

HAVACILIK METEOROLOJİSİ VE UYGULAMALARI

İsmail Gültepe¹, Onur Durmuş²
Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara

Simla Durmuş³
Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara

ÖZET

Bir bilim dalı olarak meteoroloji; havacılık ve uzay bilimleri ile yakından ilgili olup, atmosferde meydana gelen fiziksel, dinamik ve termodinamik süreçleri inceler. Uçaklar, helikopterler, balonlar, İnsansız Hava Araçları (İHA), uzay araçları ve diğer hava araçları aracılığı ile yapılan tüm havacılık faaliyetleri, yağış, sis, görüş mesafesi, rüzgâr, rüzgâr kayması, türbülans ve buzlanma gibi atmosferik parametrelerden doğrudan etkilenmektedirler. Bu hava ve uzay araçlarının, tasarımından kullanımına kadar birçok atmosferik koşul testlerinden geçmesi gerekmektedir. En önemli test ekipmanlarından biri olan rüzgâr tünelleri sıcaklık, nem, yağış, görüş mesafesi gibi atmosferik parametreleri test edebilir ama gerçek atmosferi tam olarak simüle edemez. Bu nedenle iklimlendirilmemiş rüzgâr tünelleri istenilen uçuş şartlarını sağlayamadığı için yapılan testler yetersizdir. Özellikle iklim rejimindeki değişimler yağışların frekansını azaltırken, diğer bir yandan yağış şiddeti ve fırtınaların artması uçuşları doğrudan etkileyecektir. Bu çalışmada havacılık meteorolojisi ile havacılıkta meteorolojinin önemi vurgulanacaktır. Bu konular içerisinde hava aracı buzlanması, sis ve görüş mesafesi, türbülans, hamle ve yağış konularına değinilecek ve onların uçuşa olan etkileri özetlenecek ve uygulama alanları tanıtılacaktır.

GİRİŞ

Havacılık meteorolojisinin en önemli çalışma konuları olarak; hamle, türbülans, yağış, buzlanma, aşırı yağış, sis ve görüş mesafesi gibi meteorolojik parametre ve olayların belirlenmesi ve tahmini gösterilebilir. Bu meteorolojik parametre ve olaylar bir hava aracındaki “kaldırma” ve “sürüklenme” parametrelerini doğrudan etkilemektedir. [Gültepe ve diğ., 2020]. Bu nedenle bir hava aracının performansı ve uçuş güvenliği için büyük önem taşımaktadırlar. Havacılıkta meteorolojik olayları meydana getiren değişkenler doğrudan ölçülebilir ya da hava tahmin modelleri (HTM) aracılığı ile elde edilebilirler. Ancak modeller aracılığı ile yapılan tahminlerde model sonuçlarının doğrulanması yine ölçümler aracılığıyla yapılır. Ölçümler ile doğrulanmamış model tahminleri ciddi hatalar yapabilir. Bu nedenle yoğunlaştırılmış ölçüm ağı sistemleri geliştirilmiştir [Gültepe ve diğ., 2020a]. Özellikle havacılık alanında kullanılan bu ölçüm ağları; yağış, sis ve görüş mesafesi, türbülans, rüzgâr kayması ve hamle ölçümleri, atmosferik radyasyon, atmosferik termodinamik profil, ve buzlanma gibi atmosferik parametre ve olayların ölçümünde sıkça kullanılır. Buna ek olarak günümüzde çeşitli radarlar, lidarlar, silyometreler ve İHA (İnsansız Hava Araçları)’da bu ölçüm ağlarında yer alırlar [Gültepe ve diğ., 2020].

Gültepe ve diğ., tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada havacılık meteorolojisi konuları detaylı olarak incelemiş ve özetlemiştir. Bu çalışmaya göre önemli atmosferik parametrelerden olan görüş mesafesi ve rüzgârın uçak kazalarına olan etkisi %80 civarındadır.

¹ Prof. Dr. İsmail Gültepe, Meteoroloji Müh. Böl., E-posta: igultepe@thk.edu.tr; ismail.gultepe@gmail.com

² Öğretim Görevlisi, Onur Durmuş, Uçak Teknolojisi. Prog., E-posta: odurmus@thk.edu.tr

³ Araştırma Görevlisi, Simla Durmuş, Pilotaj Böl. E-posta: sisler@thk.edu.tr

Buna ek olarak, görüş mesafesi, türbülans ve CAT (Açık Hava Türbülansı) [Gültepe ve Starr 1995], ve yağışlarla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır ve bu çalışmalar geliştirilmeye devam etmektedir [Gültepe ve diğ., 2020; Sharman ve diğ., 2006; Shuur ve diğ., 2012; Rasmussen ve diğ., 1992; Pu ve diğ., 2016; ve Luce ve diğ., 2012].

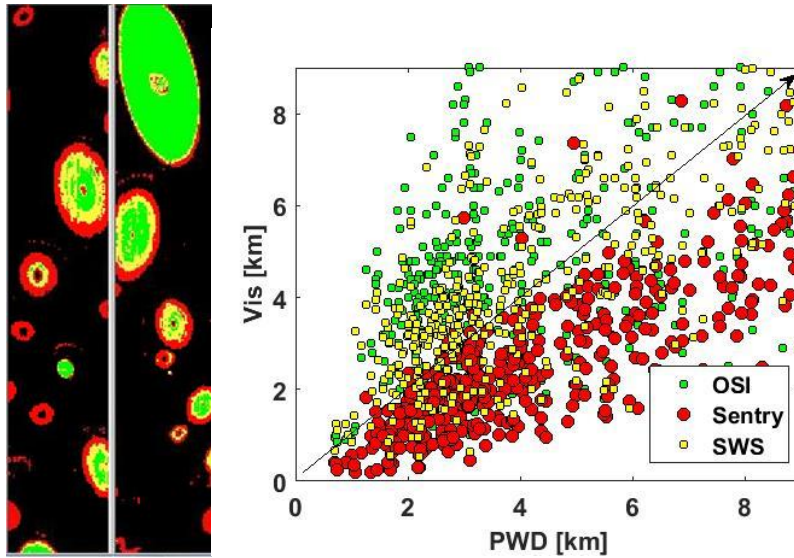
Bu çalışma uçuşların daha güvenli gerçekleştirilebilmesi amacıyla havacılıkta meteorolojik ölçüm ve tahminlerin geliştirilmesi için detaylı ölçüm metotlarını içermektedir.

Ölçümler

Meteorolojik ölçümler havacılık alanında çeşitli şekillerde yapılır ve bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir:

Yerinde Ölçümler

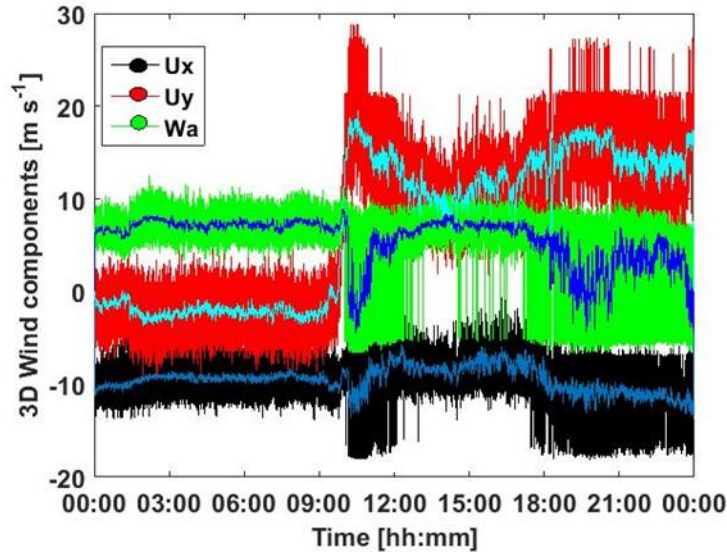
Havacılık meteorolojisiyle ilgili yer ölçüm aletleri detaylı olarak Gültepe ve diğ., (2019a)'de verilmiştir. Bu aletler normal atmosferik şartlarda yağış, sıcaklık, sis, hamle ve türbülans değerlerini yüksek doğruluk oranında verebilmektedir. Ancak ekstrem hava şartlarında bu ölçüm aletlerinin hata miktarları artmaktadır. Şekil 1a'da yağmur damlacıklarının örnek bir görüntüsü verilmiştir. Bu optik aletlerle elde edilmiş görüntü yağış mikrofiziği hesaplamalarında sıkça kullanılır. Şekil 1b'de 4 farklı ölçüm aletinden elde edilen görüş mesafesi miktarları, aletlerin hassasiyetini göstermek için verilmiştir.



Şekil 1: Yağmur damlasının optik aletlerden (bulut görüntüleme aleti) alınmış görüntüsü (a) (solda) ve çeşitli aletlerden (4 farklı aletten) alınan görüş mesafesi kıyaslamaları (b) (sağda).

Uçak Ölçümleri

Bu ölçümler genellikle bulut içerisinde veya dışarısında yapılır. Ölçümler metot geliştirmek için veya model doğrulamak için kullanılır. Bu aletlerin çoğu optik olduğu gibi uzaktan algılama aracılığıyla da gerçekleştirilir. Şekil 2'de 3-boyutlu rüzgâr ölçümlerini (1Hz) ve onların filtrelanmış değerlerini göstermektedir (60 s zaman aralığı içinde).



Şekil 2: Bir soğuk cephe geçişi sırasında 3D (U_x , U_y , W_a) rüzgâr parametreleri (1Hz) ve 60 saniye aralıklarla filtrelenmiş 1-günlük zaman serileri (10:00 UTC).

İklimlendirilmiş Rüzgâr Tünelleri

İklimlendirilmiş rüzgâr tünelleri günümüzde oldukça az olmasına rağmen havacılıkta çeşitli amaçlarla sıkça kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarına örnek olarak insansız hava araçlarının testleri verilebilir. İklimlendirilmemiş rüzgâr tünelleri sayıca oldukça fazla olsa da meteorolojik olayların simülasyonunda yetersiz kaldığı için, birçok meteorolojik olayın incelenmesi iklim veya bulut odaları ile yapılır. [Gültepe ve diğ., 2020a]. Meteorolojik açıdan olayları incelemek, bulut fiziğini termodinamik ve dinamik açıdan irdelemekle mümkündür. İklimlendirilmiş rüzgâr tünelleri hava olaylarına uygun ortam yaratarak havacılık ile ilgili koşulları incelemeye fırsat verirler. Şekil 3’de Ontario Teknik Üniversitesi iklimlendirilmiş rüzgâr tünelineki bulut ölçümleri için kullanılan optik sensörler verilmiştir.



Şekil 3: Ontario Teknik Üniversitesi iklimlendirilmiş rüzgâr tüneli ve Prof. Dr. Gültepe tarafından geliştirilmiş optik uçuş alet sistemleri.

İnsansız Hava Araçları (İHA’lar)

İnsansız Hava Araçları (İHA)’lar çeşitli amaçlarla kullanılırlar. Özellikle radyozonde ölçümlerine destek verdikleri gibi açık hava ve bulut mikrofiziği karakterlerini incelemek için de kullanılırlar. Buna ek olarak nümerik hava model başlangıç şartları içinde kullanılabilirler. Hava kirliliği ve toz ölçümlerine ise destek verirler. Şekil 4’de ölçüm yapan bir İHA verilmiştir.



Şekil 4: Bir İHA'nın kar üzerindeki ölçümleri.

Yere Bağlı Balonlar

İp ile yere bağlı balon sistemleri (Şekil 5) hava alanlarına yakın alanlarda, kirlilik ve yere yakın atmosferik ölçümleri tayin etmek için oldukça sık kullanılan sistemlerdendir. Bu sistemler ucuz olup, proje geliştirme aşamasında kullanabilirler. Özellikle uçuş şartlarını incelemek için ideal sistemlerdir ve tehlikesi daha azdır.



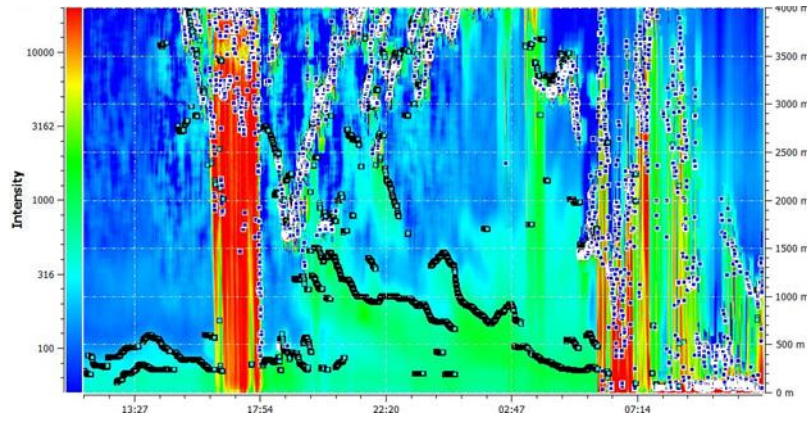
Şekil 5: Prof. Dr. İsmail Gültepe tarafından kutuplarda sis araştırması için kullanılan meteorolojik amaçlı bir balon sistemi kullanımı

Radyozondeler

Radyozondeler, geleneksel olarak meteorolojik parametreleri elde etmek için kullanılan sistemlerdir. Bu sistem de yeryüzünden belirli noktalardan günde 2 kere atmosfere gönderilirler ve sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı/yönü ve atmosfer basıncını gibi atmosferik parametreleri ölçerler. Yükselme hızları yaklaşık 5 m/s'dir. Verileri her dakika telemetre ile yeryüzüne gönderirler. Genellikle basıncın 50 mb civarına düştüğü yükseklikte patlayarak yere düşerler.

Uzaktan Algılama Platformları

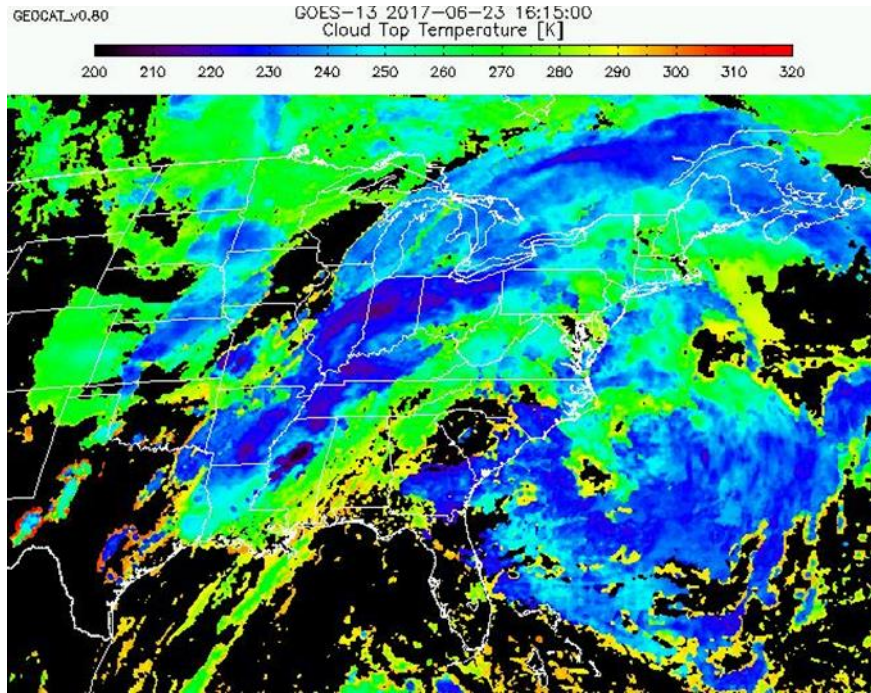
Uzaktan Algılama Platformları'ndan olan radarlar (C-X-K-W bant) ve lidarlar, bulut, yağış, rüzgâr, aerosol ve su buharı ölçümleri için kullanılır ve çeşitli şekillerde isimlendirilirler. Ayrıca silyometre (Şekil 6) ve profil mikrodalga radarları çok detaylı araştırma ve uygulama amaçlı yağış ölçümleri için kullanılmaktadır [Mead ve diğ., 1989].



Şekil 6: Silyometre ile yere yakın bulut bölgesinin belirlenmesi.

Uydular

Uydular içinde en yaygın olanları sabit yörüngeli olanlardır (örnek olarak GOES veya METEOSAT). Bunlar aynı yörünge noktasında konuşlanıp, yerin belirli bölgelerine bakarlar. Bazı uydular ise kutupsal yörüngeli olup belirli aralıklarla aynı noktaya gelirler, örnek olarak MODIS uydusu verilebilir. Uydu platformları yağış, bulut, sis ve rüzgâr/türbülans gibi atmosferik parametreler hakkında detaylı bilgilerini sağlarlar (Şekil 7). GOES uydusunda olan yaklaşık 16 spektral radyasyon bilgisi meteorolojide değişik alanlarda kullanılırlar. Uydu platformları detaylı olarak havacılık meteorolojisinde de kullanılır ve bunların sistemli şekilde araştırılması gerekir.



Şekil 7: GOES uydu resmini kullanarak bulutların tiplerinin belirlenmesi. Yeşil alanlar alçak bulutlar ve mavi kesimler buz bulutlarını gösterir.

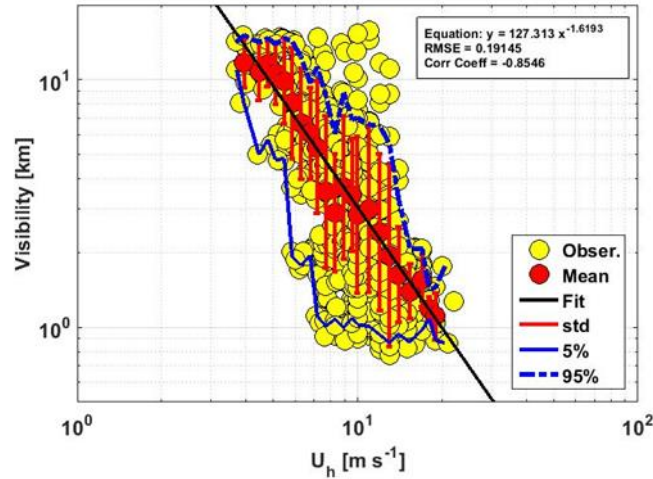
UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Veri analizi her bir platform için değişik şekillerde elde edilir. Türbülans ve hamle incelemeleri genelde 16 veya 32 Hz olarak ultrasonik anemometrelerden yapılır. Rüzgâr tünellerinde bu oranlar daha da artabilir. Uçaklarda ki ölçümler için 5 delikli Rosemount aletleri, pitot tüpü ölçümleri ve navigasyon sistemleri ile beraber kullanılırlar. Uçaktan elde edilen 3 boyutlu rüzgâr ölçümleri türbülans ve hamle hesaplamaları için kullanılır (Şekil 2).

Uçaktan mikrofizik ölçümleri genelde optik sensörlerle yapılmaktadır. Bu ölçümlere örnek olarak; damlacık ve buz kristallerinin spektral çap bilgileri bu optik sensörlerden alınması ve bulut içi sıvı su damlacığı ve buz içeriğinin belirlenmesi verilebilir. Damlacık sayısı ve yoğunluğu, buz kristali

içeriği, buz kristali konantrasyonu, etkili yarıçap ve ortalama çap hacmi matematiksel olarak hesaplanır. Bunlarda bilgiler buzlanma miktarını elde etmek için kullanılır [Gültepe ve diğ., 2019a].

Yağışların miktarı ve görüş mesafesi ile doğrudan ilişkilidir. Görüş uzaklığı ise basit olarak radyasyon azalımı parametresiyle ilgilidir. Gültepe ve diğ (2019a) görüş uzaklığı (GU) değişik hidrometeorlar için hesaplayıp modeller için uygulamıştır. Görüş uzaklığının hesaplanmasında sis, kar, yağmur ve havadaki aerosoller kullanılmaktadır. Görüş uzaklığının hesabında genelde mevcut hava sensörleri kullanılır ve bunlar hem yağış miktarını hem de görüş uzaklığının şiddetini gösterirler. Yağış miktarı ve görüş uzaklığı ayrıca distrometrelerden de hesaplanabilir [Gültepe ve diğ., 2014]. Şekil 8 görüş mesafesinin rüzgâr hızına göre değişimini göstermektedir, özellikle yeni yağmış kar durumunda görüş uzaklığı düşer ve görüş mesafesinin tahmin edilmesi havacılık için oldukça önemlidir.



Şekil 8: Görüş mesafesinin rüzgâr hızıyla değişimini yeni yağmış kar için göstermektedir.

Bu ölçümlere dayalı metotlar, sayısal hava tahmini (NWP) modelleriyle kullanıldığında uzun veya kısa dönemli uçuş parametrelerinin tahmini içinde kullanılırlar. Bu modeller arasında ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) ve NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) modelleri en yaygın kullanıma sahip olanlarıdır, ancak tek-boyutlu yer özelliklerine bağlı modellerde (örneğin: COBEL; Couche Brouillard Eau Liquide) yaygın olarak hava alanlarında meteorolojik tahminler için sıkça kullanılmaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma özellikle havacılık uygulamalarında meteorolojinin önemini vurgulamıştır. Havacılık sektöründe uçuş güvenliğinin artırılması, yakıt ekonomisinin sağlanması ve daha verimli hava trafik yönetimi için kullanılan meteorolojik bilgilerin daha hassas olarak elde edilebilmesi ve tahminlerin iyileştirilmesi için bu çalışmada yer verilen ölçüm sistemlerin kullanımına önem verilmelidir. Ayrıca havacılık alanında kullanılan modellerin çözünürlükleri 1-2 km'den fazla ve fiziksel parametrisasyonlar yetersiz olduğundan, tahminler yetersiz olabilmektedir. Bu nedenle havacılık uygulamaları için özel ölçüm ağırları hava alanlarında kurulmalı ve tahminlerin doğruluğu verilmelidir (Roquelaure & Bergot, 2009). Buna ek olarak yer tabanlı ölçümler, anlık ve noktasal olması nedeniyle havacılıkta yetersiz kalabilmektedir. Bu noktada geniş yüzeyel ve düşey ölçüm dağılımına sahip radar ve uydu gibi uzaktan algılama sistemlerinin geliştirilerek havacılıktaki kullanımının artırılması için yeni metotların geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu metotların gelişmesinde en temel yöntem bilimsel çalışmalardır. Ülkemizde meteorolojik hizmetler devlet kurumları ve özel şirketler aracılığıyla sağlansa da bu konudaki bilimsel çalışmalar yetersiz sayıdadır. Özellikle bilimsel çalışmaların temelini ve merkezini oluşturan üniversitelerde Meteoroloji Mühendisliği bölümleri meteoroloji biliminin gelişmesi ve bilimsel çalışmaların artması için kritik öneme sahiptir. Ülkemizde havacılık meteorolojisi konusunda bilimsel çalışmaların artırılması ve tahminlerin geliştirilmesi için bir bilimsel komisyon kurulması önerilmektedir. Bu

konuda ülkemizdeki havacılık ve uzay bilimleri alanında ilk ve tek ihtisas üniversitesi olan Türk Hava Kurumu Üniversitesi bünyesinde bu bilimsel komisyonun oluşturulabileceği öngörülmektedir.

Kaynaklar

- Gultepe, I., & Starr, D. O. C. (1995). Dynamical structure and turbulence in cirrus clouds: Aircraft observations during FIRE. *Journal of Atmospheric Science*, 52, 4659–4682.
- Gultepe, I., Fernando, H. J. S., Pardyjak, E. R., Hoch, S. W., Silver, Z., Creegan, E., ve diğ. (2016). An overview of the MATERHORN fog project: Observations and predictability. *Pure and Applied Geophysics*, 173, 9. <https://doi.org/10.1007/s00024-016-1374-0>.
- Gultepe, I., Isaac, G. A., Joe, P., Kucera, P., The'riault, J., & Fisico, T. (2014). Roundhouse (RND) mountain top research site: Measurements and uncertainties for winter alpine weather conditions. *Journal of Pure and Applied Geophysics*. <https://doi.org/10.1007/s00024-012-0582-5>.
- Gultepe, I., R. Sharman, P.D. Williams, B. Zhou, G. Ellrod, P. Minnis, S. Trier, S. Griffin, S.S. Yum, B. Gharabaghi, W. Feltz, M. Temini, Z. Pu, L.N. Storer, P. Kneringer, M.J. Weston, H.Y. Chuang, L. Thobois, A.P. Dimri, S.J. Dietz, Gutenberg, M.V. Almeida, and F.L. A. Neto, 2019b: A Review Of High Impact Weather For Aviation Meteorology . *Pure and Applied Geophysics*. V. 176, No. 5, 1869-1923.
- Luce, H., Nakamura, T., Yamamoto, M. K., Yamamoto, M., & Fukao, S. (2010). MU Radar and Lidar Observations of Clear-Air Turbulence underneath Cirrus. *Monthly Weather Review*, 138, 438–452.
- Mead, J. B., McIntosh, R. E., Vandemark, D., & Swift, C. T. (1989). Remote sensing of clouds and fog with a 1.4-mm radar. *Journal of Atmosphere Oceanic Technology*, 6, 1090–1097.
- Pu, Z., Chachere, C., Hoch, S., Pardyjak, E., & Gultepe, I. (2016). Numerical prediction of cold season fog events over complex terrain: The performance of the WRF model during MATER- HORN-fog and early evaluation. *Pure and Applied Geophysics*, 22, 22. <https://doi.org/10.1007/s00024-016-1375-z>.
- Rasmussen, R., Politovich, M., Marwitz, J., Sand, W., McGinley, J., Smart, J., ve diğ. (1992). Winter icing and storms project (WISP). *Bulletin American Meteorology Society*, 73, 951–974.
- Roquelaure, S., & Bergot, T. (2009). Contributions from a local ensemble prediction system (LEPS) for improving fog and low cloud forecasts at airports. *Weather Forecasting*, 24, 39–52.
- Schuur, T. J., Park, H., Ryzhkov, A. V., & Reeves, H. D. (2012). Classification of precipitation types during transitional winter weather using the RUC model and polarimetric radar retrievals. *Journal of Applied Meteorology Climatology*, 51, 763–779.
- Sharman, R., Tebaldi, C., Wiener, G., & Wolff, J. (2006). An integrated approach to mid- and upper-level turbulence forecasting. *Weather Forecasting*, 21, 268–287