's Guide (2014), Mesoscale & Microscale Meteorology Division, *National Center for Atmospheric Research*.
- Bernhardt, D.W., 1989: *Aircraft Icing Hazards Forecasting and Synoptic Classification*. Proceedings, Third International Conference on Aviation Weather Systems, Jan. 30-Feb. 3, 1989, Anaheim, Calif.
- Brown, B.G., T.L. Fowler, B.C. Bernstein, and G.S. Forbes, 1993: *Use of Pilot Reports for Verification of Aircraft Icing Diagnoses and Forecasts*. Proceedings, Fifth International Conference on Aviation Weather Systems, Aug. 2-6, 1993, Vienna, Va.
- Politovich, Marcia K., B. Boba Stankov, and Brooks E. Martner. "Determination of liquid water altitudes using combined remote sensors." *Journal of Applied Meteorology* 34.9 (1995): 2060-2075.
- Politovich, Marciak, and Wayner Sand. "A Proposed icing severity index based upon meteorology." *International Conference on Aviation Weather Systems, 4 th, Paris, France*. 1991.
- Smithsonian Meteorological Tables. Ed. R. J. List. (Sixth revised edition) Washington (The Smithsonian Institution).
- URL-1 < <https://www.met.ed.ucar.edu/> >, alındığı tarih: 05/01/2015.