

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE HAVA ALANLARININ
METEOROLOJİK KARAKTERİSTİKLERİNİN ÇIKARILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mert ULUYAZI

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

EYLÜL 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE HAVA ALANLARININ
METEOROLOJİK KARAKTERİSTİKLERİNİN ÇIKARILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mert ULUYAZI
(511111009)**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Orhan ŞEN

EYLÜL 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511111009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mert ULUYAZI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “TÜRKİYE HAVA ALANLARININ METEOROLOJİK KARAKTERİSTİKLERİNİN ÇIKARILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Orhan ŞEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mikdat KADIOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zafer ASLAN
İstanbul Aydın Üniversitesi

Teslim Tarihi : 7 Eylül 2018
Savunma Tarihi : 11 Eylül 2018





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Orhan ŞEN'e, tezim ve daha öncesinde yaptığımız çalışmalarda bana destek olan Serkan AKKAŞ, Emrah UZUN, Yusuf ÇAKMAK, Mehmet Ali GÜÇÜK ve isimlerini sayamadığım tüm kıymetli arkadaşlarıma ve hayatımın her aşamasında bana moral ve motivasyon veren aileme yardımları için teşekkür ederim .

Mayıs 2018

Mert Uluyazı
(Meteoroloji Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	6
1.2 Literatür Araştırması	7
1.3 Uçuşlarda Etkili Olan Meteorolojik Parametreler	17
1.3.1 Buzlanma	13
1.3.2 Rüzgarlar	15
1.3.2.1 Rüzgar kesmesi	20
1.3.2.2 Türbülans	22
1.3.3 Orajlar	31
1.3.4 Yağışlar	34
1.3.5 Bulut tavanı ve görüş mesafesi	34
1.3.5.1 Bulut tavanı kavramı	34
1.3.5.2 Görüş mesafesi ve görüş mesafesini kısıtlayan faktörler	35
2. VERİ VE YÖNTEM	47
2.1 Çalışma Alanı ve Yeri	47
2.2 Meteorolojik Parametrelerin Uçuşlara Etkileri	49
2.2.1 Buzlanma	49
2.2.1.1 Buzlanmanın uçaklar üzerindeki etkileri	49
2.2.1.2 Buzlanmanın teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri	50
2.2.2 Rüzgarlar	57
2.2.2.1 Rüzgar kesmesinin uçaklar üzerindeki etkileri	57
2.2.2.2 Rüzgar kesmesinin teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri	61
2.2.2.3 Türbülansın uçaklar üzerindeki etkileri	63
2.2.2.4 Türbülansın teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri	68
2.2.3 Orajlar	77
2.2.3.1 İlgili hadiseler ve uçaklar üzerindeki etkileri	77
2.2.3.2 Orajların teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri	85
2.2.4 Yağışlar	86
2.2.4.1 Yağışların uçaklar üzerindeki etkileri	86
2.2.4.2 Yağışların teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri	88
2.2.5 Bulut tavanı ve görüş mesafesi	89
2.2.5.1 Bulut tavanının uçaklar üzerindeki etkileri	89

2.2.5.2 Bulut tavanının teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri.....	90
2.2.5.3 Görüş mesafesini kısıtlayan faktörlerin uçaklar üzerindeki etkileri...	90
2.2.5.4 Görüş mesafesini kısıtlayan faktörlerin teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri	91
2.3 METAR, TAF, SPECI Raporları ve Özel Havayolu Şirketi Sefer Verileri	93
2.3.1 METAR, SPECI ve TAF verilerinin değerlendirilmesi	93
2.3.2 Özel havayolu şirketinden alınan sefer verilerinin değerlendirilmesi	102
2.3.3 METAR, SPECI ve TAF verileriyle eşleştirilen özel havayolu şirketi sefer verilerinin Küme Analizi yardımıyla havalimanlarına göre dağılımının belirlenmesi	108
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	113
3.1 METAR, SPECI Ve TAF Verileriyle Eşleştirilen Özel Havayolu Şirketi Sefer Verilerinin Analizleri.....	113
3.2 Standartlaştırılan Meteorolojik Parametrelerin Küme Analizleri.....	113
3.2.1 Ward metodu	114
3.2.2 Average linkage (Within-Groups linkage) method	116
3.2.3 Complete linkage (Furthest neighbor) method	118
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	123
KAYNAKLAR.....	125
EKLER	127
ÖZGEÇMİŞ.....	137

KISALTMALAR

AC	: Altokümülüs
ADF	: Otomatik Yön Bulucu
AHT	: Açık Hava Türbülansı
AS	: Altostratüs
BL	: Blowing
BLDU	: Geniş Alana Yayılmış Savrulan Toz
BLSA	: Savrulan Kum
BLSN	: Savrulan Kar
BR	: Pus
Cb	: Kümülönimbus
CB	: Kümülönimbus
CU	: Kümülüs
DHMI	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
DR	: Low Drifting
DS	: Toz Fırtınası
DU	: Geniş Alana Yayılmış Toz
DZ	: Çisenti
FC	: Hortum Bulutu
FCOM	: Uçuş Kontrol İşletme Kılavuzu
FD	: Uçuş Programı
FED	: A.B.D Merkez Bankası
FG	: Sis
FU	: Duman
GR	: Dolu/Grezil
GS	: Küçük dolu ve/veya Kar paletleri
HZ	: Kuru Duman
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu
IMF	: Uluslararası Para Fonu
LLWAS	: Alçak Seviye Rüzgar Kesmesi Uyarı Sistemi
METAR	: Meteorological Aviation Routine Weather Report

MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NS	: Nimbostratus
PE	: Buz Paletleri
PL	: Buz Paletleri
PO	: Toz / Kum Türbasyonu
RA	: Yağmur
RPK	: Revenue Per Kilometer
SA	: Kum
SC	: Stratokümülüs
SG	: Kar Grenleri
SN	: Kar
SPECI	: Aviation Special Weather Report
SQ	: Sağanak (Squall)
SS	: Kum Fırtınası
ST	: Stratüs
TAF	: Terminal Aerodrome Forecast
TCU	: Kulemsi Kumülüs
TDWR	: Terminal Doppler Meteoroloji Radarı
TS	: Oraj
UP	: Tanımlanamayan Yağış
VA	: Volkanik Kül
VFR	: Görerek Uçuş Kuralları

SEMBOLLER

C	: Celcius
f	: Frekans
ft	: Feets
g	: Gram
g	: Yerçekimi ivmesi ($\approx 9.8 \text{ m/s}$)
K	: Kelvin
km	: Kilometre
kt	: Knots
m	: Metre
m⁻³	: 1/metreküp
nm	: Nanometre
z	: Yükseklik
N	: Brunt-Vaisala frekansı
Ri	: Richardson sayısı
U	: Rüzgar hızı
θ	: Potansiyel sıcaklık
π	: Pi sayısı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : IMF ekonomi verileri ve ICAO havacılık verileri.....	4
Çizelge 1.2 : Yaklaşma ve iniş sırasında gerçekleşen kazalarda meteorolojik faktörler.	15
Çizelge 2.1 : Çalışmada kullanılan 46 havalimanının enlem ve boylamları ile birlikte koordinatları.....	47
Çizelge 2.2 : Değişik bulut türleri için buzlanma olasılık ve şiddetleri.	54
Çizelge 2.3 : Değişik rüzgar hızları ve yüzey türleriyle ilişkili türbülans şiddetleri.	69
Çizelge 2.4 : Konveksiyon kaynaklı tipik düşey akımlar.	75
Çizelge 2.5 : AHT ile yatay ve düşey rüzgar kesmesi arasındaki ilişkiyi gösteren sübjektif bir tablo.	76
Çizelge 2.6 : Fujita hortum ölçeği.	78
Çizelge 2.7 : Bazı meteorolojik hadiseler ve bunların rapor edilmesi ile ilgili limit değerler.	98
Çizelge 2.8 : Özel havayolu şirketinin iç hat meydanlar için yararlandığı meydan yaklaşma usülleri ve yaklaşma minimum değerleri.....	103
Çizelge 2.9 : Özel havayolu şirketinin iptal edilen sefer verisi için ilgili tarih ve zaman aralığında varış havalimanına ait MGM rasat ve tahmin verileri.	107
Çizelge 2.10 : Özel havayolu şirketinin ADF havalimanı için yararlandığı meydan yaklaşma usülleri ve yaklaşma minimum değerleri. (Özel havayolu şirketi, 2015).	108



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : 2016 yılı Dünyada taşınan yolcuların dağılımı.	3
Şekil 1.2 : 2006-2016 Ülkemizde hava yolu yolcu trafiği.....	5
Şekil 1.3 : Kırığı buzu.	13
Şekil 1.4 : Buluttaki su damlacıkları ile buz kristallerinin dağılımı.	14
Şekil 1.5 : Anabatik rüzgarlar (solda), Katabatik rüzgarlar (sağda).	17
Şekil 1.6 : Konvektif türbülansın kaçınma.	18
Şekil 1.7 : Değişen yüzey koşullarında oluşan akımlar.	19
Şekil 1.8 : Rüzgaraltı etkileri.	19
Şekil 1.9 : Dağ dalgaları tarafından oluşturulan karakteristik bulutlar.....	27
Şekil 1.10 : Durağan dalga ve dönecin bir dağ silsilesinin rüzgaraltı tarafına doğru hareketi.....	28
Şekil 1.11 : Alçak seviye ve yukarı seviye jet akımlarının yerini gösteren idealize edilmiş alçak ve cephesel sistem.	29
Şekil 1.12 : Olgunlaşmakta olan bir orajın hareketi ve sahip olduğu türbülans.	33
Şekil 1.13 : Bir orajın yaşam döngüsünün üç aşaması: a) Kümüülüs evresi, b) Olgunlaşma evresi, c) Dağılma evresi.	33
Şekil 1.14 : Radyasyon sisi.	38
Şekil 1.15 : Bir sıcaklık enverziyonunun altındaki kararlı bir havada hapsolan duman.	43
Şekil 1.16 : Aşağı yönlü hava akımının etkisiyle oluşan kum ve toz izi.	44
Şekil 1.17 : Yerdeki bir engelden kaynaklanan tavan farklılığı (B) ve yukarıdaki bir tabakanın tavanı (A). Görüş mesafesi kısıtlanmadığında eğik menzil görüşü yukarıdaki bir tabakanın tabanının altına inildikten sonra iyidir.	45
Şekil 2.1 : Buzlanmanın etkileri.	52
Şekil 2.2 : Uçak gövdesi buzlanmasının sıklık yüzdesi (800 adet rapordan alınan).	52
Şekil 2.3 : Yükseklikle birlikte sıcaklık düşüşüne bağlı olarak suyun hal değişimleri.	53
Şekil 2.4 : Konvektif bulutlardaki buzlanma şiddetine dair fikir veren bir şekil.	55
Şekil 2.5 : Buz birikiminde aşırı soğumuş sıvı su içeriği (gm^{-3}) oranları.....	55
Şekil 2.6 : Bir mikro hava patlaması sırasındaki rüzgarın etkileri.	58
Şekil 2.7 : Bir Kümülonimbus bulutundan kaynaklanan mikro hava patlaması.	59
Şekil 2.8 : Uçağın önündeki mikro hava patlaması.	60
Şekil 2.9 : Uçağın bir mikro hava patlamasındaki aşağı yönlü hava akımından geçmesi.	60
Şekil 2.10 : Uçağın arkasında görülen mikro hava patlaması.	61
Şekil 2.11 : İnsan yapımı manialardan kaynaklanan türbülans.	65
Şekil 2.12 : Dağlık bölgelerdeki türbülans.	65
Şekil 2.13 : Denizsel konvektif hücre paternleri ve ilgili yer rüzgarı hızları.	69
Şekil 2.14 : Türbülanslı/Türbülanssız durumları gösteren cirrus yapıları.	70
Şekil 2.15 : Türbülanslı alanları gösteren bulut yapıları.	71
Şekil 2.16 : AHT oluşumuna meyilli alanların şematik gösterimi.	71

Şekil 2.17 :	Yukarıdaki ve yüzeydeki cephe konumlarıyla alçak seviye jet akımı ilişkisini yansıtan, kesit alanına karşılık gelen birleştirilmiş radar ve uydu görüntüsü.	73
Şekil 2.18 :	26 Eylül 2005 1200 Z'e ait görüntülere bakıldığında, görünür ve kızılötesi bant görüntüleri çizgi şeklindeki konveksiyonu yansıtmamaktadır.	73
Şekil 2.19 :	İrlanda üzerindeki konveksiyon hattını gösteren büyütülmüş resim.	74
Şekil 2.20 :	Kümülonimbus bulutlarıyla ilişkili kümülonimbus mammatüs bulutları aşırı kararsızlığı işaret eder.	78
Şekil 2.21 :	Hamle cephesi.	80
Şekil 2.22 :	CB bulutunun pozisyonuna bağlı olarak doluyla karşılaşma riski.	81
Şekil 2.23 :	Bir kuru duman tabakası üzerinde uçmakta olan bir pilotun gözlemci tarafından rapor edilenden daha yüksek bir görüş mesafesiyle karşılaşması.	92
Şekil 2.24 :	Bir kuru duman tabakası içinde uçmakta olan bir pilotun eğik görüş mesafesinden dolayı rapor edilenden daha düşük bir görüş mesafesiyle karşılaşması.	92
Şekil 2.25 :	Daha yukarıdaki bir kuru duman tabakası içerisinde uçmakta olan bir pilotun (doğru şekilde) rapor edilenden çok daha düşük bir görüş mesafesiyle karşılaşması.	92
Şekil 2.26 :	Pilotun bir sis tabakası üzerinde uçuşu. Pilot yukarıdan muhtemelen oldukça açık şekilde yeri ve binayı görebilir ancak yere yaklaşırken ve sis içerisine doğru alçalırken pilotun görüş mesafesinde hızlı bir düşüşle karşılaşması ve görüş mesafesinin sis limitlerine düşmesi.	92
Şekil 3.1 :	Ward metodu kullanılarak elde edilen dendogram.	114
Şekil 3.2 :	Ward metodu 6 kümeli havalimanı dağılımları.	115
Şekil 3.3 :	Ward metodu 8 kümeli havalimanı dağılımları.	116
Şekil 3.4 :	Average linkage (Within-Groups linkage) metodu kullanılarak elde edilen dendogram.	117
Şekil 3.5 :	Average linkage (Within-Groups linkage) metodu 6 kümeli havalimanı dağılımları.	117
Şekil 3.6 :	Average linkage (Within-Groups linkage) metodu 9 kümeli havalimanı dağılımları.	118
Şekil 3.7 :	Complete linkage (Furthest neighbor) metodu kullanılarak elde edilen dendogram.	119
Şekil 3.8 :	Complete linkage (Furthest neighbor) metodu 6 kümeli havalimanı dağılımları.	120
Şekil 3.9 :	Complete linkage (Furthest neighbor) metodu 8 kümeli havalimanı dağılımları.	120

TÜRKİYE HAVA ALANLARININ METEOROLOJİK KARAKTERİSTİKLERİNİN ÇIKARILMASI

ÖZET

Hava taşımacılığı bir ülkedeki tüm sektörler ve özellikle ülke ekonomisi için itici güç niteliğindedir. Özellikle turizm sektörünün bel kemiği olan hava taşımacılığı, dünya genelinde turist sayısının % 60' ından fazlasının hava yolu ile taşınmasından dolayı büyük önem arz etmektedir. Dünyada hava yolu taşımacılığındaki büyüme trendi hızla devam etmektedir. 2006 yılından günümüze kadar yolcu trafiği hız kesmeden artmıştır.

Hava koşullarına ilişkin riskler uçak emniyeti üzerinde ciddi bir olumsuz etkiye sahiptir. Son araştırmalara göre dünya çapındaki hava kazalarının % 20 ila % 30' undan hava koşulları sorumludur. Avrupa'da hava trafiği gecikmelerinin % 22' si olumsuz hava koşullarından kaynaklanmaktadır. Havacılık için tehlikeli olan çok sayıda meteorolojik risk bulunmaktadır. Bu bağlamda bu çalışmada öncelikle havacılık sektöründe risk teşkil ederek yolcuları mağdur eden ve sektördeki şirketleri zarara uğratan buzlanma, rüzgar, oraj, yağış, bulut tavanı ve görüş mesafesi gibi meteorolojik faktörler uçaklar üzerindeki etkileri, teşhis edilme şekilleri ve tahmin ile azaltma yöntemleri ile beraber ele alınmış, sonrasında MGM'den sağlanan 2010-2014 yılları arasındaki 5 yıllık dönemi kapsayan METAR, SPECI ve TAF verileri ile Türk sivil havacılığındaki özel bir havayolu şirketi tarafından sağlanan 2010-2014 yılları arasında meteorolojik sebeplerden divert eden ve iptal olan sefer verileri incelenerek Türkiye için meteorolojik faktörlerin bölgesel bazda ve havalimanı bazında nasıl bir dağılım gösterdiği ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada 2010-2014 yılları arasının özellikle seçilmesinin sebebi 2010 yılına girerken 50 milyon dolayında olan iç hat yolcu trafiğinin 2015 yılına girerken 100 milyona ulaşarak 2 katına ulaşması ile sektördeki çarpıcı artışa meteorolojik faktörlerin olumsuz anlamda ne şekilde etki ettiğinin ortaya konmak istenmesidir. Türkiye'de 2010 ila 2014 yılları arasında aktif durumda olan 46 havalimanı çalışma kapsamında incelenmiştir.

Özel havayolu şirketinden alınan 01/01/2010-01/01/2015 arasındaki 5 yıllık meteorolojik nedenlerle iptal edilen veya divert eden sefer verileri sırasıyla incelenirken iptal edilen seferler için seferin kalkış meydanı ile varış meydanını kapsayan ve seferin kalkışından en az 3 saat öncesinin TAF tahminleri ile seferin kalkış saatine yakın METAR ve SPECI verileri ile yenilenmiş TAF tahminleri; divert eden seferler için ise seferin kalkışından en az 3 saat öncesinin TAF tahminleri ile seferin beklenen uçuş süreci boyunca mevcut olan METAR ve SPECI rasatları ile yenilenmiş olan TAF tahminleri verilerde mevcut olan yer rüzgarı, yer görüş mesafesi, halihazır hava durumu, bulut bilgileri ile hava sıcaklığı ve işba sıcaklığı grupları gibi meteorolojik kriterler ve özel havayolu şirketinin iç hat havalimanları için yararlandığı meydan yaklaşma usülleri ve yaklaşma minimum değerleri ışığında birlikte ele alınmıştır.

METAR, SPECI ve TAF verileriyle eşleştirilen özel havayolu şirketi sefer verilerinin Türkiye için 5 yıllık veri setinde divert eden ve iptal olan seferlerde etkili olan 97 adet meteorolojik parametre, aylık olarak havalimanında meteorolojik parametreden kaynaklanan iptal veya divert eden sefer sayısının o ayki tüm meteorolojik parametrelerden kaynaklanan iptal veya divert eden sefer sayısına oranının alınmasıyla standartlaştırılarak havalimanlarına göre dağılımları belirlenmek üzere Küme Analizi (Cluster Analysis) yöntemi kullanılmıştır. 97 adet meteorolojik parametreye bağlı olarak havalimanları arasındaki benzerlik ilişkilerinin kurulabilmesi amacıyla IBM tarafından sağlanan SPSS Statistics 20 paket programı vasıtasıyla sırasıyla Centroid, Ward, Single Linkage (Nearest Neighbor), Complete Linkage (Furthest Neighbor), Average Linkage (Between-Groups Linkage) ve Average Linkage (Within-Groups Linkage) hiyerarşik kümeleme analiz yöntemleri uygulanmıştır. Dendrogram grafikleri, Yığinsal katsayılar (Agglomerative coefficients) ve Havalimanı-Cluster sayısı noktasal diyagramları bir arada incelenmiştir.

Yığinsal (agglomerative) algoritmada her bir adımda birbirine en çok benzeyen iki küme yeni bir yığın kümesi oluşturmak üzere bir araya gelip bütün nesneler tek bir kümede toplanana dek tekrarlandığından ve aşama sayısı arttıkça benzerlik azaldığından optimum küme sayıları sırasıyla Ward Metodu'nda 6 ve 8, Average Linkage yönteminde 6 ve 9 ve Complete Linkage yönteminde 6 ve 8 olarak alınmıştır.

Yöntemin uygunluğu belirlenirken son olarak da Tek Yönlü ANOVA istatistiği uygulanmış ve % 95 güven aralığı içerisinde hangi yöntemde kaç kümede kaç adet anlamlı parametre dikkate alınarak kümeleme yapıldığı ortaya konmuştur. Her bir yöntemin sırayla incelenmesi sonucunda Ward's Method, Average Linkage (Within-Groups Linkage) ve Complete Linkage (Furthest Neighbor) yöntemlerinin diğerlerine göre daha kullanışlı olduğu tespit edilmiştir. Anlamlılık analizlerine göre de Complete Linkage (Furthest Neighbor) yöntemi ile Ward Metodu'nun daha çok hadiseyi ele almasının bu iki metodu öne çıkardığı söylenebilir. Benzer şekilde elde edilen Dendrogramlar ve kümeleme diyagramları da bir arada düşünüldüğünde Ward Metodu ve Complete Linkage (Furthest Neighbor) yönteminin havalimanlarını coğrafi bölgelerdekine benzer şekilde kümelemesi ile daha gerçekçi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesi için 01/01/2010-01/01/2015 aralığı için yapılan analizlerde 7 bölgenin Marmara bölgesi haricindeki 6 tanesinde (Ege, Akdeniz, İç Anadolu, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu) sefer iptallerine ve seferlerin divert etmesine sebebiyet veren ana meteorolojik faktörün sis olduğu ortaya konmuş, sisten sonra gelen bir diğer önemli meteorolojik risk parametresinin 7 bölgenin 5 tanesinde (Marmara, İç Anadolu, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu) önemli ağırlığı olan kar yağışı hadisesi olduğu görülmüştür. En dikkat çekici meteorolojik risk faktörü olan sis hadisesinin iller bazında özellikle Şanlıurfa, Hatay, Konya, Gaziantep, Batman, Diyarbakır ve Erzurum havalimanlarında daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada bölgeler bazında en ciddi meteorolojik risk faktörü durumundaki sis ve diğer önemli meteorolojik parametrelerle ilgili risklerin ortadan kaldırılabilmesi için bir takım projelerin geliştirilmesi gerekir. Özellikle sis hadiselerinin çok sık yaşandığı Hatay, Konya, Gaziantep, Batman, Diyarbakır gibi havalimanlarında İstanbul Atatürk Havalimanı ve Ankara Esenboğa Havalimanı'nda

mevcut olan ILS CAT3 gibi çok düşük görüş değerlerine kadar meydana iniş yapılabilmesini sağlayan CAT3 aletli iniş sistemlerinin kurulması gibi havalimanları etrafındaki gölet gibi bataklık gibi nem kaynağı oluşturulabilecek alanların kurutulması gibi projeler çok ciddi katkı sağlayacaktır. Benzer şekilde meydana yaklaşma minimum değerinin nispeten daha yüksek olduğu Kahramanmaraş gibi Van gibi Erzincan gibi havalimanlarında seferleri ciddi anlamda etkileyen pus vb. hadiselerin önüne geçebilmek için meydan yaklaşma usüllerinin iyileştirilmesine ve geliştirilmesine yönelik projeler veya yatırımlarda bulunulması risk faktörlerini minimum düzeye indirecektir.





METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS OF TURKEY AIRPORTS

SUMMARY

Air transportation is a prime mover for all sectors of a country and especially for national economy. Air transportation which is especially backbone of tourism sector has great importance as a result of transporting more than 60 percent of worldwide tourist number. Growth trend in air transportation is rapidly in progress throughout the world. Since 2006 passenger traffic has been increased without slowing down.

Risks regarding to weather conditions have substantial negative effect on aircraft safety. According to recent research, weather conditions are responsible of 20 percent to 30 percent of worldwide air accidents. At Europe, 22 percent of air traffic delays are due to adverse weather conditions.

There are many meteorological risks for aviation. In this context, at this study firstly meteorological factors such as icing, wind, thunderstorm, precipitation, cloud ceiling and visibility which aggrieve passengers via posing risk to aviation and damaging companies in aviation sector are dealt together with their effects on aircrafts, diagnosis techniques and prediction with mitigation methods, then METAR, SPECI and TAF data obtained from Turkish Meteorological Service which includes 5 year period between 2010 and 2014 and data which includes delayed or diverted flights due to meteorological reasons between 2010 and 2014 which are obtained from a private corporation were examined in order to reveal the distribution of meteorological factors regionally and with respect to airport.

In that study, between 2010 and 2014 were especially chosen due to reveal how meteorological factors affected negatively to passenger traffic of domestic flights which was increased from circa 50 million to 100 million and doubled with a conspicuously increase between 2010 and 2015. 46 airports which were active between 2010 and 2014 in Turkey were examined within the study.

While data of cancelled or diverted flights due to meteorological reasons in 5 year period between 01/01/2010 and 01/01/2015 that were obtained from a private corporation were examining respectively, TAF forecasts which included data of departure and arrival airports and which were published at least 3 hours before departure time of the flight and METAR and SPECI data close to departure time with updated TAF forecasts for cancelled flight data; TAF forecasts which included data of departure and arrival airports and which were published at least 3 hours before departure time of the flight and METAR and SPECI data which were valid between expected flight time with updated TAF forecasts for diverted flight data were dealt together in the light of meteorological criterias such as surface wind, surface visibility, actual weather conditions, cloud information and air temperature with dew point temperature groups which were available in data and aerodrome approach procedures and approach minimum values that private airline corporation used for domestic airports.

97 meteorological parameters that were detected to have influence on cancelled or diverted flight data were standardized month by month according to airports via ratio between individual effect of meteorological parameter on cancelled or diverted number of flights and total effect of all the meteorological parameters on cancelled or diverted number of flights to determine their distribution in terms of airport by using Cluster Analysis method.

By using SPSS Statistics software program which is provided by IBM, successively Centroid, Ward, Single Linkage (Nearest Neighbor), Complete Linkage (Furthest Neighbor), Average Linkage (Between-Groups Linkage) and Average Linkage (Within-Groups Linkage) hierarchical cluster analysis methods were applied to determine similarity relationships between airports with respect to 97 meteorological parameters. Dendogram graphs, Agglomerative coefficients and scatterplots Airport vs Cluster numbers were examined together.

Considering the fact that, in each step of agglomerative algorithm the two most similar clusters come together to create a new cluster and that process repeats until all the objects are combined in one cluster whereas increasing step number decreases similarity, optimum number of clusters were chosen 6 and 8 in Ward's Method, 6 and 9 in Average Linkage method, 6 and 8 in Complete Linkage method, respectively.

Finally, One-way ANOVA statistic was applied in order to detect suitability of method and in 95% confidence level in each method how the number of clusters were clustered according to number of significant parameters that taken into account were shown.

After applying each method; Ward's Method, Average Linkage (Within-Groups Linkage) and Complete Linkage (Furthest Neighbor) were found more useful beside the others. Because of evaluating more parameters Complete Linkage (Furthest Neighbor) method and Ward Method were seen to drive forward according to significance analysis. Furthermore, considering obtained Dendograms and cluster diagrams Ward Method and Complete Linkage (Furthest Neighbor) method were seen to show more realistic results such as geographical regions clustering.

In analysis for 7 geographic regions of Turkey between 01/01/2010 and 01/01/2015 period, in 6 (Aegean, Mediterranean, Central Anatolia, Black Sea, Eastern Anatolia and Southeastern Anatolia) of 7 regions excluding Marmara region, it was shown that fog was the main meteorological factor that caused cancelled flights and diverted flights.

It was seen that snow phenomena which carried weight with 5 (Marmara, Central Anatolia, Black Sea, Eastern Anatolia and Southeastern Anatolia) of 7 regions was another important meteorological risk parameter after fog.

It was found that fog phenomena which was most remarkable meteorological risk factor was more influent on city basis especially in Şanlıurfa, Hatay, Konya, Gaziantep, Batman, Diyarbakır and Erzurum airports.

In city basis, it can be said that main factors like continental climate, proximity to water resources, localizing in seaside are effective in fog occurrences. In addition, lake is an important factor that has risk of reducing visibility with its humidity content in brume situations. Furthermore, thunderstorm with CB activity can be associated with coastal structure and instability conditions.

In this study, it was seen that in order to mitigate the risks of the most critical risk factor fog and the other significant meteorological parameters in regional basis, some projects should have been developed. Especially some of kind of projects like establishment of CAT3 Instrumental Landing System to airports where fog occurs frequently such as Hatay, Konya, Gaziantep, Batman and Diyarbakır that provides landing in very low visibility values as available in Istanbul Atatürk International Airport and Ankara Esenboğa International Airport, projects like draining areas that can be moisture sources such as pond and swamp, can give significant benefits. Similarly, developing projects or making investments for retrofitting or improving aeronautical approach procedures in aerodromes where aeronautical approach minimum requires higher value like Kahramanmaraş, Van and Erzincan, for the purpose of avoiding risks of brume and etc. that affects flights negatively can minimize risk factors.





1. GİRİŞ

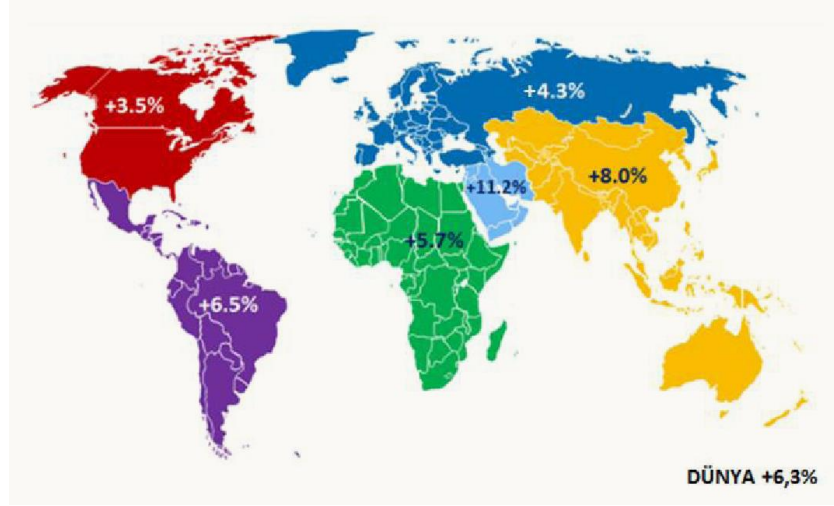
İnsanın ve onun ürettiği mal ve hizmetlerin çeşitli araçlarla bir sahadan başka bir sahaya taşınması faaliyeti olarak tanımlanabilecek olan ulaştırma, tarihsel süreç içinde sadece kullanılan araçlar değil, bu araçların bir araya gelerek oluşturdukları sistemler ve ulaşımın yapıldığı mekânlar bakımından çok büyük bir genişliğe ve çeşitliliğe kavuşmuş bulunmaktadır. Bilindiği üzere, ulaşımın tarihsel gelişiminde yaşanan bazı gelişmeler birer dönüm noktası özelliği taşımışlardır. Bu dönüm noktalarından biri olan motorun icadı ve bunun farklı amaçlarla kullanma arayışı, ulaştırmada çok sayıda ve çeşitlilikte aracın da ortaya çıkmasına zemin oluşturmuştur. Wright Kardeşlerin 17 Kasım 1903 tarihinde gerçekleştirdikleri ilk uçuşları aynı zamanda yüzyıllardır süren bir hayalin de gerçekleşmesi anlamına gelmiştir. Bu gelişmeyle birlikte insanın uçuşu imkân dahiline girmiş, başlangıçta çalışmalar kişisel denemeler şeklinde sürdürülmüş, ancak Birinci Dünya Savaşında uçakların askeri amaçlı kullanılmasıyla yeni bir safhaya geçilmiştir. Kullanan ülkelere askeri alanda çok büyük bir üstünlük sağlayan uçaklar, İkinci Dünya Savaşında da aktif bir rol üstlenmiş, bu durum uçakların özelliklerinin geliştirilmesinin de yolu açılmıştır. Yaşanan gelişmeler, uçakların sadece askeri alanda değil aynı zamanda sivil taşımacılıkta da kullanılmasına zemin hazırlamıştır. Giderek artan talep ve olanaklar, günümüzde ülkelerin havayolu ulaştırmasına daha fazla yatırım yapmasını adeta kaçınılmaz bir zorunluluk haline getirmiştir. Özellikle hız ve konfor özellikleri dolayısıyla tercih edilen havayolu ulaşımında, uçakların tip, kapasite ve hızlarında her geçen gün yeni imkânlar devreye sokulmakta, yine benzer bir şekilde havaalanlarının donanım ve kapasiteleri de gün geçtikçe arttırılmaktadır (Bakırcı, 2012, s. 342).

Her yıl Boeing, Airbus gibi dünyanın lider konumundaki havacılık şirketleri ile önde gelen araştırma ve danışmanlık kuruluşları havacılığın gelişimi ve gelecek 10-20 yıl vizyonunun belirlenmesi doğrultusunda onlarca rapor yayımlamaktadırlar. Bu raporlar, hava yolu şirketleri, hava aracı/parça üreticileri, havacılık bakım kuruluşları ve havacılık eğitim kuruluşları için son derece önem arz etmektedirler. Kuruluşlar,

söz konusu raporlar vasıtasıyla kendi stratejilerini belirleyerek bu doğrultuda hareket etmeye çalışmaktadırlar (Bayram ve Özhamam, 2017, s. 4).

Hava taşımacılığı bir ülkedeki tüm sektörler ve özellikle ülke ekonomisi için itici güç niteliğindedir. Özellikle turizm sektörünün bel kemiği olan hava taşımacılığı, dünya genelinde turist sayısının % 60' ından fazlasının hava yolu ile taşınmasından dolayı büyük önem arz etmektedir. Ayrıca bir ülkedeki havacılık endüstrisinin ve hava taşımacılığının gelişimi de o ülkenin küresel olarak gelişiminin başlıca göstergelerinden birisi olması nedeniyle havacılık, tüm dünyada çok büyük bir ekonomik değere ve potansiyele sahiptir. Ülkemizde “Her Türk vatandaşı hayatında en az bir kere uçağa binecek.” sloganı ile 2003 yılında başlatılan “Havacılıkta Serbestleşme Projesi” ile havacılık sektörüne adeta can suyu verilmiş ve ülkemiz havacılık sektöründe hızlı bir büyüme eğilimine girmiştir. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (ICAO) da hava yolu taşımacılığının güçlenmesi ve güvenli bir şekilde sürdürülebilmesi için “Hiçbir ülke geride kalmayacak.” hedefi ile örgüte üye tüm ülkelerin havacılık faaliyetlerinin gelişimine katkı sağlamaktadır (Bayram ve Özhamam, 2017, s, 4).

2016 yılı itibari ile dünyada özellikle ticari havacılıkta baş döndürücü bir hızlanma göze çarpmaktadır. Havacılık teknolojilerinin gelişmesi ile maliyetlerin azalması ve zaman kavramının insan hayatında günden güne daha çok önem kazanması, havacılığın günlük yaşamımızdaki yerini ve rolünü daha kritik hale getirmiştir. 2005 yılında dünyada toplam 1,8 milyar yolcu taşınmışken 2015 yılında bu sayı 3,5 milyar yolcu olarak gerçekleşmiştir. Buna göre son 10 yılda sivil havacılık sektöründe taşınan yolcu sayısı yaklaşık iki katına çıkmıştır. Sadece bu veriler bile dünyada sivil havacılık sektörünün nasıl bir büyüme trendi içerisinde olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. 2016 yılında ise taşınan yolcu sayısı % 6 artarak 3,7 milyar kişiye çıkmıştır. 2015 ve 2016 yıllarında taşınan yolcuların dünya üzerindeki dağılımları Şekil 1.1’de gösterilmektedir (Bayram ve Özhamam, 2017, ss. 4-5).



Şekil 1.1 : 2016 Yılı Dünyada taşınan yolcuların dağılımı (Bayram ve Özhamam, 2017).

Dünya genelinde taşınan yolcu sayısı 2015 yılında % 6,7 artış gösterirken 2016 yılında bu değer % 6,3 olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla dünyada hava yolu taşımacılığındaki büyüme trendi hızla devam etmektedir. Bununla birlikte 2016 verilerinde göze çarpan önemli noktalardan birisi en fazla büyümenin Asya Pasifik ve Orta Doğu bölgelerinde olmasıdır. Ayrıca, ICAO tarafından yayımlanan 2016 verilerinde en çok göze çarpan bir diğer nokta ise “low-cost” olarak tabir edilen düşük maliyetli operatörlerin taşımış olduğu yolcu sayısı olmuştur. Buna göre 2016 yılında düşük maliyetli operatörlerin taşıdığı yolcu sayısı ilk defa 1 milyar kişinin üzerine çıkmış ve toplam taşınan yolcunun % 28’ i bu operatörler tarafından taşınmıştır. Bu noktada bölgesel havacılığın dünyadaki gelişimi de ortaya çıkmaktadır (Bayram ve Özhamam, s. 5).

Yapılan incelemelerde dünyada küresel büyüme 2012-2015 yıllarında ortalama % 2,8 olarak hesaplanmış, 2016 yılında ise IMF (Uluslararası Para Fonu) küresel büyümenin % 3,1 olacağını öngörmüştür; ancak FED’in (ABD Merkez Bankası) faiz artırımı süreci, İngiltere’deki Brexit, Avrupa bankalarında baş gösteren sorunlar, Çin’de yeniden dengelenme düzenlemeleri ve jeopolitik ve siyasi risklerin sonucunda 2016 yılındaki büyüme değerinin kuvvetli ihtimalle % 3’ ün altında kalacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte IMF tarafından 2016 Ekim ayında revize edilen “Dünya Ekonomik Görünümü” raporunda gelişmiş ülkelere yönelik büyüme tahmini % 1,6’ ya indirilmiştir (Bayram ve Özhamam, 2017, s. 7).

IMF verilerine göre 2016 yılı başında dünyada bölgelere göre büyüme oranları ve ICAO verilerine göre dünyada havacılığın büyüme oranları Çizelge 1.1’ deki gibidir (Bayram ve Özhamam, 2017, s. 7).

Çizelge 1.1 : IMF ekonomi verileri ve ICAO havacılık verileri (Bayram ve Özhamam, 2017).

Bölgeler	Asya	Kuzey Amerika	Avrupa	Orta Doğu	Latin Amerika	BDT/ Rusya	Afrika	Dünya
Dünya Ekonomisi, %	4,1	2,3	1,8	3,8	2,9	2,5	3,7	2,9
Hava Trafığı (RPK), %	6,0	3,1	3,7	5,9	5,8	3,7	6,1	4,8
Uçak Sayısı, %	5,0	1,8	2,7	4,8	4,4	3,1	3,8	3,6

Çizelge 1.1’ den de görülebileceği üzere havacılık sektöründe gerek yolcu trafiği gerekse filo büyüklüğündeki büyüme dünyadaki ekonomik büyümenin neredeyse iki katı düzeyindedir (Bayram ve Özhamam, 2017, s. 8).

IMF tarafından 2016 Ekim ayında revize edilen “Dünya Ekonomik Görünümü” raporunda ülkemize ait büyüme beklentisini ise 2016 yılı için % 3,3 ; 2017 yılı için ise % 3,0 olarak açıklamıştır (Bayram ve Özhamam, 2017, s. 7).

Dünyada ortalama % 4,5-5,5 civarında büyüyen sivil havacılık sektörü ülkemizde çok daha hızlı bir şekilde büyümüş ve ortalama % 13-14 bandında bir büyüme trendi ortaya koymuştur. Dünyanın önde gelen üreticileri ve araştırma firmaları tarafından yapılan tahminlerde dünyada gerçekleşen % 4,5-5,5’lik büyüme oranının 2030’ lu yılların ortalarına kadar kesintisiz bir şekilde devam edeceği öngörülmektedir. Ülkemizde ise dünya ortalamasının üstünde bir oranla büyüme eğiliminin devam edeceği beklenmektedir (Bayram ve Özhamam, 2017, s. 8).

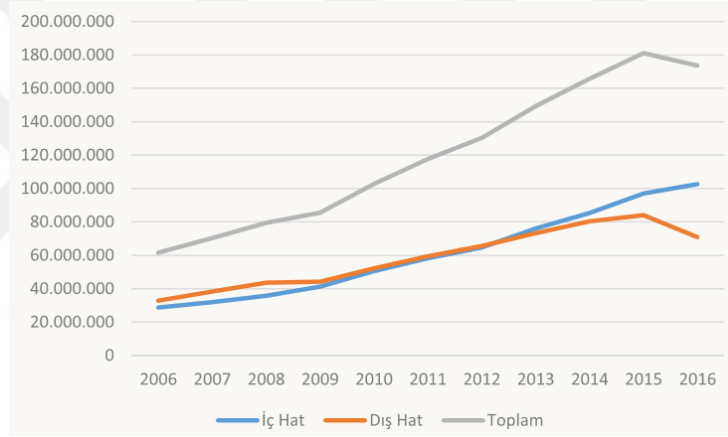
Ülkemizde hava yolu taşımacılığı dünya ortalamasının üzerinde bir hızla büyümektedir. RPK (Revenue Per Kilometer) bazında dünyada hava trafiği son yıllarda ortalama % 4,5-5,5 civarında büyüme gösterirken ülkemizde bu oran % 13-15 dolaylarında gerçekleşmiştir. Bu büyüme değerlerinde şüphesiz ülkemizde son dönemlerde havacılık sektörü ve hava yolu ulaşımına yönelik politikaların ve atılmış olan etkili adımların katkısı oldukça fazladır (Bayram ve Özhamam, 2017, s. 29).

2003 yılında aktif havalimanı sayısı 26 olan ülkemizde 2017 yılı itibari ile aktif havalimanı sayısı 55’e yükselmiştir. 2017 yılında yapılması planlanan 10 havalimanı ile birlikte dünyanın en büyük havalimanlarından biri olacak olan İstanbul Üçüncü

Havalimanı ülkemizin hava yolu taşımacılığına ciddi bir şekilde katkı sağlayacaktır (Bayram ve Özhamam, 2017, s. 29).

Ülkemizde 2003 yılından bugüne kadar taşınan yolcu sayısı her geçen yıl artarak devam etmiştir. Son 13 yılda, yıllık ortalama % 15 oranında artış gösteren yolcu sayısı, 2016 yılında gerek dünyada gerekse ülkemizde yaşanan birçok olumsuzluğa rağmen çok fazla etkilenmemiştir. DHMİ tarafından açıklanan verilere göre 2016 yılında ülkemizde hava yollarını kullanan yolcu sayısı 180 milyon olarak gerçekleşmiştir. Bu rakam 2015 yılına göre sadece % 1 daha düşüktür (Bayram ve Özhamam, 2017, s. 29).

DHMİ tarafından yayımlanan verilere göre ülkemizde son on yıldaki yolcu trafiği Şekil 1.2’ deki gibi gerçekleşmiştir (Bayram ve Özhamam, 2017, s. 31).



Şekil 1.2 : 2006-2016 Ülkemizde hava yolu yolcu trafiği (Bayram ve Özhamam, 2017).

Şekil 1.2’ ye göre 2006 yılından günümüze kadar yolcu trafiği hız kesmeden artmıştır. 2016 yılında gerek ülkemizde gerekse dünyada meydana gelen olağan dışı olaylardan dolayı 2016 yılında toplam yolcu sayısı artış göstermemekle birlikte hemen hemen 2015 yılındaki seviyeyi yakalamıştır. Her ne kadar DHMİ tarafından yayımlanan verilerde 2017 yılının ilk üç ayında yolcu sayısında geçen yılın ilk üç ayına göre düşüş yaşansa da ülkemizin içine girdiği güvenli ve istikrarlı sürecin devam etmesi ve turizm sektöründe yapılacak iyileştirmeler ile 2017 yılının bitiminde yolcu sayısının 2016 verilerinin üzerinde olması beklenmektedir. Bununla birlikte İstanbul’da yapımı devam eden üçüncü havalimanının devreye girmesiyle 2018 yılından sonra yolcu sayısındaki artışı hızı büyük bir ivme kazanacaktır (Bayram ve Özhamam, 2017, s. 31).

1.1 Tezin Amacı

Hava koşullarına ilişkin riskler uçak emniyeti üzerinde ciddi bir olumsuz etkiye sahiptir. Son araştırmalara göre dünya çapındaki hava kazalarının % 20 ila % 30' undan hava koşulları sorumludur. Avrupa'da hava trafiği gecikmelerinin % 22' si olumsuz hava koşullarından kaynaklanmaktadır. Problem güncel eğilimin gelecek 20 yıl içerisinde hava trafiğinde 3 kat artış öngörmesidir. Eğer kaza oranları aynı kalırsa, kaza sayıları ciddi bir biçimde artacaktır ve bu durumun hava yolu şirketleri ve hükümet temsilcileri tarafından kabul edilemez olduğu düşünülmektedir. Bu riskleri azaltmak için dünya çapında pek çok faaliyet yürütülmektedir (Page, 2010, s. 2).

Havacılık için tehlikeli olan çok sayıda meteorolojik risk bulunmaktadır. Hadiselerdeki farklı ölçeklerinden dolayı uçakların yolboyunda (yerel ve küresel ölçekler) veya havalimanı terminal sahasında (yerel ölçek) karşılaştıkları tehlikeler aynı değildir. Bu nedenle bazı hadiseler sadece yerel ölçekte veya yolboyunda iken yüksek irtifalarda etkilidir. Sonuç olarak temel meteorolojik riskler geçici olarak şu şekilde sınıflandırılabilir: havalimanı terminal sahasında havalimanındaki yerel hava durumu ile ilişkili rüzgar (dalga burgacı vb.), orajlar (mikro hava patlamaları, dolu, rüzgar kesmesi vb.), buzlanma, düşük tavan ve düşük görüş mesafesi ile yolboyunda bölgesel ve küresel ölçekteki hava durumu ile ilişkili orajlar (dolu, türbülans vb.), açık hava türbülansı ve buzlanma (daha düşük irtifalardaki bölgesel uçuşlarda). Bu meteorolojik riskleri değerlendirme, tanımlama ve tahmin edebilmek için farklı kaynak ve materyallerden yapılan gözlemler gerekmektedir (Page, 2010, ss. 1-2).

Küresel hava trafik hacmi artmakta ve artışını hızlı şekilde sürdürmektedir, dolayısıyla havacılıktaki meteorolojik risklere karşı tahminlerin iyileştirilmesi uçuş operasyonlarının emniyeti ve etkinliği açısından büyük gereklilik arz etmektedir. Seyir irtifalarında (yaklaşık 5-12 km arası) türbülans, buzlanma ve konveksiyon için tutarlı tahminlerin yapılması uçuş sırasındaki yaralanmalardan, yapısal hasardan ve karşılaşılan risk durumlarındaki gecikmelerden kaynaklanan ekstra maliyetlerin azaltılması açısından kritiktir. Yukarı seviye jet akımları ve rüzgar değişimlerinin güvenilir şekilde tahmin edilmesi optimum uçuş rotası planlaması açısından da önemlidir. Yakındaki havalimanları, gözlem ve modelleme sistemlerinin hızlı şekilde güncellenen kısa vadeli tahminleri kalkmakta ve inmekte olan uçaklar açısından ciddi emniyet sorunlarına neden olabilecek olası alçak seviye rüzgar kesmesi ve

aşağı yönlü hava patlaması olaylarının tanımlanması açısından kritik öneme sahiptir. Uzun vadeli bakış açısında iklim değişikliği ile havacılık arasındaki iki yönlü ilişkinin daha iyi anlaşılması havacılıkta daha çevreci bir stratejinin geliştirilmesine yardımcı olabilir (Choi ve diğ., 2017, s. 1).

Bu bağlamda bu çalışmada öncelikle havacılık sektöründe risk teşkil ederek yolcuları mağdur eden ve sektördeki şirketleri zarara uğratan buzlanma, rüzgar, oraj, yağış, bulut tavanı ve görüş mesafesi gibi meteorolojik faktörler uçaklar üzerindeki etkileri, teşhis edilme şekilleri ve tahmin ile azaltma yöntemleri ile beraber ele alınmış, sonrasında MGM'den sağlanan 2010-2014 yılları arasındaki 5 yıllık dönemi kapsayan METAR, SPECI ve TAF verileri ile Türk sivil havacılığındaki özel bir havayolu şirketi tarafından sağlanan 2010-2014 yılları arasında meteorolojik sebeplerden divert eden ve iptal olan sefer verileri incelenerek Türkiye için meteorolojik faktörlerin bölgesel bazda ve havalimanı bazında nasıl bir dağılım gösterdiği ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada 2010-2014 yılları arasının özellikle seçilmesinin sebebi 2010 yılına girerken 50 milyon dolayında olan iç hat yolcu trafiğinin 2015 yılına girerken 100 milyona ulaşarak 2 katına ulaşması ile sektördeki çarpıcı artışa meteorolojik faktörlerin olumsuz anlamda ne şekilde etki ettiğinin ortaya konmak istenmesidir. Türkiye’de 2010 ila 2014 yılları arasında aktif durumda olan 46 havalimanı çalışma kapsamında incelenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Havacılık meteorolojisinin araştırılmasının önemine rağmen uluslararası alanda yalnızca birkaç grup bilim insanı halihazırda bu konular üzerine eğilmektedir.

Lester, P. F. ve Şen, O. (1987) “Meteorological Conditions Associated With the Sabena DC-10 Incident Near Jamestown, New York, April 7, 1986” başlıklı çalışmalarında Sabena DC-10 kazasındaki meteorolojik şartların makro ve mezo ölçekli analizinin çeşitli açık hava türbülansı öncüllerinin varlığını gösterdiğini ortaya koymuştur.

Şen, O. ve Lester, P. (1987) “Turbulence over Greenland During Easterly Flow” başlıklı çalışmada şiddetli türbülansın nedenleri teşhis edilirken yapılan analizde çok ölçekli analizin kullanılmasına değinmiştir.

Bach, R. E. ve diğ. (1988) “The Use of DFDR Information in the Analysis of a Turbulence Incident over Greenland” başlıklı çalışmalarında ticari hava aracından elde edilen Dijital uçuş kara kutusunun (DFDR) şiddetli türbülans olaylarında mezo-ölçekteki çevre hakkında önemli bilgi sağlayabileceğini belirtirken Grönland buzulunda dağ dalgalarından kaynaklanan bir türbülans örnek olayını ele almıştır.

Wolfson, M. M. (1988) “Characteristics of Microbursts in the Continental United States” isimli çalışmasında A.B.D’deki uçuş kazalarında önemli bir yeri olan mikro hava patlaması olayını tanımlayıp kategorize ederek mikro hava patlaması olayından kaynaklanan uçuş kazalarının önlenebileceğini ortaya koymaya çalışmıştır.

Staley, J. M. (1990) “Passive Infrared Detection of Microburst Induced Low Level Wind Shear” başlıklı çalışmasında pasif kızılötesi radyometre sistemlerinin mikro hava patlamalarını tespit edebilme kapasitelerini teorik olarak belirlemeye çalışmıştır.

Wolfson, M. M. ve diğ. (1994) “ Automated Microburst Wind-Shear Prediction” başlıklı çalışmalarında kendi geliştirdikleri mikro hava patlaması ile rüzgar kesmesini otomatik ve güvenli şekilde tahmin eden ve orajların evrimi ve aşağı yönlü akımların gelişiminin temel prensiplerini vurgulayacak ve ihtiyaca göre geliştirilebilecek şekilde bulgusal ve istatistiksel yöntemleri bir araya getirecek bir algoritmayı göstermiştir.

Wiegmann, D. ve Goh, J. (2000) “Visual Flight Rules (VFR) Flight into Adverse Weather: An Empirical Investigation of Factors Affecting Pilot Decision Making” isimli çalışmalarında gözlemsel meteorolojik koşullar içindeki görerek uçuş kuralları dahilinde pilotların uçuşunu aynı meydan üzerinde sürdürmesi veya yönünü değiştirmesi konusunda karar verme mekanizmasının varsayımsal bir seyahat uçuşunun dinamik simülasyonu kullanılarak araştırmıştır. Sonuçlar simülasyonun uçuşunu sürdürecektir ya da yönünü değiştirecek pilotların ve her iki grup arasındaki farklılıkların tanımlanmasında başarılı olduğunu göstermiştir.

Met Office College (2001) tarafından hazırlanan "Aviation Hazards" başlıklı çalışmada buzlanma, türbülans, yan rüzgar, kümülonimbus ve oraj, sağanak hattı ve sis gibi havacılığı etkileyen meteorolojik etkenleri açıklayıp, karşılaşıldığında nasıl uyarı verildiğini ortaya koymuştur.

Kulesa, G. (2003) "Weather and Aviation: How Does Weather Affect The Safety and Operations of Airports and Aviation, And How Does FAA Work To Manage Weather-related Effects?" başlıklı çalışmasında uçuculuğu etkileyen orajlar ve diğer konvektif fırtınalar, havadaki buzlanma, türbülans, tavan ve görüş mesafesi, yerdeki buzlanmanın önlenmesi, volkanik kül gibi faktörleri ve bu faktörlerin oluşturacağı risklerin nasıl azaltılabileceğini anlatmıştır.

Belson, B. L. (2004) "An Automated Method of Predicting Clear-Air Turbulence" isimli çalışmasında askeri havacılık ve savunma sanayisinin bütünlüğü açısından büyük öneme sahip açık hava türbülansının tahminine yönelik geliştirdiği yeni bir yöntemi tüm hatlarıyla ortaya koymuştur.

MeteoSchweiz (2005) "Evaluation of Turbulence Forecasts with aLMO" başlıklı çalışmasında herhangi bir türbülans kaynağından ortaya çıkacak türbülansı bir indikatör gibi ifade etmesi amaçlanan aLMO'nun nasıl türbülans analizi yaptığını ortaya koymuştur.

National Transportation Safety Board (2005)'un "Risk Factors Associated with Weather-Related General Aviation Accidents" başlıklı raporu aletli uçuşu gerektiren hava şartları ya da düşük görüş mesafesi ile karakterize edilen hava koşullarında meydana gelen kazalarla ("hava şartlarıyla ilişkili kazalar") ilişkili risk faktörlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamayı amaçlamıştır.

NAV Canada (2005) "Aviation Weather Hazards" başlıklı yazıda buzlanma, görüş mesafesi, rüzgar, rüzgar kesmesi ve türbülans, rüzgaraltı dalgalar, cephe, oraj, soğuk hava koşulları, volkanik kül, bozunum bölgesi gibi bazı spesifik meteorolojik elemanların uçuşları nasıl etkilediğini ortaya koymuştur.

Airbus (2007) "Flight Operations Briefing Notes. Adverse Weather Operations. Wind Shear Awareness" başlıklı raporunda öngörülen ya da olması muhtemel olan rüzgar kesmesi veya aşağı yönlü hava patlamasının mevcut olduğu koşullarda uçuşlarda meydana gelebilecek sorunları önlemeye yönelik yol gösterici bir kılavuz oluşturmayı amaçlamıştır.

Airbus (2007) "Flight Operations Briefing Notes. Adverse Weather Operations. Optimum Use of Weather Radars" başlıklı raporunda karşılaşılabilecek meteorolojik

kaynaklı uçuş problemlerinde uçuş ekibinin bu sorunları en aza indirebilmesine olanak sağlayacak hava radarlarının sahip olduğu özellikleri ve kısıtlamalarını açıklamıştır.

Kwong, K. M. ve Chan, P. W. (2007) “LIDAR-based Turbulence Intensity Calculation along Glide Paths” başlıklı çalışmalarında türbülans şiddetinin üçüncü kuvveti şeklinde ifade edilen EDR (Eddi- yayılım oranı)’nin LIDAR’lar kullanılarak piste yaklaşmakta olan hava araçlarının karşılaşacağı süzülüş yolu boyunca doğrudan profilinin çıkartılmasının ne ölçüde mümkün olduğunu ortaya koymayı amaçlamıştır.

Parvar, M. S. ve Asari, H. (2007) "Analysis of Microburst Effect On An Aircraft Landing Approach" isimli çalışmalarında değişken rüzgar terimlerinin hava araçlarının hareketini ve uçuş performanslarını nasıl etkilediğini ortaya koymuştur.

WMO (2007)’nin “Aviation Hazards” başlıklı raporunda havacılık sektöründe çalışan tahmincilere havacılık açısından tehlike doğurabilecek çeşitli faktörler konusunda yol gösterilmesi amaçlanmış ve bu faktörler detaylı şekilde ele alınmıştır.

Chan, P. W. (2009) “LIDAR-based turbulence intensity calculation using glide-path scans of the Doppler LIght Detection And Ranging (LIDAR) systems at the Hong Kong International Airport and comparison with flight data and a turbulence alerting system” adlı çalışmasında hava araçlarının karşılaşabileceği alçak seviye türbülansa karşı uyarı sisteminde yer alan ve Hong Kong Uluslararası Havalimanı (HKIA) üzerindeki rüzgar kesmesi uyarı takibi için Hong Kong Gözlemevi (HKO) tarafından kurulan LIDAR sistemlerinin süzülüş yolu taramalarını incelemiştir.

Page, C. (2010) Bulut tavanının ve görüş mesafesinin iyileştirilmesine, uçuş sırasındaki buzlanma bölgelerinin anlaşılmasına, 3 boyutlu rüzgar yapısının ve havalimanı terminal sahasındaki rüzgar yapısının anlaşılması ve orajların takibine yönelik yapılan çalışmalara değinmiştir.

Chan, P. W ve diğ. (2011) “Verification of NWP Turbulence Intensity Guidance Using Eddy Dissipation Rate from Aircraft Data” başlıklı çalışmalarında ticari jetlerdeki EDR’ yi kullanarak Londra ve Washington’da yer alan iki Dünya Bölgesel Tahmin Merkezi’nde oluşturulan sayısal hava tahmini türbülans şiddeti ürününün performansını doğrulamaya çalışmıştır.

IATA (2012) "Guidance for Turbulence Management" başlıklı raporunda kabin güvenliği unsurları ve türbülans yönetimindeki hususları anlatmıştır.

Jiang, H. (2012)'nin hazırladığı "MET 4300 Severe Weather Lecture 34: Downbursts" başlıklı ders notlarında aşağı yönlü hava patlaması olayı genel hatlarıyla anlatılmaktadır.

Havacılık meteorolojisinde araştırma faaliyetlerinin koordineli ve ilerleyerek sürdürülmesi için Yonsei Üniversitesi tarafından 2008 yılından beri iki yılda bir Havacılık Meteorolojisi Çalıştayı düzenlenmektedir. Bu çalıştayı temel amacı havacılıktaki meteorolojik riskleri daha iyi tahmin edip analiz edecek operasyonel tahmin modelleri ve gözlemlene teknikleri geliştirebilecek ve nihayetinde havacılıktaki meteorolojik koşulların olumsuz etkilerini azaltabilecek aktif araştırma grupları, operasyonel hava tahmincileri ve paydaşlar arasındaki işbirliğini güçlendirecek yollar bulmaktır. Araştırmada Güney Kore, A.B.D., Birleşik Krallık ve Almanya'dan bilim insanları, federal ajanlar ve operasyonel tahmincilerin yer aldığı 50'den fazla katılımcı Jeju Adaları, Kore'de 2-4 Kasım 2016 tarihleri arasında 5. Havacılık Meteoroloji Çalıştayı'nda havacılık meteorolojisi risklerine dair tahminleri iyileştirebilmek için yapmış oldukları araştırma sonuçlarını ve tahmin deneyimlerini paylaşmak üzere bir araya gelmiştir. Katılımcılar halihazırda şu 4 temel konu üzerine eğilmiştir: küresel havacılık türbülans tahmin sistemlerinin geliştirilmesi, havacılık meteorolojisindeki modelleme ve gözlemlene sistemlerinin geliştirilmesi, yerel meteorolojik tahminler ile alçak seviye rüzgar kesmesi ve havacılıkla iklim değişikliği arasındaki ilişki. Çalıştayda küresel bazlı türbülans tahmin sistemi, yıldırım tabanlı radar yansıması tepe noktası ürünü, havalimanı yakınında rüzgar tahminlerinin ve alçak seviye rüzgar kesmesinin detaylı şekilde yakalanması gibi konularda yapılan çalışmalardan da söz edilmiştir.

Türkiye'de de havacılık sektörüne yönelik olarak son 10 yılda yapılmış bir takım çalışmalar mevcuttur.

Berber, F. (2007) "Kuvvetli Meteorolojik Olaylar" başlıklı çalışmada oraj, dolu, şimşek ve gökgürültüsü, hortum, aşağı yönlü hava akımları gibi meteorolojik olayları derinlemesine ele almıştır.

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (2007) "Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünün Havacılık Sektörüne Verdiği Hizmetler" başlıklı yazısında havacılık sektörüne ne gibi hizmetler verildiğinden ve havacılık meteorolojisinden söz etmiştir.

Aktaş, C. ve Erkuş, O. (2009) "Lojistik Regresyon Analizi ile Eskişehir'in Sis Kestiriminin İncelenmesi" isimli çalışmalarında lojistik regresyon analizini teorik olarak inceledikten sonra Eskişehir'de sis olayının havacılık faaliyetleri üzerine etkilerini incelemiştir.

Yılmaz, H. ve Arslan, S. (2011), "Havacılık Emniyetini Tehdit Eden Durumlar ve Kazaların Önlenmesine Yönelik Öneriler" isimli çalışmalarında yaşanan hava aracı kazaları ve emniyet problemleri nedeniyle havacılık faaliyetlerini yürüten işletmelerin finansal açıdan zarar görmesinden dolayı ulusal ve uluslararası havacılık otoriteleri ve işletmelerinin havacılık emniyetini ve uçuş emniyetini tehlikeye sokan durumları enine boyuna irdelleyerek, sonuçları doğru bir şekilde analiz edip gelecekte benzer sorunların önüne geçmek adına ortak faaliyetler yürütülerek uçuş emniyetinin artırılması konusuna değinmiştir.

Çamalan, İ. (2012) "JAA ATPL Eğitim (Meteoroloji)" başlıklı yazıda rüzgar kesmesi, türbülans, aşağı yönlü akımlar gibi kavramları açıklayarak bu kavramların uçuculuk üzerindeki etkilerinden bahsetmiştir.

Akbayır, İ. (2016) hazırlamış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında 2011 ila 2016 yılları arasında Türkiye sınırlarındaki 67 havalimanına ait METAR ve SPECI raporlarından yararlanarak çeşitli programlar vasıtasıyla detaylı sis analizleri yapmıştır.

Özdemir ve diğ. (2016) İstanbul Atatürk Havalimanı için yaptıkları çalışmada 2006 ila 2015 yılları arasındaki periyotta havalimanı için hazırlanan METAR raporlarını kullanarak meydana gelen sis hadiselerinin analizini yapmıştır.

1.3 Uçuşlarda Etkili Olan Meteorolojik Parametreler

1.3.1 Buzlanma

Bulutlarla ilgili yapılan en basit varsayımlardan bir tanesi bulut damlacıklarının 0 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda sıvı halde olması ve sıfırın birkaç derece altında donarak buz kristallerine dönüşmesidir. Ancak gerçekte, 0 °C su damlacıklarının aşırı soğumuş hale gelerek donma kapasitelerini gösteren sıcaklıktır. Bazı damlacıklar 0 °C' nin hemen altında kendiliğinden donar iken bazıları daha düşük sıcaklıklarda dahi sıvı halde kalır. Aşırı soğumuş su damlacıkları 0 °C' nin altında sıcaklıktaki uçağa çarptığında uçak buzlanması meydana gelir. Buz kristalleri kanat profillerinin kenarlarında oluşur, hava akımında ve yapışkan özelliği de olabilir (NAV Canada, 2005, s. 9).

Kırç (Kırağı buzu)

Kırç, her bir damlacığın diğer bir damlacık aynı yere çarpmadan önce tamamen donma ihtimaline sahip olduğu küçük damlacıklardan oluşur. Oluşan buz opaktır ve damlacıklar arasında sıkışan hava nedeniyle kırılmandır. Kırç kanat profillerinin hücum kenarlarında oluşma eğilimindedir, hava akımına dahil olur ve yapışkan özelliği düşüktür. Şekil 1.3' te kırç şeklinde buzlanma görülmektedir (NAV Canada, 2005, s. 10).



Şekil 1.3 : Kırç (Kırağı buzu) (NAV Canada, 2005).

Kar

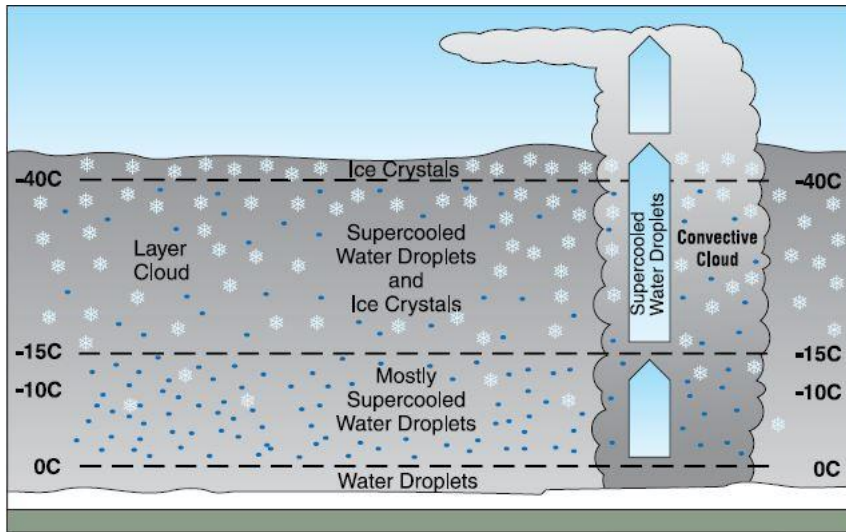
Kuru kar genellikle uçak yüzeyine tutunmayacak ve buzlanma sorunlarına neden olmayacaktır. Ancak, ıslak kar 0 °C' nin altındaki sıcaklıklardaki uçak yüzeyinde şiddetli dona neden olabilir ve kaldırılması zordur (NAV Canada, 2005, s. 16).

Donan Sis

Donan sis hadisesi kışın yaygın şekilde görülür. Sis basitçe yere temas eden bulut olarak ifade edilebilir ve donan sis içerisinde donma noktasının altındaki sıcaklıklara (0 °C ile -10 °C arasında) sahip aşırı soğumuş su damlacıkları yüksek oranda mevcut olacaktır (NAV Canada, 2005, s. 16).

Buluttaki sıvı su içeriği belirli bir hacme sahip havadaki damlacık boyutuna ve sayısına bağlıdır. Sıvı su içeriği ne kadar fazla ise buzlanma potansiyeli de o kadar yüksektir. Kuvvetli yukarı yönlü düşey hava akımına sahip bulutlar yukarı yönlü hava akımları büyük damlaların dahi yağışa geçmesini önlediğinden genellikle daha yüksek sıvı su içeriğine sahiptir. En kuvvetli yukarı yönlü hava akımları konvektif bulutlarda, keskin orografik yükselme ile oluşan bulutlarda ve rüzgaraltı bulutlarda gözlenir (NAV Canada, 2005, s. 11).

Buluttaki sıcaklık yapısı damlacık boyutu ve sayısı üzerinde önemli etkilere sahiptir. -10 °C civarında daha büyük aşırı soğumuş damlacıklar sıcaklıkların -15 °C' nin altına düşmesiyle bütün boyutlarda hızlı şekilde donmaya başlayan damlacıklarla aynı oranda kendiliğinden donmaya başlar. -40 °C' de damlacıklar tamamen donacaktır. İstisna olanlar sıvı su damlacıklarının donmadan önce yüksek seviyelere taşınabildiği çok kuvvetli yukarı yönlü düşey hava akımına sahip kulemsi kümülüs ya da kümülonimbus bulutlarıdır. Şekil 1.4' te buluttaki su damlacıkları ile buz kristallerinin nasıl dağılım gösterdiği görülmektedir (NAV Canada, 2005, ss. 11-12).



Şekil 1.4 : Buluttaki su damlacıkları ile buz kristallerinin dağılımı (NAV Canada, 2005).

Sonbahar ve kış mevsiminde geniş donmayan göller üzerinden geçen havanın nem içeriği artacaktır ve altındaki ısınmadan dolayı hızlı şekilde kararsız hale gelir. Oluşan bulut tabaka bulutuna benzemekte iken oldukça kuvvetli yukarı yönlü hava akımlarının ve yüksek konsantrasyonda aşırı soğumuş damlaların enverziyonu ile kapak etkili enverziyonlu bir konvektif bulut şeklini alacaktır (NAV Canada, 2005, s. 13).

Derinleşen bir alçak basınç merkezinde veya dağ yamaçları boyunca olduğu gibi kütlelerin hızlı bir şekilde yükselmesi ile kalın tabaka bulutu oluşur ve beraberinde aşırı soğumuş damlaların konsantrasyonu da artacaktır (NAV Canada, 2005, s. 13).

1.3.2 Rüzgarlar

Yaklaşma ve iniş sırasında gerçekleşen kazaların yaklaşık %40' ında olumsuz hava koşulları (düşük görüş mesafesi ve pist durumu dışındaki) ikinci derecede etkili olan faktördür. Olumsuz rüzgar koşulları (kuvvetli yan rüzgarlar, ters rüzgar ve rüzgar kesmesi) yaklaşma ve iniş sırasında gerçekleşen kazaların %30' dan fazlasına ve Kontrollü Uçuşta Yere Çarpma (Controlled Flight Into Terrain) ile ilgili olayların %15' ine karışmıştır. Rüzgar kesmesi yaklaşma ve iniş sırasında gerçekleşen kazaların %4' ünde ana etken olup ölümlü kazalarda dokuzuncu sırada yer almaktadır. Bu istatistikler Çizelge 1.2' de toplanmıştır (Airbus, 2007, ss. 1-2).

Çizelge 1.2 : Yaklaşma ve iniş sırasında gerçekleşen kazalarda meteorolojik faktörler (Airbus, 2007).

Faktör	Olayların Yüzdesi
Olumsuz hava koşulları	40 %
Olumsuz tüm rüzgar koşulları	33 %
Rüzgar kesmesi	4 %

Kıyı koylarında veya dağ vadilerindeki rüzgar akışı gibi yerel etkiler dikkate alındığında rüzgarın anlaşılabilirliği biraz daha karmaşık hale gelir. Bu etkiler nedeniyle havalimanının bir tanesinde sürekli hafif rüzgarlar etkili iken bir diğerinde geceleri kuvvetli hamleli rüzgar hadiseleriyle karşılaşılabilir (NAV Canada, 2005, s. 19).

Rüzgarın Kararlılığı ve Günlük Değişimi

Kararlı bir hava paterninde gündüz rüzgarlar geceye göre genellikle daha kuvvetli ve daha hamleli şekildedir. Gündüz süresince, Güneş'in ısıtmasıyla yukarıdaki kuvvetli rüzgarları aşağısındaki yüzeye taşıyan ve daha zayıf yüzey rüzgarları ile karıştıran

konvektif karışma meydana gelir. Konvektif karışma nedeniyle yüzey rüzgarlarının hızında artış ve hamleli rüzgarlar görülmeye başlanır iken karışmış tabakanın yukarısındaki rüzgar hızlarında azalma meydana gelir. Gün batımından sonra, yeryüzeyi soğur ve devamında yüzeye yakın havanın soğumasıyla sıcaklık enverziyonu meydana gelir. Soğuma devam ettikçe enverziyon derinleşir ve konvektif karışma sona erer ve sonucunda yüzey rüzgarlarının hızı azalır (NAV Canada, 2005, s. 19).

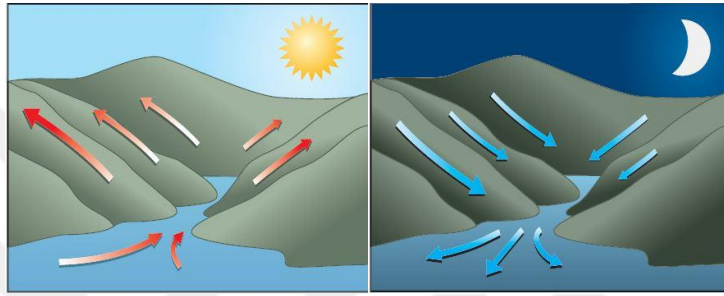
Deniz ve Kara Meltemleri

Deniz ve kara meltemleri yalnızca hafif rüzgar koşulları altında gözlenebilir ve bitişik bölgeler arasındaki sıcaklık farklılıklarına bağlı olarak değişir. Kara üzerindeki hava komşu su yüzeyi üzerindeki havadan daha hızlı ısındığında deniz meltemi oluşur. Bunun sonucunda daha sıcak hava yükselir ve su üzerindeki nispeten daha soğuk hava denizden karaya doğru akarak yükselen havanın yerini alır. Öğlenin ilerleyen saatlerinde maksimum ısınma meydana gelir ve deniz melteminin sirkülasyonu 1.500 ila 3.000 ft derinliğinde olabilir ve 10 ila 15 kt arasında hızlarla karada 50 deniz mili kadar genişliğe sahip olabilir. Akşam süresince deniz meltemi çöker. Gece olduğunda karanın soğumasıyla deniz melteminin tersi yönde karadan suya doğru akan kara meltemi oluşur. Genellikle deniz meltemi kadar kuvvetli değildir ancak epey hamleli olduğu zamanlar da mevcuttur. Hem kara meltemi hem deniz meltemi kanallaşma ve hunilenmeden etkilenebilir ve sonucunda ani rüzgar yönü kırılımları ve hızı 50 kt'ları bulabilen hamleli rüzgarlarla birlikte cephe benzeri koşullar oluşabilir. Bu olay genellikle “göl etkili rüzgarlar” olarak tanımlanır (NAV Canada, 2005, s. 25).

Anabatik ve Katabatik Rüzgarlar

Gündüz süresince vadilerin kenarları Güneş'e daha fazla maruz kaldıkları için vadi tabanlarına göre daha sıcak hale gelir. Bunun sonucunda rüzgarlar yamaçtan yukarı doğru akar. Gündüz süresince yamaçtan yukarı doğru akan bu rüzgarlar anabatik rüzgarlar olarak adlandırılır. Özellikle güneye bakan hafif eğimli vadi kenarları düz, dar bir vadiye göre daha etkili ısınır. Bunun sonucunda daha geniş vadilerde vadi meltemi daha kuvvetli olacaktır. Yeterli yüksekliğe ulaşan bir anabatik rüzgar bulut oluşturacaktır. Bunlara ilaveten, böyle bir rüzgar uçak ve planörlerin kaldırma

kuvvetini arttırır. Bu etki genellikle bir alçak seviye etkisidir ve uçurumların yalnızca 200 ila 300 ft yukarısında farkedilebilir. Gece hava dağ yamaçlarının üzerinde soğur ve vadi tabanına doğru çöker. Eğer vadi tabanı eğimli ise rüzgarlar vadi boyunca alçak yüzeye doğru hareket eder. Soğuk gece rüzgarları drenaj rüzgarı veya katabatik rüzgar olarak adlandırılır ve genellikle hamlelidir ve anabatik rüzgardan daha kuvvetlidir. Vadide yer alan bazı havalimanları katabatik akıştan kaynaklanan değişken koşulları göstermesi açısından pistlerinin çeşitli konumlarında rüzgar tulumuna sahiptir. Şekil 1.5’ te anabatik ve katabatik rüzgarlar görülmektedir (NAV Canada, 2005, s, 26).



Şekil 1.5 : Anabatik rüzgarlar (solda), Katabatik rüzgarlar (sağda) (NAV Canada, 2005).

Sağanaklar

Sağanak basitçe rüzgardaki ani ve geçici artış olarak tanımlanır. Ortalama rüzgarda en az 16 kt’lık bir artış ile en az 22 kt hızında ve 1 dakika boyunca etkili olup kısmen ani olarak ortadan kaybolması olarak belirtilir. Sağanaklar tek bir Kümülonimbus hücreindeki hamle cephesi veya mikro hava patlaması ile ilişkili olabilir. Habubların oluşmasına yol açarlar. Bir soğuk cephenin geçişinde daha organize bir biçimde oluşmaları durumunda sağanak hattı olarak ifade edilirler (WMO, 2007, s. 50).

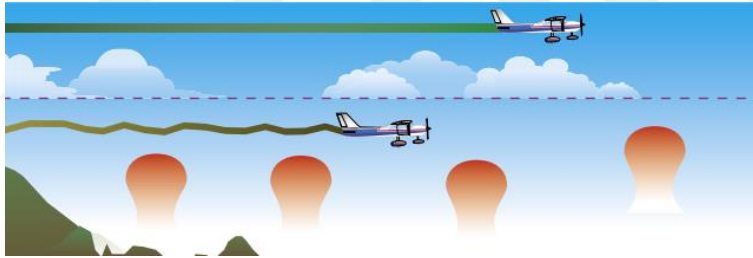
Rüzgar Paternleri

Yüksek ve alçak basınç rüzgar paternlerinin iyi anlaşılabilmesi bir uçuş planlanırken daha net anlaşılabilir şöyle ki pilot kuyruk rüzgarlarından yararlanabilir. Batıdan doğuya doğru bir uçuş planlandığında bir yüksek basınç sisteminin kuzey tarafı veya bir alçak basınç sisteminin güney tarafında elverişli rüzgarlarla karşılaşılabilir. Dönüş seferinde en elverişli rüzgarlar aynı yüksek basınç sisteminin güney tarafında ya da alçak basınç sisteminin kuzey tarafında beklenebilir. Yüksek basınç ve alçak basınç sistemlerinin hakim olduğu alanlar baz alınarak izlenen bir uçuş rotasında ne

tür hava koşullarının beklendiğinin iyi şekilde anlaşılması da fayda sağlayacaktır (FAA, 2016, s. 7).

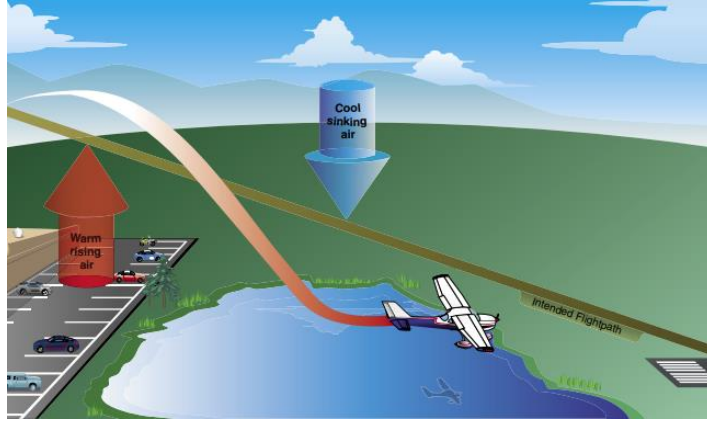
Konvektif Akımlar

Farklı yüzeyler ısıyı da farklı miktarda yayar. Sürülmüş toprak, kayalar, kum ve kırıç arazi büyük oranda ısı yayarken su, ağaçlar ve diğer bitki örtüsü yüzeyleri ısıyı emme ve tutma eğilimindedir. Havanın düzensiz ısınması sonucunda konvektif akımlar olarak adlandırılan küçük yerel sirkülasyon alanları oluşur. Sıcak havada alçak irtifalarda uçarken zaman zaman karşılaşılan sarsıntılı ve türbülanslı havanın sebebi konvektif akımlardır. Değişen yüzeyler üzerindeki bir alçak irtifa uçuşta asfalt ve çorak arazi üzerinde sıklıkla yukarı yönlü hava akımları oluşma meyilinde iken su ve ağaç grubu gibi geniş bitki örtüsü alanları üzerinde sıklıkla aşağı yönlü hava akımları oluşma meyilindedir. Genellikle böyle türbülanslı alanlardan daha yüksek irtifalarda hatta kümülüs bulut tabakalarının üzerinde uçularak kaçınılabılır. Şekil 1.6' da bu durum görselleştirilmiştir (FAA, 2016, s. 7).



Şekil 1.6 : Konvektif türbülansdan kaçınma (FAA, 2016).

Yere yakın konvektif akımlar bir pilotun uçağı kontrol etme kabiliyetini etkileyebilir. Örneğin son yaklaşımda bitki örtüsünün olmadığı bir arazide yükselen hava zaman zaman balon etkisi yaparak pilotun istenen iniş noktasını kaçırmasına neden olabilir. Diğer yandan, geniş bir su yüzeyi üzerinden veya kalın bir bitki örtüsü alanı üzerinden bir yaklaşımda arazi çökme etkisi eğilimi göstererek hazırlıksız bir pilotun istenen iniş noktasına gelmeden kısa iniş yapmasına yol açabilir. Şekil 1.7' de değişen yüzey koşullarında oluşan akımlar gösterilmektedir (FAA, 2016, ss. 7-8).

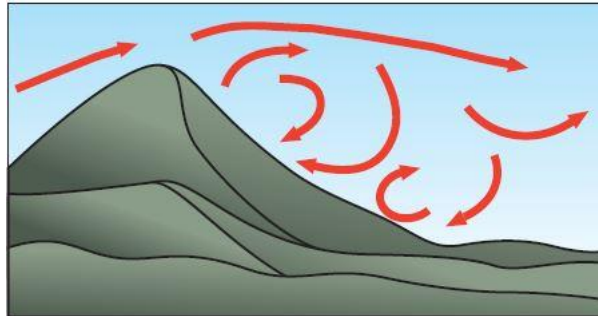


Şekil 1.7 : Değişen yüzey koşullarında oluşan akımlar (FAA, 2016).

Rüzgar Üzerindeki Topografik Etkiler

Rüzgaraltı Etkileri

Rüzgarlar engebeli bir arazi üzerindeki dik bir uçuruma karşı estiğinde hamleli türbülanslı rüzgarlar meydana gelir. Çevrıntiler (eddies) genellikle tepelerin daha kuvvetli ve daha zayıf rüzgarların durağan olduğu bölgeleri meydana getiren rüzgaraltı tarafında oluşurlar. Bu kuvvetli rüzgar bölgelerinin tahmin edilebilirliği oldukça fazladır ve genellikle hava akımının rüzgar yönü ve kararlılığı değişmediği sürece etkisini sürdürür. Rüzgar gölgeleri olarak adlandırılan bölgelerde meydana gelen daha zayıf rüzgarların hızı ve yönü özellikle daha yüksek tepelerin rüzgaraltı tarafında değişebilir. Tepelerin rüzgaraltı tarafında rüzgar genellikle hamlelidir ve çoğunlukla yönü tepelerin üzerinde esen rüzgara göre tamamen terstir. Tepelerin yakınında daha küçük ters çevrıntilerle karşılaşılabilir. Şekil 1.8’ de rüzgaraltı etkileri görselleştirilmiştir (NAV Canada, 2005, s. 22).



Şekil 1.8 : Rüzgaraltı etkileri (NAV Canada, 2005).

1.3.2.1 Rüzgar kesmesi

İki nokta arasındaki mesafede rüzgar yönünde ve hızındaki değişim rüzgar kesmesi olarak bilinir. Eğer iki nokta düşey doğrultuda ise düşey kesme, yatay doğrultuda ise yatay kesme olarak adlandırılır (NAV Canada, 2005, s. 20).

Düşey rüzgar kesmesi:

Düşey eksen boyunca yatay rüzgar bileşenindeki değişimler rüzgar kesmesi tabakası içerisinde tırmanış ve alçalış yapıldığında uçağın hava hızını etkileyebilecek bir türbülansla sonuçlanabilir. Her 1000 feet' te 20 knots ile her 1000 feet' te 30 knots değerleri rüzgar bileşenindeki tipik değişim değerleridir ancak düşey rüzgar kesmesinde bu değer her 100 feet' te 10 knots' a ulaşabilir (Airbus, 2007, s. 2).

Yatay rüzgar kesmesi:

Yatay eksen boyunca rüzgar bileşenindeki değişimlerdir (azalan kafa rüzgarı veya artan ters rüzgar, veya kafa rüzgarından ters rüzgara doğru rüzgar yönünün kırılması). Rüzgar bileşenindeki değişimler her 1 deniz milinde 100 knots' a ulaşabilir (Airbus, 2007, s. 2).

Bir vadi boyunca esen yüzey rüzgarı vadi üzerinde serbest akış halindeki rüzgardan önemli ölçüde fark ediyorsa kayda değer bir rüzgar kesmesi sözkonusu olabilir. Yönde 90° ve hızda 25 kt'lık bir değişim dağlık arazide epey yaygındır (NAV Canada, 2005, s. 20).

Cepheler boyunca da rüzgar kesmesi ile karşılaşılabilir. Cephe bölgeleri genellikle kademeli değişim olacak kalınlıktadır ancak soğuk cephe bölgelerinde 200 ft kadar ince kalınlıklar ölçülmektedir. Bir sıcak cephe boyunca birkaç yüz feet içerisinde 90 dereceden daha büyük yön değişikliğine yol açan önemli yönsel rüzgar kesmeleri de gözlenebilmektedir. Yer yüzeyinin hemen üzerindeki bir cephe yüzeyinde yapılan kalkış ve inişlerde pilotların dikkatli olması gerekir (NAV Canada, 2005, s. 20).

Pürüzlü bir yüzey düzenli rüzgar akışını bozduğunda oluşan rüzgar kesmesi mekanik türbülans olarak bilinir. Kesme tabakasındaki kesmenin miktarı ve derinliği rüzgar hızına, yüzeyin pürüzlülüğüne ve havanın kararlılığına bağlı olarak değişir (NAV Canada, 2005, s. 20).

Rüzgar kesmesi, çok küçük bir alan üzerinde rüzgar hızında ve/veya yönünde ani ve sert bir değişim yaşanmasıdır. Rüzgar kesmesi bir uçağın yatay hareketinde ani değişimlere neden olabilecek şiddetli yukarı yönlü ve aşağı yönlü hava akımlarına maruz kalmasına neden olabilir. Rüzgar kesmesi herhangi bir irtifada görülebilir iken alçak seviye rüzgar kesmesi uçağın yere yakınlığından ötürü özellikle risklidir. Rüzgar yönünde 180 °'lik değişimler ve rüzgar hızında 50 knots ve üzerinde değişimler alçak seviye rüzgar kesmesi ile ilişkilidir. Alçak seviye rüzgar kesmesi genellikle geçmekte olan cephesel sistemler, orajlar ve kuvvetli yukarı seviye rüzgarları (25 knots' dan büyük hızda) içeren sıcaklık enverziyonlarıyla ilgilidir (FAA, 2016, s. 11).

Bunlara ilaveten, büyük fırtınalarla ilişkili olarak dışa doğru yayılarak yere çarpan dışarıya yönelmiş şiddetli hava akımları oluşturabilen kuvvetli aşağı yönlü akımlar ya da mikro hava patlamaları meydana gelebilir. Bu aşağı yönlü akımlar genellikle yükselen daha sıcak yukarı yönlü hava akımı çevresinde çöken daha soğuk havadan kaynaklanır. Daha düşük sıcaklıklar, bir virgada veya kendiliğinden daha soğuk halde çoğunlukla orta seviyedeki havada görülebilen buharlaşan yağıştan kaynaklanabilir. Aşağı yönlü akımlar bulut içinde derinlerde daha sık oluşmasına rağmen ilgili risk bulut tabanının altında daha yüksektir. Kendiliğinden uçağı aşağı doğru çeken negatif düşey rüzgar hızının yanısıra önemli ölçüde yatay rüzgar kesmesi de gözlenir (WMO, 2007, s. 3).

Rüzgar kesmesi koşulları genellikle aşağıdaki meteorolojik durumlarla ilişkilidir:

- Jet akımları
- Dağ dalgaları
- Cephesel yüzeyler
- Orajlar ve konvektif bulutlar
- Mikro hava patlamaları (Airbus, 2007, s. 2).

Mikro hava patlamaları

Genellikle alçak seviye rüzgar kesmesinin en şiddetli türü orajlardaki konvektif yağış veya yağmurla ilişkili olandır. Konvektif yağışla ilişkili rüzgar kesmesinin önemli türlerinden bir tanesi mikro hava patlaması olarak bilinir. Tipik bir mikro hava patlaması yatay olarak 1 milden daha kısa mesafede ve düşey olarak 1000 feet

içerisinde meydana gelir. Bir mikro hava patlamasının yaşam ömrü 15 dakika civarındadır ve bu sürede dakikada 6000 feet' lik aşağı yönlü hava akımları oluşturabilir. Aynı zamanda saniyeler içerisinde rüzgar yönünde tehlikeli şekilde 45 derece ve üzerinde değişime yol açabilir (FAA, 2016, s. 11).

1.3.2.2 Türbülans

Türbülans rüzgar kesmesinin doğrudan sonucudur. Daha kuvvetli rüzgar kesmesi düzgün hava akışının bozularak çevrıntilere(girdap) ayrılma eğiliminin daha fazla olmasını ve sonucunda türbülans oluşmasına neden olur. Ancak, bütün rüzgar kesmesi bölgeleri türbülanslı değildir, dolayısıyla türbülansın olmaması rüzgar kesmesi olmadığı anlamına gelmez (NAV Canada, 2005, s. 20).

Hız değişimleriyle ilgili uçuş yönüne bağlı olarak rüzgar kesmesi türbülans olarak da hissedilebilir fakat aynı zamanda ilgili sonuçlarına bağlı olarak ani kuyruk rüzgarı ya da ön rüzgar olarak da hissedilebilir. Konveksiyon dışında rüzgar kesmesi ikinci önemli türbülans kaynağıdır (WMO, 2007, s. 1).

Çeşitleri

Türbülansı aşağıdaki şekilde sınıflandırabilmek mümkündür:

- Konvektif Türbülans
- Mekanik Türbülans (çoğunlukla alçak seviye türbülansı şeklinde)
- Orografik Türbülans
- Açık Hava Türbülansı (AHT)
- Alçak Seviye Jet Akımları
- Kuyruk Türbülansı/Kuyruk Burgaçları (WMO, 2007, s. 2).

Konveksiyon Nedenli Türbülans-Konvektif Türbülans

Konveksiyon türbülansla her zaman ilişkilidir bu nedenle konvektif türbülans olarak tanımlanır. Kaynağı ve fiziksel nedeni aşağıdaki şekillerde olabilir;

- Konvektif bulutlar içerisindeki ve etrafındaki düşey akımlar türbülanslıdır;
- Gelişen konvektif yapılar, örs içerisinde olduğu gibi birbirini radyal olarak dağıtan ya da düşey olarak da dağıtabilen gravite dalgaları oluşturabilir;
- Kuru termaller (yükselen doymamış hava gibi)

- Yağışla veya orta seviyelerdeki soğuk hava tabakalarıyla ilişkili aşağı yönlü akımlar. Bunlar sağanakların yakınında sağanak hatları oluşturabilir (WMO, 2007, s. 2).

Kara üzerindeki termal türbülansla öğlen maksimum değer, gece minimum değere ulaşacak şekilde belirgin günlük değişimler mevcuttur. Orajlar ise bütün gece boyunca etkisini sürdürebilir ve yüzlerce kilometre uzak mesafelere kadar yayılabilirler (WMO, 2007, s. 2).

Mekanik Türbülans

Mekanik türbülansı oluşturan tek etken rüzgar kesmesidir. Rüzgar kesmesi rüzgar hızının ortadan kaybolduğu yüzey yakınında her zaman mevcuttur. Sınır tabaka içerisinde ve genel olarak gece içinde bir alçak seviye jet akımı bulunabilir ve bu jet akımı türbülans oluşturabilir. Ayrıca tropopoz yüksekliklerinde jet akımının ucuna yakın kısımda türbülans görülebilir (WMO, 2007, s. 8).

Yer yakınında mekanik türbülans genellikle alçak seviye türbülans olarak adlandırılır, üzerindeki havanın yüzey sürtünmesinden dolayı oluşur. Mekanik türbülansın şiddeti şunlara bağlıdır:

- Rüzgar gücü;
- Yüzey pürüzlülüğü;
- Yüzey yakınındaki atmosferik kararlılık (WMO, 2007, s. 8).

Genel olarak, rüzgar ne kadar kuvvetli ve yüzey ne kadar pürüzlüyse beklenen türbülans da o kadar yoğundur. Pürüzsüz bir deniz yüzeyi üzerindeki hafif rüzgarlar türbülansın en düşük olduğu durumdur. Sıcaklığın yükseklikle azalma oranının eğimi ne kadar fazlaysa düşey hamle rüzgarları da gelişmeye o kadar müsaittir ve dolayısıyla türbülans da o kadar kuvvetli olur. Daha kararlı bir havada düşey çevrintiler (eddies) bastırılır ve türbülans yoğun şekilde nem kazanır, ancak çok kararlı bir hava ile büyük engeller (tepeler/dağlar) üzerinde yeterli miktardaki yer değiştirme dağ dalgası ya da rüzgaraltı dalgası gelişimine yol açabilir (WMO, 2007, s. 8).

Orografik Türbülans

Yüzey pürüzlülüğü arttığında karakteristik pürüzlülük yüksekliği (şehirler, ormanlar, küçük tepeler ve daha büyük tepeler ile dağlar üzerinde) de artarsa hava akımı başlangıç seviyesine göre büyük yer değiştirmelerle karşılaşır. Bunun sonucunda hava kütesinin kararlılığına bağlı olarak konveksiyon tetiklenebilir ve beraberindeki türbülansla birlikte gravite dalgaları da oluşturabilir, bu durumda dağ dalgaları olarak adlandırılır, veya hava akımını başlangıç seviyesine döndürme eğilimi izleyerek durağan dalgalar ve rotorlar oluşturabilir. Orografik yapı rastgele karmaşık olabilir ve ilgili akış paterni için de geçerlidir. Bozulmamış gradyan rüzgar varlığında beklenebilen bir durum olan, hava akımının vadiler boyunca belirgin sapmalar göstererek huni yapısı almasına bakılarak akımın dağlar veya tepeler tarafından engellendiği ve sırtların yakınında türbülansın arttığı da tespit edilebilir (WMO, 2007, s. 9).

Sakin hava beklenen durumlarda tahminciler tedbirli olmalıdır, çünkü katabatik ve anabatik rüzgarlar gelişerek rüzgar beklenmemesine rağmen bir rüzgar akımı meydana getirebilir. Dağ buzulu boyunca ve dağ buzulu eteğinde kuvvetli katabatik rüzgarlar görülebilir ve soğuk hava vadi rüzgarı sistemlerini geliştirmiş olur (WMO, 2007, s. 10).

Dağ dalgaları dağları boydan boya geçen bir akım tarafından oluşturulur ve kararlı atmosfer koşullarında gelişebilir. Bu dalga hareketleri aşağı akım yönünde aşağıdaki yapıların bünyesinde yüzlerce km boyunca varlığını sürdürebilir:

- Sıcak sektörlerde,
- Antisiklonların etrafındaki kuvvetli rüzgarlarda,
- Sıcak cephe önlerinde (WMO, 2007, s. 10).

Dağ dalgalarının oluşabilmesi için bir takım koşulların mevcut olması gerekir:

(a) rüzgar yönü dağ veya tepeye dik doğrultuda 30 derecelik bir açı içerisinde olmalıdır. Dağın yüksekliği arttıkça ve rüzgaraltı tarafına doğru düşüş eğimi keskinleştikçe tetiklenen salınımı kapsamı da artar.

(b) rüzgar hızı küçük tepeler için 15 kt ve dağ sırtları için 30 kt'a ulaşmalıdır. Bir jet akımının jet ekseninin altında kendisiyle ilişki içerisindeki kuvvetli rüzgarlar ideal bir durumdur.

- (c) troposfer içerisinde rüzgar hızı yükseklikle arttıkça rüzgar yönü sabit kalmalıdır.
- (d) hava dağ zirvelerinin yakınında kararlı olmalı ancak aşağısında daha az kararlı olmalıdır. Kararsız tabaka havanın yükselmesini sağlar ve kararlı tabaka da aşağı yönlü bir akım dalga modelinin gelişmesini sağlar (NAV Canada, 2005, s. 28).

Bütün bu koşullar yılın herhangi bir zamanında karşılanabilir iken kış mevsiminde oluşan daha kuvvetli rüzgarlar daha tehlikeli dağ dalgalarının oluşmasına neden olur (NAV Canada, 2005, s. 28).

Dağ Dalgalarının Özellikleri

Bir dağ dalgası modeli ortaya konmadan önce bazı temel kuralları içerir:

- Daha kuvvetli rüzgar daha uzun dalgaboyuna karşılık gelir. Tipik bir dalgaboyu 6 mil uzunluğundadır ancak 3 mil kadar kısa ve 15 mil kadar uzun olabilir.
- Tekil dalga tepelerin konumu ortalama rüzgar hemen hemen sabit kaldığı müddetçe aralarından akan rüzgar ile neredeyse durağan kalacaktır.
- Tekil dalga genliği 3000 ft' e ulaşabilir.
- Dağ dalgası tabakası genellikle dağ tepelerinin hemen altından tepelerin 4000 ila 6000 ft yukarısına kadar çıkabilir ancak daha yükseğe de çıkabilir.
- Dalga içerisinde tetiklenen düşey akımlar dakikada 4.500 ft değerine ulaşabilir.
- Dalga tepesi içerisindeki rüzgar hızı daha yüksek iken dalga oluşu içerisinde daha düşüktür.
- Aşağı yönlü akımın giderek azalmaya başladığı dalgalara kıyasla engele yaklaşan dalgalar en kuvvetli dalgalar olacaktır.
- Her dalga tepesinin altında “rotor” olarak adlandırılan geniş bir çevrinti(girdap) oluşabilir.
- Dağ sıralarındaki aşağı yönlü akımlar tetiklenen dalga modellerini arttıra da bilir azalta da bilir (NAV Canada, 2005, s. 29).

Aşağı yönlü hava akımları sıklıkla engelin rüzgaraltı tarafında bulunur. Bu akımlar genellikle dakikada 2000 ft değerine ulaşır ancak dakikada 5000 ft'e ulaşan aşağı yönlü hava akımları da bildirilmiştir. En kuvvetli aşağı yönlü hava akımı genellikle zirvenin tepesine yakın yükseklikte gözlenir ve bir uçağı aşağıya doğru hareket etmeye zorlayabilir (NAV Canada, 2005, s. 29).

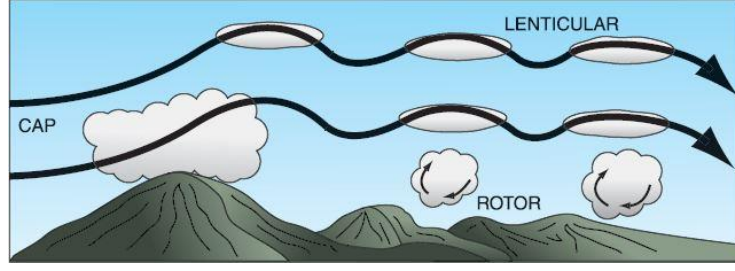
Dağ dalgası oluşumunun izleri daha belirgin şekilde şu şekillerdedir:

- Sınır tabakanın tepesinde özellikle bir keskin enverziyonun hemen altında kuvvetli rüzgarlar ($>20-25$ kt),
- Normal ekseninden itibaren sırt eksenile 30 derecelik açı yaparak esen rüzgar,
- Tepe yüksekliğinin 1.5 ila 2 kat yukarısında belirgin bir enverziyon tabakasıyla kaplanmış bir nötr alçak seviye tabaka (WMO, 2007, s. 10).

Dağ dalgalarının gravite dalgalarından farkı yoktur bu nedenle sıkıştırılmış ya da sıkıştırılmamış olarak sınıflandırılabilirler, sıkıştırılmamış olanlar aynı zamanda düşey olarak yayılımlarıyla da bilinir. Rüzgar hızları yükseklikle arttığında ve/veya kararlı bir tabaka üzerinde daha kararsız bir hava mevcut olduğunda oluşan dalgalar sıkıştırılmış dalgalar olarak tanımlanır. Dalga enerjisi çoğunlukla alçak seviyelerde yer alan her bir yatay tabaka içerisinde sıkışmıştır ve rüzgar yönünde yayılır. Kararlılık yüksek olduğunda ve/veya rüzgar hızı düşük olduğunda ya da tepe genişliği fazla olduğunda oluşan dalgalar sıkıştırılmamış dalgalardır. Dalga enerjisi yukarıya doğru yayılır böylece bu dalgalar genellikle stratosferde olağan şekilde gözlenirler ve bazen iyi tanımlanmış sınırlara sahip karakteristik orografik Cirrüsleri de barındırırlar (WMO, 2007, s. 10).

Özellikle düşey akımlar kuvvetli olduğunda ve dalga boyu kısa olduğunda dağ dalga hareketleriyle ilişkili olarak türbülans gözlenebilir. Dalga tepeleri ve çukurları yakını türbülans oluşumuna daha yatkın iken orta seviyelerde akış epey düzgün ve laminar olabilir. Bütün gravite dalgaları gibi dağ dalgaları da şiddetli türbülansa neden olabilir (WMO, 2007, s. 10).

Dağ dalgaları kaldırma kuvveti ihtiva eder ve yeterince nem mevcut ise Şekil 1.9' da görülen karakteristik bulutlar oluşacaktır (NAV Canada, 2005, s. 30).



Şekil 1.9 : Dağ dalgaları tarafından oluşturulan karakteristik bulutlar (NAV Canada, 2005).

Takke bulutu (Cap cloud)

Genellikle dağ silsilesinin zirvesi üzerinde oluşan ve durağan kalan bulut türüdür. Çoğunlukla dağın rüzgaraltı tarafında neredeyse şelale benzeri bir görünüme sahip olabilir. Bu etki çökme hareketinden kaynaklanır ve dağ zirvesinin rüzgaraltı tarafına doğru kuvvetli bir aşağı yönlü hava akımının göstergesidir (NAV Canada, 2005, s. 30).

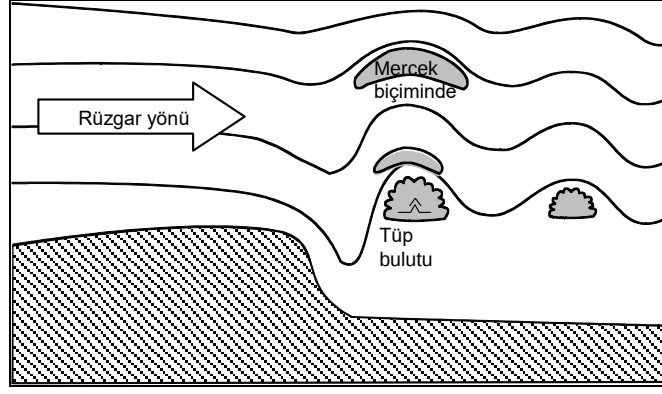
Merceksi bulutlar (Lenticular clouds)

Her dalganın tepesinde mercek şeklinde bir bulut olabilir. Bu bulutlar her bulutun arasında birkaç bin feet olacak şekilde dikey olarak ayrılabilir ya da birbirlerine çok yakın şekilde oluşarak bir tabak yığını andırabilirler. Dalganın tepesine doğru akan hava genellikle laminerdir bu da bulutun düz görünümlü olmasını sağlar. Rüzgar kesmesinin türbülansla sonuçlandığı bir durumda merceksi bulut pürüzlü ve rüzgarın etkisiyle ayrı bir görünüme sahip olacaktır (NAV Canada, 2005, s. 30).

Döneç bulutu (Rotor cloud)

Bir döneç bulutu döneç (rotor) ile ilgili olarak oluşabilir. Rüzgaraltı yönünde birkaç mil uzunluğunda ve dağ silsilesine paralel şekilde uzun bir stratokümülüs hattı şeklinde görünecektir. Tabanı genellikle dağ silsilesi tepesinin hemen altında olacaktır ancak tepesi bu seviyenin yukarısına uzanabilir. Bir döneç bulutuyla ilişkili türbülans döneç bulutunun içerisinde ve yakınında şiddetlidir (NAV Canada, 2005, s. 30).

Şekil 1.10' da durağan dalga ve dönecin bir dağ silsilesinin rüzgaraltı tarafına doğru hareketi görülmektedir.



Şekil 1.10 : Durağan dalga ve dönecin bir dağ silsilesinin rüzgaraltı tarafına doğru hareketi (WMO, 2007).

Döneç akışı

Döneç akışı terimi tahminciler tarafından kara dalgalarıyla ilişkili devirdaimi ifade etmek için kullanılır. Bu, yerel bir dalganın etkilediği ters basınç gradyanının idealleştirilmiş halidir. Bu gradyanların yüzey yakınında ivmenin hızlı şekilde azalmasına neden olduğu görülürken bu gradyanlar kuvvetli türbülans ve yüksek düzeyde rüzgar değişkenliğiyle de ilişkilidir. Döneç akışı oluşması için gerekli koşullar şunlardır:

- Sınır tabakanın tepesinde özellikle bir keskin enverziyonun hemen altında kuvvetli rüzgarlar ($> 20-25$ kt),
- Normal ekseninden itibaren sırt eksenine 30 derecelik açı yaparak esen rüzgar,
- Tepe yüksekliğinin 1.5 ila 2 kat yukarısında belirgin bir enverziyon tabakasıyla kaplanmış bir nötr alçak seviye tabaka
- Tepe yüksekliğinin 1.5 ila 2 kat yukarısında rüzgar yönünde büyük bir değişimle birlikte rüzgar hızında belirgin bir azalma,
- İyi karışmış en düşük tabakanın üzerinde kararlı bir hava kütlesi (WMO, 2007, s. 11).

Genellikle dağ silsilesinin rüzgar yönüne bakan kısmında gradyan rüzgar akışına ters yönde hafif rüzgarla karakterize edilen yüzey gözlemleri döneç akışının iyi bir göstergesidir. Sırtın rüzgaraltı kısmındaki enverziyonun alçalmaya zorlanma ve sonucunda ortaya çıkan adyabatik ısınmadan ötürü rüzgar yönündeki enverziyondan daha düşük olabileceği bilinmelidir. Dağ dalgası aktivitesinin ya da döneç akışının kuvvetli rüzgarla temsil edilmediği durumlarda bile yüzey pürüzlülüğünden dolayı

Alçak seviye jet akımlarının bilinen bir diğer türü de gecesel alçak seviye jet akımlarıdır. Bu jet akımı genellikle yeryüzeyinden 700 ila 2000 ft yukarıda (gecesel enverziyon tepesinin hemen altında) yer alan ancak duruma göre 3000 ft kadar yükseklikte de bulunabilen nispeten yüksek rüzgar hızlarına sahip bir banttır. Rüzgar hızları genellikle 20 ila 40 kt arasında değişmekte olup 60 kt' ı bulduğu da görülebilir (NAV Canada, 2005, s. 22).

Alçak seviye gecesel jet akımları nispeten düz arazi üzerinde oluşma eğilimindedir ve binlerce mil uzunluğunda, birkaç yüz ft kalınlığında ve yüzlerce mil genişliğinde bir rüzgar şeridini andırır. Alçak seviye gecesel jet akımları dağlık arazide de gözlenebilir ancak özelliği yerel olma eğilimindedir. Alçak seviye gecesel jet akımları çoğunlukla yazın açık gecelerde (enverziyon gelişimine müsait) meydana gelir. Enverziyon tepesinin hemen altındaki rüzgarlar günbatımından sonra hızlanmaya başlar ve geceyarısından birkaç saat sonra maksimum hızına ulaşır ve ardından sabah Güneş'in ısıtmaya başlayıp enverziyonu ortadan kaldırmasıyla dağılır (NAV Canada, 2005, s. 22).

Gece oluşan alçak seviye jetlerinin sınır tabaka yükseklikleri 50 ila 1000 m arasındadır. Birkaç dekametre derinliğinde sık tabakalarla kaplı olabilir. Rüzgar kesmesi her 50 m' de 20 m/s gibi önemli düzeyde değerler alabilir. Gece oluşan alçak seviye jetleri tipik zayıf basınç gradyanları altında oluşan bir serbest akıştır. Gece süresince rüzgar yönü eylemsizlik frekansına ($2\pi/f$) bağlı olarak değişir. Jetin aşağı ve yukarı kısımlarındaki rüzgar kesmesi nedeniyle buralarda türbülans oluşabilir ve/veya gravite dalgaları da harekete geçebilir. Gece oluşan jetler özellikle Avustralya'nın alçaktaki ovaları, Orta Avrupa'nın kuzeyi ve A.B.D'deki Great Plains gibi dünyanın belirli bölgelerinde sık meydana gelen bir olaydır (WMO, 2007, s. 19).

Alçak seviye jetlerinin aşırı gelişen bir siklojenez süresince mevcut olan alçak merkezlerin etrafında oluşabilen ve sting jet olarak adlandırılan bir biçimi de mevcuttur. Böyle jetler halihazırda alçalmakta olan hava içerisinde yağış düştüğünden ve yağışın buharlaşması nedeniyle soğuyup daha yoğun hale gelen alçalan havanın ivme kazanmasından kaynaklanan gelişmiş rüzgar akış bölgeleridir. Sting jet kavramı üzerinde çalışılmaya devam edilmektedir ve oluşumundaki hassas mekanizma yukarıda anlatılan basit tarife göre daha karmaşıktır (WMO, 2007, s. 20).

Klimatolojik alçak seviye jeti için Somali Jeti'nin mevsimsel gelişimi ve sonradan dağılması örneği verilebilir. Somali Jeti Kuzey Yarımküre'de yaz mevsiminin ve Asya Musonu'nun gelişiminin bir özelliği olarak görülür. Gelişimini tamamlamış bir Güneydoğulu alçak seviye akışı Madagaskar'ın kuzey ucunu geçtiğinde ilk başta Güneyli olarak veering yapıp daha sonra Somali Yarımadası'nı Güneydoğulu şekilde geçerek Yemen ve Umman kıyılarına paralel şekilde ilerleyen bir Güneybatılı akış şeklini alır. Bu jet akımının önemli klimatolojik etkileri vardır ancak 850 hPa seviyesinde 40 ila 50 knots'lık maksimum rüzgarlarla birlikte havacılık açısından her zaman dikkat edilmesi gereken bir husustur (WMO, 2007, s. 20).

Kuyruk Türbülansı/Kuyruk Girdapları

Kuyruk türbülansı, uçağın kuyruk kısmında oluşan girdapların sonucunda meydana gelir. Her bir kanadın üst yüzeyinde girdaplar oluşur ve uçağın kuyruk kısmında kalır. Helikopterlerde de ana rotor kanatlarında oluşan girdaplar kuyruk türbülansı oluşturabilir. Uçağın uçuşunu sürdürmesini ve momentumun aşağıya doğru taşınmasını sağladığından oluşumları meteorolojik kökenli değildir. Öncelikli olarak, uçağın ağırlık, boyut ve aerodinamik özelliklerine bağlı olarak değişir. Ancak, bir kere oluşunca 1-2 m/s hızla aşağıya doğru hareket ettiği bilinir ve genel rüzgar akışı içerisinde taşınır (WMO, 2007, s. 24).

1.3.3 Orajlar

Kümülonimbus bulutları havacılık açısından aşağıdaki olasılıkları içermesi bakımından büyük bir tehlike arz eder;

- Şiddetli türbülans
- Şiddetli buzlanma
- Şiddetli alçak seviye türbülansa neden olabilen sağanakları ve hamle cephelerini oluşturan Mikro hava patlamaları
- Yıldırım
- Yağmur suyu içeriği gibi yüksek sıvı su içeriği
- Dolu (WMO, 2007, ss. 35-36).

Kümülonimbus bulutları aynı zamanda ve yerde farklı türlerde tehlikeler oluşturabileceği için hiç bir zaman gözardı edilmemelidir. Uçakların CB aktivitesi

olduğu bilinen alanlardan ve özellikle böyle aktivitelerin bulut tabakaları tarafından görülmesinin zorlaştığı alanlardan uçuşu önlenmelidir. Tek başına bulunan Kümülönimbus bulutunun ömrü 1,5 saat iken en yoğun Kümülönimbus gelişimi ve oraj/yıldırım aktivitesi süper hücrelere dönüşebilen çok hücreli konvektif sistemlerle ilgilidir. Böyle sistemler daha genç hücrelerin gelişmesiyle ömrünü uzun süre koruyabilir ve saatlerce sürebilir. Tahmincilerin oraj aktivitesi meydana getirmesi muhtemel çeşitli tipik sinoptik senaryolara karşı her zaman hazırlıklı olmaları gerekir (WMO, 2007, s. 36).

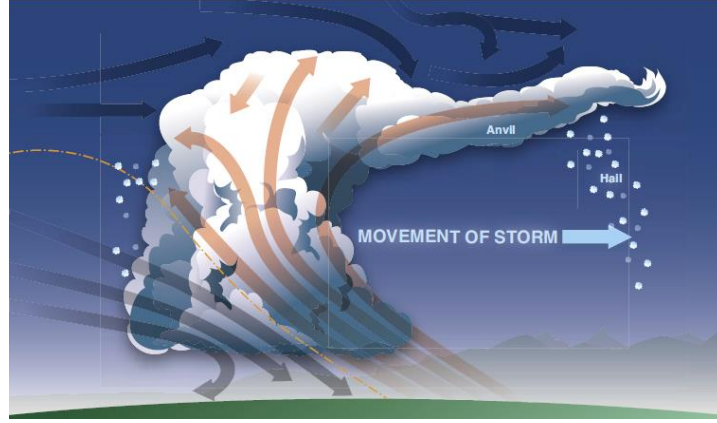
Yükselici hava akımları kümülönimbus bulutlarını oluşturduğundan aşırı derecede türbülanslıdır ve uçuş emniyeti açısından önemli bir risk arz eder. Örneğin herhangi bir uçak bir oraj içerisine girerse uçak dakikada 3000 feet' i aşan aşağı yönlü ve yukarı yönlü hava akımları ile karşılaşabilir. Ek olarak, orajlar uçaklar açısından her biri ayrı ayrı teşkil eden büyük dolu taneleri, zarar verici yıldırım, hortumlar ve büyük miktarlarda su oluşturabilir. Hafif uçaklarda orajların üzerinden geçilmesi imkansızdır. Şiddetli orajlar enleme bağlı olarak tropopoz seviyesini delip geçerek duruncaya kadar 50000 ila 60000 feet seviyelerine ulaşabilir. Orajların altından uçulduğunda uçak yağmur, dolu, zarar verici yıldırım ve şiddetli türbülansa maruz kalabilir (FAA, 2016, ss. 16-17).

Gelişimi ve türleri

Pilotun karşılaşabileceği en şiddetli ve tehdit edici hadise orajdır. Orajlar havacılık sektörü üzerinde pek çok tehlike oluşturabilir ve özellikle yazın düzlükler üzerinde çok yaygın olduklarından pilotların orajların doğasını anlaması ve nasıl başa çıkılabileceğini anlaması önemlidir. Bir orajın meydana gelebilmesi için bir takım bileşenlerin olması gerekir. Bunlar:

- Kararsız bir hava kütlesi
- Aşağı seviyelerde nem
- Gündüz ısınması, yukarı seviye soğuması gibi tetikleyici faktör
- Rüzgar kesmesi (şiddetli orajlar için) (NAV Canada, 2005, ss. 34-35).

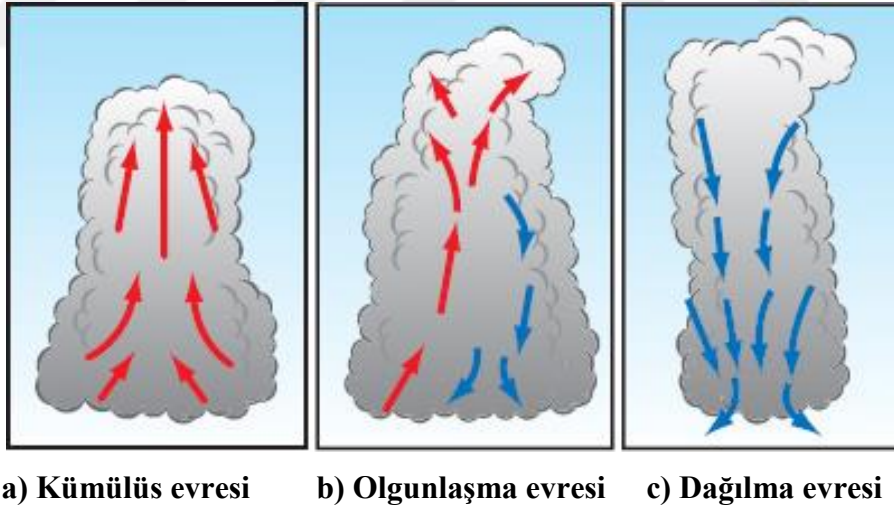
Şekil 1.12' de olgunlaşmakta olan bir orajın hareketi ve sahip olduğu türbülans görselleştirilmiştir.



Şekil 1.12 : Olgunlaşmakta olan bir orajın hareketi ve sahip olduğu türbülans (FAA, 2016).

Bir Orajın Yaşam Döngüsü

Oraj çap olarak 5 milden ekstrem durumlarda 50 mili bulan bir aralığı kaplayabilir ve genellikle ayrı yaşam döngüsüne sahip farklı evrelerde iki veya daha fazla hücreden oluşur. Her bir hücrenin yaşam döngüsü şu şekildedir: kümülüs evresi, olgunlaşma evresi, dağılma evresi. Bu evreler Şekil 1.13’ te gösterilmiştir (NAV Canada, 2005, s. 35).



Şekil 1.13 : Bir orajın yaşam döngüsünün üç aşaması: a) Kümülüs evresi, b) Olgunlaşma evresi, c) Dağılma evresi (NAV Canada, 2005).

Olgunlaşma evresinin sonuna doğru aşağı yönlü akımın boyutu artar ve böylece yukarı yönlü akımın nerdeyse tamamen kesilmesiyle hücre gelişimi durur. Ancak, böyle zamanlarda, yukarı seviye rüzgarları yükseklikle kuvvetli şekilde artacağından hücre eğilmeye zorlanır. Bu durumda, yağış hücrenin sadece belirli bir kısmından geçip düşer ve yukarı yönlü hava akımının varlığını sürdürüp dakikada 10000 feet

gibi değerlere ulaşmasına neden olur. Böyle hücreler kararlı hal fırtınaları olarak tanımlanır ve hortum gibi en şiddetli hava olaylarını üretetek saatlerce sürebilir (NAV Canada, 2005, s. 36).

Bazı fırtınalar kararsız havada rastgele şekilde meydana gelip yalnızca 1 ya da 2 saat sürmekte ve sadece orta kuvvette hamle rüzgarları ve orta kuvvette yağış oluşturmaktadır. Bu şekilde olanlar hava kütlesi orajlarıdır ve genellikle yerdeki ısınmasının bir sonucudur. Kararlı durum orajları meteorolojik sistemlerle ilişkilidir. Cepheler, birleşen rüzgarlar ve yukarıdaki oluklar yukarı yönlü hareketi sıklıkla sağanak hatlarına dönüşen bu fırtınaları beslemeye zorlar. Olgunlaşma evresinde yukarı yönlü hava akımları hava kütleli fırtınalardakine göre daha kuvvetli hale gelir ve daha uzun süreli olur ve bundan dolayı kararlı durum olarak adlandırılır (FAA, 2016, ss. 22-23).

1.3.4 Yağışlar

Yağışın uçuş emniyeti üzerinde büyük etkisi vardır. Yağış türüne bağlı olarak görüş mesafesi düşebilir, buzlanma koşulları oluşabilir ve uçağın iniş ve kalkış performansı etkilenebilir (FAA, 2016, s. 18).

Yağmur, çisenti veya kar tavan veya görüş mesafesi üzerinde soruna en fazla neden olan yağış türleridir (FAA, 2010, s. 130).

1.3.5 Bulut tavanı ve görüş mesafesi

1.3.5.1 Bulut tavanı kavramı

Bulutlar

Alçak seviye bulutlar yeryüzeyine yakın oluşan ve yer seviyesinden 6500 ft yukarıya kadar uzanan bulutlardır. Ana içeriği su damlacıklarıdır ancak uçakta tehlikeli şekilde buzlanmaya neden olabilen aşırı soğumuş su damlacıkları da içerebilir. Tipik alçak seviye bulutları stratüs, stratokümülüs ve nimbostratüs'tür. Sis de bir alçak seviye bulut oluşumu olarak sınıflandırılmaktadır. Alçak seviye bulutları alçak bulut tavanları ve düşük görüş mesafesine neden olup hızlı şekilde değişebilir. Bu sebeple uçuş planlamasını etkilemekte ve görerek uçuş kuralları (VFR) altındaki uçuşları imkansız hale getirebilmektedir (FAA, 2016, s. 15).

Alçak Stratüs Bulutları

Stratüs bulutları sise benzer şekilde aşırı küçük su damlacıkları veya havada asılı kalan buz kristallerinin bileşimidir. Dağda stratüs tabakası içerisinde duran bir gözlemci bu hadiseyi sis olarak tanımlayabilir. Stratüs ve sis sıklıkla bir arada görülür. Pek çok durumda sis ve stratüs arasında gerçek anlamda net bir ayrım yoktur daha ziyade gitgide birbiriyle iç içe hale gelir (FAA, 2010, s. 128).

Tavan

Havacılıkta tavan, çok bulutlu veya tamamen kapalı olarak rasat edilen bulutların en alçak seviyesi ya da sis veya kuru duman gibi bir engelin oluşturduğu düşey görüş mesafesidir (FAA, 2016, s. 17).

1.3.5.2 Görüş mesafesi ve görüş mesafesini kısıtlayan faktörler

Görüş Mesafesi Türleri

Havacılıkta farklı görüş mesafesi türlerini ifade etmek için kullanılan bir takım terimler mevcuttur;

- (a) Yatay görüş mesafesi:** Belirli uzaklıklardaki nesne veya ışıklar baz alınarak belirli bir yönde yatay olarak gözlenebilen en uzak görüş mesafesidir.
- (b) Hakim görüş mesafesi:** Ufuk dairesinin yarısı kadar veya ondan biraz daha büyük olarak yer seviyesindeki görüş mesafesidir.
- (c) Dikine görüş mesafesi:** Sis veya kar gibi yüzey tabanlı bir engellemenin düşey olarak yukarısına doğru bakıldığında gözlenebilen maksimum görüş mesafesidir.
- (d) Eğik görüş mesafesi:** Uçak kokpitinden ileriye veya geriye doğru bakıldığında gözlenebilen görüş mesafesidir.
- (e) Uçuş rüyeti:** Uçuş sırasında uçak kokpitinin herhangi bir zamanda önündeki ortalama görüş mesafesi menzildir (NAV Canada, 2005, ss. 16-17).

Pek çok uçak kazası yeterli nitelikte cihaza sahip olmayan pilotların karıştığı alçak tavan ve düşük görüş mesafeleriyle ilgilidir. Bu pilotlar yalnızca aletli uçuşta en iyi seçenek olan havaya ait görsel referans ile uçmaya çalışır. Görsel ufuk gözden kaybolduğunda duyular yanıltıcı olur, yön duygusu kaybolur ve aşağıdan yukarıya tarif edilemez hale gelir. Yön duygusunun kaybolacağından şüphelenilir ancak pek çok pilotun düşüncesini değiştiren tek bir sağlam korku vardır o da "olumsuz hava

koşullarına karşı görerek uçuş kuralları ile devam etmek" kavramıdır ve tüm ölümlü genel havacılık kazalarının % 25' ini oluşturmaktadır (FAA, 2010, s. 125).

Tavan ve görüş mesafesinin en düşük değerleri görerek uçuş kurallarını belirler. Daha düşük tavan ya da görüş mesafesi aletli uçuşu gerektirir. Pilotun yeri referans alarak görerek uçuş kurallarını sürdürebileceği maksimum yükseklik tavadır. Görüş mesafesi görebildiği en uzak yerdir. Aletli uçuş kurallarına ait prosedürler sis, alçak bulutlar, kuru duman, duman, görüşü kısıtlayıcı savrulan faktörler ve yağıştır. Sis ve alçak stratüs diğer meteorolojik parametrelere kıyasla görsel referans ile gerçekleştirilen seyrüseferi daha çok kısıtlamaktadır (FAA, 2010, ss. 125-126).

Görüş mesafesini kısıtlayan faktörler ele alınmadan önce Enverziyon kavramı ve Sıcaklık ile Çiy noktası sıcaklığı arasındaki ilişkinin bilinmesi faydalı olacaktır.

Enverziyon

Hava atmosferde yükselip genişledikçe hava sıcaklığı azalır. Atmosferin bu davranış biçimini değiştiren bir atmosferik anomali mevcuttur. Havanın sıcaklığı yükseklikle birlikte artarsa bir sıcaklık terselmesi (enverziyon) meydana gelir. Enverziyon tabakaları genellikle yere yakın düzenli ve kararlı havanın sığ tabakaları şeklindedir. Hava sıcaklığı belli bir noktaya kadar yükseklikle artar, bu nokta enverziyonun tepesidir. Bu tabakanın tepesindeki hava bir kapak görevi görerek havayı tutar ve kirleticilerin aşağıya hapsolmesine neden olur. Havanın bağıl nemi yüksek ise enverziyon tabakasında görüş mesafesinin düşmesine neden olan bulut, sis, kuru duman ya da duman oluşumuna katkı sağlar (FAA, 2016, s. 13).

Aşağı seviye enverziyonları sonbahar ve kış süresince çok soğuk hava koşulları ve kuvvetli radyatif soğumadan dolayı pek çok alanda yaygındır. Soğuk hava açık su yüzeyi üzerinden geçerken çok kararsız hale gelir. Bulut su yüzeyi üzerinde hemen hemen kaynamaya benzer bir görünüm alabilir ve yukarı doğru dönüş hareketi içerisindeki burgaçları (vorteks) meydana getirir (NAV Canada, 2005, s. 42).

Sıcaklık/Çiy Noktası Sıcaklığı İlişkisi

Çiy noktası ile sıcaklık arasındaki ilişki bağıl nem kavramını ortaya koyar. Çiy noktası, havanın daha fazla nem tutamayacağı sıcaklıktır. Hava sıcaklığı çiy noktası sıcaklığına düşerse hava tamamen doymuş hale gelir ve nemin yoğunlaşmaya

başlamasıyla sis, çiy, don (buğu sisi), bulut, yağış, dolu veya kar yağışı oluşur (FAA, 2016, s. 13).

Çiy ve Don

Serin ve rüzgarın sakin olduğu gecelerde yüzeyin sıcaklığı ve yüzey üzerindeki nesneler çevredeki havanın sıcaklığının çiy noktası sıcaklığının altına düşmesine neden olabilir. Bu durum meydana geldiğinde havadaki nem yoğunlaşır ve yer, binalar ve araba gibi uçak gibi nesnelerin üzerinde birikir. Bu nem çiy olarak bilinir ve zaman zaman sabahları çimenlerin üzerinde görülür. Sıcaklık donma noktasının altında ise nem don şeklinde birikir. Çiy uçak için herhangi bir risk teşkil etmez iken don belirgin şekilde uçuş emniyeti üzerinde risk oluşturur. Don kanat üzerindeki hava akışını bozar ve kaldırma kuvvetinin keskin şekilde düşmesine neden olabilir. Aynı zamanda kaldırma kuvvetinin azalma etkisiyle birleşip uçağın kalkış kabiliyetini olumsuz etkileyebilen sürüklenme kuvvetinin artmasına neden olur. Bir uçuşa başlamadan önce uçağın iyice temizlenmesi ve dondan arınması gerekir (FAA, 2016, s. 15).

Sis

Sis yerin 50 feet yukarısından itibaren başlayan bir buluttur. Genellikle yere yakın hava sıcaklığı havanın çiy noktası sıcaklığına kadar soğuduğunda meydana gelir. Çiy noktası sıcaklığında havadaki su buharı yoğunlaşır ve görünür hale gelerek sis biçimini alır. Sis oluşum şekline bağlı olarak sınıflandırılır ve mevcut hava sıcaklığı ile havadaki su buharı miktarına bağlıdır (FAA, 2016, s. 15).

Sis yerdeki görüş mesafesinin 5 km' nin altına düşmesine sebep olan en yaygın hadise olup havacılıkta karşılaşılan en yaygın ve en uzun süreli meteorolojik risklerden bir tanesidir. Hangi sisin ne hızda oluşacağı onu özellikle riskli kılar. Görüş mesafesinin birkaç dakika içerisinde görerek uçuş kuralları seviyesinden 2 km' nin altına düşmesi olağandışı bir durum değildir. Kalkış ve iniş için temel bir risktir ve aynı zamanda yerle görsel referansını sürdürmesi gereken VFR pilotları için de önemlidir (FAA, 2010, s. 126).

Sıcaklıkla çiy noktası sıcaklığı arasındaki farkın düşük olması sis oluşumu için esastır. Bundan dolayı özellikle nemin bol olduğu kıyısal alanlarda sise çok sık

rastlanır. Ancak sis her yerde oluşabilir. Bol miktarda yoğunlaşma çekirdeği sis oluşumunu artırır. Bu nedenle yanma sonrasında açığa çıkan yüksek konsantrasyonlu yoğunlaşma çekirdeğinin fazla olduğu sanayi bölgelerinde sise çok sık rastlanır. Sis özellikle havaların daha soğuk olduğu aylarda daha yaygındır ancak sis oluşumunun dönemi ve sıklığı bir alandan bir diğerine farketmektedir. Sis havanın çiy noktası sıcaklığına kadar soğumasıyla veya yer yakınındaki havaya nem ilave edilmesiyle oluşabilir. Sis oluşum şekillerine göre sınıflandırılır. Oluşumunda birden fazla süreç yer alabilir (FAA, 2010, s. 126).

Radyasyon Sisi

Radyasyon sisi nispeten sık halde bir sistir. Şekil 1.14’ te görüleceği üzere tüm gökyüzünü tamamen gizleyecek kadar yoğun olabilir veya gökyüzünün yalnızca belli bir kısmını gizleyebilir (FAA, 2010, s. 126). Radyasyon sisinin kalınlığı 20 feet’ ten az ise yer sisi olarak adlandırılır (FAA, 2016, s. 15). “Yer sisi” bir çeşit radyasyon sisidir (FAA, 2010, s. 126).



Şekil 1.14 : Radyasyon sisi (FAA, 2016).

Radyasyon sisi oluşumu için gerekli koşullar açık gökyüzü, zayıf veya sakin rüzgar ve sıcaklıkla çiy noktası sıcaklığı arasındaki farkın düşük olmasıdır (yüksek bağıl nem). Sis neredeyse sadece gece ya da tan vaktine yakın oluşur. Yer radyasyonu yeri soğutur ve böylece daha soğuk yer yüzeyi onunla temas eden havayı da soğutur. Hava çiy noktası sıcaklığına kadar soğuduğunda sis oluşur (FAA, 2010, s. 126).

Adveksiyon Sisi

Adveksiyon sisi nemli hava daha soğuk yer veya su üzerinde hareket ettiği zaman oluşur. Özellikle kıyısal alanlarda daha yaygındır ancak karasal alanlarda gelişimi genellikle daha derindir. Denizde oluştuğunda “deniz sisi” olarak adlandırılır. 15

knots' 1 bulan rüzgar hızları adveksiyon sisini derinleştirir. 15 knots' ın üzerindeki rüzgarlar sisi bir alçak stratüs veya stratokümülüs tabakasına yükseltir. Kuzeydeki enlemlerdeki su bölgelerinde sıcak, nemli, tropikal havanın kuzeye daha soğuk Arktik sularına doğru hareketinden dolayı yazın sıklıkla yoğun deniz sisi görülür (FAA, 2010, s. 127).

Radyasyon sisinden farklı olarak adveksiyon sisinin oluşması için rüzgar olması gerekir (FAA, 2016, s. 15). Adveksiyon sisi genellikle radyasyon sisine göre daha geniş bir alana yayılır ve daha uzun süre kalır. Adveksiyon sisi gündüz veya gece zamana bakılmaksızın hızlı şekilde hareket edebilir (FAA, 2010, s. 127).

Yamaç Sisi

Yamaç sisi nemli, kararlı havanın eğimli arazinin yukarısına doğru hareket ettikçe adyabatik olarak soğumasıyla oluşur. Yukarıya doğru rüzgar azaldıkça sis dağılır. Radyasyon sisinden farklı olarak bulutlu gökyüzünün altında oluşabilir. Yamaç sisi genellikle epey yoğundur ve yüksek irtifalara doğru uzanır (FAA, 2010, ss. 127-128).

Yamaç sisi ve adveksiyon sisi radyasyon sisinden farklı olarak sabah Güneş'in doğmasından sonra dağılmayabilir, bunun yerine günlerce sürebilir. Radyasyon sisine göre daha fazla yüksekliğe uzanabilir (FAA, 2016, s. 15).

Yağış Kaynaklı Sis

Nispeten daha ılık durumdaki yağmur veya çisenti daha soğuk hava üzerine düştüğünde yağıştaki buharlaşma soğuk havayı doymuş hale getirerek sis oluşturur (FAA, 2010, s. 128). Yağıştaki aralıklar genellikle sisin daha kalın hale gelmesini sağlar (NAV Canada, 2005, s. 18). Yağış kaynaklı sis epey yoğun hale gelebilir ve daha uzun süre boyunca etkisini sürdürebilir. En yaygın olarak sıcak cephelerle ilişkilidir ancak yavaş hareket eden soğuk cephelerle veya durağan cephelerle de oluşabilir (FAA, 2010, s. 128).

Stratüs Alçalmasıyla Oluşan Sis

Bu sis türü aynı zamanda bulut tabanı alçalmasıyla oluşan sis ya da enverziyon sisi olarak da bilinir. Yağış sisinden farklı olarak yağış olmadığında oluşur (Burrows, 2010, s. 35).

Baker ve diğ. (2002), bu tür sisin oluşumunu şu şekilde tarif etmiştir: "Stratüs bulutlarının varlığında radyatif soğuma azalmasına rağmen özellikle bulut tabakası ince olduğu zaman genellikle tamamen ortadan kalkmaz. Ek olarak, stratüs tepesinin kendisi yukarısında bulutlar olmadığında radyatif soğuma yüzeyi haline gelir. Karışma süreci bu ısı kaybını aşağıya doğru yeniden dağıtarak bulut tabakasının aşağısındaki havayı soğutarak yoğunlaşma seviyesini düşürür. Bulut tepesindeki soğuma aynı zamanda damlacığın büyüyüp ayrılmasına katkıda bulunur ve devamında bulut tabanının alçalmasına katkıda bulunur. Yerden yukarıya doğru hareket eden herhangi bir ısı transferi bu alçalma sürecine karşı koyduğundan alçalmanın en hızlı şekilde olduğu kısımlar alttaki soğuk bir yüzey ile ilişkilidir." Ayrıca karın uzun dalgaboylu radyasyon emiciliği kusursuz, termal iletkenliği zayıf olduğundan özellikle karla örtülü alanların stratüs alçalması hadisesine karşı daha hassas olduğunu açıklamışlardır. Bu olgunun sonucunda yüzey radyatif ısı kaybı alttaki daha sıcak topraktan ısı transferi ile dengelenmediğinden sınır tabakada hızlı bir soğuma meydana gelir (Burrows, 2010, s. 35).

Açık şekilde stratüs tepesinin radyatif soğuması stratüs alçalmasıyla oluşan sisin ana sebebidir ancak türbülanslı karışım da merkezi bir rol oynar. Gerekli radyatif soğumanın var olması için stratüs tepesindeki atmosferin bulutsuz olması temel kuraldır ve bu sayede giden uzun dalgaboylu radyasyon uzaya herhangi bir engelle karşılaşmadan ulaşır. İlaveten, Peak ve Tag (1989) bu türden bir sisin denizsel bir ortamda oluşabilmesi için bir enverziyonun olması gerektiğini vurgulamıştır. Enverziyonun 400 m seviyesinde veya altında olduğu sürece denizsel tabakanın stratüsün yere kadar alçalmasına yetecek miktarda sığ olduğunu tespit etmişlerdir. Bu tür sislerin oluşması için epey kuvvetli ve kararlı bir enverziyonun altında stratüs varlığı gerekir. Ancak, stratüs kümesinin üzerinde atmosferin oldukça bulutsuz olmalıdır ki bu sayede uzun dalgaboylu radyasyon uzaya kaçarak bulut tepesinin soğumasını sağlar (Burrows, 2010, s. 35).

Buğu (Buharlaşma) Sisi

Buğu sisi (buharlaşma sisi) veya deniz dumanı soğuk, kuru hava sıcak su yüzeyi üzerinde hareket ettiğinde meydana gelir (FAA, 2016, s. 15). Buğu sisi, çok soğuk Arktik hava nispeten daha sıcak haldeki suyun üzerinden geçtiğinde oluşur. Bu durumda nem su yüzeyinden buharlaşır ve havayı doymuş hale getirir (NAV Canada,

2005, s. 18). Sıcak su buharlaştıkça yukarısındaki havanın su buharı içeriğini arttırır. Aynı zamanda su havayı ısıtır ancak karışma oranı doymuş karışma oranından daha hızlı artar ve bu sayede aşırı doyma ve yoğunlaşma durumu ortaya çıkar (Burrows, 2010, s. 37). Aşırı soğuk hava buharlaşan nemin tamamını tutamaz bu nedenle fazla nem yoğunlaşarak sise dönüşür. Sonuçta oluşan görüntü sudan buhar çıkmasına ya da duman yükselmesine benzer ve genellikle 50 ila 100 feet’ ten daha fazla kalınlığa sahip değildir (NAV Canada, 2005, s. 18). Bu sis türü yılın en soğuk zamanlarında su kütleleri üzerinde yaygındır (FAA, 2016, s. 15).

Sabah Buğu Sisi

Bu tür sis geleneksel sınıflandırmalarda yer almamaktadır ancak yakın zamandaki sinoptik deneyler bu sis türünü önemi az ancak ayrı bir tür olarak tanımlamıştır. Örneğin, Saunders (1997) bu sis türüne dair şu ipuçlarını vermiştir: “Türbülans ve yerdeki buharlaşmadan dolayı kazanılan nem genellikle gün doğumundan bir müddet sonra ani şekilde derinleşir. Eğer türbülans soğuk yüzeyin havası ile üzerindeki daha sıcak havayı karıştırırsa ani sis oluşumu görülebilir.” (Burrows, 2010, s. 36).

Buz Sisi

Buz sisi sıcaklığın donma noktasının çok daha altında olduğu ve su buharının doğrudan buz kristalleri olarak süblimleştiği soğuk havalarda meydana gelir. Oluşumu için gerekli koşullar genellikle -32 °C ve daha soğuk sıcaklıklar haricinde radyasyon sisi ile aynıdır (FAA, 2010, s. 128).

Rüzgarların hafif ve sıcaklıkların -30 °C’ nin altında olduğu şartlarda yapay kaynaklardan ya da buzla kaplı nehirlerdeki yarıklardan geniş çapta ve sürekli buz sisi oluşabilir (NAV Canada, 2005, s. 18). Arktik bölgelerde daha yaygın görülür ancak soğuk havanın etkili olduğu aylarda orta enlemlerde de bilinen bir hadisedir (FAA, 2010, s. 128).

Yerde kar veya buzun varlığı sıcak havanın adveksiyonu ve nem adveksiyonu mevcut olduğunda sisin oluşumu ve varlığını sürdürmesi için uygun olabilecek bir şart olan bir soğuk yer katmanı sıcaklığını ifade eder. Petterssen (1969, s: 144) bu etkiyi şu şekilde açıklamıştır: “Karla kaplı bir yerin üzerinde sislerin sıklıkla sıcaklığın donma noktasına yakın olduğu bir bantı tercih ettiği görülmektedir. Bunun

sebebi şu şekilde açıklanabilir: Kar eridiğinde karın yukarısındaki havanın sıcaklığı 0 °C' den büyüktür ve karla temas halindeki havanın sıcaklığı 0 °C' dir. Ardından yerde bir sıcaklık enverziyonu görölür ve ısının taşınımı doğrudan aşağıya karlı yüzeye doğru olacaktır. Aşağıya doğru taşınan bu ısı karın erimesinde kullanılır ve yerin ısı kazancı olmaz.” (Burrows, 2010, s. 39).

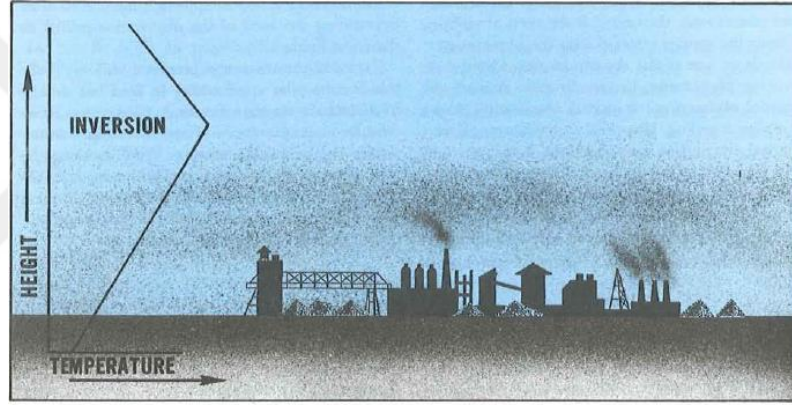
Normal şartlarda karın yukarısında bir sıcaklık enverziyonu olduğunda havanın nem içeriği artar. Ardından nem taşınımı doğrudan aşağıya doğru olacak ve artan su buharı kar üzerinde yoğuşacaktır. Dolayısıyla kar eridiğinde ısı ve nem karlı yüzeye doğru taşınır ve bu süreç havayı daha kuru hale gelmeye zorlama eğilimindedir. Buradan hava sıcaklığı donma noktasının çok üzerinde olduğunda eriyen karın üzerinde kolaylıkla sis oluşmayacağı sonucu çıkar. Diğer yandan karın sıcaklığı donma noktasının çok altında olduğunda sis gelişimini zorlaştırır. Bunun sebebi soğuk karın üzerindeki doymuş buhar basıncının suyun üzerindeki doymuş buhar basıncından daha düşük olmasıdır. Bunun sonucunda hava doymuş hale gelmeden önce kar üzerinde yoğuşmaya başlayacaktır. Bu etki -10 ila -15 °C aralığında en fazla olup birkaç sıvı sis bu aralıkta soğumasını sürdürebilir. Ekim ayında yerde kar olmadığında, en düşük sıcaklıklar (0 ila -5 °C) gözlendiğinde sıvı sisin görölme olasılığı en fazladır. Ocak, şubat ve Mart'ta kar mevcut olduğunda sıvı sis için en yüksek olasılık donma noktası civarındadır ve sıcaklıklar 5 °C' den büyük ve -10 °C' den küçük olduğunda sıvı sis mevcut değildir. Ancak Gültepe ve diğ. (2008), -10 °C' nin altında buz kristalleri sisinin mevcut olabileceğini belirtmiştir. Kış mevsimi hava sıcaklıklarının -30 °C ve altında olduğu daha soğuk bölgelerde buz kristallerini içeren sisler de yaygındır (Burrows, 2010, ss. 40-41).

Kuru Duman Ve Duman

Kuru duman tuz partikülleri veya toz ya da benzeri yapılar olarak sınıflandırılmamış diğer kuru partiküllerin bir konsantrasyonudur. Kararlı havada oluşur ve genellikle sadece birkaç bin feet kalınlığa sahiptir ancak zaman zaman 15000 feet gibi yüksekliklere uzanabilir. Kuru duman tabakaları genellikle yatay görölüş mesafesinin iyi olduğu belirli tepe noktalarına sahiptir (FAA, 2010, s. 129).

şekil 1.15' te görölceği üzere hava kararlı olduğunda duman konsantrasyonları sanayi bölgelerinde daha fazla oluşur. Gece veya sabahın erken saatlerinde bir

sıcaklık enverziyonunun altında en fazla rastlanır ancak gün boyunca varlığını sürdürebilir. Kuru duman veya dumanın üzerinde gökyüzü açık olduğunda görüş mesafesi genellikle gün içinde artar ancak sisin açmasına kıyasla iyileşmesi daha yavaştır. Sis buharlaşır ancak kuru duman veya duman mutlaka havanın hareketi ile dağılmalıdır. Kuru duman veya duman havaya karışabilir ya da gündüz süresince ısınma duman veya tozu daha yüksek irtifaya yayacak konvektif karışmaya yol açabilir ve yere yakın konsantrasyon azalır. Gece veya sabahın erken saatlerinde radyasyon sisi veya stratüs bulutları sıklıkla kuru duman veya dumanla bir araya gelir. Sis ve stratüs gündüz süresince daha hızlı açabilir ancak kuru duman ve duman daha uzun kalacaktır. Kuru duman veya dumanın üzerindeki yoğun bulut örtüsü Güneş ışınlarını engelleyerek dağılmayı önleyebilir ve gün süresince görüş mesafesinde iyileşme olamazsa az olur (FAA, 2010, s. 129).



Şekil 1.15 : Bir sıcaklık enverziyonunun altındaki kararlı bir havada hapsolan duman (FAA, 2010).

Görüş Mesafesini Kısıtlayıcı Savrulan Etmenler

Kuvvetli rüzgar hem kararlı havada hem de kararsız havada savrulan tozu yükseltir. Hava kararsız olduğunda toz 15000 feet gibi büyük yüksekliklere taşınabilir ve yukarı seviye rüzgarları tarafından daha geniş alanlara yayılabilir. Hava kararlı olduğunda toz kararsız havadaki kadar büyük bir yüksekliğe taşınmaz ve genellikle geniş alana yayılmaz (FAA, 2010, s. 129).

Savrulan kum savrulan toza göre daha yerel bir hadisedir ve kum nadiren 50 feet yukarıya yükselir. Savrulan kum hadisesi kuvvetli rüzgara maruz kalan gevşek kumun olduğu herhangi bir kuru alanda meydana gelebilir (FAA, 2010, ss. 129-130).

Toz ve Kum Fırtınaları

Toz ve kum fırtınaları yükselmiş toz ve kum bölgeleridir. Toz ve kum temelde rüzgar tarafından yükselir ve türbülans ve kararsızlığın yanısıra tanecekleri kaldıran akımın persistansına bağlı olarak çeşitli yüksekliklere kaldırılabilir. Toz ve kum taneciklerinin boyutları kısmen mikronaltı tanecikler ile birkaç yüz mikron arasında değişmektedir. Açık şekilde daha büyük tanecikler havada sadece birkaç yüz metre kadar kısa mesafelerde kalabilirken daha küçük ve daha hafif tanecikler kolaylıkla daha büyük yüksekliklere kaldırılabilir ve çökmesi daha uzun sürer (WMO, 2007, s. 48).

Habublar

Konvektif aşağı yönlü hava akımları tarafından oluşturulan toz veya kum fırtınalarıdır. Şekil 1.16’ da aşağı yönlü hava akımının etkisiyle oluşan toz ve kum izi görülmektedir. Basitçe aşağı yönlü hava akımlarından gelen yüzeysel dış akışın toz ve kumu yükseltmesiyle ifade edilebilir. Mekanizması mikro hava patlamalarına benzer şekildedir. Bu senaryoda, rüzgar hızları genellikle kum veya tozun yükselmesi için yeterli olmayabilir ancak aşağı yönlü hava akımlarından kaynaklanan yerel rüzgar hızları ve ilgili kararsızlık mekanizmayı oluşturur (WMO, 2007, s. 49).



Şekil 1.16 : Aşağı yönlü hava akımının etkisiyle oluşan kum ve toz izi (WMO, 2007).

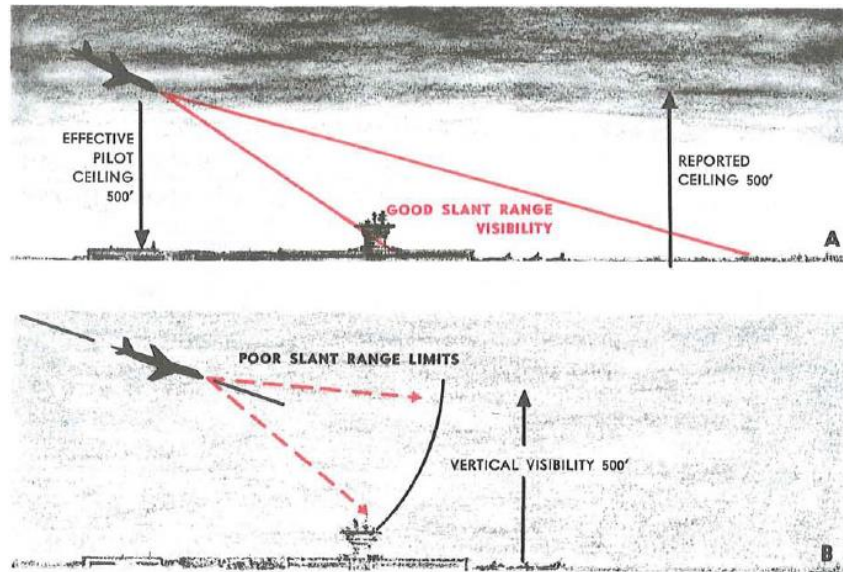
Sıfır Görüş (Beyaz Körlük)

Sıfır görüş hadisesi donmuş geniş bir göl yüzeyi gibi kar ya da buz örtüsünü düzenli kalınlıkta bir bulut tabakasının kaplaması ile meydana gelebilir. Zayıf ışınlar bulut

tabakasından geçerken difüzyona uğrar ve yüzeye bütün açılarla çarpar. Ardından ışık yüzey ile bulut arasında tüm gölgeleri bertaraf ederek geriye ve ileriye doğru yansıtılır. Bunun sonucunda derinlik algısının ortadan kalkıp ufuğun ayırt edilmesinin imkansız hale gelmesiyle koyu nesneler beyaz bir alan üzerindeymiş gibi görünür (NAV Canada, 2005, s. 42).

Örtülü Veya Kısmen Örtülü Gökyüzü

Gökyüzünün örtülü olarak belirtilebilmesi için duman, kuru duman, yağış veya görüş mesafesini kısıtlayan diğer hadiselerin yerden yukarıya doğru uzanması gerekir. Yerden kaynaklanan bir hadise nedeniyle gökyüzü tamamen örtüldüğünde tavan yerden itibaren engele doğru olan düşey görüş mesafesidir. Bulutlar veya gökyüzünün belli bir kısmı engelleyici hadisenin üzerinde görülüyorsa bu durum kısmi engellemedir ve kısmi engelleme tavanı tanımlamaz. Ancak kısmi engellenmenin üzerindeki bir bulut tabakası tavan teşkil eder. Engellenen tavan bulut tavanından farklıdır. Bir bulut tavanı ile bulut tabanının altına doğru inildikçe normal şekilde yer ve pist görülür. Ancak engellenen tavanda engelleyici hadise uçak irtifası ile yer arasındaki görüş mesafesini kısıtlar ve kısıtlanmış eğik (verev) görüş mesafesi söz konusudur. Bu nedenle engellenen tavanın olduğu seviye aşılsa bile pist veya yaklaşma ışıkları her zaman görülemez. Bu durum Şekil 1.17’ de gösterilmiştir (FAA, 2010, s. 130).



Şekil 1.17 : Yerdeki bir engelden kaynaklanan tavan farklılığı (B) ve yukarıdaki bir tabakanın tavanı (A). Görüş mesafesi kısıtlanmadığında eğik menzil görüşü yukarıdaki bir tabakanın tabanının altına inildikten sonra iyidir. (FAA, 2010).



2. VERİ VE YÖNTEM

2.1 Çalışma Alanı ve Yeri

Bu çalışmada Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisinde bulunan 46 havalimanına ait olan Havacılık Amaçlı Rutin Hava Raporu (METAR), Havacılık Amaçlı Seçilmiş Özel Hava Raporu (SPECI) ve Meydan Tahmini (TAF) kullanılarak yapılmıştır. 01/01/2010 ile 01/01/2015 tarihleri arasında kalan 5 yıllık periyotta oluşturulan raporlardan ve Özel Havayolu şirketinin 01/01/2010 ile 01/01/2015 tarihleri arasında İç Hat seferlerinde meteorolojik sebeplerden iptal olan veya divert eden seferlerin bilgilerinden yararlanılmıştır. METAR, SPECI ve TAF verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden sağlanırken sefer verileri Özel havayolu şirketinden elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan 46 havalimanının koordinatları enlem ve boylamları ile Çizelge 2.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Çalışmada kullanılan 46 havalimanının enlem ve boylamları ile birlikte koordinatları (DHMİ).

Havalimanları (IATA Kodu) (ICAO Kodu)	Boylam	Enlem
ŞAKİRPAŞA/ADANA (ADA) (LTAF)	35,2802778	36,9822222
ADNAN MENDERES HVL./İZMİR (ADB) (LTBJ)	27,1550000	38,2891667
KAHTA/ADİYAMAN (ADF) (LTCP)	38,4688889	37,7308333
AHMED-İ HANİ HVL./AĞRI (AJI) (LTCO)	43,0286111	39,6475000
HASAN POLATKAN HVL./ESKİŞEHİR (AOE) (LTBY)	30,5205556	39,8125000
ERKİLET/KAYSERİ (ASR) (LTAU)	35,4952778	38,7702778
ANTALYA (AYT) (LTAI)	30,7927778	36,9002778
BATMAN (BAL) (LTCJ)	41,1163889	37,9322222
BİNGÖL (BGG) (LTCU)	40,5925000	38,8611111
ÇANAKKALE (CKZ) (LTBH)	26,4279266	40,1384314
DİYARBAKIR (DİY) (LTCC)	40,2011111	37,8925000
DALAMAN/MUĞLA (DLM) (LTBS)	28,7913889	36,7125000
ÇARDAK/DENİZLİ (DNZ) (LTAY)	29,7050000	37,7877778
ERZİNCAN (ERC) (LTCD)	39,5205556	39,7130556
ERZURUM (ERZ) (LTCE)	41,1691667	39,9552778

Çizelge 2.1 (devam) : Çalışmada kullanılan 46 havalimanının enlem ve boylamları ile birlikte koordinatları (DHMİ).

Havalimanları (IATA Kodu) (ICAO Kodu)	Boylam	Enlem
ESENBOĞA/ANKARA (ESB) (LTAC)	32,9950000	40,1280556
ELAZIĞ (Ezs) (LTCA)	39,2814667	38,5976528
GAP/ŞANLIURFA (GNY) (LTCS)	38,9080556	37,4566667
GAZİPAŞA/ANTALYA (GZP) (LTFG)	32,3013889	36,2991667
OĞUZELİ/GAZİANTEP (GZT) (LTAJ)	37,4788889	36,9477778
HATAY (HTY) (LTDA)	36,2986111	36,3722222
ŞEHİT BÜLENT AYDIN HVL./İĞDIR (IGD) (LTCT)	43,8663889	39,9830556
SÜLEYMAN DEMİREL HVL./ISPARTA (ISE) (LTFC)	30,3819444	37,8650000
ATATÜRK HVL./İSTANBUL (IST) (LTBA)	28,8138889	40,9761111
KAHRAMANMARAŞ (KCM) (LTCN)	36,9519444	37,5383333
CENGİZ TOPEL HVL./KOCAELİ (KCO) (LTBQ)	30,0833333	40,7350000
KASTAMONU (KFS) (LTAL)	33,7961111	41,3169444
HARAKANİ/KARS (KSY) (LTCF)	43,0988889	40,5586111
KONYA (KYA) (LTAN)	32,5625000	37,9805556

Çizelge 2.1 (devam) : Çalışmada kullanılan 46 havalimanının enlem ve boylamları ile birlikte koordinatları (DHMİ).

Havalimanları (IATA Kodu) (ICAO Kodu)	Boylam	Enlem
ZAFER/KÜTAHYA (KZR) (LTBZ)	30,1302167	39,1114556
ERHAÇ/MALATYA (MLX) (LTAT)	38,0830556	38,4322222
MARDİN (MQM) (LTCR)	40,6405556	37,2327778
MUŞ (MSR) (LTCK)	41,6538889	38,7447222
MERZİFON/AMASYA (MZH) (LTAP)	35,5222222	40,8294444
KAPADOKYA/NEVŞEHİR (NAV) (LTAZ)	34,5263889	38,7763889
ŞERAFETTİN ELÇİ HVL./ŞIRNAK (NKT) (LTCV)	42,0600000	37,3638889
SİNOP (NOP) (LTCM)	35,0663889	42,0158333
SABİHA GÖKÇEN HVL./İSTANBUL (SAW) (LTFJ)	29,3091667	40,8983333
ÇARŞAMBA/SAMSUN (SZF) (LTFH)	36,5486111	41,2655556
SİİRT (SXZ) (LTCL)	41,839167	37,9780556
ÇORLU/TEKİRDAĞ (TEQ) (LTBU)	27,9063889	41,1294444
TRABZON (TZX) (LTCG)	39,7852778	40,9958333
UŞAK (USQ) (LTBO)	29,4716667	38,6813889
FERİT MELEN HVL./VAN (VAN) (LTCI)	43,3308333	38,4686111
NURİ DEMİRAĞ HVL./SİVAS (VAS) (LTAR)	36,9025000	39,8141667
YENİŞEHİR/BURSA (YEI) (LTBR)	29,5494444	40,2488889

Çalışmada kullanılan havalimanlarının sayısı 46' dır. Bu havalimanlarının 35 adeti uluslararası havalimanı (Adana Şakirpaşa Havalimanı, Amasya Merzifon Havalimanı, Ankara Esenboğa Havalimanı, Antalya Havalimanı, Antalya Gazipaşa Havalimanı, Batman Havalimanı, Bursa Yenişehir Havalimanı, Çanakkale

Havalimanı, Denizli Çardak Havalimanı, Diyarbakır Havalimanı, Elazığ Havalimanı, Erzurum Havalimanı, Eskişehir Anadolu Hasan Polatkan Havalimanı, Hatay Havalimanı, Gaziantep Havalimanı, Isparta Süleyman Demirel Havalimanı, İstanbul Atatürk Havalimanı, İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı, İzmir Adnan Menderes Havalimanı, Kars Harakani Havalimanı, Kayseri Erkilet Havalimanı, Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı, Konya Havalimanı, Kütahya Zafer Havalimanı, Malatya Erhaç Havalimanı, Muğla Dalaman Havalimanı, Nevşehir Kapadokya Havalimanı, Samsun Çarşamba Havalimanı, Sinop Havalimanı, Sivas Nuri Demirağ Havalimanı, Şanlıurfa GAP Havalimanı, Tekirdağ Çorlu Havalimanı, Trabzon Havalimanı, Uşak Havalimanı, Van Ferit Melen Havalimanı) ve 11 adeti ulusal havalimanı (Adıyaman Kahta Havalimanı, Ağrı Ahmed-i Hani Havalimanı, Bingöl Havalimanı, Erzincan Havalimanı, Iğdır Şehit Bülent Aydın Havalimanı, Kahramanmaraş Havalimanı, Kastamonu Havalimanı, Mardin Havalimanı, Muş Havalimanı, Siirt Havalimanı, Şırnak Şerafettin Elçi Havalimanı) olarak kullanılan havalimanlarıdır.

2.2 Meteorolojik Parametrelerin Uçuşlara Etkileri

Meteorolojik bölümlerle ilgili genel bilgiler önceki bölümlerde verilmiştir. Bu bölümde ise uçuşlara etkilerinin yanısıra teşhis, tahmin ve azaltma yöntemleri tartışılmıştır.

2.2.1 Buzlanma

2.2.1.1 Buzlanmanın uçaklar üzerindeki etkileri

Uçak yüzeylelerinde ıslak kar mevcut iken uçağın kalkmaya çalışması durumunda çok tehlikeli bir durum oluşabilir. Uçak harekete geçmeden önce buharlaşma ile soğuma ıslak karda şiddetli dona neden olarak ağırlık ve sürüklenme kuvvetinde azalma gibi etkilerle kaldırma kuvvetinde büyük azalmalara neden olacaktır. Islak kar aynı zamanda uçağın ön camında donarak görüşte zorlanmalara neden olabilir ve görüşün mümkün olmayacağı seviyelere de getirebilir (NAV Canada, 2005, s. 16).

Uçağın inişi, kalkışı ve hatta taksileme sürecinde donan sis mevcut ise kırç şeklinde buzlanmaya karşı mutlaka hazırlıklı olunmalıdır (NAV Canada, 2005, s. 16).

Karbüratörde ve Motorda Buzlanma

Bazı uçaklar karbüratörde ve hava girişlerinde buzlanmaya karşı daha hassastır. Bunun sebebi hava genişledikçe basınçtaki bir düşüşün adyabatik soğumaya yol açmasıdır. Karbüratör buzlanması piston motorlu uçakları etkileyen buzlanma problemleri içerisinde açık ara en yaygın olanıdır. Nemli hava karbüratör venturisine girdiğinde buz kristalleri birikir. Bu durum venturiyi sıkıştırır ve bunun sonucunda güç gitgide azalır (WMO, 2007, s. 35).

Merceksi bulutlar beraberinde çok kuvvetli düşey hava akımları içerebilir. Buzlanma şiddetli olabilir ve damlacık boyutu nedeniyle şeffaf buzlanma şeklinde görülür (NAV Canada, 2005, s. 13).

2.2.1.2 Buzlanmanın teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri

Buluttaki sıcaklık yapısı buzlanma şiddetlerinin zamana bağlı olarak hızlı şekilde değişmesini sağlayarak uçağın aynı bölgede sadece dakikalar içerisinde tamamen farklı buzlanma koşullarıyla karşılaşmasına yol açabilir. Buna rağmen genel geçer bazı kurallar geliştirilmiştir:

(1) Büyük kümülüs ve kümülönimbus bulutları içerisinde:

- 0 ila -25 °C arasında şiddetli buzlanma görülmesi muhtemeldir.
- -25 °C ile -40 °C arasındaki sıcaklıklarda hafif şekilde kırç görülmesi muhtemel olmakla birlikte yeni gelişen bulutlarda düşük ihtimalle orta ile şiddetli arasında kırç şeklinde veya karışık buzlanma görülebilir.
- -40 °C' nin altındaki sıcaklıklarda buzlanma olasılığı düşüktür.

(2) Tabaka bulutu içerisinde:

- En önemli buzlanma tabakası genellikle 0 °C ile -15 °C sıcaklık aralığı içerisinde yer alır.
- Daha zayıf yukarı yönlü hava akımları ve daha küçük damlacıklar nedeniyle konvektif buluta kıyasla buzlanma şiddeti genellikle daha düşüktür.
- Buzlanma tabakaları derinlik olarak sığ fakat yatay kapsamda büyük olma eğilimindedir (NAV Canada, 2005, ss. 12-13).

Buzlanmanın şiddeti aşağıdaki şekillerde tanımlanır:

Hafif Böyle bir ortamda uçuş süresi 1 saati aşarsa birikme oranı sorun oluşturabilir.

Orta Birikme oranına çok kısa sürede maruz kalırsa bile potansiyel olarak tehlikeli bir durumdur. Bu durumda buzlanma önleyici ekipmanlar mutlaka kullanılmalıdır.

Şiddetli Birikme oranı buzlanma önleyici ekipmanın kullanılmasına rağmen tehlikeyi azaltma veya kontrol etmede yetersiz kalmasına neden olacak seviyededir. Bu durumda uçağın bölgeden derhal saptırılması gerekir (WMO, 2007, s. 28).

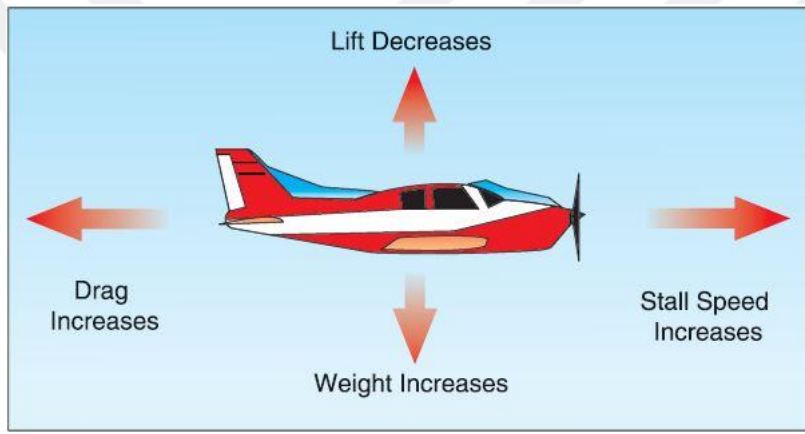
Uçak gövdesi üzerindeki buz oluşum oranı meteorolojik faktörler haricinde uçağın karakteristiklerine de bağlıdır. İnce kesit alanlarına sahip hızlı uçakların aerodinamiği bozulmaya daha müsaittir ve bu nedenle buz birikmesinden daha fazla etkilenirler. Rotorlar üzerindeki buz oluşumu uçakta denge kaybına yol açtığından helikopterler özellikle buzlanmaya karşı hassastır (WMO, 2007, s. 28).

Gövde buzlanması havacılık açısından ciddi bir tehlike arz eder. Uçak üzerindeki olası etkileri aşağıdaki şekildedir:

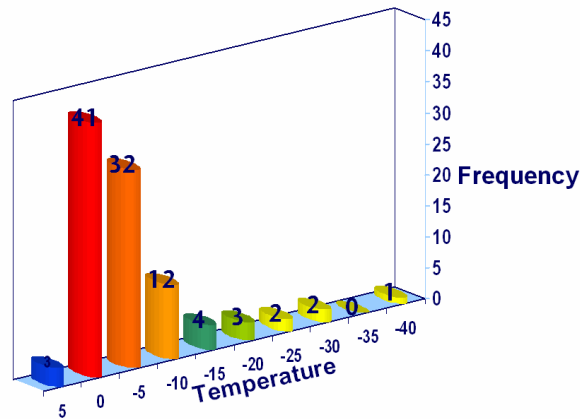
- Kanatlar üzerindeki düzgün laminar akışın bozulmasıyla kaldırma kuvvetinin azalması ve uçağın tutunma hızında artış meydana gelmesi ile buzlanmaya maruz kalan uçağın bilinmeyen tutunma hızı riskine maruz kalması (NAV Canada, 2005, s. 10)
- Aerodinamik özelliklerde azalma (WMO, 2007, s. 29)
- Uçuş performansında değişim (WMO, 2007, s. 29)
- Kanatlar ve kontrol yüzeyleri üzerindeki yapısal buzlanmanın uçak ağırlığını arttırarak kaldırma kuvvetini azaltması, yanlış alet okumalarına neden olması ve uçak kontrolünde zayıflamaya neden olması (Kulesa, 2003, s. 2)
- Ağırlığın ve sürüklenme kuvvetinin artması ile yakıt tüketiminin artması (NAV Canada, 2005, s. 10)
- Ağırlıkta artış ve dengesiz yüklenme (WMO, 2007, s. 29)
- Karbüratör, motor hava girişleri ve yakıt hücrelerindeki mekanik buzlanmanın motor performansını düşürerek güçte azalmaya yol açması (Kulesa, 2003, s. 2)
- Motor girişlerinin tıkanması (WMO, 2007, s. 29)

- İniş takımlarında toplanma/açılma sorunları (WMO, 2007, s. 29)
- Kontrol yüzeylerinde sıkışma ya da sertleşme oluşumu (WMO, 2007, s. 29)
- Pitot tüplerinin tıkanması (WMO, 2007, s. 29)
- Pitot başlarının kısmen ya da tamamen tıkanması ve havahızı indikatöründe hatalı alet okumalarının görülmesi (NAV Canada, 2005, s. 10)
- İletişimlerin etkilenmesi (WMO, 2007, s. 29)
- Uçak ön camında görüntünün engellenmesi ile görüş mesafesinin kısıtlanması (NAV Canada, 2005, s. 10)

Buzlanmanın etkileri görselleştirilmiş haliyle Şekil 2.1’ de gösterilirken Şekil 2.2’ de uçak gövde buzlanmasının sıklık yüzdesine dair bir grafik görülmektedir.



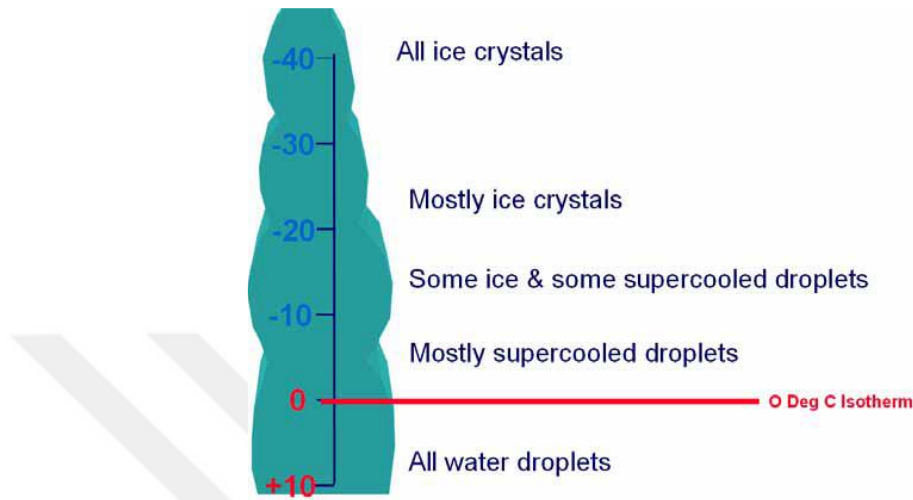
Şekil 2.1 : Buzlanmanın etkileri (NAV Canada, 2005).



Şekil 2.2 : Uçak gövdesi buzlanmasının sıklık yüzdesi (800 adet rapordan alınan) (WMO, 2007).

Gövde buzlanmasının şiddeti sıcaklık, sıvı su içeriği, damlacık boyutu ve düşey harekete bağlıdır. Bunları belirlemek için aktüel ve tahmin edilen atmosferik düşey

Şekil 2.3’ te yükseklikle birlikte sıcaklıkla düşüşüne bağlı olarak suyun hal değişimleri gösterilmektedir (WMO, 2007, s. 30).



Şekil 2.3 : Yükseklikle birlikte sıcaklık düşüşüne bağlı olarak suyun hal değişimleri (WMO, 2007).

Tahminde dikkate alınacak hususlar

Buzlanma olasılığı için aşağıdaki faktörlerin dikkate alınması gerekir:

- Buzlanma oluşması için atmosferde aşırı soğumuş su mevcut olmalı ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında sıcaklığa sahip sıvı su damlacıkları).
- Halihazırdaki aşırı soğumuş su (aşırı soğumuş sıvı su içeriği) ne kadar fazlaysa buzlanma riski de o kadar fazladır. Sıcaklık azaldıkça aşırı soğumuş sıvı su içeriği azalır.
- Aşırı soğumuş su damlacığı ne kadar büyükse risk de o kadar fazladır.
- Sadece çok küçük damlacıklar $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında aşırı soğumuş halde kalma eğilimindedir, bu nedenle buzlanmanın 0 ila $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında en şiddetli olması beklenir.
- Aşırı soğumuş su damlacıkları $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklarda bulunmaz.
- Aşırı soğumuş damlacıklar katı bir yüzeyle temas ettiğinde donar ancak tamamen donmadan önce yayılabilir. Yayılma miktarı damlacıkların boyutuna (büyük damlacıklar daha fazla yayılır), ortamın hava sıcaklığına ve yüzey sıcaklığına bağlıdır.

- Bulutlu havanın düşey hareketi buluttaki sıvı su içeriğini artırır. En şiddetli buzlanma kümülför bulutlardaki yukarı yönlü hava akımlarıyla ilişkilidir ancak cephesel ve orografik bulutlardaki düşey hareketler de şiddetli buzlanmaya yol açabilir (WMO, 2007, ss. 30-31).

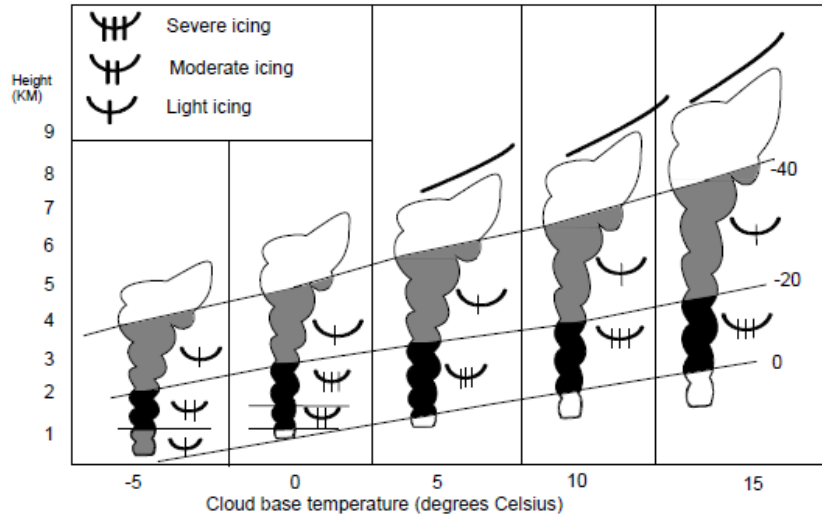
Çizelge 2.2 gövde buzlanmasının olasılığına, şiddetine ve türüne dair ipucu vermektedir.

Bir aşırı soğumuş, tabakalı bir bulut içerisindeki uçuş süresinin uzaması buzlanmanın beklenenden daha yüksek düzeyde olmasına neden olabilir. b) Stratokümülför (Sc)'nin bazen deniz yüzeyi üzerindeki enverziyon seviyesinin hemen altında sıfırlanmış seviyesinde uzanırken beklenmedik şekilde şiddetli buzlanmaya sebep olabilir. Örtülü konveksiyonda özellikle aşırı yükselen tepelerin (overshooting top) yakınında özel bir risk mevcuttur. Pilotlar stratüs bulutlarından geçerken örtülü kümülför bulutları farketmez. Böyle konvektif bulutlarda 3 m/dk 'yı bulan buz birikme oranları söz konusu olabilir (WMO, 2007).

Çizelge 2.2 : Değişik bulut türleri için buzlanma olasılık ve şiddetleri (WMO, 2007).

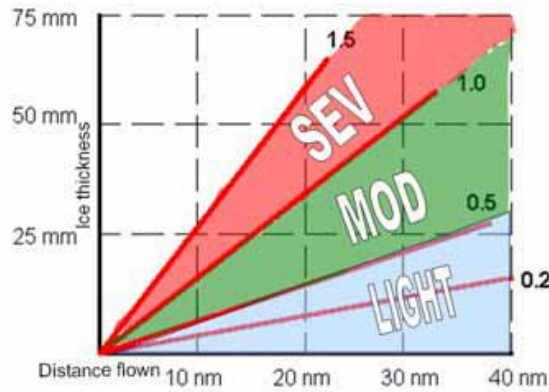
Bulut türü	Buzlanma olasılığı	Buzlanma şiddeti	Olası Buzlanma Türü	Su içeriği gm^{-3}
CB	Yüksek	ŞİDDETLİ	Hepsi	0.2– 4.0
CU	ORTA/Yüksek	ORTA/ŞİDDETLİ	Şeffaf	0.2-0.6
NS	Yüksek	ŞİDDETLİ	Hepsi	0.2-4.0
SC, AC	ORTA	Nadiren ORTA'nın üzerinde*	Karışmış	0.1– 0.5
AS	Düşük	ORTA/Hafif	Kırağı	0.1– 0.3
ST	Düşük	Hafif	Kırağı	0.1– 0.5

Şekil 2.4' te konvektif bulutlardaki buzlanma şiddetine dair bir görsel görülmektedir.



Şekil 2.4 : Konvektif bulutlardaki buzlanma şiddetine dair fikir veren bir şekil (WMO, 2007).

Buzlu bir ortamda uçuş için harcanan süre de önemli bir husustur. Bulutlardaki buzlu tabakalar genellikle yalnızca 2000-3000 ft kalınlıktadır ve nadiren 5000 ft’ ten daha kalındır. Kümüls türü bulutların etrafında, genellikle yukarıya doğru ya da arazi elverirse aşağıya doğru yüksekliğin değiştirilmesiyle tabaka bulutlarındaki buzlanmanın önüne geçilerek uçulması mümkündür. Ancak, halihazırda önemli miktarda buz birikmişse uçak bulutu yukarıya doğru terketmek için henüz uygun olmayabilir. Bu nedenle özellikle hafif uçaklar için genellikle sadece birkaç dakikalık kısa zaman ölçeklerinde kararların alınması gerekir. Şekil 2.5’ te aşırı soğumuş sıvı su içeriğinin buz birikimini nasıl etkilediğine dair bir görsel görülmektedir (WMO, 2007, s. 33).



Şekil 2.5 : Buz birikiminde aşırı soğumuş sıvı su içeriği (gm^{-3}) oranları (WMO, 2007).

Tepeler ve dağlar üzerindeki sıfırlı bulutlarda düşey hareketlerden dolayı buzlanma riski ve şiddeti artar (WMO, 2007, s. 34). Özellikle uçucular için bilinmesi gereken bazı özel noktalar şunlardır:

1. Kalkıştan önce planlanan rota boyunca olması muhtemel buzlanma alanlarının havası kontrol edilmelidir. Pilot raporları incelenmeli ve hatta mümkünse aynı rotadan geçmiş olan diğer pilotlarla konuşulmalıdır.
2. Uçakta buzlanma azaltma veya buzlanma önleme ekipmanı mevcut değilse buzlanma alanlarından kaçınılmalıdır. Su görünür olmalı (bulutlar veya yağış şeklinde) ve yapısal buzun oluşabilmesi için dışarıdaki hava sıcaklığı 0 °C veya altında olmalıdır.
3. Kalkıştan önce buz ya da don uçağın kanat profilinden temizlenmelidir.
4. Soğuk havada eğer pistte çamur, su veya eriyen kar mevcutsa o kısımlarda taksi yapmaktan veya kalkış yapmaktan kaçınılmalıdır. Eğer bunların herhangi biri mevcut iken taksi yapılıyorsa uçuş öncesinde kontrollerde herhangi bir sorun olmadığından emin olunmalıdır.
5. Tırmanışta bir buzlanma tabakasından geçildiğinde tutunma hızının altına düşmemek için normalden biraz daha yüksek bir hava hızıyla tırmanılmalıdır.
6. Buz birikimleri çok olmadığında buzlanma azaltıcı veya önleyici ekipman kullanılmalıdır. Ekipman tam randıman veremez duruma geldiğinde buzlanmadan mümkün olduğunca hızlı şekilde çıkacak şekilde uçak yönü veya irtifası değiştirilmelidir.
7. Eğer uçakta pitostatik sistem buzlanma azaltıcısı yoksa hava hızı göstergesi, tırmanma oranı göstergesi ve altimetrede hatalı okumalara karşı tedbirli olunmalıdır.
8. Stratiform tipi bulutlarda uçuş seviyesi değiştirilerek ve donma noktasının üzerinde ya da -10 °C' nin altındaki sıcaklıklarda buzlanma azaltılabilir. Bir irtifa değişikliği ile bulutların dışarısına da çıkılabilir. Stratiform bulutlarında kırç şeklinde buzlanma yatay olarak çok geniş alana yayılabilir.
9. Cephesel donan yağmurda donma noktasının daha altında bir tabakaya tırmanılması veya alçalınması gerekebilir. Bazı daha yüksek irtifalarda sıcaklık donma noktasının her zaman üzerindedir. Tırmanılacaksa hızlı hareket edilmelidir,

sürecin geciktirilmesi daha fazla buza maruz kalınmasına neden olabilir. Alçalınacaksa da aşağıdaki hava sıcaklığı ve arazi yapısı bilinmelidir.

10. Herhangi bir şekilde mümkünse kümülüform bulutlarından kaçınılmalıdır. Donma noktasının üzerindeki herhangi bir yerde şeffaf buzlanma ile karşılaşılabilir. Birikmenin en hızlı şekilde olduğu sıcaklık aralığı 0 °C ile -15 °C arasındadır.

11. Eğer uçak aşırı derecede buzla kaplanmışsa uçak aerodinamik etkinliğinin bir kısmını kaybetmiş olacağından sert manevralardan kaçınılmalıdır.

12. Eğer buzlanma mevcut ise inişe yaklaşırken güç artırılmalıdır. Yerdeki mevcut buzlanma koşullarının bir gözlemci tarafından herhangi bir şekilde ölçülmesi mümkün değildir. Buzlanmanın varlığı ya da yokluğu yalnızca pilotlar tarafından teyit edilir (FAA, 2010, ss. 103-104).

2.2.2 Rüzgarlar

2.2.2.1 Rüzgar kesmesinin uçaklar üzerindeki etkileri

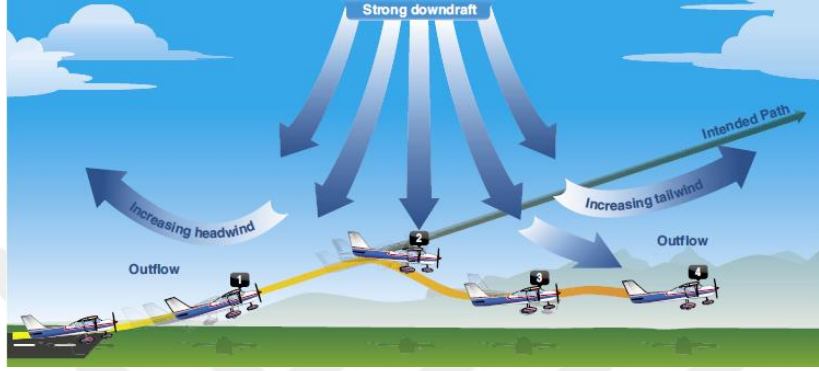
Havacılıkta değişimin ne şekilde olduğu temel meseledir. Değişim kademeli ise yöndeki veya hızdaki değişim yer hızında sadece ufak bir değişikliğe yol açar iken, değişim keskin ise hava hızında veya rotada hızlı bir değişime yol açacaktır. Uçak tipine bağlı olarak özellikle kalkış ve iniş sırasında durumun düzeltilmesi için önemli bir zaman gerekir ve uçak riskli bir durum içerisine girer (NAV Canada, 2005, s. 20).

Rüzgar kesmesi özellikle alçak seviye uçuşlar açısından önemli bir tehlike kaynağıdır. Laminer akışa sahip bir tabakada düzgün ve olaysız giden bir uçuşa bile değişik laminar akımlar arasındaki ani sınır geçişleri uçağın negatif ya da pozitif ivmelenmesine yol açar (WMO, 2007, s. 1).

Yukarı yönlü ve aşağı yönlü hava akımları da rüzgar kesmesini tetikler. Keskin bir aşağı yönlü hava akımı kanadın hücum açısında gözle görülür bir azalmaya yol açarak kaldırma kuvvetinde azalmaya neden olur. Bir yukarı yönlü hava akımı kanadın hücum açısını arttırarak kaldırma kuvvetinde artışa yol açacaktır ancak bu artışın uçağın tutunma açısına ulaşma riski vardır (NAV Canada, 2005, s. 20).

Yere yaklaşıldığında bu şiddetli aşağı yönlü hava akımları ve rüzgar yönündeki hızlı değişimler uçağın kontrolünün zora gireceği bir hale neden olabilir. Şekil 2.6' da bir

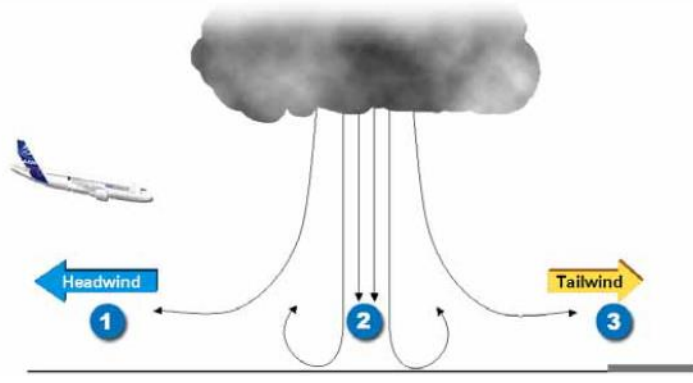
mikro hava patlaması sırasındaki rüzgarın etkileri gösterilmektedir. Rüzgar kesmesi çeşitli nedenlerden dolayı uçak açısından tehlikelidir. Rüzgar yönü ve hızındaki hızlı değişimler normal uçuş irtifası ve uçak performansını bozarak rüzgarla uçak arasındaki etkileşimi değiştirir. Bir rüzgar kesmesi durumunda rüzgar hızına ve yönüne bağlı olarak etkiler hafif veya gözle görülür şekilde olabilir (FAA, 2016, s. 11).



Şekil 2.6 : Bir mikro hava patlaması sırasındaki rüzgarın etkileri (FAA, 2016).

Uçak performansı rüzgar kesmesinden şu yollarla etkilenir:

- Kafa rüzgarı şeklinde hamle rüzgarı aniden uçağın hızını arttırarak uçağın ilerlemesi istenilen uçuş yolundan daha yukarıda ve/veya hızlanarak hareket etme eğilimi göstermesine neden olur. Bu durum Şekil 2.7' de 1 numara ile gösterilmektedir.
- Aşağı yönlü hava akımı hem uçağın hücum açısını arttırır hem de uçağın alçalmasına neden olarak uçuş yolunu etkiler. Bu durum Şekil 2.7' de 2 numara ile gösterilmektedir.
- Kuyruk rüzgarı şeklinde hamle rüzgarı aniden uçağın hızını azaltarak uçağın ilerlemesi istenilen uçuş yolundan daha aşağıda ve/veya yavaşlayarak hareket etme eğilimi göstermesine neden olur. Bu durum Şekil 2.7' de 3 numara ile gösterilmektedir (Airbus, 2007, s. 3).



Şekil 2.7 : Bir Kümülönimbus bulutundan kaynaklanan mikro hava patlaması (Airbus, 2007).

Mikro hava patlamaları havacılık emniyeti açısından 2 ayrı risk teşkil eder:

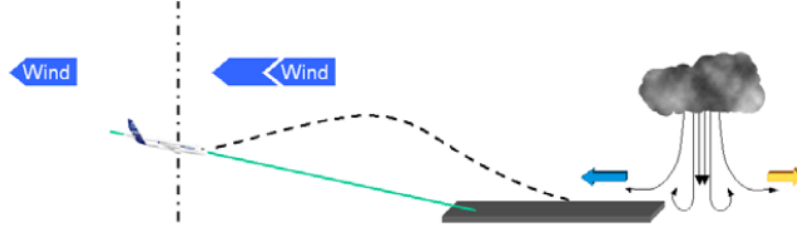
- Risklerden aşağı yönlü hava patlaması, kuvvetli aşağı yönlü hava akımları ile sonuçlanır (Dakikada 6000 feet'e ulaşan düşey hızlar)
- Diğer risk olan ani patlamalar (outbursts), büyük yatay rüzgar kesmesi ve rüzgar bileşeninin yönünde kafa rüzgarından kuyruk rüzgarına kırılma yaşanması ile sonuçlanır (yatay rüzgarlar 45 knots hızına ulaşabilir) (Airbus, 2007, s. 3).

Jet akımları, dağ dalgaları ve cephesel yüzeylerle ilişkili rüzgar kesmesinin olduğu irtifalar genellikle yere daha yakında oluşan mikro hava patlamalarına kıyasla aynı riski taşımaz. Uçağın mikro hava patlamasına göre konumuna bağlı olarak dört farklı durum gözlemlenebilir: uçağın önündeki mikro hava patlaması, uçağın bir mikro hava patlamasındaki aşağı yönlü hava akımından geçmesi, uçağın arkasında görülen mikro hava patlaması, uçağın bir mikro hava patlaması içerisinde geçmesi (Airbus, 2007, ss. 3-5)

Uçağın önündeki mikro hava patlaması

Uçuş mürettebatı kafa rüzgarındaki artışı her zaman risk olarak ele almaz. Ancak kafa rüzgarı şeklinde böylesine bir hamle rüzgarı uçağın yaklaşmada dengesini bozar ve pilotun yeterli tepkiyi göstermemesi halinde uçağın uçuş yolunun daha üzerinde ve/veya hızlanarak hareket etme eğilimi göstermesine neden olur. Eğer kalkışta kafa rüzgarında rüzgar kesmesi meydana gelirse uçak performansı artacaktır. Rüzgar kesmesinin dışarısında göstergedeki hava hızı değerinin artmasından dolayı uçağın hücum açısında artış meydana gelmesiyle uçağın kritik hücum açısına ulaşmasını engelleyen sistemi ve/veya uçağın tutunma hızına yaklaşması durumunda uçak

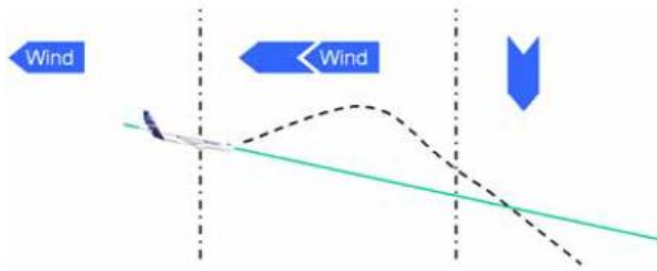
kumanda çubuğunun sarsılmasını sağlayan sistemin aktif hale getirilmesini tetikleyebilir. Şekil 2.8’ de uçağın önündeki mikro hava patlaması durumu gösterilmektedir (Airbus, 2007, s. 4).



Şekil 2.8 : Uçağın önündeki mikro hava patlaması (Airbus, 2007).

Uçağın bir mikro hava patlamasındaki aşağı yönlü hava akımından geçmesi

Genellikle kafa rüzgarı bileşenindeki bir artıştan önce aşağı yönlü düşey hava akımları görülür. Eğer pilot durumu tam anlamıyla kavrayamazsa kafa rüzgarı şeklindeki hamle rüzgarı etkilerine karşı istenilen uçuş yoluna yeniden sahip olabilmek için gücü azaltarak ve uçak kumanda çubuğunu öne doğru ilerleterek tepki verir. Bu noktada bir aşağı yönlü düşey hava akımı uçağın alçalma oranını arttırarak uçağı istenilen uçuş yolunun altına taşır. Şekil 2.9’ da uçağın bir mikro hava patlamasındaki aşağı yönlü hava akımından geçmesi durumu gösterilmektedir (Airbus, 2007, s. 4).

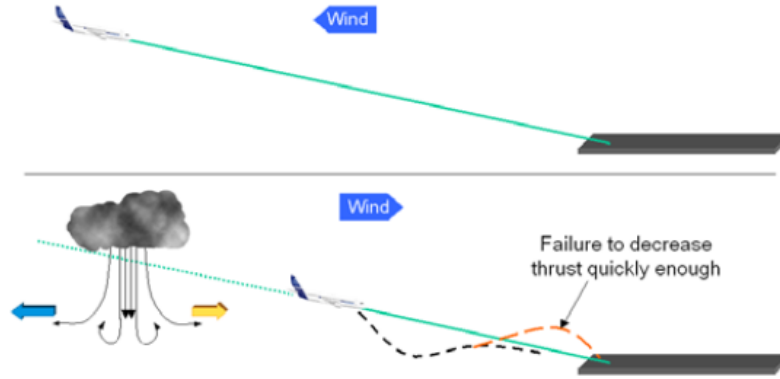


Şekil 2.9 : Uçağın bir mikro hava patlamasındaki aşağı yönlü hava akımından geçmesi (Airbus, 2007).

Uçağın arkasında görülen mikro hava patlaması

Kuyruk rüzgarında ani bir artış olması durumunda uçağın hava hızı aniden azalır. Kaldırma kuvveti azalır ve uçak istenilen yaklaşma uçuş yolunun aşağısından uçuş eğilimi gösterir. Eğer pilotlar yeterli itki kuvvetini vermeden uçak kumanda çubuğunu çekerek uçuş yolunu tekrar yakalamaya çalışırsa uçağın hücum açısı önemli ölçüde artacak ve uçak alçalmaya başlayacaktır. Eğer istenilen uçuş yoluna

yeniden sahip olabilmek için yeterli itki kuvveti verilir ancak sonrasında geri kazanılan uçuş yolunda pilotun tepkisi itki kuvvetini azaltmak için yavaş olursa uçak uçuş yolunun üzerine çıkacak ve/veya hızlanacaktır. Şekil 2.10’ da uçağın arkasında görülen mikro hava patlaması durumu gösterilmektedir (Airbus, 2007, s. 5).



Şekil 2.10 : Uçağın arkasında görülen mikro hava patlaması (Airbus, 2007).

Uçağın bir mikro hava patlaması içerisinde geçmesi

Kafa rüzgarı şeklindeki hamle rüzgarı, aşağı yönlü hava akımı ve kuyruk şeklinde hamle rüzgarının birlikte olduğu en kötü senaryodur. Bir mikro hava patlaması içerisinde geçen bir uçağın karşılaçağı durumdur (Airbus, 2007, s. 5).

2.2.2.2 Rüzgar kesmesinin teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri

Nispeten dar alanda oluşmalarından ötürü genellikle mikro hava patlamalarının tesbiti zordur. Pilotları alçak seviye rüzgar kesmesine ilişkin ikaz etmek amacıyla çeşitli havalimanlarında uyarı sistemleri kurulmuştur. Havalimanı etrafına yerleştirilen bir dizi anemometre rüzgar hızlarındaki değişimleri tesbit edebilmek için bir ağ oluşturur. Rüzgar hızlarında 15 knots’dan daha fazla değişim görüldüğünde pilotlara rüzgar kesmesi uyarısı yapılmaktadır. Bu sistem alçak seviye rüzgar kesmesi alarm sistemi (LLWAS) olarak bilinir (FAA, 2016, s. 11).

Bir rüzgar kesmesi şartının zamansal teşhisi rüzgar kesmesinin atlatılma/toparlanma prosedürünün başarılı şekilde uygulanabilmesi açısından hayati önem taşır. Aşağıdaki sapmalar muhtemel bir rüzgar kesmesi şartının göstergeleri olarak düşünülmelidir:

- 15 kt’ a ulaşan gösterge hava hızı değişimleri

- Yer rüzgarındaki değişimler
- Analog rüzgar göstergesindeki değişimler: Yön ve hız olarak
- Dakikada 500 feet' lik düşey rüzgar farklılıkları
- 5 derecelik yunuslama açısı farklılıkları
- Süzülüş açısında 0.1 derecelik sapma
- 10 derecelik pusula başı değişimleri
- Olağandışı otomatik itki faaliyeti veya olağandışı gaz kolu pozisyonu (Airbus, 2007, ss. 6-7).

Potansiyel veya gözlemlenmiş rüzgar kesmesi alanlarından kaçınmada kullanılması gereken bilgiler şu şekildedir:

- **Hava raporları ve tahminler:** Bazı havalimanları bir Alçak Seviye Rüzgar Kesmesi Uyarı Sistemi (LLWAS) ve bir Terminal Doppler Meteoroloji Radarı (TDWR) ekipmanına sahiptir. LLWAS, bir merkezi rüzgar sensörü (rüzgar hızı ve yön sensörü) ve çevresel rüzgar sensörlerden oluşmaktadır. Kontrolörlerin halihazırdaki veya yaklaşmakta olan rüzgar kesmesi koşulları hakkında pilotları uyarmasını sağlar. 15 kt' a ulaşan bir farklılık tespit edildiğinde uyarı verilir. LLWAS 2 nm veya daha düşük çaptaki aşağı yönlü hava patlamalarını tespit edemeyebilir. TDWR yaklaşmakta olan rüzgar kesmesi alanlarının tespit edilmesini sağlar ve bu sayede pilotlara rüzgar kesmesi riskine karşı daha ileri bir uyarı imkanı sunar.
- **Pilot raporları:** Yer seviyesinin 1000 feet üzerinde 20 kt' a ulaşan rüzgar kesmesi ya da dakikada 500 feet' lik aşağı yönlü hava akımı/yukarı yönlü hava akımı bilgilerini içeren PIREP'lerin mürettebat tarafından dikkatlice incelenmesi gerekir.
- **Görsel gözlemler:** Savrulan toz, toz halkaları, toz hortumu (dalaz) (yani toz ve ağaç topluluğu içeren rüzgar burgacı) veya yüzey yakınında dışarı doğru kuvvetli yerel bir hava akışının varlığı çoğunlukla potansiyel veya mevcut rüzgar kesmesinin göstergesidir.
- **Uçaktaki rüzgar bileşeni ve yer hızının izlenmesi:** Yaklaşmada kafa rüzgarı ya da kuyruk rüzgarı bileşeninin (mevcut olan) yerdeki kafa rüzgarı veya kuyruk rüzgarı bileşeni ile kıyaslanması düşey rüzgar kesmesinin potansiyelini ve olası

derecesini işaret eder. Bu izlenme işlemi durumsal farkındalığı artırır (Airbus, 2007, s. 6).

Rüzgar kesmesi farkındalığını arttıran şirket stratejilerinin ve girişimlerinin geliştirilmesinde aşağıdaki anahtar noktalar ve öneriler ele alınmalıdır. Bu anahtar noktalar rüzgar kesmesi farkındalığıyla ilişkili üç alanda toplanmıştır; Kaçınma, Teşhis ve Durumdan Toparlanma/Durumu Atlatma:

- Kaçınma

- Güvenli bir kalkış ya da Yaklaşma ve İniş için halihazırdaki tüm meteorolojik veri, görsel gözlemler ve uçak ekipmanına dayalı tüm koşulların değerlendirilmesi
- Kalkışın veya yaklaşmanın geciktirilmesi ya da daha uygun bir meydana yönelinmesi
- Tahmini rüzgar kesmesi tavsiyesine/ikazına/uyarısına ya da tepkisel rüzgar kesmesi uyarısına karşı hazırlıklı olunmalı ve hemen cevap verilmeli

- Teşhis

- Halihazırdaki tüm meteorolojik veri, uçak ekipmanı ile uçağın uçuş parametreleri ve uçuş yolunun izlenmesine dayalı potansiyel veya halihazırda olan rüzgar kesmesi koşulunun tanımlanması için hazırlıklı olunmalıdır
- Potansiyel rüzgar kesmesi koşulları mevcut olduğunda aletlerin taraması arttırılmalıdır.

- Durumdan Toparlanma/ Durumu Atlatma

Uçuş programı (Flight Director=FD) rüzgar kesmesi durumdan toparlanma/ durumu atlatma hatve talimatı takip edilmeli ya da Uçuş Kontrol İşletme Kılavuzunda (Flight Control Operation Manual=FCOM) önerilen durumdan toparlanma/ durumu atlatma prosedürü uygulanmalıdır (Airbus, 2007, s. 13).

2.2.2.3 Türbülansın uçaklar üzerindeki etkileri

Bazı uçaklar türbülansın etkilenmeye diğerlerine göre daha meyillidir. Hafif uçaklar hasar almaya daha meyillidir ve hafif türbülansla bile önemli ölçüde etkilenirler (WMO, 2007, s. 1).

Türbülansa dair yüksek mertebede toleransa sahip olacak şekilde tasarlanmış hızlı askeri uçaklardan temin edilen az sayıda rapor mevcuttur (WMO, 2007, s. 1).

Türbülans şiddeti ICAO tarafından aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır:

Hafif

Orta derecede türbülansa göre etkileri daha azdır.

Orta

- Uçak irtifasında/yüksekliğinde orta derecede değişme olabilir fakat uçak her zaman kontrol altındadır.
- Havanın hızındaki değişimler genellikle küçüktür.
- Uçağın ağırlık merkezinde ivmeölçerin okumalarındaki değişim miktarı 0.5 ila 1.0 g'dır.
- Emniyet kemeri yolcular üzerinde gerilmeye yol açar. Yürümekte zorluk yaşanırken, bağlı olmayan nesneler de yerinden oynar.

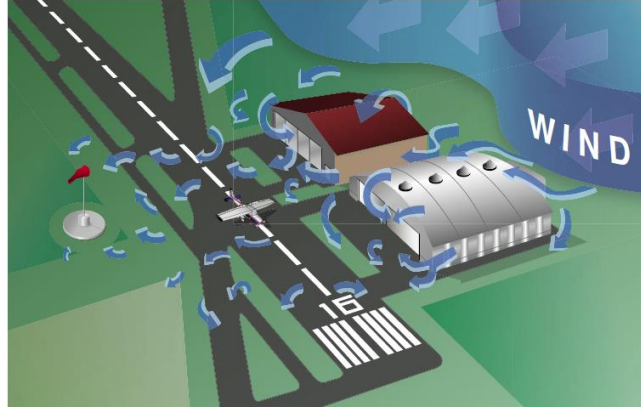
Şiddetli

- Uçak irtifasında/yüksekliğinde ani değişimler gözlemlenir. Uçağın kontrolünde kısa aralıklarla sorun yaşanabilir.
- Havanın hızındaki değişimler genellikle büyüktür.
- Uçağın ağırlık merkezinde ivmeölçerin okumalarındaki değişim miktarı 1.0 g'dan büyüktür (Askeri havacıların +4 g/-2 g değerlerini şiddetli olarak nitelendirdiği bilinmelidir.)
- Nesneler emniyet kemerleri tarafından sert etkiye maruz kalırlar. Bağlı olmayan nesneler savrulur.

Aşırı

- Etkileri şiddetli durumdakinden daha belirgindir (WMO, 2007, ss. 1-2).

Şekil 2.11' de insan yapımı manialardan kaynaklanan türbülans, Şekil 2.12' de de dağlık bölgelerdeki türbülans görselleştirilmiştir.



Şekil 2.11 : İnsan yapımı manialardan kaynaklanan türbülans (FAA, 2016).



Şekil 2.12 : Dağlık bölgelerdeki türbülans (FAA, 2016).

Yukarı yönlü hava akımının hızının genellikle yukarı yönlü bir akım boyunca kuvvetli değişim içerisinde olduğu bilinmelidir. Bu nedenle konvektif yukarı yönlü bir akım içerisindeki uçuş esnasında yalnızca bulut içerisindeki konvektif türbülans hissedilmez aynı zamanda bulut kesiti boyunca değişen düşey rüzgar hızından kaynaklanan ivme de hissedilir. Genellikle oraj içerisindeki yukarı yönlü akımda dolu, yıldırım, yoğun yağmur ve buzlanma gibi tehlikeler daha çok gözlenir (WMO, 2007, s. 3).

Mekanik türbülans da benzer şekilde uçakta sarsıntıya neden olur. Türbülans şiddeti daha önce bahsedilen kriterlere ve uçağın hızına bağlı olarak artar. Herhangi bir türbülans şiddetinde uçak ne kadar hızlı uçarsa o kadar fazla ivme kazanır. Yere ne kadar yakın olursa bu ivmelerle etkileşime girme süresi de daha kısa olur. Sonuç olarak, uçak tipine bağlı olarak şiddetli türbülans özellikle kuvvetli dümen hareketlerinin yetersiz olduğu durumla birleştiğinde uçak üzerinde yapısal hasara yol açabilir (WMO, 2007, s. 8).

Dağ dalgalarının havacılığa olumlu ve olumsuz etkileri olmakla birlikte olumsuz etkileri daha baskındır. Tecrübeli planör pilotları irtifa kazanmak adına dağ dalgalarının yukarı yönlü akımlarını yakalamaya çalışır. 500 ft/dakika civarındaki

yükselme oranları yükseklik artışının daha hızlı olmasını sağlayabilir. Böyle yukarı yönlü akımlarda uçuşlar çok düzgün şekilde seyredebilir.

Barındırdığı birkaç doğal tehlike mevcuttur:

- 1) Yükseklikte hızlı değişim bir pilotun değişik uçuş seviyelerinde seyretmekte olan uçaklarla hızlı şekilde karşı karşıya gelerek hazırlıksız yakalanmasına neden olabilirken daha da önemlisi aşağı yönlü bir akımda yakalanırsa altimetre paylarını ortadan kaldırarak sonucunda uçağın yerle temas etmesine yol açabilir. Böyle etkiler özellikle uçuş rotası sırta paralelse daha belirgindir. Düşey hızlar 500 ft/dakika' ya ulaşır ve onu aşarsa havacılık kartlarında dağ dalgası aktivitesi belirtilir ancak bazı hafif Cessna uçaklarının maksimum tırmanma oranı 700 ft/dakika mertebesinde. Yüksek güce sahip ticari ve askeri uçakların daha hızlı tırmanmaya yatkın oldukları aşikardır ancak 500 ft/dakika' lık bir aşağı yönlü akımın hafif uçak pilotları için ne kadar önem arzettiği açısından bir göstergedir.
- 2) Laminer ve düzgün akış, akışın ilk bir-iki seviye altındaki dalgaların tepesinde bozuluma uğrayarak rotor oluşturabilir, bu bölgelerde türbülansın şiddetli olması beklenir ve yanında belirgin bir tüp bulutu olabilir veya olmayabilir.
- 3) Dalgaboyu kısa ise dalga katarı boyunca ve dalga katarına dik hızlı şekilde gitmekte olan bir uçak düşey hızda hızlı salınımların olduğu uzun serilerle karşılaşır (WMO, 2007, ss. 11-12).

Türbülansın alçak seviye soğuk cephe jet akımları üzerindeki etkileri belirgindir ve beklenmediktir. Jetin sınırları boyunca etkili olan rüzgar kesmesi pilot açısından düzeltme hareketi gerektiren bir durumdur. Tanım olarak, alçak seviye jet akımları altimetre göstergesindeki değerlerin açık halde görülebileceğini ve iniş aşamasında zorluklarla karşılaşılabilceğini ifade eder (WMO, 2007, s. 20).

Bu akımların getirdiği temel sorun şiddetli türbülans oluşumu veya en azından hava hızında kayda değer değişimlerdir. Bu özelliklere sahip alçak seviye rüzgar kesmesi ya da türbülansla kritik periyot bir soğuk cephenin geçişinden önceki 1 ila 3 saattir. Bu koşullar atmosferin alçak seviyelerinde oluşması ve uçuşun en önemli aşamaları olan iniş ve kalkışta uçağı etkilemelerinden dolayı daha kritik bir hal alır (NAV Canada, 2005, s. 21)

Gece oluşan jetler pilot süreksizlik tarafında kalırken kendileriyle ilişkili belirgin bir türbülansa sahip olmayabilir. Sınırın geçilmesi sonucunda bir türbülans periyodu yaşanabilir ancak özellikle iniş ve kalkış aşamalarında uçağın kaldırma kuvveti alçak seviyede kanatlardaki hava akımının değişimiyle olumsuz etkilenebilir (WMO, 2007, s. 20).

Bütün türbülans çeşitlerinde olduğu gibi kuyruk trblansında da alçak seviyede karşılaşılırsa lml olabilir ya da kurtulabilmek için çok az boşluk ya da zaman bulunabilir. En kötü durum senaryosunun iki uçağın kalkışı sırasında yaşanabileceği düşünülmelidir. Diğer bütün şartlar eşit olduğunda ndeki uçağın yolcularla, kargoyla ve yakıtla dolu olması muhtemeldir. Ağırlığından dolayı daha şiddetli kuyruk girdapları/türbülansı oluşturur. İkinci uçak kalktıktan sonra onun da dolu ve ağır olması beklenir. Türbülansla karşılaştığında fazla ağırlığından ötürü giriş gücü ve motor gücü seçeneklerini kontrol etme konusundaki duyarlılığı azalır ve yerle çok yakın temas halinde olabilir. Yaşanılan türbülans içerisinde yanlış dmen hareketleri de mevcut olduğunda dizayn yükü limitleri aşılabildiğinden dolayı felakette sonuçlanabileceği görülmüştür (WMO, 2007, s. 24).

Hafif uçaklar ağır ve büyük yolcu uçaklarının kuyruk trblansıyla karşılaşacağından yere doğru sert şekilde savrulabilir. Kalkıştan sonra bile uçak beklenmedik şekilde türbülansla karşılaşabilir. Bir uçağın kuzeye doğru kalktığı ve alandan ayrıldığı dşnlsn. Eğer rüzgar batıdan esiyorsa kuyruk doğruya doğru sürüklenir. İkinci bir uçak kalkabilir ve batıya doğru döndüğünde bir önceki uçağın kuyruk trblansıyla karşı karşıya gelebilir. Pilotlar için alınabilecek en kolay nlem uçağı ndeki uçaktan belli bir emniyet mesafesinde tutmaktır. Hafif bir uçak ağır bir uçakla arasında daha büyük bir mesafe bırakmalídır, benzer şekilde ağır bir uçak da başka bir ağır uçakla arasında büyük bir mesafe bırakmalídır. Halihazırda böyle bir boşluğun sağlanması ve uluslararası şekilde kabul edilmiş ayırım mesafelerine uyması Hava Trafik Kontrol'n ve takip eden uçağın kaptanının sorumluluğundadır. Son zamanlarda bu ayırımların yine güvenli olacak şekilde minimum düzeye indirilmesi konusunda artan baskılar mevcuttur ve bundan dolayı meteoroloji bu konuda rol oynayabilir (WMO, 2007, ss. 24-25).

Uçak motorlarının çıkış kısmında oluşan kuyruk izleri kuyruk tipi burgalara dahil olur. Bundan dolayı dörtlü motordan kaynaklanan kuyruk izlerinden sadece iki tane

ayrık olanı bir uçak boyu geride kalır. Neticede, kuyruk burgaçlarının hareketleri önceki uçağı işaret eden kuyruk izleri vasıtasıyla izlenebilir. Genellikle kuyruk burgaçları boylamasına değişim göstererek burgaçlarda dağılmaya yol açar. Bu dağılma gelişir ve buna bağlı olarak eğer ortamdaki türbülans yükseğe daha erken gerçekleşir (WMO, 2007, s. 25).

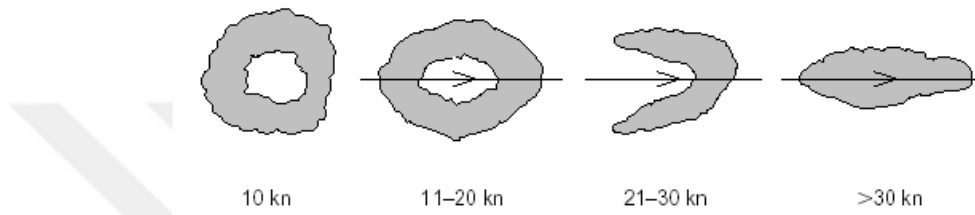
2.2.2.4 Türbülansın teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri

Uydu teknolojisi hareketli kızılötesi ve görünür görüntüler kullanılarak konvektif bulut gelişiminin izlenmesine olanak sağlar ve bu da kısa vadeli tahminler açısından gereklidir. Su buharı görüntüleri, günlük/orografik tetikleyicilerle etkileşime girebilecek yukarı seviye Pozitif Vortisiti Adveksiyonu (PVA)'nın mevcut olduğu konvektif bulut gelişimine uygun alanların teşhisinde kullanılabilir. Gerçekten de PVA alanları konveksiyonun tetiklenmesinde etkilidir. Su buharı görüntülerinin izlenmesi uzun bir zaman periyodu için tahmin edilebilir sonuçlar verebilir. Yakın zamanda geliştirilen jeostasyoner uydular (Meteosat 8 gibi Meteosat İkinci Nesil (MSG) ya da GOES-10 gibi) tahminciye daha fazla bilgi sağlar. Görünür kanallar boyunca mevcut olan daha yüksek çözünürlüğe ilaveten 15 dakikalık hızlı taramalar gelişen sistemlerin daha yakından izlenmesine olanak tanır. Bunun yanı sıra, bulut tepelerindeki buzullaşmanın ve CB örslerinin oluşumunun belirlenebilmesi için dalga boylarının birleştirilerek yanlış renk şemaları oluşturulması gibi teknikler de mevcuttur (WMO, 2007, s. 4).

Gelişen fırtınaların kısa vadeli tahmininde radar görüntüleri çok değerlidir. Mevcut sistemlerle ilişkili olmayan yeni hücreleri de kapsayacak şekilde yeni gelişecek hücrelerin oluşumu da mutlaka dikkate alınmalıdır. Doppler radar sistemleri konvektif sistemler etrafında sistemle ilişkili bağlı akımların teşhisine de yardımcı olabilir. Önümüzdeki yıllarda işletilmeye başlandıkça güncellenmiş radar sistemleri daha kullanışlı bir hal alacaktır. Yıldırım konumu ve haritalama sistemleri (Sferics veya SAFIR gibi) fırtınaların izlenmesine yardımcı olacak şekilde pek çok tahmin ofisinde mevcut durumdadır (WMO, 2007, s. 4).

Standart görüntüler kullanılarak yer rüzgarının tespit edilmesi zordur. Bulutların/Sağanakların takibinde hareketli uydu ve radar görüntüleri yardımcı olabilir ancak gradyan rüzgardan daha yüksek seviyelerde ve daha büyük güçlerde yönlendiren akımlar genellikle yüzey ya da yüzey yakınındaki rüzgar akımlarına

doğrudan uygulanamazlar. Konvektif bulut paternlerinin karakteristik şekilleri gradyan akışın göstergesi olabilir fakat bunlar yalnızca kıyı bölgelerde uygulanabilir ve kara üzerinde yok olurlar. Rüzgar hızının izlenmesinin en etkili yolu sonuçta oluşan türbülans hakkında da fikir verebilmesinden dolayı yüzey rüzgarına ait raporların düzenli olarak kontrol edilmesidir. Burdan elde edilen bilgi daha sonra model rüzgarlarının doğrulanmasında ve düzenlenmesinde kullanılabilir (WMO, 2007, s. 8). Şekil 2.13’ te denizsel konvektif hücre paternleri ile ilgili yer rüzgar hızları gösterilmektedir.



Şekil 2.13 : Denizsel konvektif hücre paternleri ve ilgili yer rüzgarı hızları (WMO, 2007).

Rüzgar hızı tahminine dayanarak tahminci için muhtemel türbülansın öngörüsü mümkündür ve Çizelge 2.3’te gösterilmiştir (WMO, 2007).

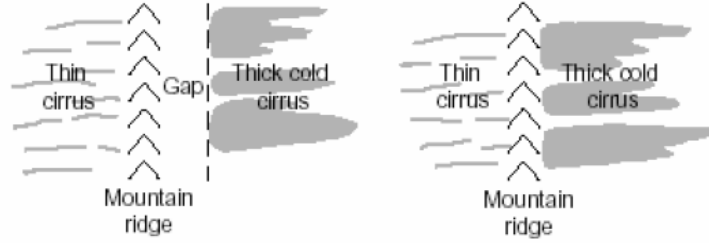
Çizelge 2.3 : Değişik rüzgar hızları ve yüzey türleriyle ilişkili türbülans şiddetleri (WMO, 2007).

Yer rüzgarı (kt)	Deniz	Düz bir ülkede	Dağlık bir ülkede
15 ila 35	Hafif ila Orta	Orta	Şiddetli
35’ten fazla	Orta ila Şiddetli	Şiddetli	Aşırı

Tahminci aynı zamanda havanın kararlılığını da dikkate alarak herhangi bir durumdaki gradyan için muhtemel yüzey rüzgarını belirlemeli ve hamle rüzgarlarını belirlemek için bir hamle faktörü uygulamalıdır. Sağnak yağışlı konvektif olaylarda hamle rüzgarları gradyan gücüne yaklaşabilir. Yoğun sağnak yağışların ve orajların olduğu çok kararsız durumlarda hamle rüzgarları gradyan rüzgarı aşabilir ve 5000 ft seviyesindeki gradyan rüzgara ulaşabilir. Fırtına kuvvetinde yüzey rüzgarı tahmin edilirken tahminciler olağan şekilde alçak seviye türbülansın şiddetli türbülansa dönmesini beklemelidir (WMO, 2007, s. 9).

Uydu görüntülerinde dağ dalgası aktiviteleri genellikle belirgindir. Sıkıştırılmış dalgaların teşhisi hem kızılötesi hem görünür banttaki görüntülerde çok belirgin haldeki dalga benzeri paternlerle birlikte genellikle kolaydır. Sıkıştırılmamış ya da

düşey yayımlı dalgalar genellikle orografik Cirrus yapıları yardımıyla belirgin haldedir. Böyle koşullar altında türbülans varlığını ortaya koyan belirli Cirrus paternleri mevcuttur (WMO, 2007, s. 12). Şekil 2.14’ te türbülanslı ve türbülanssız durumları gösteren Cirrus yapıları görülmektedir.

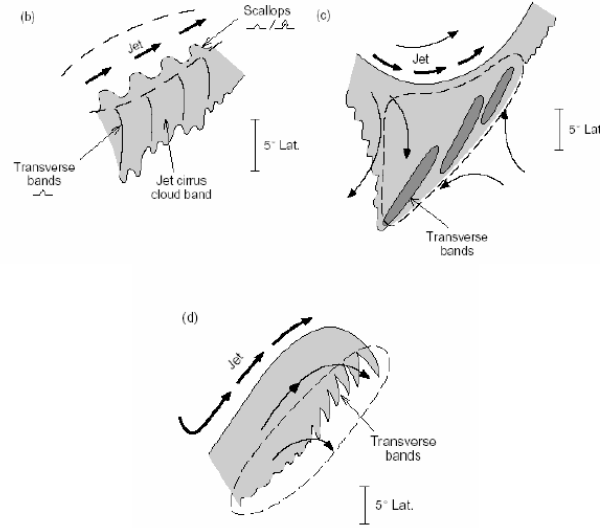


Türbülanslı kara dalgaları Türbülanssız kara dalgaları

Şekil 2.14 : Türbülanslı/Türbülanssız durumları gösteren cirrus yapıları (WMO, 2007).

Rüzgar hızı ve yönünün yüzey haritaları genellikle yüzey seviyesindeki rotorların etkilerini yansıtabilir. Böyle bir durumda yüzey akışı genellikle çok zayıf olabilir ve normal gradyan/yüzey ilişkisine tamamen zıt yönde, zaman zaman da ters yöndedir (WMO, 2007, s. 12).

Uydu görüntülerinde belirli bulut yapıları AHT olması muhtemel alanların tespitinde yardımcı olabilir. Türbülanslı uçuş durumlarındaki havacılık raporları da izlenmelidir (WMO, 2007, s. 15). Şekil 2.15’ te türbülanslı alanları gösteren bulut yapıları görülürken Şekil 2.16’ da AHT oluşumuna meyilli alanların şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 2.15 : Türbülanslı alanları gösteren bulut yapıları (WMO, 2007).

Düz çizgiler	300 hPa konturları
CF	İki jet akımı arasındaki birleşme bölgesi
CL	Yukarıdaki hava sütunu. Rüzgar kesmesi çizgisi boyunca yer alan dar alanlarda türbülans meydana gelir.
D	Jet akımının ayrışım bölgesi
J	Alçak basınç olan kısımdaki jet akımı türbülansı
R	Yukarıda gelişen sırt
T	Yukarıdaki keskin oluk
W	Gelişen dalga depresyonu

Şekil 2.16 : AHT oluşumuna meyilli alanların şematik gösterimi (WMO, 2007).

Cirrus bulutlarının karakteristik paternlerinden biri olan dalgalı bulutlar (billow) AHT bölgesini işaret eder. Bu bulutlar Kelvin-Helmholtz kararsızlığı şeklinde türbülanslı akış bozulmasını gösterir. Kelvin-Helmholtz kararsızlığı, statik kararsızlıktan kaynaklanan türbülans üretiminin rüzgar kesmesinden kaynaklanan türbülans üretimine oranını içeren Richardson sayısı Ri baz alınarak değerlendirilebilir (WMO, 2007, ss. 15-16).

$$Ri = \frac{N^2}{(dU/dz)^2} \quad (2.1)$$

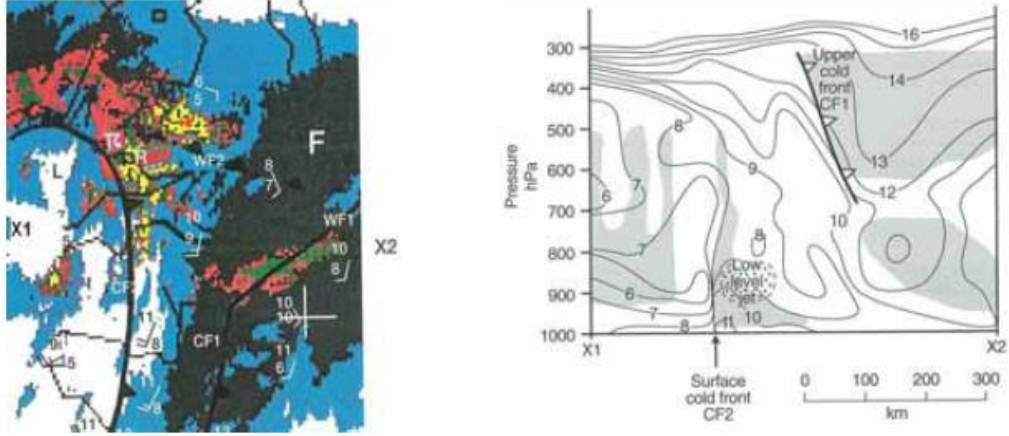
Burada

$$N^2 = \frac{(g/\theta)}{d\theta/dz} \quad (2.2)$$

Yukarıdaki eşitliklerde; N : Brunt-Vaisala frekansı, U rüzgar hızı, g yerçekimi ivmesi (≈ 9.8 m/s), θ potansiyel sıcaklık ve z de yüksekliktir. Stratosferde statik kararsızlığın yüksek olduğu durumlarda bile rüzgar kesmesi yeterli büyüklükteyse türbülans ve kırılan dalgalar oluşabilir. 0.25'ten küçük Ri değerlerinde kırılan dalgalar oluşurken, 0.25 ila 1 arasında türbülans sürekliliği, 1'den daha büyük değerlerde mevcut olan herhangi bir türbülans varlığını sürdürmez (WMO, 2007, s. 16).

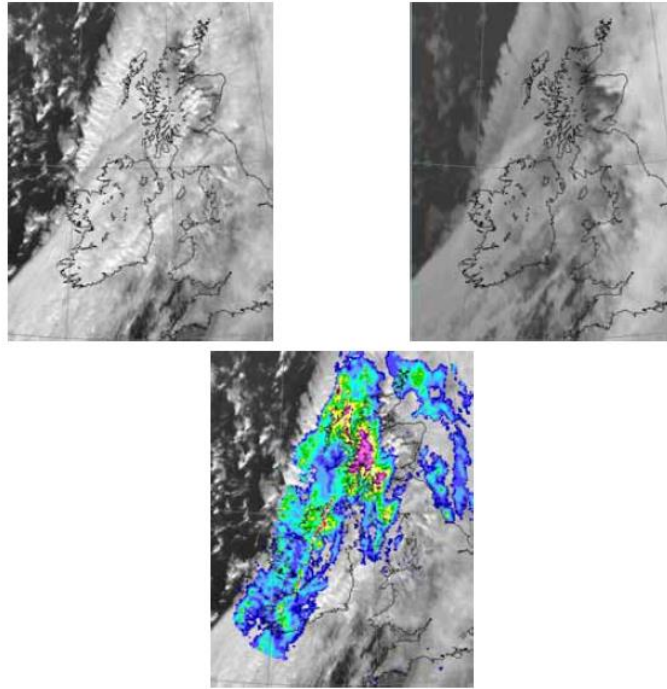
Jet akımlarını yerleştirmede su buharı ve kızılötesi görüntüleri önemli yere sahiptir ve modelin konumda verebileceği bir hatayı belirtebilir, böyle durumlarda AHT bölgeleri uygun şekilde ayarlanabilir. Havacılık raporları da izlenmelidir böylece jet akımının gücünün değerlendirilip ayarlanmasında yardımcı eleman olarak kullanılabilir (WMO, 2007, s. 16).

Soğuk cepheler üzerindeki alçak seviye jet akımları uydu görüntülerinde her zaman çözümlenebilir olmayabilir. Ancak, cephe üzerinde çizgi halindeki konveksiyonu gösteren ve onun sonucunda oluşan bir alçak seviye jet akımını belirten, konveksiyonun gelişmiş olduğu alanların tespit edilebilmesi mümkündür. Ayrık cepheler sıg ve nemli bölgedeki alçak seviye jet akımlarını gösterebilir (WMO, 2007, s. 20). Şekil 2.17' de yukarıdaki ve yüzeydeki cephe konumlarıyla alçak seviye jet akımı ilişkisini yansıtan, kesit alanına karşılık gelen birleştirilmiş radar ve uydu görüntüsü verilmiştir.



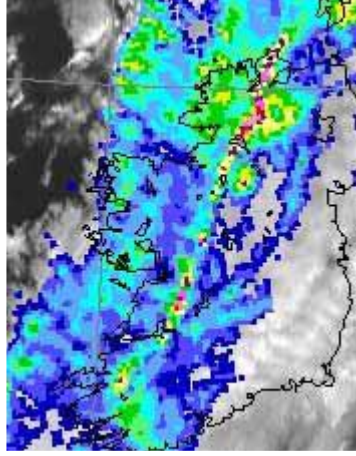
Şekil 2.17 : Yukarıdaki ve yüzeydeki cephe konumlarıyla alçak seviye jet akımı ilişkisini yansıtan, kesit alanına karşılık gelen birleştirilmiş radar ve uydu görüntüsü (WMO, 2007).

Radar görüntüsü bir soğuk cephe önünde bulunan çizgi halindeki konveksiyonu gösterebilir ve buradan yola çıkarak bir alçak seviye jeti de bulunabilir (WMO, 2007, s. 21). Şekil 2.18 ve 2.19’ da iki farklı radar görüntüsünden konveksiyon durumuna dair yorum yapılabilir.



Şekil 2.18 : 26 Eylül 2005 1200 Z’e ait görüntülere bakıldığında, görünür ve kızılötesi bant görüntüleri çizgi şeklindeki konveksiyonu yansıtmamaktadır (WMO, 2007).

Şekil 2.19’ daki radar görüntüsü ise Limerick’ten Enniskillen’e uzanan konveksiyon hattını yansıtmaktadır (WMO, 2007, ss. 21-22).



Şekil 2.19 : İrlanda üzerindeki konveksiyon hattını gösteren büyütülmüş resim (WMO, 2007).

Bir meteorolojistin kuyruk girdaplarını teşhis edebilmesine uygun görüntüler bulunmamaktadır. Daha uzun süre duran kuyruk izleri buzla ilgili olarak doymuş atmosphere gereksinim duyar. Bu nedenle doğal Cirrus bulutlarının oluşumu öncesinde kuyruk izleri çok sık görülür. Ancak kuyruk izleri saatlerce kalabilirken kuyruk burgaçları genellikle birkaç dakika sonra dağılabilir (WMO, 2007, s. 25).

Konveksiyon tahmininde (zayıflayacağı ve kuvvetleneceği) tahminciye yol gösterecek pek çok teknik mevcuttur.

Tehlikeli alçak seviye rüzgar kesmesi/türbülans için tahmin kriterleri

Aşağıdaki şartlardan **en az** bir tanesi sağlanmalıdır:

- 1) Ortalama yüzey rüzgarı ≥ 20 knot
- 2) Ortalama yüzey rüzgarı ve gradyan rüzgar (2000 feet seviyesinde) arasındaki vektörel farkın büyüklüğü ≥ 40 knot
- 3) 10 km içerisinde orajların veya yoğun sağanakların varlığı
- 4) Civardaki uçaklar tarafından önemli düzeyde bir rüzgar kesmesinin rapor edilmiş olması (WMO, 2007, s. 4)

Çizelge 2.4’ te türbülans şiddetinin genellikle ilişkili olduğu çeşitli türlerde konvektif hareketler gösterilmiştir (WMO, 2007, s. 5).

Çizelge 2.4 : Konveksiyon kaynaklı tipik düşey akımlar (WMO, 2007).

Rejim			Düşey hız		Türbülans
		(m/s)	~kt	~ft/min	
Küçük/orta	büyüklikte	1–3	2-6	200-600	Hafif
Kümüls					
Tepe yapmış	Kümüls	3–10	6-20	600-2000	Orta
(Towering Cumulus)					
Kümülonimbus		10–25	20-50	2000-5000	Şiddetli
Şiddetli fırtınalar	(Örn:	20–65	40-130	4000-13000	Aşırı (Ekstrem)
ABD’dekiler)					
Kuru termaller		1–5	2-10	200-1000	Hafif/Orta
Aşağı yönlü akımlar		3–15	6-30	600-3000	Orta/Şiddetli
Aşağı yönlü akımlar		25’e kadar	50’ye kadar	5000’e kadar	Aşırı

Ancak, özetlemek gerekirse bir tahminci kapsamı temel hava kütlesi teorisinden aktüel ve tahmin edilen tepigram analizine, oradan da Mezo-Ölçekli Konveksiyon Sistemlerinin kavramsal modelleri ve yeni gelişecek hücre oluşumuna kadar değişen bütün yönleriyle ele almalıdır (WMO, 2007, s. 5).

Model rüzgarları genellikle yol göstericidir ancak tahminci her zaman model orografisindeki çözünürlük sınırlamalarına karşı tedbirli olmalıdır. Genellikle 925 hPa seviyesi rüzgarının gradyan rüzgar olarak alınması ve karşılık gelen yüzey rüzgarının elle hesaplanması kullanışlıdır. Ancak yüzey basıncının 1013 hPa seviyesinin önemli ölçüde üzerinde ya da altında olması durumunda 925 hPa rüzgarı gradyan rüzgarı temsil etmede daha yetersiz kalacağından dikkatli olunmalıdır (WMO, 2007, s. 9).

Orografik türbülansın belirgin olduğu sinoptik durumlar şunlardır:

- Rüzgar gücünden dolayı derin bir alçak basınç etrafında,
- Yukarıdaki kararlı havanın uzun dağ sırtları boyunca sıkıştırıldığı sıcak cephe önünde. Bu durum, tepe zirvesindeki gradyan rüzgarın iki katından büyük rüzgar hızlarının görülebilmesine ve rotor aktivitesi oluşabilmesine neden olmaktadır.
- Yaz mevsiminde yoğun ısınmayla birlikte kararlı bir sıcak sektörlerdeki kuvvetli rüzgarlarda (WMO, 2007, s. 13).

Başlangıç aşamasında 925 hPa ve 850 hPa rüzgar alanları dağlık bölgeler boyunca etkili olan genel akış açısından yol göstermede genellikle başarılıdır ancak model orografisinin sınırlamaları olduğu hatırlanmalıdır. Tahmincinin ülke topografyasına

iyi hakim olması gereklidir. Atmosfer kararlılığının dağ dalgası aktivitesinin gelişimi üzerinde büyük etkisi olabileceği gibi etkisi olmaya da bilir. Tahmincinin uygun (aktüel ve tahminsel) tepigramlara önem vermesi gereklidir (WMO, 2007, s. 13).

AHT genellikle aşağıdaki koşullarda rapor edilir;

- Jet akımının soğuk (kutupsal) tarafında, rüzgar kesmesinin en yüksek olduğu çekirdeğin altında ve yakınında;
- Jet akımının sıcak (ekvatorial) kısmında, çekirdeğin üzerinde. Jet akımı ne kadar güçlüyse AHT nin meydana gelme olasılığı da o kadar fazladır;
- Etrafında rüzgar akış hızının eğrilikten dolayı limite ulaşmaya çalıştığı gelişmekte olan yukarıdaki sırtlarda;
- Rüzgar yönünün aniden değiştiği yukarıdaki keskin oluklarda;
- Jet akımlarının toplanma ve dağılma bölgelerinde;
- Dar fakat belirgin AHT çizgisinin olduğu soğuk alanlarda oluşabilir (WMO, 2007, ss. 16-17).

AHT'nin bazı özellikleri şu şekildedir:

- Çekirdek hızı 100 knots'ı aştığında ve düşey rüzgar kesmesi 4 kt/1000 ft olduğunda 150 deniz mili içerisinde orta düzeyde AHT tahmin edilmeli,
- AHT iyi tanımlanmış bir tropopoz seviyesinin üzerinde 0.25'ten büyük Richardson sayılarından dolayı nadirdir.
- Özellikle örtülü cephesel konveksiyonun olduğu bir konveksiyon bölgesinin üzerinde AHT oluşabilir ya da kuvvetlenebilir (WMO, 2007, s. 17).

Kara üzerinde AHT özellikle dağlık alanlarda denize kıyasla daha sık gözlenir. AHT raporlarının % 60' ının jet akımları yakınlarında olduğu belirtilmiştir. Çizelge 2.5' te görüldüğü üzere Yatay ve düşey rüzgar kesmesi değerleri bilindiğinde AHT'nin şiddeti hesaplanabilir. Aynı zamanda AHT olasılığı da öngörü modeli tarafından otomatik olarak tahmin edilir (WMO, 2007, s. 17).

Çizelge 2.5 : AHT ile yatay ve düşey rüzgar kesmesi arasındaki ilişkiyi gösteren sübjektif bir tablo (WMO, 2007).

	Orta derecede	Şiddetli
Yatay rüzgar kesmesi	Her enlem açısında 20 kt	Her enlem açısında 30 kt
Düşey rüzgar kesmesi	Her 1000 feet'te 6 kt	Her 1000 feet'te 9 kt

2.2.3 Orajlar

2.2.3.1 İlgili hadiseler ve uçaklar üzerindeki etkileri

Bir oraj havacılıkta bilinen neredeyse tüm meteorolojik riskleri tek bir yıkıcı yığın ile sunar. Bu riskler tekil olarak veya çoğunlukla bir sağanak hattında bulunabilecek olan çeşitli kombinasyonlarda meydana gelir (FAA, 2016, s. 23).

Sağanak Hattı

Sağanak hattı aktif orajlardan oluşan dar bir banttır. Sıklıkla nemli, kararsız havaya sahip bir soğuk cephe veya önünde gelişir ancak herhangi bir cepheden uzakta kararsız bir havada da gelişebilir. Hat kolaylıkla sapabileceğinden çok daha uzun ve nüfuz etmek için çok daha geniş ve şiddetli olabilir. Sıklıkla kararlı durum orajları içerir ve uçak için yegane en şiddetli meteorolojik risktir. Genellikle hızlı gelişir ve öğlenin geç saatleri ile havanın kararmasının ardından gelen ilk birkaç saat arasında maksimum şiddetine ulaşır (FAA, 2016, s. 23).

Hortumlar

Havayı kendi bulut tabanlarına büyük bir enerji ile çeken en şiddetli orajlardır. Gelen hava başlangıçta dönüş hareketine sahip ise genellikle yerden bulutun epey içerisine kadar aşırı yoğun halde bir burgaç (girdap) oluşturur. Meteorolojistler böyle bir burgaçta burgacın içindeki basıncın epey altında, rüzgarın 200 knot' ı aşabileceğini tahmin etmektedir. Kuvvetli rüzgarlar toz ve birikintiyi toplamaktadır ve alçak basıncın etkisiyle kümülonimbus tabanından aşağıya doğru uzanan huni şeklinli bir bulut oluşturmaktadır. Bulut yere ulaşmazsa huni bulutu, yer yüzeyine dokunursa hortum olarak adlandırılır (FAA, 2016, s. 23).

Hortumlar hem tekil hem de sağanak hatlı orajlarla birlikte oluşur. Hortum tahmin raporları incelendiğinde atmosferik koşulların şiddetli türbülansa uygun olduğu görülür. Bir hortum burgacına girmekte olan bir uçak hemen hemen kesin olarak yapısal hasara maruz kalır. Burgaç bulutun epey içerisine uzandığı için herhangi bir pilot farkında olmayarak şiddetli bir oraj içerisinde gizlenmiş bir burgaçla karşılaşarak uçuş araçlarında sorun yaşayabilir. Hortum aileleri yıldırım ve yağış görülen alanın birkaç mil dışarısına uzanmış ana bulutun uzantısı olarak

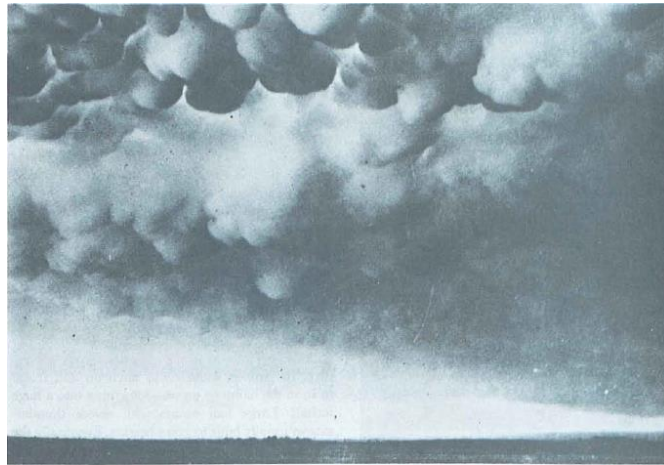
gözlemlenmektedir. Bu nedenle şiddetli bir oraja bağlı herhangi bir bulut şiddetli bir risk taşır (FAA, 2016, ss. 23-24).

Çizelge 2.6’ da Fujita hortum ölçeği görülmektedir (NAV Canada, s. 41).

Çizelge 2.6 : Fujita hortum ölçeği (NAV Canada, 2005).

Ölçek Numarası	Şiddet Tanımlayıcısı	Rüzgar hızı (kts)	Ortaya çıkan Hasarın Cinsi
F0	Zayıf Hortum	35-62	Bacalara zarar verir; ağaçların dallarını kırar; sığ köklü ağaçları devirir; işaret levhalarına hasar verir
F1	Orta Şiddette Hortum	63-97	Asgari limiti başlangıç seviyesindeki hortumun rüzgar hızıdır: çatıları soyar; taşınabilir evleri temelinden ayırır veya ters çevirir; hareket halindeki otomobilleri yollara sürükler; bitişik garajlara hasar verebilir
F2	Kuvvetli Hortum	98-136	Önemli düzeyde hasar. Ahşap evlerin çatısı ayrılır; taşınabilir evler tahrip olur; kapalı yük vagonları devrilir; büyük ağaçlar kırılır veya sökülür; hafif nesneler fırlamaya başlar
F3	Şiddetli Hortum	137-179	Sağlam temelli evlerin çatısı ve bazı duvarları ayrılır; trenler ters döner; ormandaki ağaçların çoğu sökülür
F4	Yıkıcı Hortum	180-226	Sağlam temelli evler yerle bir olur; temeli zayıf yapıları belli bir mesafeye uçurur; arabalar yerinden fırlar ve büyük nesneler fırlamaya başlar
F5	İnanılmaz Hortum	227-285	Kuvvetli ahşap evler temelinden ayrılıp havalandırılarak önemli mesafelere taşınır ve parçalanır; otomobil boyutunda nesneler havada 100 metreden fazla taşınır; ağaçlar yerinden sökülerek soyulur; çelik destekli beton yapılar ağır hasar alır

Şekil 2.20’ de aşırı kararsızlığı işaret eden Kümülonimbus mammatüs bulutları gösterilmektedir.



Şekil 2.20 : Kümülonimbus bulutlarıyla ilişkili kümülonimbus mammatüs bulutları aşırı kararsızlığı işaret eder (FAA, 2010).

Aşağı yönlü hava patlaması (Downburst), Makro hava patlaması (Macroburst) ve Mikro hava patlaması (Microburst)

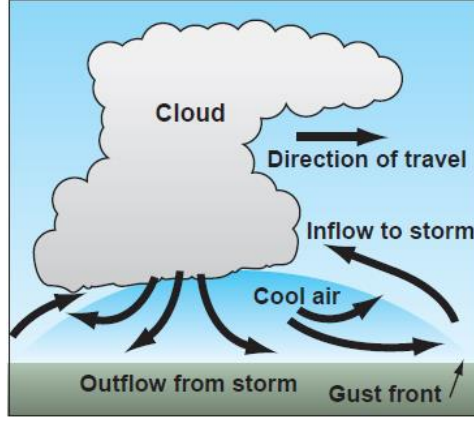
Bir aşağı yönlü hava patlaması yoğun haldeki şiddetli aşağı yönlü hava akımıdır ve beraberinde hücrenin altında aşağı doğru inmekte olan bir yağış sütunu mevcuttur. Yere çarptığında dışarıya doğru zarar verici rüzgarlar yatayda patlama ve şiddetlenme gösterir. Bu rüzgar patlamalarının iki türü mevcuttur: “makro hava patlaması” ve “mikro hava patlaması” (NAV Canada, 2005, s. 40).

Bir makro hava patlaması 5 ila 20 dakika arasında süren zarar verici rüzgarlarla beraber dışarı doğru 2.2 deniz mili ya daha fazla akış çapına sahip bir aşağı yönlü hava akımıdır. Böyle hadiseler özellikle yazın yaygındır ancak şehirleri veya havalimanlarını nadiren etkiler (NAV Canada, 2005, s. 40).

Aşağı yönlü hava patlamasının içerisinde gömülü halde bulunan ve yere doğru alçalmakta olan şiddetli hava sütununun bulunduğu durum mikro hava patlaması olarak bilinir. Mikro hava patlamasında dışarı doğru 2.2 deniz milinden daha az bir akış çapı ve 2 ila 5 dakika süren kuvvetli rüzgarlar mevcuttur. Böyle rüzgarlar gerçekten uçağı yere doğru hareket etmeye zorlayabilir (NAV Canada, 2005, s. 40).

Hamle Cephesi

Hamle cephesi herhangi bir aşağı yönlü hava patlamasının (downburst) hücum kenarıdır ve fırtınanın millerce önünde sürebilir. Bu durum nispeten açık gökyüzü olduğunda gerçekleşebilir ve bundan dolayı özellikle hazırlıksız yakalanan pilot için kötü bir durumdur. Kalkıştaki, inişteki veya aşağı seviyelerde hareket halinde olan uçaklar kendilerini hızlı değişen rüzgar alanlarında bulabilir ve böylece uçağın havada kalma kabiliyeti hızlı şekilde risk altına girer. Saniyeler içerisinde rüzgar yönündeki değişim 180° 'yi bulabilir iken rüzgar hızı hamlelerde 100 knot' a yaklaşabilir. Şekil 2.21' de hamle cephesi görülmektedir. Aşırı kuvvetli hamle cephesi yerde önemli hasara yol açabilir ve bazen “dereko ya da süpürge rüzgar” olarak da adlandırılır. Bütün bunların beraberinde cephesel sınırdan yer seviyesinin 6500 feet yukarısına kadar kayda değer ölçüde mekanik türbülans ve tetiklenen rüzgar kesmesinin görülmesi olasıdır (NAV Canada, 2005, ss. 39-40).



Şekil 2.21 : Hamle cephesi (NAV Canada, 2005).

Türbülans

Bütün orajlarda potansiyel bir türbülans riski mevcuttur ve şiddetli bir oraj herhangi bir uçağı çok ciddi zarara uğratabilir. Bulut içerisindeki en şiddetli türbülans yukarı yönlü hava akımları ile aşağı yönlü hava akımları arasındaki rüzgar kesmesi ile birlikte görülür. Bulutun dışarısında şiddetli bir fırtınanın birkaç yüz feet yukarısında ve yan tarafına doğru 20 mil uzaklıkta rüzgar kesmesi türbülansı ile karşılaşmaktadır. Bir alçak seviye türbülans alanı hamle cephesiyle ilişkili rüzgar kesmesi bölgesidir. Sıklıkla bir fırtınanın hücum kenarında yer alan bir “tüp bulutu” bu rüzgar kesmesindeki çevrıntilerin tepesini işaret eder ve aşırı türbülans bölgesidir. Hamle cephesi genellikle ilgili yağışın epey ilerisine (15 mile kadar uzaklık) hareket eder. Hamle cephesi yaklaşan bir fırtınanın önündeki yüzey rüzgarında hızlı ve zaman zaman geniş kapsamlı bir değişime neden olur (FAA, 2016, s. 24).

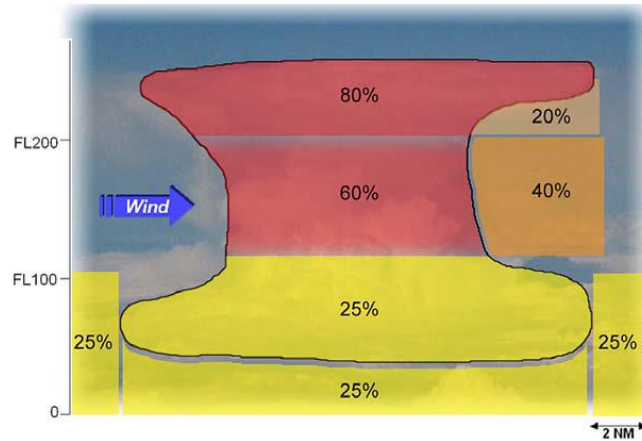
Buzlanma

Bir orajdaki yukarı yönlü hava akımları nispeten büyük damlacık boyutlarına sahip bol miktarda sıvı suyu besler. Donma noktasının üzerine taşındığında su aşırı soğumuş hale gelir. Yukarı yönlü akımlardaki sıcaklık -15°C civarına soğursa kalan su buharının çoğu süblimleşerek buz kristallerine dönüşür. Bu seviyenin yukarısındaki daha düşük sıcaklıklarda aşırı soğumuş su miktarı azalır. Aşırı soğumuş su bir uçakta etki ile donar. Şeffaf buzlanma donma noktasının üzerindeki herhangi bir irtifada oluşabilir ancak yüksek seviyelerde daha küçük damlacıkların buzlanması kırç şeklinde veya karışık kırç ve şeffaf buz olarak gerçekleşebilir. Büyük aşırı soğumuş damlacıkların bol olması 0°C ile -15°C arasında çok hızlı şekilde şeffaf buzlanma meydana getirmektedir ve bir hücre öbeğinde sık şekilde

karşılaşılabılır. Orajda buzlanma aşırı riskli olabilir. Pilotların buzlanma koşullarıyla karşılaşılabileceği yegane alan orajlar değildir. Pilotların sıcaklığın 0 °C ‘ye yaklaştığı ve görünür nemin mevcut olduğu herhangi bir zamanda dikkatli olmaları gerekir (FAA, 2016, s. 24).

Dolu

Dolu, orajın uçak üzerinde oluşturduğu en büyük risk konusunda türbülansla yarışır. Donma seviyesinin üzerindeki aşırı soğumuş haldeki damlalar donmaya başlar. Bir damla donunca bir diğeri ona bağlanıp donar ve böylece dolu tanesi gelişir ve zaman zaman iri bir buz topuna dönüşür. Şiddetli orajlarla ve kuvvetli yukarı yönlü hava akımlarıyla oluşan büyük dolu büyük yüksekliklerde gelişir. Sonunda dolu taneleri fırtına çekirdeğinin belli bir mesafe uzağında da kalabilecek şekilde düşer. Oraj bulutlarının birkaç mil uzağında açık havada dolu ile karşılaşılabılır. Sıcaklığın 0 °C’ nin üzerinde olduğu havaya düşen dolu taneleri erimeye başlar ve yere ulaşan yağış dolu veya yağmur şeklindedir. Yerdeki yağmur yukarıda dolu olduğunu işaret etmez. Herhangi bir orajda, özellikle büyük bir kümülonimbus bulutunun örsü üzerinde dolu riski düşünülmelidir (FAA, 2016, ss. 24-25). Şekil 2.22’ de görüleceği üzere Bir CB içerisinde dolunun varlığı irtifaya ve rüzgara bağlı olarak değişir (Airbus, 2007, s. 2).



Şekil 2.22 : CB bulutunun pozisyonuna bağlı olarak doluyla karşılaşma riski (Airbus, 2007).

- 10000 ft uçuş seviyesinin altında dolunun bulut içinde veya çevresinde (2 deniz miline kadar) karşılaşılmaması ile fırtınanın altında karşılaşılmaması ihtimali eşittir.

- 10000 ft ile 20000 ft uçuş seviyeleri arasında % 60 ihtimalle CB içerisinde, % 40 ihtimalle de bulutun dışarısında örsün altında karşılaşılması sözkonusudur.
- 20000 ft uçuş seviyesinin üzerinde dolunun karşılaşılma ihtimalinin en fazla olduğu yer bulut içerisidir (Airbus, 2007, s. 2).

Genellikle dolu tehditi bir CB'nin rüzgaraltı yönünde daha fazladır: nitekim kuvvetli hava akımları tarafından yukarıya doğru nem taşınımı vardır. Daha sonra rüzgarla birlikte taşınmadan önce donarak dolu şeklini alır. Mümkün olduğunda fırtınadan CB' nin rüzgarüstü tarafında uçarak kurtulmayı denemek daha iyi olur. Çelişkili biçimde nemli havadaki dolu riski kuru havadakine göre daha düşüktür. Gerçekte olan havadaki nemin ısı iletkeni gibi davranarak dolunun erimesine yardımcı olmasıdır (Airbus, 2007, s. 2).

Küçük dolu (METAR kodu GS) 5 mm' den daha küçük çaplı dolu ya da grezildir. Gerçek dolu (METAR kodu GR) 5 mm veya daha büyük çaplı doludur. GS ve GR Kümülönimbus'tan kaynaklanabilir. GS (Grezil olmayan) Cumulus Congestus yani TCU (Towering Cumulus)'dan kaynaklanabilir. Bu olay kaynağı stratiform bulutlar olan buz paletleri (METAR kodu PE) olayı ile karıştırılmamalıdır. Dolu konvektif bulutun (TCU ya da CB) yukarı yönlü hava akımlarında oluşur. Bu akım ne kadar kuvvetliyse bulutun düşey boyutu da o kadar yüksek ve görülebilecek dolu tanesi de o kadar büyük olur (WMO, 2007, s. 40).

Çapı 13 mm'den büyük olan dolu taneleri bir uçağa saniyeler içerisinde çok ciddi hasar verebilir (FAA, 2016, s. 25).

Küçük boyutlu dolunun uçak yapısı üzerinde etkisi küçük olurken uçak gövdesinde çok az seker. Ancak küçük dolu tanelerinin bile görüş mesafesi üzerinde belirgin olumsuz etkisi mevcuttur. Başlangıcı hızlı olabilir ve pilotu şaşırtabilir. Dolu taneleri uçağın dış kaplamasına zarar verecek yeterlilikte boyuta sahip olabilir bu da uçağın aerodinamiğini etkileyebilir ve muhtemelen ön camları da kırabilir. Dolu pervane paline ve motor paline şiddetli boyutta zarar verebilir. Dolu hava girişlerini engelleyebilir ya da hava girişleri içerisinde bir yerde birikebilir. Ani dolu sağanakları pistleri ve taksi yollarını aşırı kaygan hale getirebilir. Bu nedenle sağanak geçmiş ve görüş mesafesi ile bulutluluk iniş açısından uygun olarak tanımlanmış olsa bile frenleme olumsuz etkilenebilir (WMO, 2007, s. 40).

Tavan ve Görüş Mesafesi

Genellikle bir oraj bulutunun içerisinde görüş mesafesi sıfıra yakındır. Tavan ve görüş mesafesi aynı zamanda yağışta ve bulut tabanı ile yer arasındaki tozda da kısıtlanabilir. Türbülans, dolu ve yıldırım gibi oraj riskleriyle bir araya geldiğinde riskler katlanır (FAA, 2016, s. 25).

Altimetreler Üzerindeki Etkileri

Bir oraja yaklaşıırken basınç genellikle hızlı şekilde azalmakta, ilk hamle rüzgarının açığa çıkması ve aşağı yönlü soğuk hava akımı ve yoğun yağmur sağanaklarının gelmesiyle keskin şekilde artmakta ve fırtına hareket ettikçe normal seviyesine dönmektedir. Basıncıdaki bu çevrim 15 dakika içerisinde meydana gelebilir. Pilot düzeltilmiş bir altimetre değeri ayarlamazsa altimetrede 100 feet' ten fazla hata görülebilir (FAA, 2016, s. 25).

Yıldırım

Örs tabakalarını ve örs altı atmosferi de içeren Kümülönimbus bulutları yakınında ve içerisinde yıldırım meydana gelebilir. Yıldırım meteorolojik olarak 20 Coulomb ve üzerinde elektrik boşalması ile 108 ile 109 Volt arasında bir potansiyel fark olarak tanımlanır. Bulut içerisinde şimşek olarak tanımlanan ve bulut ile yer arasında yıldırım olarak tanımlanan elektriksel boşalmalar meydana gelebilir. Genellikle bulut içi yıldırım buluttan yere olan yıldırıma göre daha zayıftır ancak yine de aynı güce ulaşabilir. Gökğürültüsü elektriksel boşalmanın sesli dışavurumudur ve yıldırım darbesi yolunu çevreleyen atmosferin şiddetli ısınması ve genişlemesi sonucu oluşur (WMO, 2007, s. 36).

Bir yıldırım önceden sert olan, metal tutturmalı bir yapıya çarparsa uçak yapısal olarak sertliğini korumaya devam ederken mürettebat ve yolcuları Faraday Kafesi Etkisi nedeniyle darbenin voltaj ve akımından doğrudan etkilenmez. Ancak, uçağın dış kaplaması üzerinde giriş ve çıkışta makas çatlakları belirgin şekilde görünür. Yıldırım kanalı içerisinde 3000 ila 32000 K arası sıcaklıklar sonucu oluşur. Eğer boşalma anten gibi yapılarda veya yakınlarında olursa bu yapılar kullanılamaz hale gelebilir (WMO, 2007, s. 37).

Yıldırım darbeleri sonucu modern kompozit malzemeler katmanlarına ayrılır. Eğer böyle darbeler uçağın yapısal olarak önemli alanları üzerinde gerçekleşirse bütünlüğü bozulabilir. Bu nedenle özellikle kompozit helikopter kanatları üzerine düşen yıldırım darbeleri tehlikelidir. Bir yıldırım darbesini takiben elektrik/elektronik sistemler devre kesicilerin zarar görmesiyle arızalanabilir. Otomatik Yön Bulucu (ADF) genellikle fırtınanın merkezini işaret edecektir (WMO, 2007, s. 37).

Yakındaki yıldırım aynı zamanda manyetik pusulada kalıcı hatalara neden olabilir. Yıldırım boşalmaları uzakta bile olsa düşük ve orta frekanslarda radyo iletişimlerini kesintiye uğratabilir (FAA, 2016, s. 25).

Yıldırımın yakıt buharını tutuşturmasından ve patlamaya neden olmasından şüphelenilmesine rağmen yıldırım çarpmasından kaynaklı ciddi kazalar nadirdir. Yakındaki yıldırım pilotu kör edebilir, ekipmanla veya görsel referanslarla uçağın seyrini sürdürmesini geçici olarak engelleyebilir. Yıldırım şiddeti ve frekansının diğer fırtına parametreleri ile basit bir ilişkisi olmamasına rağmen şiddetli fırtınaların yıldırım sıklığı genellikle yüksektir (FAA, 2016, s. 25).

Yağış kaynaklı radyo paraziti

Radyo alıcılarında, uçmakta olan bir uçağın keskin metalik noktaları ve kenarlarındaki yoğun elektrik boşalmalarından kaynaklanan sabit, yüksek seviyede parazittir. Orajların civarında sıklıkla karşılaşılır. Bir uçak bulut, yağış veya katı partiküllerden oluşan bir konsantrasyonun içinden geçerken statik elektrik boşalması birikir. Yakındaki bir yüzey üzerine veya havaya doğru olan elektrik boşalmaları özellikle daha düşük frekanslarda gürültülü parazitlere neden olur. Elektrik boşalması zayıf bir şekilde ışık yayar ve gece de gözlemlenebilir. Oldukça ürkütücü bir görünümü olmasına rağmen zararsızdır. Gemi direklerinin tepesindeki kabarık boşalmaları gören Akdenizli gemiciler tarafından "Korona akımı" olarak adlandırılmıştır (FAA, 2010, s. 117).

Motor Suyu Sevki

Türbin motorlarının sevk edebilecekleri su miktarı kısıtlı miktardadır. Çoğu orajda özellikle gelişme aşamalarında yukarı yönlü hava akımları mevcuttur. Eğer orajdaki yukarı yönlü hava akımının hızı düşen yağmur damlalarının terminal hızına yaklaşır

ya da geçerse çok yüksek konsantrasyonda su açığa çıkabilir. Bu konsantrasyonların belli bir su sevk etme limitine göre tasarlanan su türbinli motorların sevk edebileceği su miktarını aşması da muhtemeldir. Bu nedenle şiddetli orajlarda uçağın tek motorunun veya birden fazla motorunun durmasına ya da yapısal hasar görmesine neden olabilecek yüksek su konsantrasyon alanları mevcut olabilir (FAA, 2016, s. 25).

2.2.3.2 Orajların teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri

Özellikle hareketli uydu görüntüleri gelişen bir konvektif bulutun tanımlanmasına yardımcı olabilir. Kızılötesi görüntüler soğuma tepelerine dair tahminler ve bulut tepe sıcaklığı için yaklaşık bir değer verebilir. Su buharı görüntüleri Kümülonimbus ve oraj/yıldırım gelişimi açısından uygun olabilecek yüksek Pozitif Vortisite Adveksiyonu alanlarının belirlenmesine yardımcı olabilir (WMO, 2007, s. 37).

Konvektif hücrelerin gelişimini izlemede hava radarının temel araç olarak kullanılması yararlıdır. Yağış oranlarını gösteren renk kodları yıldırım olasılığını belirlemede kullanılabilir. Polarimetrik radarlar yağış parçacıklarının kar topağı (yumuşak dolu) veya dolu gibi ayrımının yapılabilmesine olanak tanır. Dual Doppler radarlar iç akış bölgelerini ve rüzgar kesmesi tabakalarını gösterebilir ve yukarı yönlü hava akımının gücünü de verebilir (WMO, 2007, s. 37).

Yıldırım tespit sistemleri bir bulutun elektriksel olarak aktif olan kısmını tanımlar ve bu sayede radar görüntüsü üzerinde tehlike oluşturmayan stratiform yağış alanları ile aktif konvektif hücreler arasındaki ayrımı yapabilme olanağı sağlar. Bulut içi aktivitelerin tespitinde kullanılan sistemler yere ulaşan ilk çakma öncesinde oraj hücrelerinin erken gelişim aşamalarını da gösterebilir. İlk oluşumları bulut içerisindeki buzullaşma başlangıcıyla kuvvetli bir ilişki içindedir. Yıldırım tespit sistemleri oraj aktivitesinin en sık ve en organize şekilde nerede olduğunu gösterir ve hareketin hesaplanmasına destek olur (WMO, 2007, s. 37).

Bir oraj veya yıldırım aktivitesinin başlayıp başlamayacağını belirlemede tahminciye yol gösteren pek çok teknik sözkonusudur. Bu tekniklerden öne çıkanları şunlardır:

- Aktüel ve tahmin edilen profiller üzerinde tepigram oluşturulması
- Konveksiyon derinliğinin incelenmesi yerel kritere bağlı olarak oraj oluşumunun kontrol edilmesi

- -20 °C izotermine doğru yükselen konveksiyon
- Kararsızlık indekslerinin incelenmesi- Boyden, Düzenlenmiş Rackliff, Jefferson (Potansiyel Kararsızlık İndeksi), Bradbury (K-İndeksi) ve diğerleri
- Potansiyel kararsızlık alanlarının teşhisinde yükseklikle azalan potansiyel ıslak hazne sıcaklık bölgelerinin izlenmesi
- Ayrık soğuk cephelemlerle ilişkili ısı nem alanların incelenmesi her zaman önemlidir.
- Bulut derinliği içerisinde sıfır, tek yönlü veya yönlü rüzgar kesmesi etkilerinin dikkate alınması (WMO, 2007, ss. 37-38).

2.2.4 Yağışlar

2.2.4.1 Yağışlar ve uçaklar üzerindeki etkileri

Yağışın herhangi bir çeşidi uçuş emniyeti açısından risk teşkil eder. Sıklıkla yağışla beraber düşük bulut tavanları ya da düşük görüş mesafeleri gözlenir. Yüzeyi üzerinde buz, kar veya don olan uçaklar hava akışında muhtemel bozunum ve muhtemel kaldırma kuvveti kaybından dolayı bir uçuştan önce dikkatli şekilde temizlenmelidir (FAA, 2016, s. 18).

Yoğun veya çok yoğun oranlarda yağış genel görüş mesafesi üzerinde açık şekilde zararlı etkiye sahiptir. Ancak, herhangi gerçek meteorolojik görüş azalmasına ilaveten ön camı/kanopiye etkileyen yağmur damlaları da görüş mesafesini azaltır. Cam silecekleri (takılmışsa) yağış oranıyla tam anlamıyla başedebilecek durumda olmayabilir. Hafif, basınçsız uçaklar en yoğun yağış oranlarıyla karşı karşıya kalarak suyun kabin/kokpit/motor kompartımanlarına emilmesine izin verebilir ve sonuçta elektronik ekipmanlar üzerinde risk oluşturur. Pistte su basması ya da durağan suyun derin olduğu alanlar frenlemeyi etkiler ve asimetrik frenleme ya da muhtemel pist kaymalarıyla sonuçlanabilir. Sivil yolcu uçağı motorları yoğun yağmur ve su emilimi koşulları altında genellikle motorların durmaması sağlanacak şekilde test edilip sertifikeli edilir. Ancak harikanlar istisnai durumdur (WMO, 2007, s. 39).

Yağmur görüşü azaltabilir ancak kısıtlaması Kümülonimbus bulutlarının altındaki en yoğun sağanaklara kıyasla nadiren 1 milin altındadır (NAV Canada, 2005, s. 17).

Yağmur yerdeki görüş mesafesini nadiren 2 km' nin altına düşürür ancak yoğun sağanaklarda yağmur kokpitteki görüş mesafesini kısıtlar. Yağmur uçağın ön camına

aktığında üzerinde donar veya iç yüzeyi üzerinde buğu yaparak pilotun görüş mesafesini büyük ölçüde azaltır (FAA, 2010, s. 130).

Yağmur yakıt tanklarındaki suya katılabilir. Yağış pist yüzeyini tek başına riskli hale getirebilir, öyle ki kar, buz, su havuzu veya çok kaygan zeminler nedeniyle kalkış ve inişler imkansız hale gelebilir (FAA, 2016, s. 18).

Daha önce beklenmediyse orta kuvvetli ya da yoğun yağmur periyotlarında alçak bulut (stratus pannus) oluşabilir (WMO, 2007, s. 39).

Çisenti veya kar yağmura göre görüş mesafesini daha ciddi ölçüde kısıtlar. Çisenti kararlı havada meydana gelir ve bundan dolayı sıklıkla sis, kuru duman veya duman gibi hadiselerle eşlik ederek görüş mesafesinin çoğu zaman aşırı derece düşmesine neden olur (FAA, 2010, s. 130).

Çisenti havadaki birim hacimde daha fazla sayıda damlaya sahip olduğundan özellikle sisle birlikte gerçekleştiğinde görüşü azaltmada yağmura göre genellikle daha etkilidir (NAV Canada, 2005, s. 17).

Kar, görüşü yağmurdan ya da çisentiden daha fazla etkiler ve kolaylıkla 1 milin altına düşürebilir (NAV Canada, 2005, s. 17). Yoğun kar yağışında görüş mesafesi sıfıra düşebilir (FAA, 2010, s. 130).

Kar yağışının az oranda olması bile görüş mesafesi üzerinde ciddi bir olumsuz etkiye sahiptir (WMO, 2007, s. 42).

Sıfırlı sıcaklıklardaki erimeyen kar tanelerinin yönü hava akımı tarafından büyük oranda saptırılır ve uçak gövdesinin çoğunluğunu olumsuz etkilemez. Ancak, kar motor kaportalarına ya da açık tekerlek yuvaları gibi boşluklara yönelirse kar toplanabilir ve toplanarak tıkanıklıklar oluşturabilir. Böyle tıkanıklıklar hava akımının motorlara girmesini kısıtlayabilir ya da iniş takımının toplanmasını önleyebilir. Yer üzerinde durağan ya da taksileme halinde iken kar yağışı uçak gövdesi üzerinde birikebilir ve aerodinamiği bozarak uçağın tüm ağırlığını yukarıya verir. Ön camlar cam sileceklerinin etkisiz hale gelmesiyle (takılıysa) karla kaplanabilir. Pitot tüpleri tıkanabilir ve sonucunda hava hızı ile irtifa göstergesinde hatalar oluşur. Islak (eriyen) karın yönü hava akışı tarafından kolayca saptırılmayabilir ve uçak gövdesinin körleşmiş yüzeylerine doğru daha kolay

toplanabilir. Daha önce de belirtildiği gibi kar motor kaportalarında, tekerlek yuvalarında ya da motor giriş ızgaralarında ve bunlara doğru toplanırsa önemli sonuçlar görülebilir (WMO, 2007, s. 42).

Pistte kardan kaynaklanan birikme frenlemeyi önemli ölçüde düşürür. Kar birikimleri aynı zamanda pist ışıklarını gölgeleyebilir ve özellikle görüş mesafesinin her halikarda azalacağını bilindiği durumda pistin yakındaki çim alanlarından ayırt edilmesini daha zor hale getirmesi mümkündür (WMO, 2007, s. 42).

Meydan yüzeyinde yağış yağmur şeklinde iken yaklaşık 1000 ft yukarıda yağışın kar şeklinde olabileceği durumlar da mevcuttur. Bu şartlar altında pist çevresi üzerindeki veya yaklaşmakta olan bir uçak kardan etkilenir (WMO, 2007, s. 42).

Kalkıştan önce uçaktaki karın tamamen temizlenmesi genellikle bir buzlanma önleyici akışkanın uygulanmasıyla gerçekleşir. Uçak üzerinde, sırasıyla kanatlar üzerindeki karın harekete başlama ve kalkış sırasındaki aerodinamik kuvvetler tarafından ortadan kaldırılacağını farzedilmesi ölümcül bir hatadır (WMO, 2007, s. 42).

Savrulan kar yağışı kuvvetli rüzgarların kar parçacıklarını kaldırıp havaya doğru yükseltmesiyle gerçekleşir. Taze düşmüş bir kar kolaylıkla bozunuma uğrayabilir ve birkaç yüz feet yukarı kaldırılabilir. Ekstrem koşullar altında, bir yaklaşma sürecince kokpit görüşü uçak palyeye geçene kadar çok iyidir, bu noktadan sonra yatay görüş kısa sürede azalmaya başlar (NAV Canada, 2005, s. 17). Rüzgarlar kuvvetlendikçe aşırı koşullar altında savrulan kar yağışı yatay görüş mesafesini pist seviyesinde 100 feet' in altına düşürebilir (NAV Canada, 2005, s. 42).

Kar sağanakları yalnızca görüşü sıfıra yaklaştırmaz aynı zamanda konvektif yapılarından dolayı bu bulutlar içerisinde genellikle önemli düzeyde buzlanma ve türbülansla da karşılaşılabilir (NAV Canada, 2005, s. 19).

2.2.4.2 Yağışların teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri

Yüksek Pozitif Vortisiti Adveksiyonu ve Sıcak Adveksiyon değerlerinin olduğu durumlarda bu alanların hem stratiform hem de konvektif bulutlardan yoğun yağış almaya en müsait alanlar olduğuna dikkat edilmelidir (WMO, 2007, s. 40).

Orografinin tepelerin ve dağların rüzgar tarafında yağışı arttıracığı hatırlanmalıdır. Yoğun ya da orta şiddette yağışlı periyotların uzaması evaporatif soğuma aşamasında alçak seviyedeki nemi arttırır. Yoğun yağış periyodunun yarım saat sonrasında ortam sıcaklığı ortamın ıslak hazne sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar düşebilirken orta şiddette sürekli bir yağışın aynı etkiyi göstermesi 1-2 saati bulabilir. Genellikle sonucunda dağınık, stratus pannus oluşur.

- 2 saatlik aralıksız yağmur- taban 800 ft
- 4 saatlik aralıksız yağmur- taban 400 ft (WMO, 2007, s. 40).

2.2.5 Bulut tavanı ve görüş mesafesi

2.2.5.1 Bulut tavanının uçaklar üzerindeki etkileri

Alçak bulut ve düşük görüş mesafesi potansiyel bir tehlike olarak gözardı edilebilmektedir. Uçak tipi, pilot yeteneği ve deneyimi, uçağın performansındaki hassasiyet, uçuş yolu üzerindeki ya da kalkış/varış/yedek meydanlardaki seyrüsefer yardımcılara bağlı olarak tanımlanmaları da oldukça zordur. Hassas değerler çok değişkenli olasılıklar altında farklı iken alçak bulut ve düşük görüş mesafesi belki de en iyi şekilde hem uçağın hem de pilotun operasyonel minimum değerlerinin altına düştüğü değerler olarak tarif edilebilir. Az miktarda alçak bulut (1/8 ve 2/8) genellikle tehlike arz etmez. Bulutluluk arttıkça uçak üzerindeki risk de artar. Çok küçük, parçalı haldeki bir alçak bulutun bile küçük bir tepeyi kaplayabileceği (gerçekte tepeden de kaynaklanabilir) bilinmelidir (WMO, 2007, ss. 45-46).

Uçuştaki görüş mesafesi stratüs bulutları içerisinde sifıra yaklaşabilir. Stratüs gece süresince ve sabahın erken saatlerinde en düşük seviyesinde olma eğiliminde olup sabahın ilerleyen saatleri veya öğlen süresince ısınma nedeniyle yükselir veya dağılır. Alçak stratüs bulutları nemli hava daha soğuk bir hava kütlesi ile karıştığında veya sıcaklık ile çiy noktası sıcaklığı arasındaki farkın düşük olduğu herhangi bir durumda sıklıkla meydana gelir (FAA, 2010, s. 128).

Bulut tabanı ya da görüş mesafesi kabul edilebilir değerlerin altına düştüğünde pilotun bir engelle karşılaştığında tedbir alması için yeterli zamanın olmadığı bir durum söz konusudur. Bu engel doğal (tepe veya sadece yer yüzeyi), yapı (bina/kule) ya da başka bir uçak olabilir. Bu nedenle çarpışmalar olabilir. Araçları kullanacak

yeterlilikte olmayan ya da donanımı yeterli olmayan bir uçağı kullanan pilotlar düşük görüş mesafesi ve/veya alçak bulutla karşılaştığında şaşırabilir (WMO, 2007).

2.2.5.2 Bulut tavanının teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri

Bulut sınıflandırması dış görünüşe ve bulut içeriğine bağlı olarak belirli bulut türlerine daha ayrılabilir. Bu terimlerin bilinmesi pilotların görünür bulutları tanımlamasına yardımcı olabilir.

- Kümülüs- kümelenmiş veya yığılı bulutlar
- Stratüs- tabakalar halinde oluşmuş
- Cirrus- ufak halkalar, lifsi bulutlar ve aynı zamanda 20000 feet' in üzerinde yüksek seviye bulutları
- Castellanus- sıkça rastlanan bir bulut tabanı, farklı düşey gelişim, kale-benzeri bir yapı
- Lenticularus- mercek şekilli, kuvvetli rüzgarlarda dağların üzerinde oluşan
- Nimbus- yağmur yüklü bulutlar
- Fracto- dağınık halde veya parçalanmış
- Alto- anlamı fazla, 5000 ila 20000 feet arasında mevcut olabilen orta seviye bulutlar (FAA, 2016, s. 17).

2.2.5.3 Görüş mesafesini kısıtlayan faktörlerin uçaklar üzerindeki etkileri

Aşağı seviye enverziyonlarının oluşturduğu koşullar çok türbülanslı olabilir ve ciddi buzlanma riski kayda değer düzeydedir. Aynı zamanda, konveksiyon sonucunda herhangi bir kar yağışı meydana gelebilir ve beraberinde aşırı düşük görüş koşullarıyla karşılaşılır (NAV Canada, 2005, s. 42).

Sis görüş mesafesini ciddi şekilde azaltarak inişin mümkün olmadığı bir düzeye getirebilir (WMO, 2007, s. 44).

Yoğun radyasyon sisi uçuş sırasındaki bir pilot tarafından görüldüğünde uçağın aşağısında kalan alana dair tüm görüşü sıfırlayabilir veya daha az yoğunlukta bir sis pilotun doğrudan aşağısında kalan yüzeye ait küçük bir kısmı görmesine müsaade edebilir. Binalar, tepeler ve kuleler gibi yüksek nesneler yer sisi içerisinden yukarıya doğru uzanarak pilotlara görerek uçuş kuralları için görsel referans sağlayabilir (FAA, 2010, s. 126).

Yağış kaynaklı sis geniş alanlar üzerine yayılarak uçuş operasyonlarının tamamen askıya alınmasına neden olabilir (FAA, 2010, s. 128). Yağış kaynaklı sis herhangi bir sis türü gibi risklidir. Özellikle yağış ile buzlanma, türbülans ve oraj gibi diğer olası risklerin yakınında meydana gelmesinden ötürü kritiktir (FAA, 2010, s. 128).

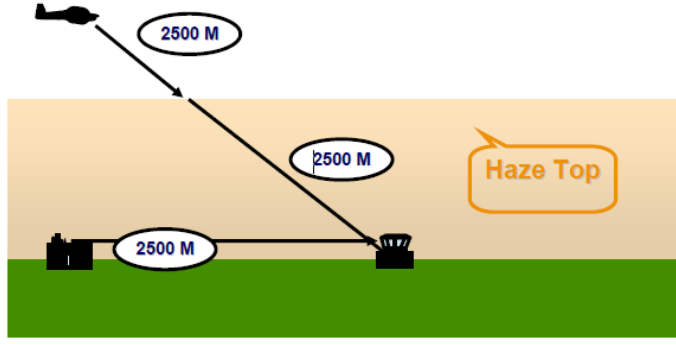
Alçak seviye türbülans ve buzlanma yaygın olarak buğu sisi ile ilişkilidir (FAA, 2016, s. 15).

Kum ve toz fırtınalarının beraberinde görüş mesafesinde sert düşüşler getirmesi muhtemeldir. Etkin görüş mesafesinin bazı koşullarda sıfıra yaklaşması beklenebilir. Uçak motorlarına toz ve kumun emilimi motorun tamamen arızalanmasına varan güç kayıplarına yol açabilir. Toz ve kumun kokpite girmesi durumunda elektriksel ekipmanda sorunlar oluşabilir (WMO, 2007, ss. 48-49).

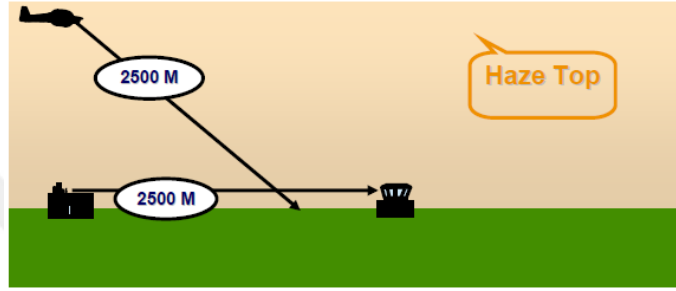
2.2.5.4 Görüş mesafesini kısıtlayan faktörlerin teşhis edilmesi, tahmini ve azaltma yöntemleri

Sis en iyi şekilde aynı zamanda aynı uydu tarafından yakalanan görünür ve kızılötesi görüntünün karşılaştırılmasıyla teşhis edilir. Genellikle sisin tepe sıcaklığı yüzey sıcaklığına benzer bir sıcaklıkta olur bu nedenle kızılötesi bantta görülebilir. Ancak, sis güneş ışığını kuvvetli şekilde yansıtır ve görünür bantta açık halde gözükür (WMO, 2007, s. 45).

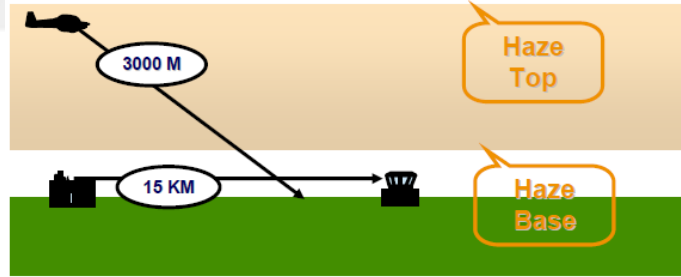
Tahminciler beklenmesi halinde daha yukarıdaki kuru duman tabakalarına dair bilgilendirme yapmalıdır. Bunlarla ilgili olarak Şekil 2.23’ te Bir kuru duman tabakası üzerinde uçmakta olan bir pilotun gözlemci tarafından rapor edilenden daha yüksek bir görüş mesafesiyle karşılaşması, Şekil 2.24’ te Bir kuru duman tabakası içinde uçmakta olan bir pilotun eğik görüş mesafesinden dolayı rapor edilenden daha düşük bir görüş mesafesiyle karşılaşması, Şekil 2.25’ te Daha yukarıdaki bir kuru duman tabakası içerisinde uçmakta olan bir pilotun (doğru şekilde) rapor edilenden çok daha düşük bir görüş mesafesiyle karşılaşması ve Şekil 2.26’ da Pilotun bir sis tabakası üzerinde uçuşu. Pilot yukarıdan muhtemelen oldukça açık şekilde yeri ve binayı görebilir ancak yere yaklaşırken ve sis içerisine doğru alçalırken pilotun görüş mesafesinde hızlı bir düşüşle karşılaşması ve görüş mesafesinin sis limitlerine düşmesi durumları gösterilmiştir (WMO, 2007).



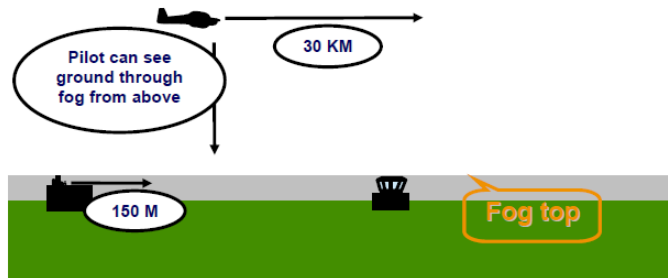
Şekil 2.23 : Bir kuru duman tabakası üzerinde uçmakta olan bir pilotun gözlemci tarafından rapor edilenden daha yüksek bir görüş mesafesiyle karşılaşması (WMO, 2007).



Şekil 2.24 : Bir kuru duman tabakası içinde uçmakta olan bir pilotun eğik görüş mesafesinden dolayı rapor edilenden daha düşük bir görüş mesafesiyle karşılaşması (WMO, 2007).



Şekil 2.25 : Daha yukarıdaki bir kuru duman tabakası içerisinde uçmakta olan bir pilotun (doğru şekilde) rapor edilenden çok daha düşük bir görüş mesafesiyle karşılaşması (WMO, 2007).



Şekil 2.26 : Pilotun bir sis tabakası üzerinde uçuşu. Pilot yukarıdan muhtemelen oldukça açık şekilde yeri ve binayı görebilir ancak yere yaklaşırken ve sis içerisine doğru alçalırken pilotun görüş mesafesinde hızlı bir düşüşle karşılaşması ve görüş mesafesinin sis limitlerine düşmesi (WMO, 2007).

Sisin dağılması ve incelenmesi

Sis dağılmasının tahmin edilebilmesi için sisin oluşum mekanizmalarının bilinmesi önemlidir. Genel kural olarak sise sebep olan koşullardaki değişiklikler dağılımına yol açacaktır. Adveksiyon sisindeki rüzgar yönü kırılması buna güzel bir örnektir. Kural olarak aşağıdaki koşullardan herhangi biri sisin etkisini azaltacaktır:

1. uzun süreli güneş ışıınımı
2. kuvvetli rüzgarlar/türbülans
3. yağışın başlaması
4. sis oluşumundan sorumlu olan mekanizmalardaki önemli değişiklikler (Burrows, 2010, s. 41).

2.3 METAR, TAF, SPECI Raporları ve Özel Havayolu Şirketi Sefer Verileri

2.3.1 METAR, SPECI ve TAF verilerinin değerlendirilmesi

METAR, aeronatik amaçlar için belirlenen rutin hava raporudur. METAR bilgileri, uçuş öncesinde veya uçuş esnasında dikkate alınıp değerlendirilebilen milli ve milletlerarası rasat veri bankalarını besler. Pilot böylece kalkış, varış ve yedek havaalanlarındaki meteorolojik şartlardan haberdar olur. METAR, saatlik veya yarım saatlik aralıklarla yapılır ve yayınlanır. Uluslararası meydanlarda her yarım saatte bir, Ulusal ve askeri meydanlarda her saatte bir METAR yapılır (MGM, 2018, ss. 33-34).

SPECI rasatları, meteorolojik parametrelerin belirli kıstaslara göre değişmesi halinde yapılır ve yayınlanır. Bazı saatlerde SPECI rasadının yapılıp yapılamayacağı hususunda tereddütler olmaktadır. Yarım saatte bir rasat yapan meydan meteoroloji ofisleri/istasyonları 20 geçe ve 50 geçe; saatte bir rasat yapan meydan meteoroloji ofisleri/istasyonları ise 50 geçe haricinde her zaman SPECI yapabilirler. Çünkü gerek METAR gerekse SPECI rasatlarında rasat periyodu 10 dakikalık süre olduğundan, bu rasat periyodu 20 ve 50 geçe haricinde diğer tüm vakitlerde değişecektir. Meteorolojik şartların kötüye gidişi nedeniyle hazırlanan SPECI raporu, gözlemde hemen sonra yayınlanır. Meteorolojik şartların iyiye gitmesi durumunda, SPECI raporu yayınlanmadan önce 10 dakika beklenir ve eğer bu süre içinde gözlemde önemli değişiklikler olmazsa yayınlanır. Şayet bazı değişimler tespit edilmiş ise,

SPECI raporu yayınlanmadan bu değişiklikler SPECI raporuna yansıtılır ve daha sonra merkeze gönderilir (MGM, 2018, ss. 84-85).

TAF meydan tahmini, ilgili Meteoroloji Otoritesi (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) tarafından tayin edilen Meteoroloji Ofislerince hazırlanır ve yayınlanır. Meydan tahmini (TAF), spesifik bir periyot esnasında bir havaalanında beklenen meteorolojik şartların kısa ve öz ifadesidir. Bir meydan tahmini (TAF) yer rüzgarı, görüş mesafesi, hava durumu, bulut bilgileri ve belirlenen periyot boyunca bu elemanların biri ya da daha fazlası için beklenen önemli değişiklikleri içerir. Meydan tahminlerini hazırlayan Meteoroloji Ofisleri, tahminlerini sürekli takip ve kontrol ederek, gerektiğinde zaman kaybetmeksizin düzeltme yapıp (TAF AMD) ilgili yerlere ulaştıracaktır. Meydan tahmininin (TAF) geçerlilik periyodu 6 saatten az, 30 saatten çok olamaz. Bu periyot, Bölgesel Hava Seyrüsefer Anlaşmasıyla belirlenir. Geçerlilik periyodu 12 saatten az olan meydan tahminleri (Kısa Periyotlu TAF'lar) her 3 saatte bir hazırlanır ve yayınlanır. 9 Saatlik TAF'lar, geçerlilik periyodunun başlamasından bir saat önce (Türkiye'de 1 saat 20 dakika önce) hazırlanır ve yayınlanır. Türkiye kısa periyotlu (FC) olarak 9 saatlik TAF'ları hazırlar ve yayınlar. Uzun periyotlu (FT) olarak adlandırılan 12 saat ila 30 saatlik rutin meydan tahminleri (TAF'lar) her 6 saatte bir hazırlanır ve yayınlanır. 24 saatlik uzun periyotlu TAF'lar, TAF periyodunun başlamasından 1 saat önce (Türkiye'de 1 saat 20 dakika önce) hazırlanır ve yayınlanır. Türkiye'de 24 saatlik TAF'lar, sadece Uluslararası Meydan Meteoroloji Ofisleri tarafından hazırlanmaktadır. 30 saatlik uzun periyotlu TAF'lar, TAF periyodunun başlamasından 1 saat önce (Türkiye'de 1 saat 20 dakika önce) hazırlanır ve yayınlanır. Türkiye'de 30 saatlik TAF, sadece İstanbul/Atatürk Havalimanları Meteoroloji Ofisi tarafından hazırlanmaktadır (MGM, 2018, ss. 110-112).

Bu çalışmada METAR ve SPECI rasatları ile TAF tahminlerinde mevcut olan yer rüzgarı, yer görüş mesafesi, halihazır hava durumu, bulut bilgileri ile hava sıcaklığı ve işba sıcaklığı grupları özel havayolu şirketinden alınan sefer verilerini kapsayan zaman aralıklarındaki meteorolojik durumun anlaşılmasında incelenen temel girdiler olmuştur.

- **Yer rüzgarı grubu;**

Yer rüzgarında **dddffGfmfmKT** şeklinde ifade edilen grupta sırasıyla;

ddd : Rüzgar yönü

ff : Rüzgar hızı

Gfmfm : Azami rüzgar / Hamle hızı

KT : Rapor edilen rüzgâr hızı için kullanılan birim (Knot)

şeklinde ifade edilir (MGM, 2018, s. 35).

Örnek verilecek olursa; 31012KT ortalama yer rüzgarının 310 ° yönünden 12 knots hızında, 12010G22KT ise ortalama yer rüzgarının 120 ° yönünden 10 knots hızında olduğunu ve hamlesinin 22 knots olduğunu ifade eder.

- **Yer görüş mesafesi grubu;**

Yer görüş mesafesinde **VVVV** şeklinde ifade edilen ilk grup yatay görüş mesafesi (hakim rüyet) grubunu temsil eder.

Bu grup içerisinde yer alan **RD_RDR/V_RV_RV_RV_Ri** grubunda sırasıyla;

R : RVR Grup Beliricisi

DR_RDR : Pist Görüş Mesafesi Yapılan Pistin Numarası

V_RV_RV_RV_R : Pist Görüş Mesafesi (metre)

i : Pist Rüyetindeki Değişim (Tandans)

şeklinde ifade edilir (MGM, 2018, s. 41).

Örnek verilecek olursa;

METAR LTXX 261150Z VRB22G35KT 220V300 3000 R18/2500U R36/3000U rasadına göre ortalama rüzgar değişik yönlerden 22 knots hızında olup hamlesi 35 knots, rüzgar yön değişimi 220 ila 300 ° arasında, hakim rüyet 3000 m olup pist rüyetinin 18 pisti başında 2500 m, 36 pisti başında 3000 m olup her iki pist başında pist rüyetinin artış eğiliminde olduğu söylenebilir.

- **Halihazır hava durumu grubu;**

METAR ve SPECI rasatları ile TAF tahminlerinde yer alan bir takım kodlamalar aşağıda belirtilen hadiseleri ifade eder;

- DZ - Çisenti
- RA - Yağmur
- SN - Kar
- SG - Kar grenleri
- PL - Buz paletleri
- GR - Dolu
- GS - Küçük dolu ve/veya Kar paletleri
- UP - Tanımlanamayan Yağış
- BR - Pus
- FG - Sis
- FU - Duman
- VA - Volkanik kül
- DU - Geniş Alana Yayılmış Toz
- SA - Kum
- HZ - Kuru Duman
- PO - Toz / Kum Türbüyonu
- SQ - Sağanak (Squall)
- FC - Hortum Bulutu
- SS - Kum Fırtınası
- DS - Toz Fırtınası

(MGM, 2018, s. 48)

Hadiseleri niteleyen bir takım tanımlayıcı gruplar da mevcuttur.

SH tanımlayıcısı, rasat zamanındaki sağanak türü yağışı belirtmek için Yağmur (RA), Kar (SN), Buz Paletleri (PL), Küçük Dolu (GS) ve Dolu (GR) hadiselerinden biri ya da daha fazlasının kombinasyonu ile kullanılır (MGM, 2018, ss. 49-50).

TS tanımlayıcısı, havaalanı üzerinde vuku bulan yağışla birlikte orajı belirtmek için Yağmur (RA), Kar (SN), Buz Paletleri (PL), Küçük Dolu (GS) ve Dolu (GR) hadiselerinden biri ya da daha fazlasının kombinasyonu ile kullanılır (MGM, 2018, s. 50).

FZ Tanımlayıcısı yalnızca aşırı soğumuş su damlaları veya aşırı soğumuş yağışı belirtmek için kullanılır. Sis (FG), Çisenti (DZ) ve Yağmur (RA) hadiseleri ile kullanılır (MGM, 2018, s. 50).

MI, BC ve PR Tanımlayıcıları yalnızca Sis (FG) hadisesiyle kombinasyon yapmak için kullanılır. Kullanıldıklarında sırasıyla şu anlamlara gelirler: MIFG- Sıralar Halinde Sis, BCFG- Parçalı Sis ve PRFG- Kısmi Sis (MGM, 2018, s. 51).

DR (Low Drifting) tanımlayıcısı, yeryüzünden azami iki metre yükseklikte rüzgârla yükselen/sürüklenen, BL (Blowing) tanımlayıcısı ise yeryüzünden iki metre veya daha yukarıda rüzgârla kaldırılan Toz, Kum, Kar için kullanılır. DR ve BL tanımlayıcıları yalnızca DU, SA ve SN ile kombinasyon yapmak için kullanılır. BL tanımlayıcıları kullanıldıklarında sırasıyla şu anlamlara gelir: BLDU- Geniş Alana Yayılmış Savrulan Toz, BLSA- Savrulan Kum ve BLSN- Savrulan Kar (MGM, 2018, s. 51).

Çapı 5 mm veya daha fazla olan dolu tanelerini ihtiva eden dolu hadisesini rapor etmek için GR kullanılırken, Çapı 5 mm' den küçük olan dolu tanelerini ihtiva eden dolu hadisesini ve/veya kar paletlerini rapor etmek için GS kullanılır (MGM, 2018, s. 51).

Görüş mesafesi havadaki su zerrecikleri veya buz kristallerinin mevcut olması nedeniyle azalıyorsa, bu durum pus (BR) hadisesi kullanılarak rapor edilir. Pus (BR) hadisesinin rapor edilmesi, görüş mesafesinin tüm yönlerde en az 1000 metre olup 5000 metreyi de geçemediğini ifade eder. Eğer görüş engelleyici faktör olarak havadaki su zerrecikleri veya buz kristalleri söz konusu olmayıp görüş mesafesi 5000 metre veya daha az bir değere düşüyorsa halihazır hava olarak FU, HZ, DU ve SA ' dan uygun olanı kullanılır (MGM, 2018, s.52).

Görüş mesafesi, tüm yönlerde 1000 metrenin altında ise, bu durum sis (FG) hadisesi kullanılarak rapor edilir. Yeryüzünden iki metre yukarıdaki görüş mesafesi 1000 metre veya daha fazla ve sis tabakası içindeki görüş mesafesi 1000 metreden az olduğunda MIFG; parçalı sis veya havaalanının bir kısmını kapsayan sis parçası mevcut olup havaalanının bir kısmında görüş mesafesi 1000 metre veya daha fazla, veya sis, gözlem noktasına yakın olup görüş mesafesi 1000 metreden az olduğunda BCFG; havaalanının sadece tek bir sektöründe sis hadisesi nedeniyle görüş

mesafesinin 1000 metrenin altına düştüğü, diğer noktalarında ise görüş mesafesinin 1000 metrenin üzerinde olduğu durumlarda halihazır hava grubu PRFG olarak rapor edilir (MGM, 2018, s. 52).

Çizelge 2.7’ de bazı meteorolojik hadiseler ve bunların rapor edilmesi ilgili limit değerler gösterilmiştir.

Çizelge 2.7 : Bazı meteorolojik hadiseler ve bunların rapor edilmesi ile ilgili limit değerler (MGM).

HADİSELER	LİMİT DEĞERLER
FU, DU, SA, HZ	Görüş Mesafesi 5000 metre ve/veya altındadır.
FG, FZFG	Görüş Mesafesi 1000 metrenin altındadır.
BLSN, BLSA, BLDU +SN	Görüş Mesafesi 8 Km’ nin altındadır. Rüzgar hızı 10 Knot’ ın üzerindedir. Görüş Mesafesi 2000 metrenin altındadır.
SS, DS	Görüş Mesafesi 1000 metrenin altındadır. Rüzgar hızı 27 Knot’ ın üzerindedir.
BCFG	Görüş Mesafesi birden fazla sektörde 1000 metrenin altında, diğer sektörlerde 1000-5000 metre arasındadır.
FG	İşba ile hava sıcaklığı arasındaki fark 2 °C’ den azdır.
BR	Görüş Mesafesi 1000 ila 5000 metre arasındadır.
DRSN, DRSA, DRDU	Rüzgar hızı 10 Knot’ ın üzerindedir.

Hadisenin başına (–) işareti gelmesi, hadisenin şiddetinin hafif olduğunu, hadisenin başına (+) işaretinin gelmesi hadisenin kuvvetli olduğunu, hadisenin başına herhangi bir işaret konulmaması hadisenin mutedil, orta şiddette olduğunu veya şiddet belirtici kullanılmamasının gerekmediğini, hadisenin şiddetinin belirlenemediğini ifade eder (MGM, 2018, s. 47).

- **Bulut bilgileri grubu;**

Bulut bilgileri grubunda yer alan **NsNsNs** grubunda sırasıyla

1/8 – 2/8 kapalılık için FEW (FEW)

3/8 – 4/8 kapalılık için SCATTERED (SCT)

5/8 – 6/8 – 7/8 kapalılık için BROKEN (BKN)

8/8 kapalılık için OVERCAST (OVC)

Bulut kapalılık miktarı için FEW, SCT, BKN, OVC kısaltmalarından uygun olanı kullanılır ve bunu takiben boşluk bırakılmaksızın bulut tabakasının taban yüksekliği (hshshs) rapor edilir. Örneğin; 3/8 kapalılığa sahip 870 feetteki bir bulut “SCT008” şeklinde rapor edilir (MGM, 2018, s. 54).

VVhshshs dikine rüyet grubunda sırasıyla

VV : Dikine Rüyet Belirticisi (Vertical Visibility)

hshshs : Dikine Rüyetin Yüksekliği

olmak üzere gökyüzü görülemeyen sis rasat edilen ve dikine rüyetin de 200 feet olarak tespit edildiği bir örnek “**VV002**” olarak kodlanır (MGM, 2018, s. 56).

- **Hava sıcaklığı ve işba sıcaklığı grubu;**

T'T'/Td'Td' grubunda

T'T' : Hava Sıcaklığı Grubu

Td'Td' : İşba Sıcaklığı Grubu

olmak üzere hava sıcaklığının 9.4 °C, işba sıcaklığının 6.8 °C ölçülmüş olduğu bir örnekte sıcaklık grubu “09/07” şeklinde kodlanır (MGM, 2018, s. 58).

Bir meydan tahmini (TAF) G₁G₁ ile G₂G₂ periyodunu kapsar. Tahmin periyodu, FMYYGGgg formatında TTYYYGGgg zaman belirtici grup kullanılarak, iki ya da daha fazla kısma ayrılabilir. Tahmin edilen hakim şartların tamamı, TAF periyodunun başlangıcında veya FMYYGGgg ile ayrılan kısımda verilir. Eğer, herhangi bir eleman için, tahmin periyodu esnasında veya bu periyodun ayrılan kısmında önemli bir değişiklik bekleniyorsa, ilk olarak değişiklikten önceki hâkim şartlar belirtilir ve müteakiben TTTTT YYGG/Y_eY_eG_eG_e değişiklik gruplarından bir ya da daha fazlası kullanılarak söz konusu değişiklikler ifade edilir (MGM, s. 120).

PROBC₂C₂ YYGG/Y_eY_eG_eG_e grubu tahmin edilen eleman veya elemanların bir alternatif değer olarak, meydana gelme oranını belirtmek için kullanılır. PROB değişiklik terimi ile asla iyi gidişler verilemez. PROB teriminden sonra boşluk bırakılmaksızın meydana gelme yüzdesi belirtilir. Meydana gelme yüzdesi olarak yalnızca 30 veya 40 değerleri kullanılır. Bu değerler, beklenen elemanın

YYGG/Y_eY_eG_eG_e periyodu içinde % 30 veya % 40 olarak meydana gelme ihtimalini belirtir. PROBC₂C₂' den sonra, UTC olarak beklenen zaman periyodu YYGG/Y_eY_eG_eG_e formunda verilir. YYGG tahmin periyodunun başlangıcını, Y_eY_eG_eG_e ise sona ermesini belirtir. PROBC₂C₂ YYGG/Y_eY_eG_eG_e' den sonra ise tahmin edilen eleman veya elemanlar verilir.

Örneğin ;

TAF LTXX 222240Z 2300/2309 27003KT 4000 BR SCT008
BECMG 2303/2305 1500 BKN004 PROB30 2305/2308 0800 FG=
(MGM, s. 120).

Tahminde, beklenen eleman ya da meteorolojik olayların meydana gelme ihtimali % 30' dan az ise, bu durum PROBC₂C₂ YYGG/Y_eY_eG_eG_e grubu kullanılarak belirtilemez (MGM, s. 121).

Bir eleman veya meteorolojik olayın meydana gelme ihtimali % 50 veya daha fazla ise, bu durum tahminin hakim unsuru olarak kabul edilir ve BECMG, TEMPO veya FM terimlerinden uygun olanı kullanılarak belirtilir. PROBC₂C₂ YYGG/Y_eY_eG_eG_e grubu kullanılmaz (MGM, s. 121).

PROB terimi, geçici değişikliklerin meydana geleceğini belirtmek üzere PROBC₂C₂ TEMPO YYGG/Y_eY_eG_eG_e biçiminde de kullanılabilir (MGM, s. 121).

PROB teriminin her iki kullanışı sırasında, verilen periyot (YYGG/Y_eY_eG_eG_e) en fazla 4 saat olacaktır (MGM, s. 121).

PROBC₂C₂ grubu; BECMG veya FMYGGggg değişiklik terimleriyle birlikte kullanılamaz (MGM, s. 121).

Kısa ve uzun periyotlu TAF'larda periyodun ilk 3 saatlik kısmı için PROBC₂C₂ grubu kullanılamaz (MGM, s. 121).

BECMG Değişiklik Terimi

BECMG değişiklik terimi ve ilgili zaman grubu (YYGG/Y_eY_eG_eG_e); YYGG' den Y_eY_eG_eG_e' ye kadar olan periyot içerisinde ve açıkça belirlenemeyen bir zamanda, düzenli ya da düzensiz bir şekilde ve kıstaslar çerçevesinde, meteorolojik şartlarda beklenen değişiklikleri ifade etmek üzere kullanılır. Değişim periyodunun

(YYGG/Y_eY_eG_eG_e) süresi normal olarak 2 saat olacaktır. Meteorolojik olayların niteliğine göre, bu değişiklik periyodu 4 saati geçmeyecektir. BECMG terimi kullanıldığında, bunu takip eden meteorolojik bilgi gruplarında belirtilen hava şartlarının, Y_eY_eG_eG_e zamanında değişimini tamamlayacağı ve bundan sonra TAF periyodunun sonuna kadar veya başka bir değişiklik terimiyle verilen periyodun başlangıcına kadar durumunu muhafaza edeceği ve geriye dönüşün asla mümkün olmayacağı anlaşılmalıdır.

Örneğin; Hazırlanan 0312 TAF'ında TAF'ın ana periyodunda hava şartları CAVOK olarak tahmin edilsin. Daha sonra saat 0500 UTC' de başlayıp 0800 UTC' de sona erecek düzenli bir değişimle birlikte 0800 UTC' den itibaren pus hadisesi nedeniyle hakim rüyetin 4000 metreye düşeceği ve 3/8 St 1600 feet, 5/8 Sc 3500 feette bulut oluşacağı tahmin ediliyor ise, bu durum aşağıdaki şekilde rapor edilir;

TAF LTXX 020140Z 0203/0212 VRB02KT CAVOK
BECMG 0205/0208 4000 BR SCT016 BKN035 =

(MGM, s. 122)

TEMPO Değişiklik Terimi

TEMPO değişiklik terimi ve ilgili zaman grubu (YYGG/Y_eY_eG_eG_e) aşağıdaki açıklamalara uygun durumlar için kullanılır;

- a)** Meteorolojik olayların sık sık ya da sık olmayan aralıklarla meydana gelmesi tahmin ediliyorsa ve
- b)** Sık sık ya da sık olmayan aralıklarla meydana gelmesi beklenen meteorolojik olayın, her defasındaki devam etme süresi bir saatten az olacaksa ve
- c)** YYGG/Y_eY_eG_eG_e periyodu içerisinde, sık sık ya da sık olmayan aralıklarla meydana gelmesi ve her seferinde bir saatten az devam etmesi beklenen olayın, her defasındaki devam süresi toplandığında, YYGG/Y_eY_eG_eG_e ile belirtilen periyodun yarısından daha azını kapsıyorsa (MGM, s. 122).

Eğer, beklenen değişikliğin bir saat veya daha fazla devam etmesi tahmin ediliyorsa, BECMG değişiklik terimi veya FMYYGGgg kullanılır (MGM, s. 123).

TEMPO değişiklik terimi kullanıldığında, değişiklik periyodu mutlaka verilecek ve bu periyot en fazla 4 saat olacaktır. TEMPO değişiklik terimi ile asla iyi gidişler verilemez (MGM, s. 123).

TEMPO terimi kullanıldığında, bunu takip eden meteorolojik bilgi gruplarında belirtilen hava şartlarının, YYGG ile Y_eY_eG_eG_e zamanında geçici olarak meydana geleceği ve Y_eY_eG_eG_e zamanından sonra TAF periyodunun sonuna kadar veya başka bir değişiklik terimiyle verilen periyodun başlangıcına kadar TEMPO değişiklik teriminden önceki şartların hüküm süreceği yani TEMPO değişiklik teriminden önceki şartlara geri dönüşün olacağı anlaşılmalıdır.

Örneğin; Hazırlanan 0312 TAF'ında TAF'ın ana periyodunda hava şartları CAVOK olarak tahmin edilsin. Daha sonra saat 0500 UTC ila 0800 UTC saatleri arasındaki geçici bir değişiklikle, pus hadisesi nedeniyle hakim rüyetin 3000 metreye düşeceği ve 3/8 St 1600 feette bulut oluşacağı tahmin ediliyor ise, bu durum aşağıdaki şekilde rapor edilir;

TAF LTXX 300140 3003/3012 VRB02KT CAVOK

TEMPO 3005/3008 3000 BR SCT016 =

(MGM, s. 123).

2.3.2 Özel havayolu şirketinden alınan sefer verilerinin değerlendirilmesi

Özel havayolu şirketinden alınan 01/01/2010-01/01/2015 arasındaki 5 yıllık meteorolojik nedenlerle iptal edilen veya divert eden sefer verileri sırasıyla incelenirken iptal edilen seferler için seferin kalkış meydanı ile varış meydanını kapsayan ve seferin kalkışından en az 3 saat öncesinin TAF tahminleri ile seferin kalkış saatine yakın METAR ve SPECI verileri ile yenilenmiş TAF tahminleri; divert eden seferler için ise seferin kalkışından en az 3 saat öncesinin TAF tahminleri ile seferin beklenen uçuş süreci boyunca mevcut olan METAR ve SPECI rasatları ile yenilenmiş olan TAF tahminleri verilerde mevcut olan yer rüzgarı, yer görüş mesafesi, halihazır hava durumu, bulut bilgileri ile hava sıcaklığı ve işba sıcaklığı grupları gibi meteorolojik kriterler ve Çizelge 2.8' de özel havayolu şirketinin iç hat havalimanları için yararlandığı meydan yaklaşma usülleri ve yaklaşma minimum değerleri ışığında birlikte ele alınmıştır.

Çizelge 2.8 : Özel havayolu şirketinin iç hat meydanlar için yararlandığı meydan yaklaşma usülleri ve yaklaşma minimum değerleri (Özel havayolu şirketi, 2015).

MEYDAN	IATA	MEYDAN KAT.	RWY	UZUNLUK (M)/GENİŞLİK (M)	YAKLAŞMA USULÜ	RVR (VIS) (m)	Decision Height (ft)	ÖZEL PİST DURUMLARI
ADANA	ADA	B	05	2750 X 45	ILS CAT 1	550	250	
			23	2750 X 45	CIRCLING	2.400	1.140	
ADIYAMAN	ADF	B	05	2500 X 45	VOR DME	2.700	510	
			23	2500 X 45	CIRCLING	4.800	1.090	
AĞRI	AJI	B	16	3000 X 45	ILS CAT 1	550	240	
			34	3000 X 45	VOR DME	3.500	770	
AMASYA MERZİFON	MZH	B	05	2927 X 45	VOR DME	2.200	530	
			23	2927 X 45	CIRCLING	3.800	820	
			03L	3400 X 45	ILS CAT 2	300	100	
ANKARA ESENBOĞA	ESB	B	03R	3750 X 60	ILS CAT 3A	200	-	
			21L	3750 X 60	ILS CAT 1	550	200	
			21R	3400 X 45	ILS CAT 1	550	200	
			18L	3400 X 45	LOC DME	1.600	450	
			18C	3400 X 45	ILS CAT 1	550	200	
ANTALYA	AYT	A	18R	2990 X 45	VOR DME	1.600	450	
			36L	2990 X 45	VOR DME	1.500	420	
			36C	3400 X 45	ILS CAT 1	550	200	
			36R	3400 X 45	ILS CAT 2	300	100	
BATMAN	BAL	B	02	3048 X 45	ILS CAT 1	550	210	
			20	3048 X 45	CIRCLING	2.400	1.140	
BİNGÖL	BGG		12	2300 X 45	VOR DME	4.600	980	
			30	2300 X 45	CIRCLING	5.000	2.610	
			07L	2993 X 45	CIRCLING	2.400	2.240	
BURSA YENİŞEHİR	YEI	B	07R	2993 X 30	CIRCLING	2.400	2.240	DAR
			25L	2993 X 30	CIRCLING	2.400	2.240	DAR
			25R	2993 X 45	ILS CAT 1	550	200	
ÇANAKKALE	CKZ	C	04	1800 X 30	CIRCLING	5.000	1.430	KISA DAR
			22	1800 X 30	CIRCLING	5.000	1.430	KISA DAR

Çizelge 2.8 (devam) : Özel havayolu şirketinin iç hat meydanlar için yararlandığı meydan yaklaşma usülleri ve yaklaşma minimum değerleri (Özel havayolu şirketi, 2015).

MEYDAN	IATA	MEYDAN KAT.	RWY	UZUNLUK (M)/GENİŞLİK (M)	YAKLAŞMA USULÜ	RVR (VIS) (m)	Decision Height (ft)	ÖZEL PİST DURUMLARI
DENİZLİ	DNZ	B	06	3000 X 45	VOR DME	2.100	560	
			24	3000 X 45	ILS CAT 1	550	200	
DİYARBAKIR	DIY	B	16	3549 X 45	VOR DME	3.500	750	
			34	3549 X 45	ILS CAT 1	550	200	
ELAZIĞ	EZS	B	07	3000 X 45	VOR DME	4.700	1.080	
			25	3000 X 45	ILS CAT 1	600	260	
ERZİNCAN	ERC	C	11	3000 X 45	CIRCLING	5.000	3.710	
			29	3000 X 45	LOC DME	1.500	430	
			08L	3810 X 45	ILS CAT 1	750	200	
ERZURUM	ERZ	B	26R	3810 X 45	ILS CAT 2	300	100	
			08R	3810 X 30	NDB DME	3.500	740	DAR
			26L	3810 X 30	VOR DME	3.000	740	DAR
ESKİŞEHİR	AOE	B	09	3000 X 45	ILS CAT 1	550	210	
			27	3000 X 45	CIRCLING	2.400	2.210	
GAZİANTEP	GZT	B	10	3000 X 48	CIRCLING	2.400	1.190	
			08	3000 X 48	ILS CAT 1	800	340	
HATAY	HTY	B	04	3000 X 45	VOR DME	1.300	390	
			22	3000 X 45	ILS CAT 1	550	200	
İĞDIR	IGD	B	12	3000 X 45	LOC DME	3.400	840	
			30	3000 X 45	CIRCLING	5.000	1.920	
ISPARTA SÜLEYMAN DEMİREL	ISE	B	05	3000 X 45	VOR DME	3.800	930	
			23	3000 X 45	CIRCLING	5.000	2.620	
			05	2580 X 60	ILS CAT 3B	75	-	
			23	2580 X 60	ILS CAT 1	750	200	
İSTANBUL ATATÜRK	IST	A	17R	3000 X 45	CIRCLING	2.400	940	
			17L	3000 X 45	ILS CAT 1	550	210	
			35R	3000 X 45	ILS CAT 2	400	130	
			35L	3000 X 45	ILS CAT 1	800	250	
İSTANBUL SABIHA GÖKÇEN	SAW	A	06	3000 X 45	ILS CAT 1	550	210	
			24	3000 X 45	ILS CAT 1	550	220	
			16L	3240 X 45	ILS CAT 1	750	210	
İZMİR ADNAN MENDERES	ADB	B	34R	3240 X 45	ILS CAT 2	300	100	
			16R	3240 X 45	CIRCLING	4.800	1.090	
			34L	3240 X 45	VOR DME	3.000	630	

Çizelge 2.8 (devam) : Özel havayolu şirketinin iç hat meydanlar için yararlandığı meydan yaklaşma usülleri ve yaklaşma minimum değerleri (Özel havayolu şirketi, 2015).

MEYDAN	IATA	MEYDAN KAT.	RWY	UZUNLUK (M)/GENİŞLİK (M)	YAKLAŞMA USULÜ	RVR (VIS) (m)	Decision Height (ft)	ÖZEL PİST DURUMLARI
K. MARAŞ	KCM	C	07	2300 X 45	VOR DME	5.000	1.680	
			25	2300 X 45	RNAV GNSS	4.600	990	
KARS	KSY	B	06	3500 X 45	ILS CAT 1	800	230	
			24	3500 X 45	CIRCLING	2.400	2.620	
KASTAMONU	KFS	B	18	2250 X 45	VOR DME	2.500	540	
			36	2250 X 45	CIRCLING	4.800	980	
KAYSERİ ERİKLET	ASR	B	07	3000 X 45	NDB DME	3.400	710	
			25	3000 X 45	ILS CAT 1	550	200	
KOCAELİ CENGİZ TOPEL	KCO	B	09	2990 X 30	CIRCLING	5.000	1.620	DAR
			27	2990 X 30	CIRCLING	5.000	1.620	DAR
KONYA	KYA	B	01L	3348 X 45	ILS CAT 1	550	200	
			19R	3348 X 45	NDB DME	2.400	430	
			01R	3348 X 45	VOR DME	1.700	470	
			19L	3348 X 45	VOR DME	2.500	440	
KÜTAHYA ZAFER	KZR	B	13	3000 X 45	ILS CAT 1	550	200	
			31	3000 X 45	ILS CAT 1	550	200	
MALATYA	MLX	B	03L	3350 X 45	CIRCLING	3.600	730	
			21R	3350 X 45	VOR DME	2.100	450	
			03R	3350 X 45	CIRCLING	2.400	730	
			21L	3350 X 45	ILS CAT 1	550	200	
MARDİN	MQM	B	03	2500m X 45	VOR	1.600	450	
			21	2500 X 45	CIRCLING	5.000	1.880	
MUĞLA DALAMAN	DLM	B	01	3000 X 45	ILS CAT 1	550	200	
			19	3000 X 45	VOR DME	2.400	1.580	
MUŞ	MSR	B	11	3550 X 45	VOR DME	3.900	750	
			29	3550 X 45	ILS CAT 1	550	210	
NEVŞEHİR	NAV	B	11	3000 X 45	ILS CAT 1	550	240	
			29	3000 X 45	VOR DME	2.700	690	
SAMSUN	SZF	A	13	3000 X 45	ILS CAT 2	300	100	
			31	3000 X 45	VOR DME	1.500	440	
SİİRT	SXZ	C	06	2000 X 30	CIRCLING	5.000	2.500	DAR
			24	2000 X 30	CIRCLING	5.000	2.500	DAR

Çizelge 2.8 (devam) : Özel havayolu şirketinin iç hat meydanlar için yararlandığı meydan yaklaşma usülleri ve yaklaşma minimum değerleri (Özel havayolu şirketi, 2015).

MEYDAN	IATA	MEYDAN KAT.	RWY	UZUNLUK (M)/GENİŞLİK (M)	YAKLAŞMA USULÜ	RVR (VIS) (m)	Decision Height (ft)	ÖZEL PİST DURUMLARI	
SİNOP	NOP	C	05	1652 X 30	CIRCLING	5.000	1.130	KISA	DAR
			23	1652 X 30	VOR DME	2.800	530	KISA	DAR
SİVAS	VAS	B	01	3811 X 45	ILS CAT 1	600	270		
			19	3811 X 45	CIRCLING	2.400	770		
ŞANLIURFA	GNY	B	04	4000 X 45	ILS CAT 1	750	200		
			22	4000 X 45	VOR DME	1.400	400		
ŞIRNAK	NKT		11	3000 X 45	VOR DME	2.600	570		
			29	3000 X 45	CIRCLING	5.000	3.270		
TEKİRDAĞ	TEQ	B	05	3000 X 45	ILS CAT 1	550	200		
			23	3000 X 45	NDB DME	2.200	480		
TRABZON	TZX	B	11	2640 X 45	ILS CAT 1	900	300		
			29	2640 X 45	CIRCLING	2.400	1.150		
UŞAK	USQ	B	09	2560 X 45	VOR DME	4.600	910		
			27	2560 X 45	VOR DME	4.100	840		
VAN	VAN	C	03	2750 X 45	RNAV GNSS	2.100	470		
			21	2750 X 45	CIRCLING	5.000	1.430		

Tarihi, saati (UTC), planlanan kalkış ve varış havalimanı bilgileri verilen sefer verisine bakılarak ilgili tarih ve zaman aralığı için gerekli MGM verileri ile birlikte meydan yaklaşma minimum değerlerine bakılarak aşağıda verilen gidiş-dönüş bacağı iptal edilen seferde Çizelge 2.9' daki MGM rasat ve tahmin verileri kullanılarak analiz yapılmıştır.

- 1) 8.3.2011 07:00 7124 ESB-ADF
- 2) 8.3.2011 09:05 7125 ADF-ESB

Çizelge 2.9 : Özel havayolu şirketinin iptal edilen sefer verisi için ilgili tarih ve zaman aralığında varış havalimanına ait MGM rasat ve tahmin verileri.

SA	08/03/2011 08:50->	METAR LTCP 080850Z 11010KT 1000 R23/1000N SA BKN030 OVC070 09/08 Q1010=
SA	08/03/2011 07:50->	METAR LTCP 080750Z 10011KT 1000 R23/1000N SA BKN030 OVC070 09/07 Q1010=
SA	08/03/2011 06:50->	METAR LTCP 080650Z 10010KT 1000 R23/1000N SA BKN030 OVC070 09/06 Q1010=
SA	08/03/2011 05:50->	METAR LTCP 080550Z 08008KT 1000 R23/1000N SA BKN030 BKN070 08/06 Q1010=
SA	08/03/2011 04:50->	METAR LTCP 080450Z 09006KT 1000 R23/1000N SA BKN030 OVC070 08/06 Q1010 RERA=
SA	08/03/2011 03:50->	METAR LTCP 080350Z 04004KT 1000 R23/1000D -RA SA BKN030 OVC070 07/06 Q1010=
C	08/03/2011 07:40->	TAF LTCP 080740Z 0809/0818 16008KT 4000 -SHRA BKN030 BKN080 TEMPO 0809/0813 1000 SA=
FC	08/03/2011 04:40->	TAF LTCP 080440Z 0807/0815 18008KT 4000 -SHRA BKN030 BKN080 TEMPO 0807/0811 1000 SA RMK AMD AT 080641Z=

Yukarıda görülen ADF (LTCP) 0440 UTC TAF'ına göre meydana 0700-1100 UTC aralığındaki TEMPO periyodunda kum hadisesi (SA) ile birlikte görüşün 1000 m'ye düşmesi öngörülmekte ve TAF'tan hemen sonra yayınlanan 0450, 0550 ve 0650 UTC METAR rasatlarında da hem hakim rüyet 1000 m olarak ölçülmüş hem de 23 pisti başında kum hadisesi ile birlikte görüşte değişim trendi beklenmemekle birlikte pist rüyeti 1000 m olarak ölçülmüştür. Çizelge 2.10' dan ADF havalimanı için yaklaşma usülleri ve yaklaşma minimum değerlerine bakıldığında; yaklaşımda öncelikli kullanılan pistin 2700 m RVR görüş mesafesi limitine sahip 05 pisti olduğu ve aletli yaklaşma sistemine (ILS) sahip hassas yaklaşımlarda pas geçme prosedüründe dikkate alınacak olan yükseklik değeri olan decision height olarak tabir edilen ve hassas olmayan yaklaşımlarda (VOR, LOC, NDB, RNAV, Circling vb.) aşağısında görsel referans olmadan yaklaşma yapılabilecek minimum yükseklik değeri olan minimum decision height olarak tabir edilen değerinin 510 feet olarak verildiği görülmektedir. Bu durumda gerekli minimum görüş mesafesi değeri olan 2700 m değeri sağlanamamış dolayısıyla sefer iptal edilmiştir.

Çizelge 2.10 : Özel havayolu şirketinin ADF havalimanı için yararlandığı meydan yaklaşma usülleri ve yaklaşma minimum değerleri (Özel havayolu şirketi, 2015).

MEYDAN	IATA	MEYDAN KAT.	RWY	UZUNLUK (M)/GENİŞLİK (M)	YAKLAŞMA USULÜ	RVR (VIS) (m)	Decision Height (ft)	ÖZEL PİST DURUMLARI
ADİYAMAN	ADF	B	05	2500 X 45	VOR DME	2.700	510	
			23	2500 X 45	CIRCLING	4.800	1.090	

2.3.3 METAR, SPECI ve TAF verileriyle eşleştirilen özel havayolu şirketi sefer verilerinin Küme Analizi yardımıyla havalimanlarına göre dağılımının belirlenmesi

Bir önceki bölümde belirtilen şekilde iptal edilen veya divert eden seferlerde etkili olduğu tespit edilen meteorolojik parametrelerin havalimanlarına göre dağılımları belirlenmek üzere Küme Analizi (Cluster Analysis) yöntemi kullanılmıştır.

Küme Analizi, temel amacı nesneleri sahip oldukları karakteristik özelliklerine göre gruplandırmak olan çok değişkenli tekniklerin oluşturdukları bir gruptur. Nesneleri birbiriyle benzer olan özelliklerine göre gruplamada kullanılır. Geometrik olarak çizildiğinde kümeler içerisindeki nesneler birbirine yaklaşıp iken kümeler arasındaki mesafenin arttığı görülür (Caccam ve Refran, 2012).

Yığınsal veya ayırıcı bir algoritma kullanarak aşama aşama giden ve belirli karakteristiklere sahip nispeten homojen dağılmış olay grupları tanımlamaya çalışan ve sonucunda oluşan kümeleri hiyerarşik bir yapı veya ağaç benzeri bir yapı (dendogram) ile tasvir eden prosedür hiyerarşik kümeleme analizi olarak adlandırılır. Veri örneği sayısı orta derecede (300 ila 400 ün altında, 1000' e ulaşmadığında) hiyerarşik kümeleme analizi tercih edilmektedir. Farklı küme içerisinde olup birbirine en çok benzeyen iki gözlemin bir araya gelerek tek bir küme oluşturma süreci aşama aşama ilerleyerek küme çözümlerinden oluşan bir aralık oluşturma işleminden dolayı hiyerarşik prosedür olarak tanımlanır. Aynı zamanda mevcut olan kümelerin birleşmesiyle yeni kümelerin oluşması da yığınsal (agglomerative) yöntemidir. Ayrı kümedeki her bir nesne veya gözlemle başlayan hiyerarşik prosedür, yığınsal (agglomerative) algoritmadır. Her bir adımda birbirine en çok benzeyen iki küme yeni bir yığın kümesi oluşturmak üzere bir araya gelir. Bu süreç bütün nesneler tek bir kümede toplanana dek tekrarlanır. Aşama arttıkça benzerlik azalır. Hiyerarşik

prosedürün sonuçlarının grafiksel gösterimi (ağaç grafiği) dendogram olarak adlandırılır. Her bir nesneyi ayrı bir küme olarak düşünerek prosedürün her aşamasında kümelerin tek bir kümede birleşene kadar nasıl birleştiğini grafiksel olarak gösterir. Dendogram aracının geliştirilmesiyle araştırmacıya küme çözümlerine dair basit, kapsamlı bir tablo sunması yönünden basittir. Hemen hemen her türde araştırma sorusuna uygulanabilmesi nedeniyle benzerlik ölçümünde etkilidir. Kümeleme çözümlerinin tümünü hızlı bir şekilde ortaya koyma yeteneğiyle hız sağlar. Dezavantaj olarak verideki aykırı değerlerin etkilerini azaltmak için araştırmacının problem oluşturan gözlemleri ya da aykırı değerleri her defasında silerek birkaç kere kümeleme analizine tabi tutması gerekebilir. Ayrıca büyük örnek kümelerinin analizine uygun değildir (Caccam ve Refran, 2012).

Kümeleme işlemine başlamadan önce geniş bir aralıktaki ölçek noktalarını içeren veya standart sapmalarda büyük farklılıklar gösteren değişkenlerin standartlaştırılması gerekir. Z-skor (ortalaması 0, standart sapması 1 olan) en yaygın standartlaştırma dönüşümüdür (Caccam ve Refran, 2012).

Atmosferik araştırmada karşılaşılan farklı türde problemde küme analizi yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan teknikler vasıtasıyla uygulanabilmektedir. Ancak, hiyerarşik kümeleme araştırmanın keşif aşaması için idealdir. İstasyonlar arasındaki ilişkinin ortaya konması ve bir araya gelmeye en uygun istasyon çiftlerinin araştırılması için spesifik benzersizlik ölçümlerine gereksinim duyar. Küme analizinde kullanılan iki temel metrik mesafe ölçümleri ve korelasyon katsayılarıdır. Atmosfer bilimlerinde en yaygın kullanılan mesafe metriği Öklidyen (bütün değişkenler arasındaki mesafelerin karelerinin toplamının karekökü) mesafedir. Korelasyon katsayılarının kullanımı alternatif bir metrik sağlamasına rağmen değişkenler arasındaki farkın şiddetine yeterli hassasiyetlerinin olmaması dezavantajdır. Hiyerarşik yöntemler veri girdileri arasındaki mesafenin nasıl hesaplanmasına ve birbirine en yakın 2 girdinin nasıl belirlenmesine bağlı olarak farklılık gösterir. Her bir algoritma küme oluştururken nispeten farklı kriter kullandığından oluşan kümenin sayısı ve türü farklı olabilir. Ancak, bütün hiyerarşik yöntemler hem homojen olan hem de iyi ayrılan alt kümeleri bulmak için aşağıdaki 4 ana basamağı izler ve böylece aynı küme içindeki nesneler

birbirine benzeyebilir ve farklı kümelerdeki nesneler birbirinden farklı olabilir (Karaca ve diğ., 2003).

1. Bütün veri girdileri (iklim istasyonları) arasında verilen mesafe ölçümünün hesaplanması,
2. Birbirine en yakın 2 girdinin bir araya gelerek tanımlı kritere dayalı yeni bir küme oluşturması,
3. Bütün girdiler arasındaki mesafenin yeniden hesaplanması,
4. 2. ve 3. aşamaların bütün girdiler tek bir küme oluşturana dek tekrarlanması (Karaca ve diğ., 2003).

Yaygın olarak kullanılan 5 adet hiyerarşik kümeleme yöntemi mevcuttur: single linkage, complete linkage, centroid, Ward' ın minimum varyans yöntemi ve ortalama mesafe yöntemi. Single Linkage (Nearest-Neighbor Method), en basit hiyerarşik kümeleme yöntemidir (Karaca ve diğ., 2003). Bir kümedeki nesneden diğer bir kümedeki nesneye en yakın mesafedeki kümeler arasındaki benzerliği tanımlar (Caccam ve Refran, 2012). Bu yöntemde her bir kümedeki tüm girdiler arasındaki Öklidyen mesafe karşılaştırılır. Bu yöntemin basit ve anlaşılır olması avantaj olsa da zincirleme konusunda sorun yaşamaktadır. Complete Linkage (Furthest-Neighbor Method) yöntemi Single Linkage yönteminin zincirlemede yaşadığı sorunun üstesinden gelmek üzere geliştirilmiştir. Bu yöntem zincirleme sorununun üstesinden gelmesine rağmen bilinen önsel bir küme ile çalışmadığı görülmüştür (Karaca ve diğ., 2003). Single Linkage metodunun tam tersine iki küme arasındaki mesafenin iki farklı kümedeki nesneler arasındaki maksimum mesafeye dayandığını varsayar (Caccam ve Refran, 2012). Centroid metodu yaygın kullanılan hiyerarşik kümeleme yöntemleri arasında en sağlamıdır ancak zincirleme konusunda sorun yaşamaktadır (Karaca ve diğ., 2003). Küme sentroitleri kümedeki değişken gözlemlerinin ortalama değeridir. İki küme arasındaki mesafe iki sentroit arasındaki mesafeye eşittir. (Caccam ve Refran, 2012). Centroid metodunun iklimsel bir araştırmada kullanıldığında bir tane daha büyük bir küme ve pek çok küçük küme oluşturduğu görülmüştür. Ward' ın minimum varyans metodu iklimsel araştırmada en fazla kullanılan kümeleme yöntemidir. Her bir küme içerisindeki tüm değişkenlerin ortalamasını hesaplayıp her bir olay kümesinin ortalamasına olan Öklidyen mesafeyi

bulur ve bütün olaylar için toplar. Bu yöntemin nispeten daha küçük ve eşit sayıda nesnelerden oluşan kümeler oluşturma eğilimi vardır. İklimsel verinin nispeten eşit boyutta kümeler oluşmasına karşı hassas olduğu görülmüştür. İklimsel bölgelerin yaklaşık aynı sayıda istasyondan oluşması için geçerli bir sebep olmasa da bu yöntemin önemli bir geri dönüşüdür. Aynı zamanda Single Linkage, Complete linkage ve Ward tekniklerinin hata pertürbasyonları altında çok zayıf performans gösterdiği belirtilmiştir. Average Linkage diğer yaygın kullanılan hiyerarşik yöntemlerin pek çok eksikliğini gidermektedir. Bu yöntemde mesafe girdi çiftleri arasındaki ortalama Öklidyen mesafe olarak tanımlanır. Single Linkage ve Centroid yöntemlerinden farklı olarak zincir oluşturmaya çok meyilli değildir. Küme içerisindeki mesafelerin karelerinin toplamını minimize eden Ward tekniğinden farklı olarak grup içerisindeki varyansı minimize ederken gruplar arasındaki varyansı maksimize etmektedir. İklimsel araştırmada en gerçekçi sonuçları verdiği görülmüştür (Karaca ve diğ., 2003).

Kümeleme analizindeki temel hususlardan birisi optimum küme sayısının belirlenmesi yani hangi aşamada kümeleme işleminin sonlandırılacağıdır. Bunu anlamamanın bir yolu bir araya gelmiş kümeler ile küme sayıları arasındaki minimum mesafelerin çizdirilmesidir. Elde edilen bilgi optimum küme sayısının belirlenmesine dair fikir verebilir. Mesafedeki ani artışlar katılan kümelerin çok benzer özellikte olmadığını ifade eder (Karaca ve diğ., 2003).

Tek yönlü ANOVA uygulanarak sınıflandırıcı hangi değişkenlerin gruplar arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiğinin belirlenmesi de önemlidir (Caccam ve Refran, 2012).



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 METAR, SPECI Ve TAF Verileriyle Eşleştirilen Özel Havayolu Şirketi Sefer Verilerinin Analizleri

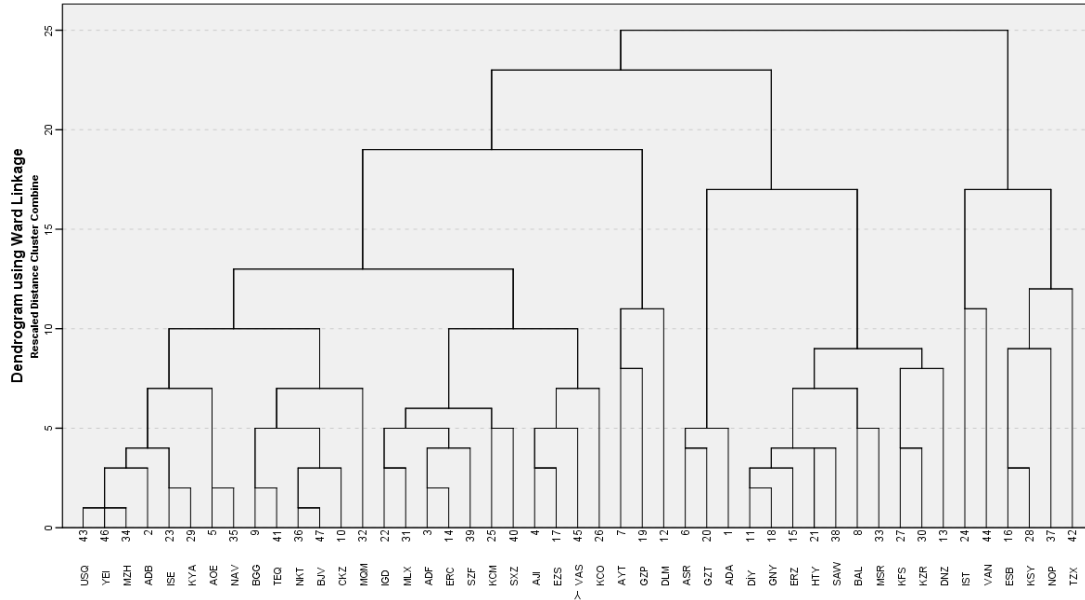
Bu bölümde METAR, SPECI ve TAF verileriyle eşleştirilen özel havayolu şirketi sefer verilerinin Türkiye için 5 yıllık veri setinde divert eden ve iptal olan seferlerde etkili olan 97 adet meteorolojik parametre, aylık olarak havalimanında meteorolojik parametreden kaynaklanan iptal veya divert eden sefer sayısının o ayki tüm meteorolojik parametrelerden kaynaklanan iptal veya divert eden sefer sayısına oranının alınmasıyla standartlaştırılarak küme analizine tabi tutulmuş, ardından havalimanı ve aylık bazda etkisi 1.0' ın altında olan veriler sadeleştirilerek Ekler bölümünde yer alan Çizelge C.1 tabloları oluşturulmuştur.

3.2 Standartlaştırılan Meteorolojik Parametrelerin Küme Analizleri

Bu bölümde 97 adet meteorolojik parametreye bağlı olarak havalimanları arasındaki benzerlik ilişkilerinin kurulabilmesi amacıyla IBM tarafından sağlanan SPSS Statistics 20 paket programı vasıtasıyla sırasıyla Centroid, Ward, Single Linkage (Nearest Neighbor), Complete Linkage (Furthest Neighbor), Average Linkage (Between-Groups Linkage) ve Average Linkage (Within-Groups Linkage) hiyerarşik kümeleme analiz yöntemleri uygulanmıştır. Kümeleme analizleri uygulanırken Agglomerative prosedür de uygulanmıştır. Optimum küme sayılarının belirlenmesi için küme sayısı minimum 2, maksimum 20 olacak şekilde algoritma ayarlanmıştır. Dendogram grafikleri, Yığınsal katsayılar (Agglomerative coefficients) ve Havalimanı-Cluster sayısı noktasal diyagramları bir arada incelenmiştir. Yöntemin uygunluğu belirlenirken son olarak da Tek Yönlü ANOVA istatistiği uygulanmış ve % 95 güven aralığı içerisinde hangi yöntemde kaç kümede kaç adet anlamlı parametre dikkate alınarak kümeleme yapıldığı ortaya konmuştur.

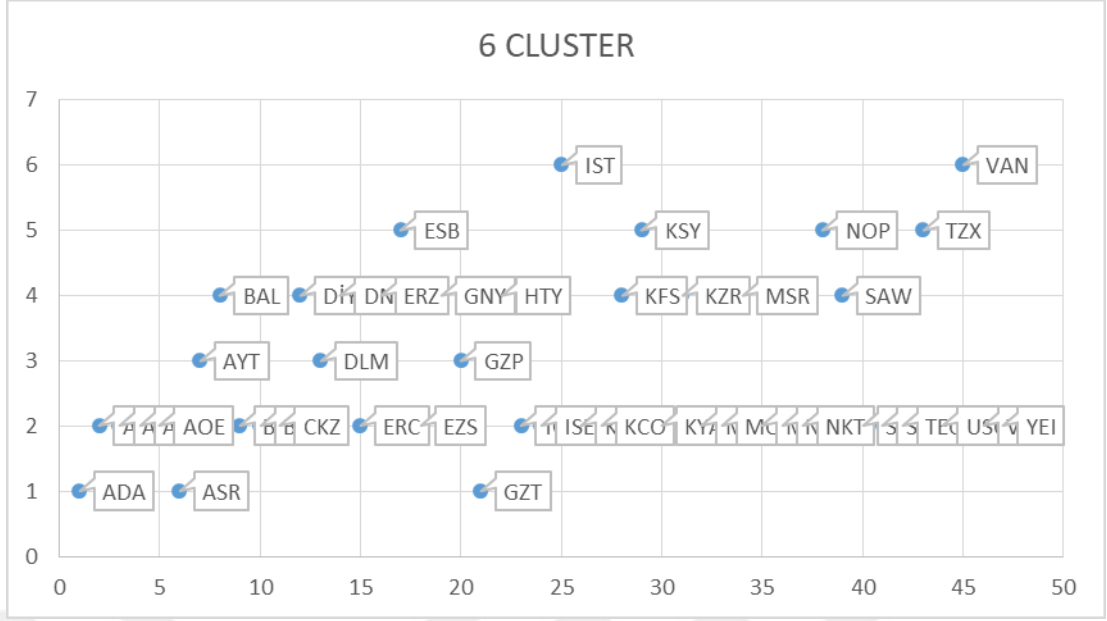
3.2.1. Ward metodu

Şekil 3.1’ de Ward Metodu kullanılarak elde edilen dendograma göre birbiriyle ilişki içerisinde çeşitli kümeler olduğu görülmektedir.



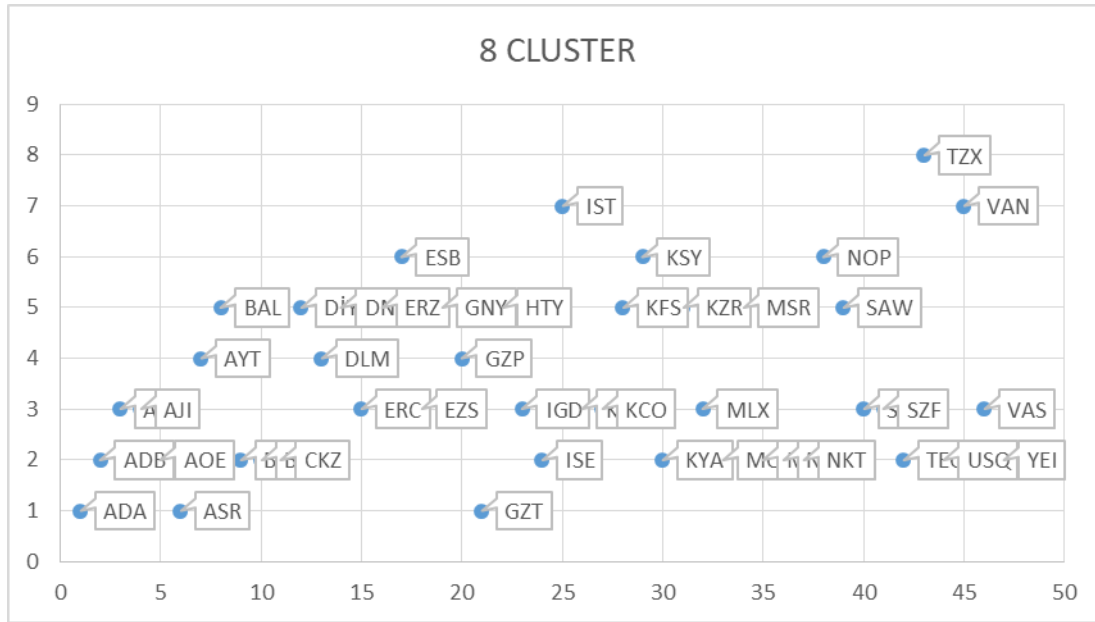
Şekil 3.1 : Ward metodu kullanılarak elde edilen dendogram.

Şekil 3.2’ de Ward Metodu kullanılıp küme sayısı 6 alınarak elde edilen noktasal diyagram birbirine yakın konumda ve benzer iklim özelliğine sahip Adana-Gaziantep, Eskişehir-Konya-Uşak, Antalya-Muğla Dalaman-Alanya Gazipaşa, Batman-Diyarbakır-Şanlıurfa-Hatay, Erzurum-Muş, Sinop-Trabzon gibi havalimanlarını aynı küme içerisinde alırken benzer şekilde Eskişehir-Isparta-Erzincan, Kütahya Zafer-İstanbul Sabiha Gökçen gibi karasal iklim özelliklerinin öne çıktığı, Karadeniz’ de yer alan havalimanı Trabzon ve Doğu Karadeniz’e yakın konumda yer alan Doğu Anadolu havalimanı Kars gibi benzer iklim özelliklerine sahip havalimanlarını da aynı kümede belirtmiştir.



Şekil 3.2 : Ward metodu 6 kümeli havalimanı dağılımları.

Şekil 3.3' te Ward Metodu kullanılıp küme sayısı 8 alınarak elde edilen noktasal diyagram birbirine yakın konumda ve benzer iklim özelliğine sahip Adana-Gaziantep, Eskişehir-Konya-Uşak-Nevşehir, Antalya- Muğla Dalaman-Alanya Gazipaşa, Batman-Diyarbakır-Şanlıurfa-Hatay, Erzincan-Elazığ-Malatya-Sivas, Erzurum-Muş, Ağrı-Iğdır, Çanakkale-Tekirdağ Çorlu gibi havalimanlarını aynı küme içerisinde alırken benzer şekilde, Kütahya Zafer-İstanbul Sabiha Gökçen, gibi karasal iklim özelliklerinin öne çıktığı havalimanlarını aynı kümede değerlendirmiştir.

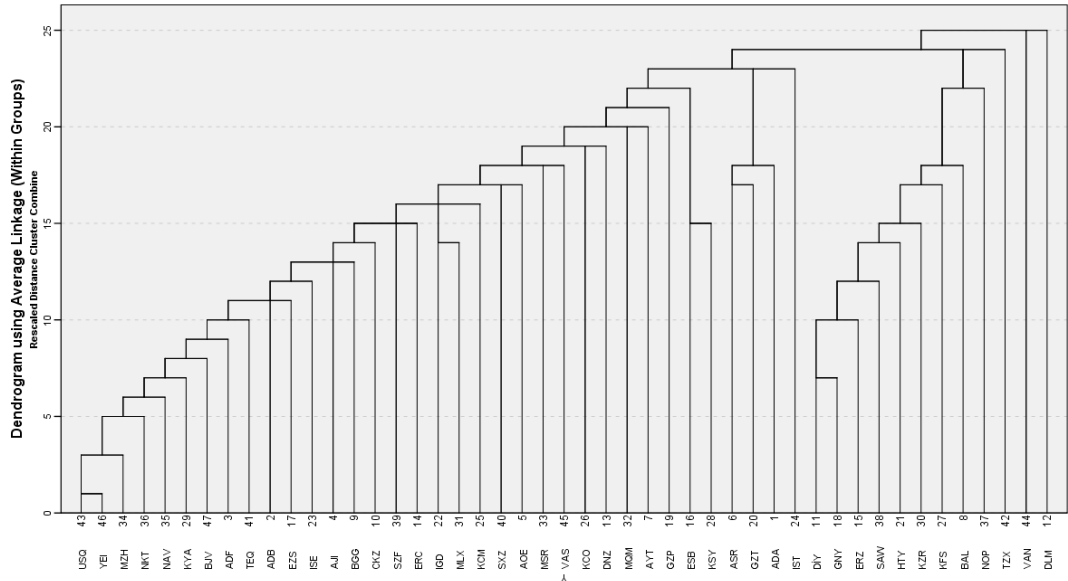


Şekil 3.3 : Ward metodu 8 kümeli havalimanı dağılımları.

Tek-yönlü ANOVA istatistiksel analizine göre 6 küme sayısı için çeşitli aylardaki CB Aktivitesi, Çisenti, Düşük Bulut Tavanı, Kar Yağışı, Karla Karışık Yağmur, Limitaltı Bulut Tavanı, Oraj ve CB Aktivitesi, Pus, Rüzgar, Sis, Toz ve Yağmur hadiselerinden oluşan 40 çeşit anlamlı parametre, 8 küme sayısına göre çeşitli aylardaki CB Aktivitesi, Çisenti, Düşük Bulut Tavanı, Kar Yağışı, Karla Karışık Yağmur, Limitaltı Bulut Tavanı, Oraj ve CB Aktivitesi, Pus, Rüzgar, Sis, Yağmur hadiselerinin bulunduğu 38 çeşit anlamlı parametreden yararlanmıştır.

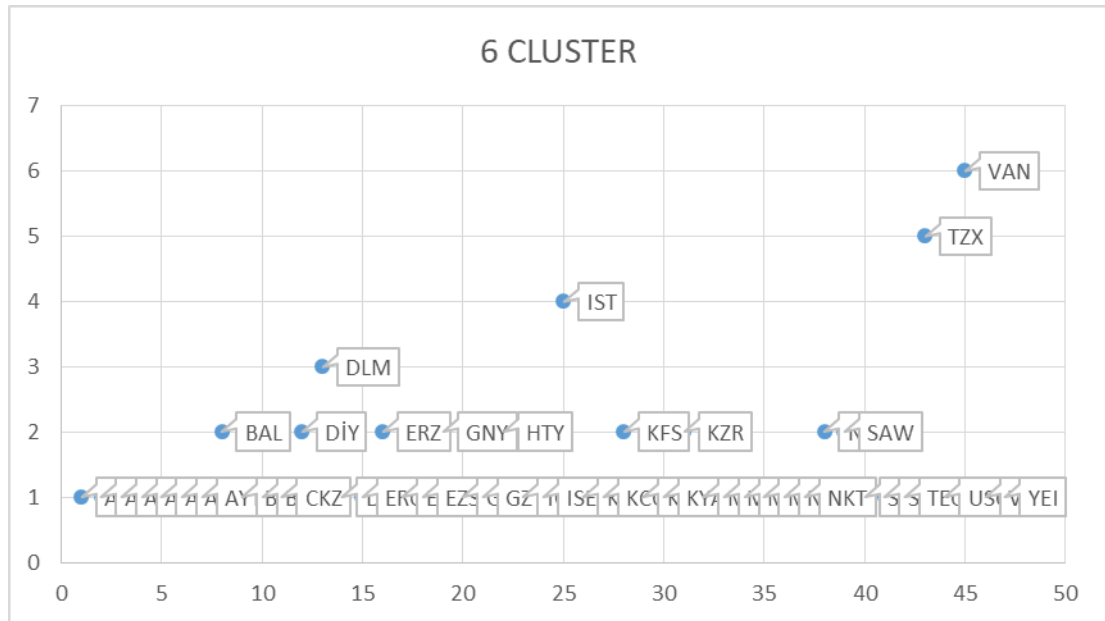
3.2.2. Average linkage (Within-Groups linkage) method

Şekil 3.4' te Average Linkage (Within-Groups Linkage) Metodu kullanılarak elde edilen dendrograma göre Ward Metodu' ndan farklı olarak kümeler arasında daha zayıf ilişki olduğu söylenebilir.



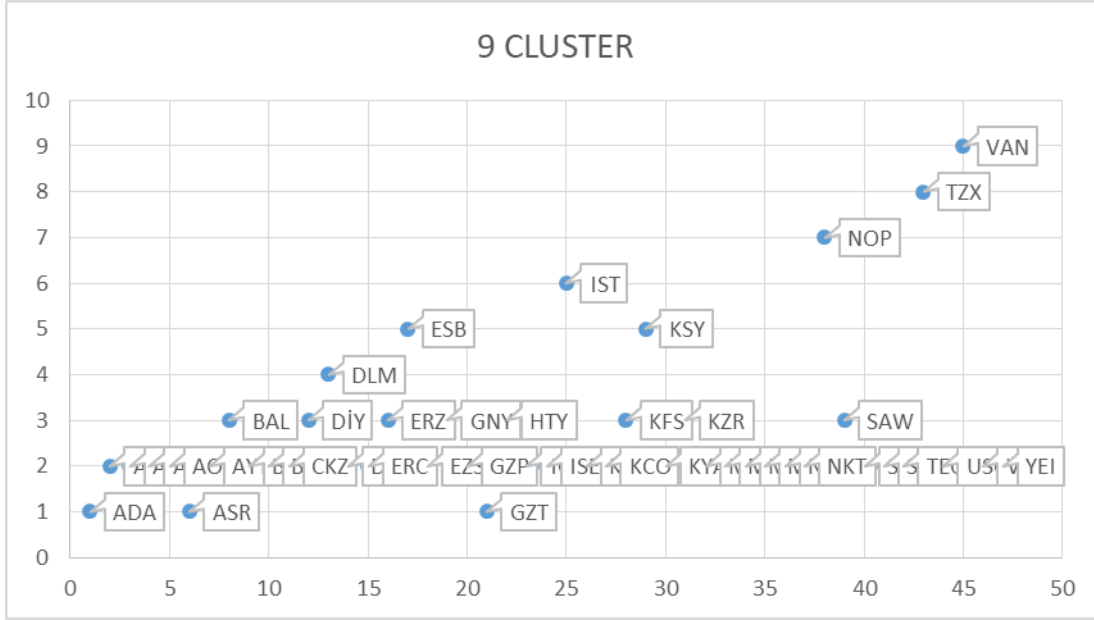
Şekil 3.4 : Average linkage (Within-Groups linkage) metodu kullanılarak elde edilen dendrogram.

Şekil 3.5’ te Average Linkage (Within-Groups Linkage) Metodu kullanılıp küme sayısı 6 alınarak elde edilen noktasal diyagram birbirine yakın konumda ve benzer iklim özelliğine sahip Batman-Diyarbakır-Şanlıurfa-Hatay gibi havalimanlarını aynı küme içerisinde alırken benzer şekilde Kütahya Zafer-İstanbul Sabiha Gökçen gibi karasal iklim özelliklerinin öne çıktığı havalimanlarını da aynı kümede değerlendirmiştir.



Şekil 3.5 : Average linkage (Within-Groups linkage) metodu 6 kümeli havalimanı dağılımları.

Şekil 3.6’ da Average Linkage (Within-Groups Linkage) Metodu kullanılıp küme sayısı 9 alınarak elde edilen noktasal diyagrama göre küme sayısının 6 alındığı duruma ilaveten birbirine yakın konumda ve benzer iklim özelliğine sahip Adana-Gaziantep gibi havalimanlarını da aynı kümede belirtmiştir.

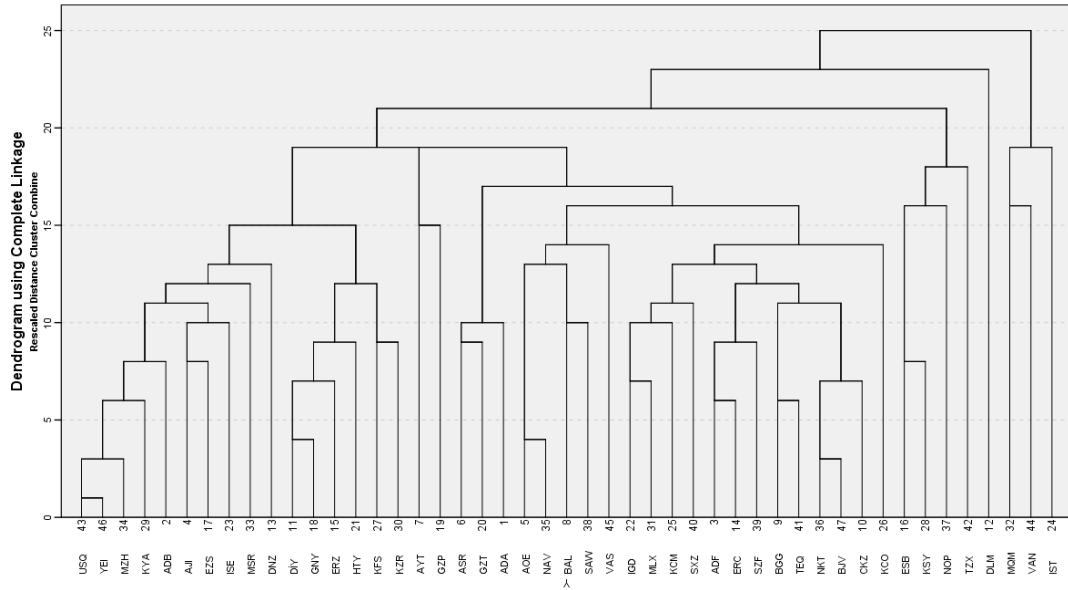


Şekil 3.6 : Average linkage (Within-Groups linkage) metodu 9 kümeli havalimanı dağılımları.

Tek-yönlü ANOVA istatistiksel analizine göre 6 küme sayısı için çeşitli aylardaki CB Aktivitesi, Çisenti, Düşük Bulut Tavanı, Kar Yağışı, Karla Karışık Yağmur, Limitaltı Bulut Tavanı, Oraj ve CB Aktivitesi, Rüzgar, Sis, Toz, Yağmur, Zayıf Frenleme hadiselerinden oluşan 34 çeşit anlamlı parametre, 9 küme sayısına göre çeşitli aylardaki CB Aktivitesi, Çisenti, Düşük Bulut Tavanı, Kar Yağışı, Karla Karışık Yağmur, Limitaltı Bulut Tavanı, Oraj ve CB Aktivitesi, Rüzgar, Sis, Toz, Yağmur hadiselerinin bulunduğu 41 çeşit anlamlı parametreden yararlanmıştır. Burada Pus gibi önemli bir hadisenin anlamlı parametreler arasında yer almaması düşündürücüdür.

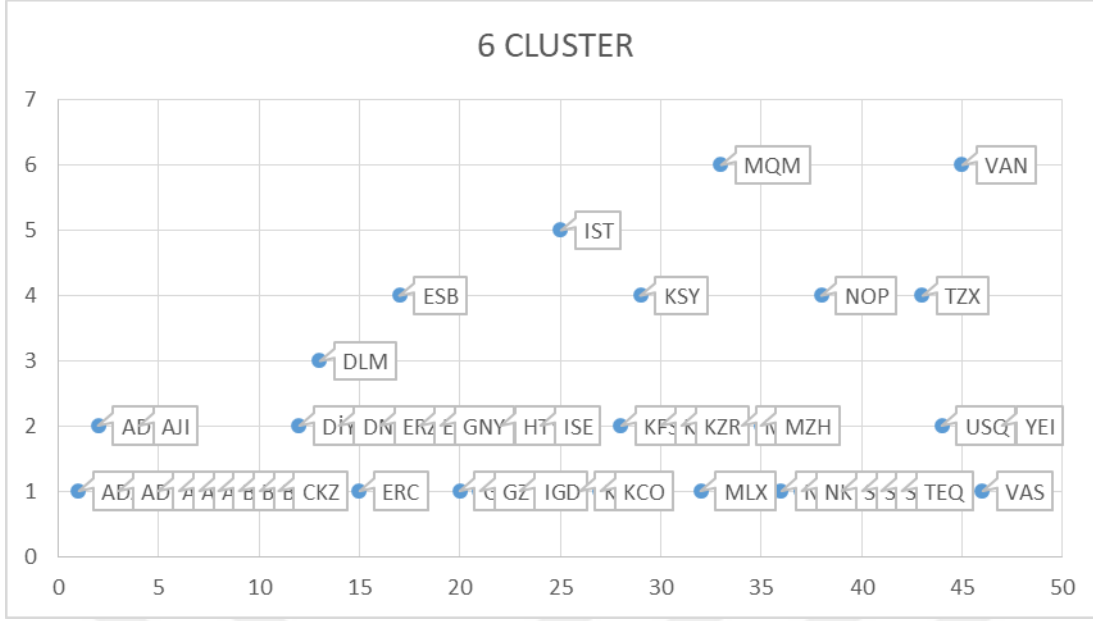
3.2.3. Complete linkage (Furthest neighbor) method

Şekil 3.7 de Complete Linkage (Furthest Neighbor) Metodu kullanılarak elde edilen dendograma göre Ward Metodu’ na benzer şekilde birbiriyle ilişkili çeşitli kümelerden söz edilebilir.



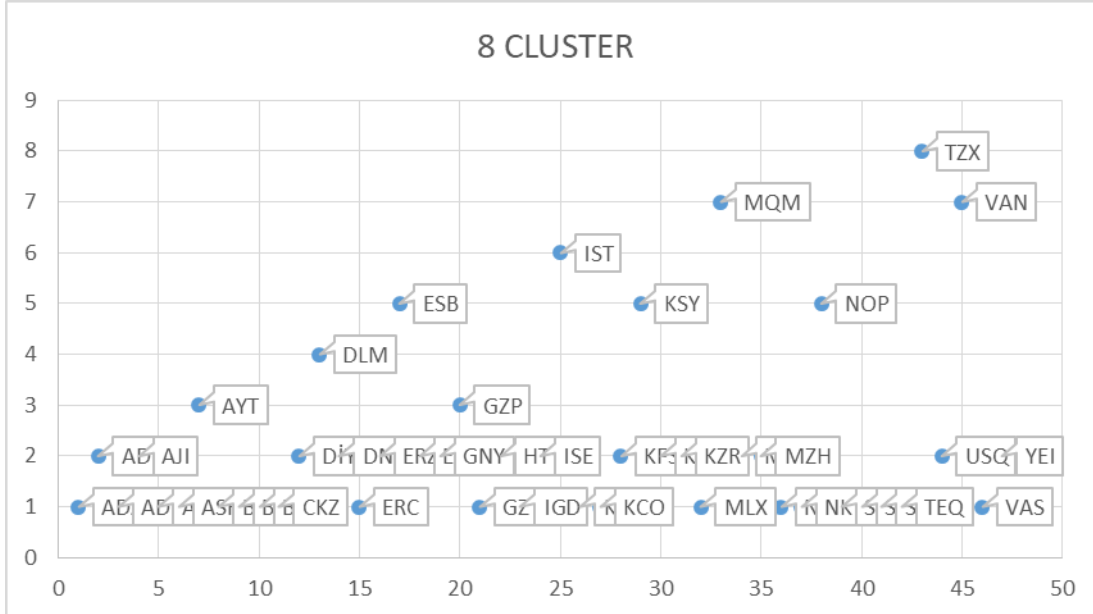
Şekil 3.7 : Complete linkage (Furthest neighbor) metodu kullanılarak elde edilen dendrogram.

Şekil 3.8’ de Complete Linkage (Furthest Neighbor) Metodu kullanılıp küme sayısı 6 alınarak elde edilen noktasal diyagram birbirine yakın konumda ve benzer iklim özelliğine sahip Denizli-Isparta-Kütahya Zafer-Uşak, Sinop-Trabzon, Mardin-Van, Amasya Merzifon-Kastamonu gibi havalimanlarını aynı küme içerisinde alırken benzer şekilde Denizli-Isparta-Kütahya Zafer-Uşak gibi birbirine yakın konumda olan havalimanlarının yanında bu havalimanları ile ortak özelliği de karasal iklim özelliklerine sahip olması olan Amasya Merzifon havalimanının da aynı kümeye dahil olduğu görülmektedir.



Şekil 3.8 : Complete linkage (Furthest neighbor) metodu 6 kümeli havalimanı dağılımları.

Şekil 3.9’ da Complete Linkage (Furthest Neighbor) Metodu kullanılıp küme sayısı 8 alınarak elde edilen noktasal diyagram 6 kümelide olduğu gibi birbirine yakın konumda ve benzer iklim özelliğine sahip Denizli-Isparta-Kütahya Zafer-Uşak, Mardin-Van gibi havalimanlarının yanında Antalya-Alanya Gazipaşa havalimanlarını da aynı küme içerisine alması önemlidir.



Şekil 3.9 : Complete linkage (Furthest neighbor) metodu 8 kümeli havalimanı dağılımları.

Tek-yönlü ANOVA istatistiksel analizine göre 6 küme sayısı için çeşitli aylardaki CB Aktivitesi, Çisenti, Düşük Bulut Tavanı, Kar Yağışı, Karla Karışık Yağmur, Limitaltı Bulut Tavanı, Oraj ve CB Aktivitesi, Pus, Rüzgar, Sis, Toz, Toz Pusu, Yağmur hadiselerinden oluşan 40 çeşit anlamlı parametre, 9 küme sayısına göre çeşitli aylardaki CB Aktivitesi, Çisenti, Düşük Bulut Tavanı, Kar Yağışı, Karla Karışık Yağmur, Limitaltı Bulut Tavanı, Oraj ve CB Aktivitesi, Pus, Rüzgar, Sis, Toz, Toz Pusu, Yağmur hadiselerinin bulunduğu 43 çeşit anlamlı parametreden yararlanmıştır. Anlamlılık analizlerine göre de Complete Linkage (Furthest Neighbor) yöntemi ile Ward Metodu' nun daha çok hadiseyi ele almasının bu iki metodu öne çıkardığı söylenebilir. Benzer şekilde elde edilen Dendogramlar ve kümeleme diyagramları da bir arada düşünüldüğünde Ward Metodu ve Complete Linkage (Furthest Neighbor) yönteminin daha gerçekçi sonuçlar verdiği görülmektedir.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesi için 01/01/2010-01/01/2015 aralığı için yapılan analizlerde 7 bölgenin Marmara bölgesi haricindeki 6 tanesinde (Ege, Akdeniz, İç Anadolu, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu) sefer iptallerine ve seferlerin divert etmesine sebebiyet veren ana meteorolojik faktörün sis olduğu ortaya konmuş, sisten sonra gelen bir diğer önemli meteorolojik risk parametresinin 7 bölgenin 5 tanesinde (Marmara, İç Anadolu, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu) önemli ağırlığı olan kar yağışı hadisesi olduğu görülmüştür.

Doğu Anadolu bölgesinin özellikle sis, kar yağışı ve pus gibi hadiselerde ciddi bir ağırlığının olmasını bölgede hakim olan karasal iklim koşulları ve bölge topografyası ile ilişkili olduğunu söylemek mümkündür. Benzer şekilde sis hadisesinde seferleri en çok etkilenen 3 bölgenin Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgeleri olmasında karasal iklim çok önemli bir etkidir.

En dikkat çekici meteorolojik risk faktörü olan sis hadisesinin iller bazında özellikle Şanlıurfa, Hatay, Konya, Gaziantep, Batman, Diyarbakır ve Erzurum havalimanlarında daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Şanlıurfa, Konya, Gaziantep, Batman, Diyarbakır ve Erzurum gibi illerin karasal iklime sahip olması, Konya'nın hem karasal iklimde yer alması hem de Tuz Gölü gibi Göller Yöresi gibi su kaynaklarına yakın konumda olması, Hatay'ın doğrudan deniz kıyısında yer alması gibi ana etkenlerin sis hadisesinde etkili olduğu yorumu yapılabilir. Pus hadisesinin en etkili olduğu Van'ın da yine Van Gölü gibi önemli bir etkenden dolayı nemlilik ile birlikte görüşün düşme riskini taşıdığı söylenebilir. Ege ve Akdeniz bölgelerinde en çok öne çıkan 3 meteorolojik parametreden biri olan Oraj ve CB Aktivitesinin kıyı yapısı ve kararsızlık koşulları ile ilişkilendirilebilmesi mümkündür.

97 adet meteorolojik parametreye bağlı olarak havalimanları arasındaki benzerlik ilişkilerinin kurulabilmesi amacıyla IBM tarafından sağlanan SPSS Statistics 20 paket programı vasıtasıyla sırasıyla Centroid, Ward, Single Linkage (Nearest Neighbor), Complete Linkage (Furthest Neighbor), Average Linkage (Between-Groups Linkage) ve Average Linkage (Within-Groups Linkage) hiyerarşik

kümeleme analiz yöntemleri uygulanmıştır. Dendogram grafikleri, Yığınsal katsayılar (Agglomerative coefficients) ve Havalimanı-Cluster sayısı noktasal diyagramları bir arada incelenmiştir. Yöntemin uygunluğu belirlenirken son olarak da Tek Yönlü ANOVA istatistiği uygulanmış ve % 95 güven aralığı içerisinde hangi yöntemde kaç kümede kaç adet anlamlı parametre dikkate alınarak kümeleme yapıldığı ortaya konmuştur. Her bir yöntemin sırayla incelenmesi sonucunda Ward's Method, Average Linkage (Within-Groups Linkage) ve Complete Linkage (Furthest Neighbor) yöntemlerinin diğerlerine göre daha kullanışlı olduğu tespit edilmiştir. Anlamlılık analizlerine göre de Complete Linkage (Furthest Neighbor) yöntemi ile Ward Metodu' nun daha çok hadiseyi ele almasının bu iki metodu öne çıkardığı söylenebilir. Benzer şekilde elde edilen Dendogramlar ve kümeleme diyagramları da bir arada düşünüldüğünde Ward Metodu ve Complete Linkage (Furthest Neighbor) yönteminin havalimanlarını coğrafi bölgelerdekine benzer şekilde kümelemesi ile daha gerçekçi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Seferlerin divert etmesinin ve sefer iptallerinin önüne geçilebilmesi için meteorolojik tahminlerin doğru şekilde yapılması çok büyük önem arz etmektedir. Kısa vadeli meteorolojik tahminler vasıtasıyla da uçuşlardaki oraj gibi AHT gibi risklerin azaltılabilmesi mümkün olabilir.

Yapılan bu çalışmada bölgeler bazında en ciddi meteorolojik risk faktörü durumundaki sis ve diğer önemli meteorolojik parametrelerle ilgili risklerin ortadan kaldırılabilmesi için bir takım projelerin geliştirilmesi gerekir. Özellikle sis azaltımıyla ilgili yöntemlere başvurulması çok temel bir gereksinim olarak dikkat çekmektedir. Sis hadiselerinin çok sık yaşandığı Hatay, Konya, Gaziantep, Batman, Diyarbakır gibi havalimanlarında İstanbul Atatürk Havalimanı ve Ankara Esenboğa Havalimanı'nda mevcut olan ILS CAT3 gibi çok düşük görüş değerlerine kadar meydana iniş yapılabilmesini sağlayan CAT3 aletli iniş sistemlerinin kurulması gibi havalimanları etrafındaki gölet gibi bataklık gibi nem kaynağı oluşturulabilecek alanların kurutulması gibi projeler çok ciddi katkı sağlayacaktır. Benzer şekilde meydana yaklaşma minimum değerinin nispeten daha yüksek olduğu Kahramanmaraş gibi Van gibi Erzincan gibi havalimanlarında seferleri ciddi anlamda etkileyen pus vb. hadiselerin önüne geçebilmek için meydan yaklaşma usüllerinin iyileştirilmesine ve geliştirilmesine yönelik projeler veya yatırımlarda bulunulması risk faktörlerini minimum düzeye indirecektir.

KAYNAKLAR

- Airbus** (2007). Flight Operations Briefing Notes. Adverse Weather Operations. Optimum Use Of The Weather Radar.
- Airbus** (2007). Flight Operations Briefing Notes. Adverse Weather Operations. Wind Shear Awareness.
- Bakırcı, M.** (2012). Ulaşım Coğrafyası Açısından Türkiye’de Havayolu Ulaşımının Tarihsel Gelişimi Ve Mevcut Yapısı , *Marmara Coğrafya Dergisi Sayı: 25, Ocak - 2012, S. 340 - 377* , İstanbul – Issn: 1303-2429.
- Bayram, İ., Özhamam, M.** (2017). Sivil Havacılık Sektör Değerlendirmesi . STM Teknolojik Düşünce Merkezi .
- Burrows, W.** (2010). The Environment Canada Handbook on Fog and Fog Forecasting Toth, G., Gultepe, I., Milbrandt, J., Hansen, B., Pearson, G., Fogarty, C., and W. Burrows .
- Caccam, M., Refran, J.** (2012). Cluster Analysis Presentation.
- Choi, H.-W., Chun, H.-Y., Kim, J.-H., Kim, S.-H., Lee, D.-B., Lee, Y.-G., Park, Y.-J., Pettegrew, B., Schumann, U., Sharman, R. D., Song, I.-S., Strahan, M., Tenenbaum, J., Williams, P. D.** (2017). The Fifth Workshop on Aviation Meteorology . *American Meteorology Society* . May 2017.
- FAA** (2010). Aviation Weather For Pilots and Flight Operations Personnel. Advisory Circular. Chapters 10-12, Federal Aviation Administration .
- FAA** (2016). Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge. Chapter 12: Weather Theory, Federal Aviation Administration .
- Karaca, M., Kindap, T., Ünal, Y.** (2003). Redefining The Climate Zones Of Turkey Using Cluster Analysis. *International Journal Of Climatology: Int. J. Climatol.* 23: 1045–1055 (2003).
- Kulesa, G.** (2003). “Weather and Aviation: How Does Weather Affect The Safety and Operations of Airports and Aviation, And How Does FAA Work To Manage Weather-related Effects?” .
- NAV Canada** (2005). “Aviation Weather Hazards”.
- Page, C.** (2010). Understanding Aviation Meteorology and Weather Hazards with Ground-Based Observations .
- MGM.** (2018). Havacılık Meteorolojisi. T.C. Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Tahminler Dairesi Başkanlığı Havacılık Meteorolojisi Şube Müdürlüğü.

WMO (2007). World Meteorological Organization Education and Training Programme ETR-20, WMO/TD-No. 1390, *Secretariat of the World Meteorological Organization*, Geneva-Switzerland, June 2007.



EKLER

Çizelge A.1 : Türkiye’deki 47 havalimanı için 01/01/2010-01/01/2015 veri aralığında etkisi 1.0 ve üzerinde olan standartlaştırılmış meteorolojik hadiseler.

MEYDAN	OCAK CB AKT	MART CB AKT	NİSAN CB AKT	MAYIS CB AKT	HAZİRAN CB AKT	AĞUSTOS CB AKT	EYLÜL CB AKT
ADA	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ADB	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ADF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AJI	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AOE	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ASR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AYT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BAL	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
BGG	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
CKZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DIY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DLM	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DNZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ERC	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ERZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ESB	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
EZS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GNV	0,00000	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GZP	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GZT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
HTY	0,00000	0,12500	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IGD	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ISE	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IST	0,00000	0,20000	0,03478	0,43548	1,00000	0,89326	1,00000
KCM	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KCO	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KFS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
KSY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,50000	0,33333	0,00000
KYA	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KZR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MLX	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MQM	0,00000	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MSR	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MZH	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NAV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NKT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NOP	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SAW	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000
SZF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SXZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000
TEQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TZX	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
USQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAN	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAS	0,00000	0,00000	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000
YEI	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BJV	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Çizelge A.1 (devam) : Türkiye’deki 47 havalimanı için 01/01/2010-01/01/2015 veri aralığında etkisi 1.0 ve üzerinde olan standartlaştırılmış meteorolojik hadiseler.

MEYDAN	EKİM CB AKT	OCAK KY	ŞUBAT KY	MART KY	NİSAN KY	KASIM KY	ARALIK KY
ADA	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ADB	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ADF	0,00000	0,42105	1,00000	0,16667	0,00000	0,00000	0,50000
AJI	0,00000	0,48276	0,60000	0,69231	0,00000	1,00000	0,34783
AOE	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000
ASR	0,00000	0,15789	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000	0,37500
AYT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BAL	0,00000	0,09091	0,00000	0,66667	0,00000	0,00000	0,26923
BGG	0,00000	0,40000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,60000
CKZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,18182
DİY	0,00000	0,31707	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,22535
DLM	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DNZ	1,00000	0,36667	0,62500	0,00000	0,00000	0,00000	0,33333
ERC	0,00000	0,47368	0,77778	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000
ERZ	0,00000	0,06522	0,09524	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000
ESB	0,00000	0,12500	0,43548	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
EZS	0,00000	0,66667	0,50000	1,00000	0,00000	0,00000	0,05000
GNV	0,00000	0,27907	0,09091	0,22222	0,00000	0,00000	0,17391
GZP	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GZT	0,00000	0,07843	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,09424
HTY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IGD	0,00000	0,21277	0,16667	0,44444	0,00000	0,00000	0,37755
ISE	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IST	0,00000	0,94258	0,82095	0,00000	0,00000	0,00000	0,87013
KCM	0,00000	0,17647	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000	0,08696
KCO	0,00000	0,52941	0,43478	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000
KFS	0,00000	0,00000	0,00000	0,33333	0,00000	0,00000	0,41667
KSY	0,00000	0,62500	0,09091	1,00000	0,00000	0,00000	0,33333
KYA	0,00000	0,12121	0,26316	0,00000	0,00000	0,54167	0,11111
KZR	0,00000	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,25000
MLX	0,00000	1,00000	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,33333
MQM	0,25000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,94737
MSR	0,00000	0,00000	0,76471	0,66667	0,00000	0,00000	0,28571
MZH	0,00000	0,33333	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NAV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,50000
NKT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,55556
NOP	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SAW	0,00000	0,51613	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,22727
SZF	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000
SXZ	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TEQ	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TZX	0,00000	1,00000	0,11111	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000
USQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAN	0,00000	0,94915	0,93548	0,92453	0,00000	0,33333	0,89474
VAS	0,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,00000	1,00000	0,60000
YEI	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,20000
BJV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Çizelge A.1 (devam) : Türkiye’deki 47 havalimanı için 01/01/2010-01/01/2015 veri aralığında etkisi 1.0 ve üzerinde olan standartlaştırılmış meteorolojik hadiseler.

MEYDAN	OCAK ORJCB	ŞUBAT ORJCB	NİSAN ORJCB	MAYIS ORJCB	HAZİRAN ORJCB	TEMMUZ ORJCB	AĞUSTOS ORJCB
ADA	0,16667	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000
ADB	0,02941	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ADF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AJI	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AOE	0,00000	0,00000	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ASR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
AYT	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BAL	0,00000	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BGG	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
CKZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DIY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DLM	0,00000	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DNZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
ERC	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
ERZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ESB	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
EZS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GNV	0,00000	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GZP	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,40000	0,00000	0,00000
GZT	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000
HTY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IGD	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
ISE	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IST	0,00000	0,00000	0,02609	0,45161	0,85714	0,00000	0,88764
KCM	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KCO	0,00000	0,00000	0,28571	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000
KFS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KSY	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,50000	1,00000	0,66667
KYA	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KZR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MLX	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MQM	0,00000	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MSR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MZH	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NAV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NKT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NOP	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000
SAW	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,50000
SZF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SXZ	0,00000	0,00000	1,00000	0,66667	0,00000	0,00000	0,00000
TEQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TZX	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	1,00000
USQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAN	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
VAS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
YEI	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BJV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Çizelge A.1 (devam) : Türkiye’deki 47 havalimanı için 01/01/2010-01/01/2015 veri aralığında etkisi 1.0 ve üzerinde olan standartlaştırılmış meteorolojik hadiseler.

MEYDAN	EYLÜL ORJCB	EKİM ORJCB	KASIM ORJCB	ARALIK ORJCB	OCAK PUS	ŞUBAT PUS	MART PUS	NİSAN PUS
ADA	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,40000
ADB	0,00000	0,00000	0,00000	0,20000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ADF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,15789	0,66667	0,00000	0,00000
AJI	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,34483	0,40000	0,03846	0,50000
AOE	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ASR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,05263	0,00000	0,00000	0,00000
AYT	0,00000	1,00000	0,00000	0,66667	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BAL	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,06061	0,00000	0,33333	0,00000
BGG	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,80000	0,00000	0,00000	0,00000
CKZ	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DIY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,04878	0,00000	0,00000	0,00000
DLM	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DNZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,20000	0,00000	0,00000	0,00000
ERC	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,31579	0,55556	0,00000	0,00000
ERZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ESB	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,01613	0,00000	0,00000
EZS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,50000	1,00000	0,00000
GNV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,11111	0,00000
GZP	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000
GZT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,21569	0,00000	0,00000	0,00000
HTY	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IGD	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,42553	1,00000	0,00000	0,00000
ISE	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IST	0,79310	0,50000	0,00000	0,00000	0,42584	0,00000	0,00000	0,00000
KCM	0,00000	0,00000	0,00000	0,08696	0,70588	0,33333	0,40000	0,00000
KCO	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,35294	0,82609	0,41667	0,42857
KFS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KSİ	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,09091	0,25000	0,00000
KYA	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KZR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MLX	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,50000	1,00000	0,00000	0,00000
MQM	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MSR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,29167	0,00000
MZH	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,33333	0,50000	0,00000	0,00000
NAV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NKT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,60000	0,00000	0,00000	0,00000
NOP	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,12500	0,28571
SAW	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SZF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
SXZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000
TEQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TZX	1,00000	0,00000	1,00000	0,28571	0,00000	0,22222	0,00000	0,00000
USQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAN	0,00000	0,00000	0,66667	0,02632	0,76271	0,74194	0,43396	0,00000
VAS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,20000	0,00000	0,25000	0,00000
YEI	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BJV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Çizelge A.1 (devam) : Türkiye’deki 47 havalimanı için 01/01/2010-01/01/2015 veri aralığında etkisi 1.0 ve üzerinde olan standartlaştırılmış meteorolojik hadiseler.

MEYDAN	EKİM PUS	KASIM PUS	ARALIK PUS	OCAK RÜZGAR	ŞUBAT RÜZGAR	MART RÜZGAR	NİSAN RÜZGAR
ADA	0,00000	0,00000	0,00000	0,66667	0,00000	1,00000	1,00000
ADB	0,00000	0,00000	0,00000	0,02941	0,00000	0,00000	0,33333
ADF	0,00000	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000	0,41667	0,00000
AJI	0,00000	0,00000	0,08696	0,00000	0,00000	0,23077	0,00000
AOE	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000
ASR	0,00000	0,00000	0,37500	0,02632	0,50000	0,70000	1,00000
AYT	0,00000	0,00000	0,00000	0,20000	0,50000	0,00000	0,00000
BAL	0,00000	0,00000	0,05128	0,00000	0,00000	0,33333	0,00000
BGG	0,00000	0,00000	0,60000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000
CKZ	0,00000	0,50000	0,45455	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DIY	0,00000	0,00000	0,00704	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DLM	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000
DNZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,66667
ERC	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ERZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ESB	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
EZS	0,00000	0,00000	0,05000	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000
GNV	0,00000	0,00000	0,00000	0,02326	0,18182	0,00000	0,00000
GZP	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GZT	0,00000	0,00000	0,07330	0,00000	0,00000	0,83333	0,00000
HTY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,87500	0,00000
IGD	0,00000	0,64286	0,46939	0,00000	0,00000	0,55556	0,00000
ISE	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IST	0,00000	0,25000	0,36364	0,04785	0,04730	1,00000	0,96522
KCM	0,00000	1,00000	0,73913	0,05882	0,00000	0,40000	0,00000
KCO	1,00000	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KFS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KSY	0,00000	0,00000	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KYA	0,00000	0,00000	0,00000	0,03030	0,00000	0,00000	0,00000
KZR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MLX	0,00000	0,00000	0,33333	0,25000	0,00000	0,00000	0,00000
MQM	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,66667	0,00000
MSR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,16667	0,00000
MZH	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NAV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NKT	0,00000	0,00000	0,55556	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NOP	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,66667	0,12500	0,14286
SAW	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SZF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SKZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TEQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000
TZX	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
USQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAN	0,00000	0,00000	0,73684	0,01695	0,00000	0,00000	1,00000
VAS	0,00000	0,00000	0,20000	0,10000	0,00000	0,12500	0,00000
YEI	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BJV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Çizelge A.1 (devam) : Türkiye’deki 47 havalimanı için 01/01/2010-01/01/2015 veri aralığında etkisi 1.0 ve üzerinde olan standartlaştırılmış meteorolojik hadiseler.

MEYDAN	MAYIS RÜZGAR	HAZİRAN RÜZGAR	TEMMUZ RÜZGAR	AĞUSTOS RÜZGAR	EYLÜL RÜZGAR	EKİM RÜZGAR
ADA	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ADB	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ADF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AJI	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AOE	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ASR	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AYT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BAL	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
BGG	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
CKZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DIY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DLM	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000
DNZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000
ERC	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000
ERZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ESB	0,57143	0,60000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
EZS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GNY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GZP	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000
GZT	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
HTY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IGD	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ISE	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000
IST	0,97581	0,14286	0,00000	0,00562	0,00000	1,00000
KCM	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KCO	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KFS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KSİ	0,00000	1,00000	1,00000	0,33333	0,00000	0,00000
KYA	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KZR	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MLX	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MQM	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MSR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MZH	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NAV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NKT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NOP	0,25000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	1,00000
SAW	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SZF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SXZ	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TEQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TZX	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	0,00000
USQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAN	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000
VAS	0,50000	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
YEI	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BJV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Çizelge A.1 (devam) : Türkiye’deki 47 havalimanı için 01/01/2010-01/01/2015 veri aralığında etkisi 1.0 ve üzerinde olan standartlaştırılmış meteorolojik hadiseler.

MEYDAN	KASIM RÜZGAR	ARALIK RÜZGAR	OCAK SIS	ŞUBAT SIS	MART SIS	NİSAN SIS	MAYIS SIS	EYLÜL SIS	EKİM SIS
ADA	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ADB	0,00000	0,20000	0,97059	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ADF	0,00000	0,50000	0,63158	0,33333	0,16667	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AJI	0,00000	0,00000	0,51724	0,40000	0,34615	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000
AOE	0,00000	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000
ASR	0,00000	0,00000	0,86842	0,16667	0,30000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AYT	0,00000	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BAL	0,00000	0,00000	0,93939	0,00000	0,33333	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000
BGG	0,00000	0,00000	0,20000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
CKZ	0,00000	0,18182	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DİY	0,00000	0,00000	0,68293	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DLM	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DNZ	0,00000	0,00000	0,76667	0,50000	1,00000	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000
ERC	0,00000	0,00000	0,42105	0,22222	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ERZ	0,00000	0,00000	0,93478	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ESB	0,00000	0,00000	0,87500	0,54839	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
EZS	0,00000	0,00000	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GNV	0,00000	0,00000	0,97674	1,00000	0,66667	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
GZP	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GZT	0,00000	0,03141	0,78431	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
HTY	0,00000	0,06250	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000
IGD	0,00000	0,00000	0,48936	0,00000	0,22222	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ISE	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IST	0,25000	0,02597	0,00478	0,15203	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KCM	0,00000	0,00000	0,23529	0,33333	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KCO	0,00000	0,00000	0,23529	0,17391	0,16667	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KFS	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	0,66667	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000
KSY	0,00000	0,00000	0,87500	0,90909	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KYA	0,00000	0,00000	0,87879	0,73684	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KZR	0,00000	0,00000	0,66667	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000
MLX	0,00000	0,00000	0,08333	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MQM	0,00000	0,05263	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MSR	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	0,50000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MZH	0,00000	0,00000	0,66667	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NAV	0,00000	0,50000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NKT	0,00000	0,00000	0,40000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NOP	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,75000	0,57143	0,50000	0,00000	0,00000
SAW	0,00000	0,00000	0,48387	0,50000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SZF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SXZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TEQ	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TZX	1,00000	0,00000	0,00000	0,72222	0,48148	0,76543	0,00000	0,00000	0,00000
USQ	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAN	0,66667	0,05263	0,00000	0,09677	0,22642	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAS	0,00000	0,00000	0,10000	0,00000	0,12500	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000
YEI	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BJV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Çizelge A.1 (devam) : Türkiye’deki 47 havalimanı için 01/01/2010-01/01/2015 veri aralığında etkisi 1.0 ve üzerinde olan standartlaştırılmış meteorolojik hadiseler.

MEYDAN	KASIM SİS	ARALIK SİS	MAYIS TOZ	AĞUSTOS TOZ	EKİM TOZ	KASIM TP	OCAK YAĞ	ŞUBAT YAĞ	MART YAĞ
ADA	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,16667	0,00000	0,00000
ADB	0,00000	0,80000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ADF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,21053	0,00000	0,00000
AJI	0,00000	0,86957	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AOE	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ASR	1,00000	0,62500	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AYT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BAL	1,00000	0,73077	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BGG	0,00000	0,13333	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
CKZ	0,00000	0,18182	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DİY	1,00000	0,76761	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DLM	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	1,00000
DNZ	0,00000	0,66667	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ERC	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ERZ	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ESB	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
EZS	0,00000	0,95000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GNV	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,02326	0,00000	0,11111
GZP	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GZT	1,00000	0,84293	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,16667
HTY	1,00000	0,93750	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IGD	0,28571	0,48980	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,12766	0,00000	0,00000
ISE	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IST	0,75000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,20000
KCM	0,00000	0,17391	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,41176	0,66667	0,20000
KCO	1,00000	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,11765	0,30435	0,50000
KFS	0,00000	0,66667	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KSY	0,00000	0,66667	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KYA	0,45833	0,88889	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KZR	0,00000	0,75000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MLX	0,00000	0,66667	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MQM	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	0,75000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MSR	0,00000	0,71429	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MZH	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NAV	1,00000	0,50000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NKT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NOP	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,66667	0,00000
SAW	1,00000	0,77273	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SZF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000
SXZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
TEQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TZX	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
USQ	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAN	0,00000	0,21053	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAS	1,00000	0,40000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
YEI	0,00000	0,80000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BJV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Çizelge A.1 (devam) : Türkiye’deki 47 havalimanı için 01/01/2010-01/01/2015 veri aralığında etkisi 1.0 ve üzerinde olan standartlaştırılmış meteorolojik hadiseler.

MEYDAN	NİSAN YAĞ	MAYIS YAĞ	HAZİRAN YAĞ	EKİM YAĞ	KASIM YAĞ	ŞUBAT ZF
ADA	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ADB	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000
ADF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AJI	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AOE	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ASR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
AYT	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
BAL	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BGG	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
CKZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,66667	1,00000	0,00000
DIY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DLM	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DNZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ERC	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ERZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
ESB	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,01613
EZS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GNV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,09091
GZP	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
GZT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
HTY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IGD	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,21429	0,00000
ISE	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
IST	0,06957	0,02419	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KCM	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000
KCO	0,28571	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KFS	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000
KSY	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
KYA	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,15789
KZR	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MLX	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MQM	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MSR	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MZH	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NAV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NKT	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
NOP	0,00000	0,25000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
SAW	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SZF	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
SXZ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TEQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
TZX	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
USQ	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAN	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
VAS	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
YEI	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
BJV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mert ULUYAZI
Doğum Tarihi ve Yeri : 04.05.1990 Kadıköy/İSTANBUL
E-posta : mertuluyazi@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak-Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği
- **Yükseklisans** : (2011-...)