



**TÜRKİYE ULUSAL
JEODEZİ VE JEOFİZİK BİRLİĞİ
TUJJB**

**ULUSLARARASI İSTANBUL 3. HAVALİMANI'NA AİT
FOGSİ İNDEKSİ VE WRF MODELİ KULLANILARAK
SİS ANALİZİ VE TAHMİNİ**

PROJE NO: TUJJB-TUMEHAP-01-18

PROF. DR. ALİ DENİZ (Proje Yürütücüsü)

YÜK. MÜH. CEM ÖZEN

YÜK. MÜH. ÖZKAN ÇAPRAZ

İSTANBUL 2020

**ULUSLARARASI İSTANBUL 3. HAVALİMANI'NA AİT
FOGSİ İNDEKSİ VE WRF MODELİ KULLANILARAK
SİS ANALİZİ VE TAHMİNİ**

PROJE NO: TUJJB-TUMEHAP-01-18

PROF. DR. ALİ DENİZ (Proje Yürütücüsü)

YÜK. MÜH. CEM ÖZEN

YÜK. MÜH. ÖZKAN ÇAPRAZ

İSTANBUL 2020

Havayolu taşımacılığında meydana gelen kaza-kırım, divert (başka havalimanına uçağın yönlendirilmesi) ve gecikme olaylarına birçok durum sebebiyet verebilmektedir. Genel olarak pilotaj ve teknik kaynaklı olumsuzluklar kaza-kırım hadiselerine sebebiyet verirken, meteorolojik kaynaklı koşullar çoğunlukla divert, gecikme ve az da olsa kaza-kırım hadiselerine yol açabilmektedir. Havacılığı etkileyen bu meteorolojik parametrelere baktığımızda dünya genelinde buzlanma çok önemli bir yere sahip durumda iken ülkemizde ise düşük görüş mesafesine bağlı aksaklıklar oldukça önemlidir. Ülkemizde görülen kaza-kırım olaylarına ait istatistiki bilgiler incelendiğinde meydana gelen vakaların her 3'ünden 1'i düşük görüş mesafesine bağlı şekilde gelişmiştir. Düşük görüş mesafesi tanımına ayrıntılı baktığımızda ise çoğunlukla bu durumun oluşmasına sis hadisesi, aşırı yağışlara bağlı yatay görüş mesafesinin düşmesi, volkanik kül veya kum fırtınası sebebiyle yatay görüşte aksamalar örnek verilebilir. Fakat burada en önemli faktör sis hadisesi olarak ön plana çıkmaktadır.

Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği'nin katkıları ile İstanbul Havalimanı (3. Havalimanı) için sis ve görüş tahmini üzerine araştırma yapılmıştır. Araştırma projesi 15.06.2018 tarihinde başlamış olup 15.10.2020 tarihinde sonuçlanmıştır. Çalışma sonuçları, başta İstanbul Havalimanı olmak üzere ülkemiz nezdinde tüm havalimanları için görüş mesafesi ve sis tahmin edilebilirliği hususunda havacılık işletmeciliği açısından büyük kazanımlar sağlayacaktır. İstanbul Havalimanı için sis ve görüş mesafesinin araştırılmasında son derece önemli olan bu projeye katkılarından dolayı Türkiye Ulusal Jeodezi- Jeofizik Birliği (TUJJB)'ne teşekkür ederiz. "Uluslararası İstanbul 3. Havalimanı'na ait FOGSİ İndeksi ve WRF Modeli Kullanılarak Sis Analizi ve Tahmini" isimli bu proje, İstanbul Havalimanı için son derece önemli meteorolojik sonuçlar elde edilmesini sağlamakla birlikte, diğer havalimanlarında da sis ve görüş tahmini üzerine bir alt yapı sağlayacaktır.

Proje kapsamında, meteorolojik parametreler, havacılık rasatları, reanaliz verileri, WRF Model ve Makine öğrenme algoritmalarından bazıları yer almaktadır. Verilerin zaman serileri, istatistiksel analizleri, meteorolojik elemanlarla kıyaslamaları, günlük-aylık-mevsimlik-yıllık değişimleri ve atmosferik model ile kirlilik model araştırmaları sempozyum bildirilerinde sunulmuştur. Proje süresince 2 adet konferans bildirisi üretilmiştir. SCI yayın ve Yüksek lisans tez çalışmaları devam etmektedir. Tamamlandıklarında TUJJB'ye teşekkür edilecektir.

Çalışmalarımıza katkılarından dolayı TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ-JEOFİZİK BİRLİĞİ (TUJJB)'ye teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
KISALTMA LİSTESİ.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. BÖLGENİN GENEL METEOROLOJİK, TOPOĞRAFİK VE YERLEŞİM ÖZELLİKLERİ	4
3. WRF MODEL KURULUMU.....	6
4. VERİ TEMİNİ VE DÜZENLEMESİ.....	8
5. ETKİLİ SİNOPTİK SİSTEMLER DAHİLİNDE METEOROLOJİK VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	9
6. FOGSI İNDEKS, WRF MODEL FAALİYETLERİ VE KLİMATOLOJİK ANALİZ SONUÇLARI.....	10
7. FOGSI VE GÖRÜŞ MESAFESİ İLİŞKİSİ.....	14
7.1 Gradient Boosting Machines ile Görüş Mesafesi Modeli Oluşturma.....	21
7.2 Görüş Mesafesi Sınıflandırması.....	28
7.3 İstanbul Havalimanı ERA5 Uzun Dönem Görüş Mesafesi Analizi.....	29
SONUÇLAR.....	33
KAYNAKLAR.....	34

KISALTMA LİSTESİ

RVR	: Runway Visual Range (Pist görüş mesafesi ölçen cihaz)
AWOS	: Automated Weather Observing System (Otomatik hava gözlem sistemi)
ILS	: Instrumental Landing System (Aletli iniş sistemi)
DH	: Decision Height (Karar yüksekliği)
CAT	: Category (Kategori)
FOGSI	: Fog Stability Indeks (Sis kararlılık indeksi)
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
WRF	: Weather Research and Forecasting Model (Sayısal hava tahmin modeli)
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
METAR	: Havacılık amaçlı rutin hava raporu
SPECI	: Havacılık amaçlı özel hava raporu
ECMWF	: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 WRF Modeli sistem akış şeması.....	6
Şekil 3.2 İstanbul Havalimanı merkez olacak şekilde iç içe oluşturulmuş WRF Model alanları	7
Şekil 6.1 Veri seti için seçilen havalimanı koordinatı.....	12
Şekil 6.2 2m ve 850 hPa seviyesine ait bazı meteorolojik parametre değerleri.....	13
Şekil 7.1 İstanbul 3. Havalimanı için hesaplanan FOGSI değerleri.....	15
Şekil 7.2 Görüş mesafesi değerlerinin karşılaştırılması.....	16
Şekil 7.3 FOGSI ve görüş mesafeleri karşılaştırması.....	17
Şekil 7.4 Rüzgar gülü.....	18
Şekil 7.5 4 farklı yön kategorisi için oluşturulan modeller.....	19
Şekil 7.6 GBM Cross Validation sonuçlarının test ve train kümesinde iterasyonlar ile gelişimi.....	25
Şekil 7.7 Tahmin ve gerçek görüş mesafesi verilerinin saçılım diyagramı.....	26
Şekil 7.8 Test kümesi üzerinde GBM Modeli tahminlerinin ve gerçek görüş mesafesi zaman serisi grafiğiyle karşılaştırılması.....	26
Şekil 7.9 İstanbul Havalimanı, 3 Kasım 2018 ve 25 Ağustos 2020 tarihleri arasında METAR verilerinden elde edilen görüş mesafelerinin sınıflandırılması.....	27
Şekil 7.10 KNN Algoritmasının k değeri incelemesi.....	28
Şekil 7.11 Clusterlandırma sonucu oluşturulan 4 sınıfın zaman serisi.....	29
Şekil 7.12 İstanbul Havalimanı, 3 Kasım 2018 ve 25 Ağustos 2020 tarihleri arasında METAR verilerinden elde edilen görüş mesafelerinin sınıflandırılması.....	30
Şekil 7.13 İstanbul Havalimanı, 3 Kasım 2018 ve 25 Ağustos 2020 tarihleri arasında ERA5 ve METAR verilerinden elde edilen görüş mesafelerinin sınıflandırılması.....	31
Şekil 7.14 İstanbul Havalimanı, 3 Kasım 2018 ve 25 Ağustos 2020 tarihleri arasında METAR verilerinden elde edilen görüş mesafelerinin aylar ve yıllar boyunca ısı haritası.....	31
Şekil 7.15 İstanbul Havalimanı, 3 Kasım 2018 ve 25 Ağustos 2020 tarihleri arasında ERA5 ve METAR verilerinden elde edilen görüş mesafelerinin aylar ve yıllar boyunca ısı haritası.....	32

TABLO LİSTESİ

Tablo 6.1 ERA-INTERIM, ERA5 ve diğer veri setleri ile ilgili bilgiler... ..	11
Tablo 7.1 İki farklı FOGSI değerinin karşılaştırılması.....	16
Tablo 7.2 Gerçek ve Modelden elde edilen görüş mesafelerinin karşılaştırılması.....	17
Tablo 7.3 4 farklı kategoride oluşturulan modellere ait çıktıların karşılaştırılması.....	20
Tablo 7.4 Modele girdi olarak kullanılan değişkenler.....	21
Tablo 7.5 GBM Modeli için seçilen hiperparametreler.....	24
Tablo 7.6 KNN ile görüş mesafesi sınıflandırma sonuçları.....	29

Bu projede, İstanbul Havalimanı (3. Havalimanı) için öncelikle mevcut havacılık rasatları değerlendirmeye alınmış ve sisli günler ile görüş mesafesinin düşük olduğu zamanlar ortaya çıkartılmıştır. Sonrasında literatürde yapılan incelemeler sonucunda sis tahmini ve görüş mesafesi hesaplamasında kullanılan FOGSI İndeks ile belirlenen periyot dahilinde istatistiki incelemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan ilk analiz sonucunda, FOGSI indeksine ait tutarlılık tek başına seçilen havalimanı için başarılı olamamıştır. Benzer şekilde hesaplamalar yapılan görüş mesafesi değerleri de başarılı sonuçlar vermemiştir. Daha sonra kullanılan non-lineer model sayesinde her iki parametrede de tutarlılıklar arttırılmış, 4 ana rüzgar yönü kapsamında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Uzun dönem meteorolojik veriler yardımıyla makine öğrenmesi algoritmalarından “Gradient Boosting Machines” yöntemi sayesinde oluşturulan model sonuçları pearson korelasyon katsayısına göre 0.854 değerlerine kadar yükseltilebilir. Oldukça yüksek başarımlı bir görüş mesafesi modeli oluşturulmuştur. Bunlara ilave olarak, 1979-1920 yılları arası için yapılan analizler neticesinde aylık bazda görüş mesafesindeki değişimler İstanbul Havalimanı için ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sis tahmini, Görüş mesafesi, İstanbul Havalimanı, FOGSI, ERA5, Gradient Boosting Machines Yöntemi, Makine öğrenmesi, METAR, İstanbul.

ABSTRACT

In this project, for Istanbul Airport (3rd Airport), the current aviation observations were evaluated primarily and foggy days and times of low visibility were revealed. Afterwards, statistical studies were carried out within the period determined by the FOGSI Index, which is used in fog estimation and visibility calculation, as a result of the investigations in the literature. As a result of the first analysis, the consistency of the FOGSI index was not successful for the airport selected alone. Similarly, the visibility values calculated did not yield successful results. Later, thanks to the non-linear model used, the consistency was increased in both parameters, and better results were obtained under the 4 main wind directions. With the help of long-term meteorological data, the results of the model created by the "Gradient Boosting Machines" method, one of the machine learning algorithms, were increased up to 0.854 according to the Pearson correlation coefficient, and a very high performance visibility model was created. In addition to these, as a result of the analyzes made for the years between 1979 and 1920, the changes in visibility on a monthly basis were revealed for Istanbul Airport.

Keywords: Fog prediction, Visibility, Istanbul Airport, FOGSI, ERA5, Gradient Boosting Machines, Machine learning, METAR, Istanbul.

GİRİŞ

Sis, canlıların yaşamını etkileyen önemli meteorolojik olaylardan biridir. Su damlacıklarının veya buz kristallerinin yer yüzeyine yakın bir tabakada asılı olarak kalmaları sonucunda görüş mesafesinin 1000 metrenin altına düşmesi sonucunda meydana gelir. Stratus bulutunun yer seviyesine inmesi sonucunda da sis oluşmaktadır. Görüş mesafesinin asgari 1000 metre ve azami 5000 metreye ulaşması durumunda meydana gelen hava hadisesi pus olarak adlandırılır (Annex-3 ICAO, 2013; Glossary NOAA, 2014).

Havalimanı yüzeyi üzerindeki görüş mesafesinin bu yüzeyin en az yarısında veya yarısından daha fazlasında etkili olmasına "Hakim Rüyet" denir. Gözlemlenen en düşük görüş mesafesi hakim rüyetten farklıysa ve en düşük görüş mesafesi 1500 metrenin altında veya hakim rüyetin %50'sinden daha az ise tespit edilen bu görüş mesafesine "Minimum Rüyet" denir. Hakim rüyet veya minimum rüyet 1500 metre ve altına düştüğünde veya bu iki rüyet hangi değere sahip olursa olsun pist üzerindeki görüş mesafesinin 1500 metre ve altına düştüğünde verilen değere de "Pist Görüş Mesafesi" denir (Annex-3 ICAO, 2013). Pist görüş mesafesi Runway Visual Range (RVR) cihazıyla ölçülmektedir. Günümüzün ilerlemiş teknolojisi nedeniyle birçok havalimanlarında yukarıda tanımlanan bütün ölçümler AWOS vasıtasıyla havalimanı üzerinde pist kenarlarına konuşlandırılmış RVR cihazlarıyla ölçülerek meteorolojik olarak görüş kısıtlayıcı hadiselerin tespitinde kullanılmaktadır. Sisleri oluşum şekillerine göre 4 çeşite ayırabiliriz;

- Adveksiyon sisi: Sıcak ve nemli bir hava kütesinin, soğuk bir yüzey üzerine hareket etmesi sonucunda soğuyan hava kütesinin çiy noktası sıcaklığına düşmesi sonucu oluşan sislerdir. Rüzgar hızı > 4 Knot, 1 saat öncesinden sema açık veya bulut tabanı yüksekliği < 700 feet, görüş aniden azalır.
- Radyasyon sisi: Açık ve rüzgarsız gecelerde, yer yüzeyine yakın havanın radyasyon kaybı ile soğumasıyla oluşan sislerdir. Rüzgar hızı < 5 Knot, 1 saat öncesinden sema açık veya bulut tabanı yüksekliği < 400 feet, gece saatlerinde meydana gelir (yer yüzeyinin uzun dalga radyasyonu yayması sonucu yer yüzeyinde soğuma meydana gelir)
- Bulut tabanının alçalması

- Yağış: Yağışla birlikte sisin görülmesi veya yağışın 1 saat önce sona ermesi.

Pearson'ın Amerika Birleşik Devletleri'nde 1995 ile 2000 yılları arasını kapsayan genel havacılık ve küçük uçak taşımacılığı verilerini kullandığı çalışmasında; 4018 kişi uçak kazasında hayatını kaybetmiş ve ölümlerin 1380'inini hava hadiseleri sonucu meydana gelen uçak kazaları oluşturmuştur. Ölümcül hava kazalarının meteorolojik yüzdelerini büyükten küçüğe doğru sıraladığımızda; %63'ünü alçak bulut tabanı ve görüş mesafesi, % 18'ini rüzgar ve türbülans, %8'ini buzlanma, %5'ini yağmur ve kar, %5'ini oraj ve %1'ini de diğerleri oluşturmaktadır (Pearson, 2002). Çamalan ve arkadaşlarının, Esenboğa Havalimanı için yaptıkları çalışmada zamansal ve oluşum nedenlerine göre sisi sınıflandırmışlardır. 2000-2009 yılları arasını kapsayan çalışmalarında sislerin %77 soğuk sis, % 23 sıcak sis oluşturmaktadır. Oluşan sisin %50'sinin aralık ve ocak aylarında gözlemlendiği tespit edilmiştir (Çamalan ve arkadaşları., 2010). Aktaş ve Erkuş' un birlikte yaptıkları çalışmada ise Eskişehir'in sis kestiriminin incelenmesi yapılarak sisin en çok gözlemlendiği aylar olan kasım, aralık ve ocak için lojistik regresyon denklemi tahmin edilmiştir (Aktaş ve Erkuş, 2009).

Ülkemiz açısından baktığımızda, havayolu taşımacılığında maddi ve manevi kayıplara yol açan meteorolojik parametrelerin başında gelen sis hadisesi ile ilgili olarak dünya çapında bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en garanti olanı Aletli İniş Sistemi (Instrumental Landing System – ILS) olarak ön plana çıkmaktadır. Havalimanlarında bulut tabanının alçak olması, hakim rüyet ve özellikle pist görüş mesafesinin düşük olduğu durumlarda uçağın piste cihazlarla emniyetli olarak iniş yapmasını bu sistem sayesinde sağlamak mümkündür. Decision Height (DH) karar yüksekliği ve Runway Visual Range (RVR) pist görüş mesafesi açısından biri 3 alt kategoriye ayrılmak üzere üç çeşit ILS yaklaşması bulunmaktadır.

- CAT I : DH ≥ 60 m (200 feet), Hakim Rüyet ≥ 800 m veya RVR ≥ 550 m
- CAT II : 60 m (200 feet) > DH ≥ 30 m (100 feet), 550 m > RVR ≥ 350 m
- CAT IIIA : 30 m (100 feet) > DH ≥ 15 m (50 feet), 350 m > RVR ≥ 200 m
- CAT IIIB : DH <15 m (50 feet), 200 m > RVR ≥ 50 m
- CAT IIIC : DH=0, RVR=0

Burada CAT (Category) havalimanının, uçağın ve pilotun sahip olduğu aletli iniş sistemi kategorisini göstermektedir. DH (Decision Height) ise uçağın kalkış ve iniş yaklaşmasında pilot tarafından karar verilebilecek son noktayı göstermektedir. Bu doğrultuda örnek verecek olursak, CATIIIC kategorisi kriterlerinin sağlandığı bir uçuşta görüşün olmadığı durumlar da bile iniş ve kalkış yapma açısından bir sıkıntı söz konusu olmayacaktır.

Diğer yandan yukarıda bahsi geçen sistemlerin pahalı sistemler olması, eğitim ve uçak için eklentileri vb. nedenlerden dolayı her uçak, havalimanı ve pilot bu standartlara uyum sağlayamadığı için bu sistemler sıklıkla kullanılamamaktadır. Bu çalışmada da İstanbul

Havalimanı için meteorolojik parametrelerden biri olan sis hadisesi için şimdigi (nowcasting) ve öngörü (forecasting) uygulamalarına yönelik bir metodoloji paylaşılacaktır.

Sis hadisesinin tahmini ile ilgili olarak dünya literatüründe bazı indekslerden söz edilmiştir. Uzun incelemeler sonucunda ülkemiz açısından da tutarlılığı kontrol edilerek bu indekslerden biri olan FOGSI (Fog Stability Indeks) İndeksi çalışma kapsamında kullanılacaktır.

$$\mathbf{FOGSI} = 2 | (T_{sfc} - T_{850}) | + 2 | (T_{sfc} - T_{D_{sfc}}) | + W_{850}$$

$$\mathbf{Görüş Mesafesi} = -1.33 + 0.45*\mathbf{FOGSI}$$

Bu denklemde yer alan parametrelere ait açıklamalar aşağıda verilmiştir.

- T_{sfc} : Yüzey Sıcaklığı
- $T_{D_{sfc}}$: Yüzey Çiğ Noktası Sıcaklığı
- T_{850} : 850 hPa Sıcaklık
- W_{850} : 850 hPa Rüzgar Hızı

FOGSI, özellikle nem etkisini içeren, sıcaklık gradyanına karşı hassasiyeti fazla olan ve alçak seviye rüzgarlarının etkisini de dikkate alan bir lineer modeldir (ROAB, 2015). Özellikle radyasyon sisi tahmininde daha başarılıdır. Yapılan çalışmalar İstanbul Atatürk Havalimanı için meydana gelen sislerin çoğunluğunun radyasyon sisi olduğunu ortaya koymuştur. İstanbul Havalimanı için de benzer koşulların geçerli olacağı öngörülmektedir. FOGSI İndeksi değer aralıkları ve sis oluşum durumları ile ilgili açıklama aşağıda yer almaktadır.

FOGSI < 31, olması durumu sis oluşma ihtimalinin yüksek olduğunu göstermektedir,

31 < **FOGSI** <55, olması durumu sis ihtimalinin orta seviyede olduğunu belirtmektedir,

FOGSI > 55, olması durumu ise sis ihtimalinin düşük olduğunu ifade etmektedir (Holtslag, 2010; Freeman, 1998).

BÖLGENİN GENEL METEOROLOJİK, TOPOĞRAFİK VE YERLEŞİM ÖZELLİKLERİ

İstanbul Havalimanı, Türkiye'nin metropol şehri İstanbul sınırları içerisinde yer almaktadır. 29 Ekim 2018 tarihinde açılışı yapılan havalimanı şehrin kuzeyinde toplamda 76,5 milyon metrekare alan üzerine kurulmuştur. Havalimanı Karadeniz'e kıyısı olacak şekilde konumlanmıştır. Aynı zamanda güneyinde de Marmara Denizi bulunmaktadır. İstanbul genel olarak birçok bölgenin iklim özelliklerini içerisinde barındırır. Özellikle Akdeniz, Karadeniz, Balkan ve Anadolu iklim özelliklerine benzer yapılar şehirde gözlenir. Uzun yıllar boyunca meteoroloji genel müdürlüğünün yapmış olduğu ölçümler incelendiğinde ortalama sıcaklığın en düşük olduğu ayın 5.7 °C ile Ocak ve Şubat aylarında, ortalama sıcaklık en yüksek olduğu ayın ise 23.1 °C ile ağustos ayında meydana geldiği gözlenmiştir. Ölçümler incelendiğinde ortalama en yüksek sıcaklık değerlerinin en düşük olduğu ay 8.5 °C ile Ocak ayı olup, ortalama en yüksek sıcaklık değerlerinin en yüksek olduğu ay ise 26.8 °C ile Ağustos ayı olduğu gözlenmiştir. Ölçümler incelendiğinde ortalama en düşük sıcaklık değerlerinin en düşük olduğu ay 3.1 °C ile Şubat ayı olup, ortalama en düşük sıcaklık değerlerinin en yüksek olduğu ay ise 20.1 °C ile Ağustos ayı olduğu gözlenmiştir. Ortalama yağışlı gün sayısı incelendiğinde ise Ocak ayının 17.5 gün ile en yağışlı gün olduğu tespit edilmiştir. Temmuz ayı ise 4.2 gün ile en az yağışın meydana geldiği aydır. Aylık ortalama yağış miktarları incelendiğinde Aralık ayı 122.0 kg/m² ile en yağışlı, 31.6 kg/m² ile Temmuz ayının en kurak ay olduğu tespit edilmiştir. 1950-2015 periyodunun ekstrem değerleri incelendiğinde ise ölçülen en yüksek sıcaklığın 41.5 °C ile Temmuz ayında, en düşük sıcaklığın ise -11.0 °C ile Ocak ayında ölçüldüğü gözlenmiştir. Günlük toplam en yüksek yağış miktarı ise 125.5 kg/m², günlük en hızlı rüzgar 113.4 km/sa ve en yüksek kar seviyesinin ise 63.0 cm olduğu tespit edilmiştir.

İstanbul ve çevresi, jeolojik zamanlar içinde III. Zamanın Miosen devri sonunda Sarmat iç denizinin bir körfezi iken, Pliosen devrinde deniz çekilmiş, karalar ortaya çıkmış daha sonra akarsu ve rüzgar aşındırmaları ile uzun bir erozyon devrinin ardından, yükseltilerin kaybolduğu, aşınmaya dayanıklı kuvarsit tepelerin kaldığı, geniş bir peneplen ortaya çıkmıştır. Boğaziçi'nin yerindeki vadi de genişlemiştir. Daha sonra peneplenin Boğaziçi Vadisi'nin doğusunda kuzey kısmın kabarması (yükselmesi) batısında ise güney kısmın kabarması ile su bölümü hatları

değişmiş, akarsu vadilerinde eğim artışı nedeniyle su aşındırması da artmış, doğu yakasında büyük akarsular Karadeniz'e, batı yakasında ise Marmara Denizi'ne dökülmüşlerdir (İBB, 2016). Bu aşındırmalar sonucunda İstanbul, silik yeryüzü şekilleri içeren bir plato şeklini almıştır. Anadolu yakasında aşınmaya dayanıklı bir yapıya sahip olan Aydos, Kayışdağı ve Alemdağ gibi Kuvarsit tepeleri mevcuttur. Avrupa yakası ise fazla yükseltiye sahip olmayan tepeler mevcuttur. Avrupa yakasında aynı zamanda 2 adet doğal göl mevcuttur.

İstanbul, tarih boyunca birçok medeniyete ev sahipliği yapmış olan kadim bir şehirdir. Roma, Bizans ve Osmanlı gibi tarihin iki büyük imparatorluğuna başkentlik yapmıştır. 120'den fazla sultan hüküm sürmüştür. Bugün ki İstanbul'un temelleri M.Ö.7. yüzyılda atılmıştır. İstanbul, Bizans zamanında İstanbul şehrinin yerleşimi ana hatlarıyla Suriçi, Pera ve köyler olarak ayrılabilir. Boğaz hattında ise ulaşım ve iklim nedeniyle yoğun bir yerleşim olmayıp küçük köyler mevcuttur. Bu durum 19. yüzyılın ikinci yarısına kadar sürmüştür. Osmanlı zamanında da şehir ilk başlarda Bizans ile aynı yerleşim özellikleri göstermiş, ilerleyen yıllarda Haliç kıyıları ve Surdışı bölgesinde de yerleşim başlamıştır. 19. yüzyıldan itibaren Boğaziçi bölgesinde de yerleşim yerleri kurulmaya başlanmıştır. Osmanlı İmparatorluğu'nun yıkılması ve kurulan Türkiye Cumhuriyeti ile İstanbul nüfusu 70'li yılların sonuna dek doğal bir artış gösterip 2 milyon civarında iken 80'li yıllarla beraber artan terör ve işsizlik nedeniyle ülkenin geri kalanından aldığı göçlerle beraber hızla nüfusu artarak 2016 yılında 15 milyon sınırına yaklaşmıştır. Bu hızlı nüfus artışıyla beraber şehir hızlı ve çarpık bir şekilde büyümeye başlamıştır. Yerleşim batıda Tekirdağ, doğuda ise neredeyse Kocaeli sınırından kesintisiz bir hal almıştır.

WRF MODEL KURULUMU

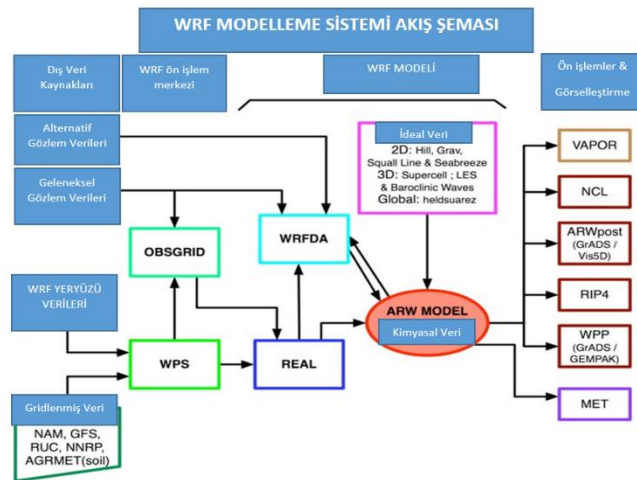
Atmosferik modeller, fiziksel davranışı düzenleyen temel atmosferik korunum yasalarından oluşur. Weather Research and Forecasting (WRF) Modeli de atmosferik araştırmalar ve hava tahmin ihtiyaçları için geliştirilmiş olan yeni nesil orta ölçekli sayısal bir modeldir. Atmosferik modeller yardımıyla, rüzgarın yatay ve dikey bileşenleri (u, v, w), sıcaklık, yüzey basıncı, bulut suyu, bulut buzu, yağmur, kar, vb. değişkenler hesaplanabilmektedir.

Model genel olarak iki dinamik çekirdek, veri asimilasyonu gibi özellikleri ihtiva etmekle birlikte onlarca metre mesafesinden binlerce kilometre mesafelere kadar ihtiyaca uygun olarak hizmet sunmaktadır. WRF Modeli sonuç olarak kullanıcılara gerçek verilerle veya ideal koşullardaki durumlar için atmosferik simülasyonların oluşturulmasına imkan sağlamaktadır.

Modelin çalıştırılmasında 4 aşama bulunmaktadır.

1. Ön işlem (WPS)
2. Başlatma (Real)
3. Sayısal Bütünleştirme (WRF)
4. Görselleştirme

Genel olarak WRF Modeli'ne ait sistem akış şeması Şekil 3.1'deki gibidir (WRF, 2018).



Şekil 3.1. WRF Modeli Sistem Akış Şeması (WRF, 2018).

Bu proje kapsamında, bölgesel WRF-ARW Modeli 3.9 sürümü, küresel NOAA, FNL'nin 0.25 derece çözünürlüklü analiz verileri kullanılmıştır. Model çalışma alanı ise İstanbul olacak şekilde tanımlanmıştır. WRF Modeli iç içe geçmiş 4 alt alandan oluşturulmuştur. Bu alanların çözünürlükleri sırasıyla 27, 9, 3 ve 1 km yatay çözünürlükte ve Lambert harita izdüşümü ile kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. İstanbul Havalimanı merkez olacak şekilde iç içe oluşturulmuş WRF model alanları.

Model kurulumu yapılmadan önce kontrol edilmesi gereken 5 önemli adım bulunmaktadır.

Bunlar;

- Temel sistem gereksinimleri
- Kaynak kodlarının indirilmesi
- Test veri setlerinin indirilmesi
- WRFV3 kurulumu
- WPS kurulumu şeklindedir.

Bu doğrultuda ilk olarak **NetCDF**, **NCAR Graphics**, **GRIB2**, **JasPer**, **PNG**, **zlib** kurulumları yapılmıştır. Bu paketler WRF ve WPS kurulumundan önce gerçekleştirilmiştir. Daha sonra WPS ve WRF için kaynak kodları indirilmiştir. (WPSV3.TAR.gz, WRFV3.TAR.gz).

Bir sonraki aşamada kaynak kodlarının temin edildiği aynı adres üzerinden WPS ve WRF'nin test edilebilmesi için öncelikle örnek "grib verisi" (WPS için) daha sonra arazi ve bölge özellikleri ile ilgili olarak "geogrid" örnek verileri yüksek ve düşük çözünürlüklerde temin edilmiştir. Son aşamada ise "zip" ve "tar" türündeki dosyaları açmak için paketler indirilmiş, WPS ve WRF için indirilen kaynak kodları bu şekilde kullanılabilir hale getirildikten sonra bunların kurulumu başlatılmıştır. Kurulum aşamasında ilk olarak WRFV3'ün kurulumuna başlanmıştır. Bunun sebebi WPS'nin WRFV3 içerisinde yer alan kütüphanedeki paketlerden birisini kullanmasına ihtiyacı olmasından kaynaklanmaktadır.

VERİ TEMİNİ VE DÜZENLEMESİ

İstanbul Havalimanı, 29 Ekim 2018 tarihinde operasyonel olarak hizmet vermeye başlamıştır. Dolayısıyla bu tarihe kadar ki süreçte Havalimanı tarafından yayınlanan herhangi bir meteorolojik rasat bulunmamaktadır. METAR, SPECI, TAF ve SIGMET gibi havacılık amaçlı olarak yayınlanan raporlar ile ilgili bilgiler bu tarihten itibaren toplanmış ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Proje başlangıç tarihinden itibaren WRF Modeli İstanbul Havalimanı merkez olacak şekilde çalıştırılmaktadır. Bu bağlamda çeşitli meteorolojik parametreler üretilmekte, hem yer seviyesi hem de yukarı seviyeler için özellikle FOGSİ İndeksi kapsamında gerekli tüm veriler hazırlanmıştır. İstanbul Havalimanı koordinatları için bu model yardımıyla geçmiş yıllara ait düşey atmosfer verileri elde edilmiştir. Havalimanı yeni açıldığı için geçmiş yıllara ait havacılık raporları bulunmamaktadır. Bu sebeple model yardımıyla geçmiş seneler klimatolojik analizler noktasal ve alansal bazda gerçekleştirilecektir.

ETKİLİ SİNOPTİK SİSTEMLER DAHİLİNDE METEOROLOJİK VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İstanbul Havalimanı, Terkos Gölü'ne çok yakın bir mesafede konumlanmıştır. Terkos Gölü, İstranca derelerinden gelen suların da birikimini sağladığı için İstanbul tatlı su rezervlerinin %22'sini karşılayan bir depo görevi görmektedir. Göl, kapasitesi bakımından, özellikle ilkbaharın sonlarında maksimum seviyelere ulaşmaktadır. Buradaki mevcut su potansiyeli, zaten halihazırda Karadeniz'e çok yakın olan Havalimanı için konveksiyonel hareketlerin oluşması, adveksiyon ve radyasyon sislerinin meydana gelmesi gibi önemli etkilere yol açma potansiyeline sahiptir.

Meteorolojik parametrelere daha ayrıntılı baktığımızda, sıcaklık ve yağış özellikle uçakların iniş ve kalkışlarında olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Özellikle sıcaklık ile bağlantılı olarak pist mesafesi (uçakların iniş ve kalkışlarında ihtiyaç duydukları mesafe) değişkenlik gösterebilmektedir. Yağış açısından durumu incelediğimizde, düşük görüş mesafesi, zeminde bozunumlar, vb. etkiler kaza-kırımlara sebebiyet verebilmektedir. İstanbul Havalimanı'nın bulunduğu bölgeye baktığımızda, kışların ılık geçtiği, yazların ise çok sıcak olmadığı gözlenmektedir. Fakat şehrsel etkiden biraz daha uzak olan bu alanda ara ara sert kış koşullarının da meydana geldiği, gelebileceği düşünülmektedir. Genel olarak bu 2 parametre açısından durum değerlendirmesi yaptığımızda, mevcut koşullar göz önüne alındığında ciddi bir olumsuz etkinin yaşanması beklenmemektedir.

Rüzgar koşulları açısından Havalimanı'nı incelediğimizde, özellikle pist konuşlandırmaları ve hakim rüzgar yönü ile alakalı tartışmalar ve fikir ayrılıkları halen sürmektedir. Proje kapsamında sis hadisesi değerlendirileceği için, rüzgar koşulları hakkında özellikle türbülans, çapraz vey an rüzgar, vb. değerlendirmeler proje kapsamı dışında tutulacaktır.

İstanbul Havalimanı için bahsi geçen meteorolojik parametrelerin bölge için incelenmesi sonucunda özellikle sıcaklık, yağış ve rüzgar durumlarının önemli olduğu, ayrıca bu parametrelerin sis oluşumu ile de doğrudan bağlantılı olduğu görülmüştür. Bu projede sis tahmini için kullanılan indekse ait girdi parametreleri de bu bahsedilen meteorolojik parametreler sonucunda ortaya çıkmıştır.

FOGSI INDEKS, WRF MODEL FAALİYETLERİ VE KLİMATOLOJİK ANALİZ SONUÇLARI

Proje kapsamında kullanılan olan FOGSI (Fog Stability Index) İndeksi için bazı meteorolojik parametre değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Fakat İstanbul Havalimanı yeni açıldığı ve geçmişe yönelik çok az miktarda havacılık raporuna sahip olduğu için, WRF Model kullanılarak 1 Ocak 2009 – 1 Ocak 2019 tarihleri arasında 10 yıllık periyot dahilinde ERA5 verileri kullanılmıştır.

Küresel reanaliz verisiyle ilerlemek adına, ECMWF'in (European Centre for Medium – Range Weather Forecasts), ERA5 küresel hava ve iklim reanaliz verisi kullanılmıştır. Bu veri seti, 2006'da yayınlanan ve 1979 yılından günümüze kadar gelen 6 saat zaman çözünürlüğüne sahip ECMWF'in dördüncü nesil küresel re-analiz verisi olan ERA-INTERIM'in yerine gelmiştir.

ERA5 veri seti ECMWF tarafından oluşturulmuş, bir saatlik zaman ve $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ alan çözünürlüğüne sahiptir. Bu veri seti, ECMWF'in 1980'lerde başladığı FGGE, ERA-15, ERA-40 ve ERA-INTERIM verilerinden sonra beşinci küresel reanaliz verisidir. Reanaliz verileri, modeller ve gözlem verilerinin birleştirilmesiyle mevcut iklime sayısal bir anlam kazandırmayı sağlarlar. ERA5 verisi oluşturulurken kullanılan model, mevcut durumda ECMWF'in tahminleri için kullanıyor olduğu model olan IFS Cycle 41r2 (Integrated Forecast System)'nin reanaliz için uyarlanmış halidir.

ERA5, Ocak 2019 yılı itibariyle ERA-INTERIM veri setinin kapsamındaki ilk yıl olan 1979 yılından itibaren hazır hale getirilmiştir ve 2019 yılı sonunda ise 1950 yılından günümüze kadar gelmesi planlanmaktadır. Bu veri seti içerisinde, bir çok atmosferik, yer ve deniz seviyesi değişkenleri bulunmakla beraber, dikeyde 37 basınç seviyesinden oluşmaktadır.

ERA5 veri setinin, ECMWF'in 4. nesil ERA-INTERIM verisi ve diğer reanaliz verileriyle karşılaştırıldığı tablo aşağıda görülmektedir (Tablo 6.1). Tabloda görülen MERRA-2 verisi NASA tarafından hazırlanırken; CFSR ve CFSv2 verileri NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) çatısı altında oluşturulmaktadır. EMD International firması tarafından bütün bu reanaliz verilerinin, 107 farklı ölçüm istasyonunun rüzgar hızı verisiyle karşılaştırıldığı çalışmanın sonucuna göre ERA5 verisi, ortalama, standart sapma, minimum

ve maksimum değerler göz önüne alındığında; saatlik, günlük ve aylık ortalamaların her birinde daha yüksek korelasyona sahip olduğu gösterilmiştir.

Tablo 6.1. ERA-INTERIM, ERA5 ve diğer very setleri ile ilgili bilgiler

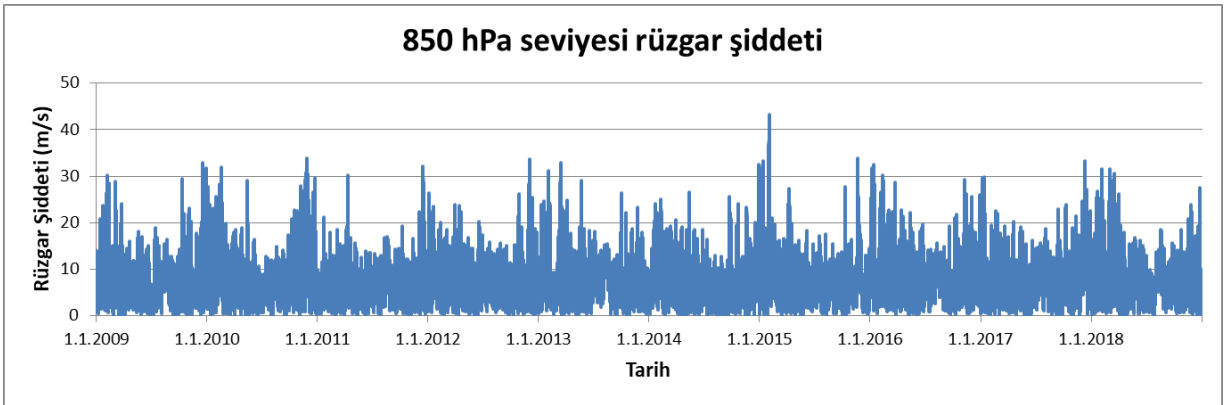
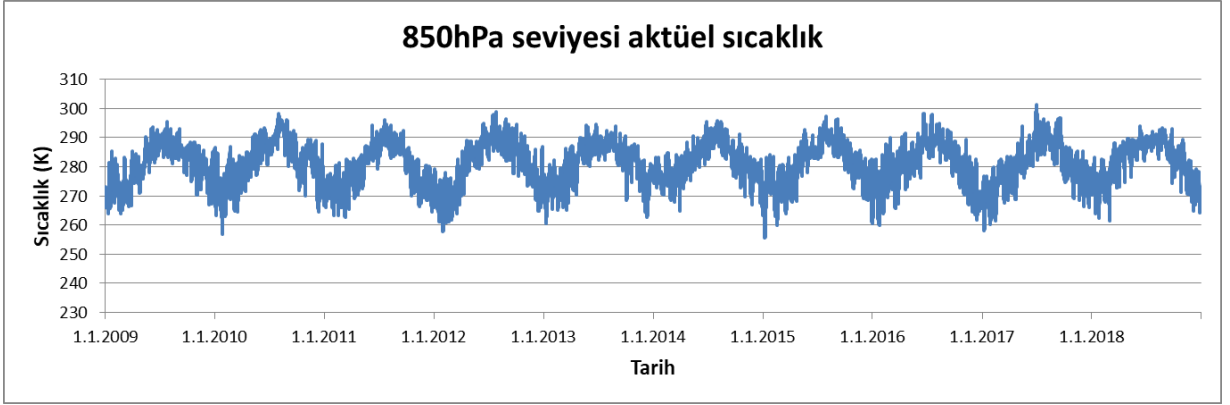
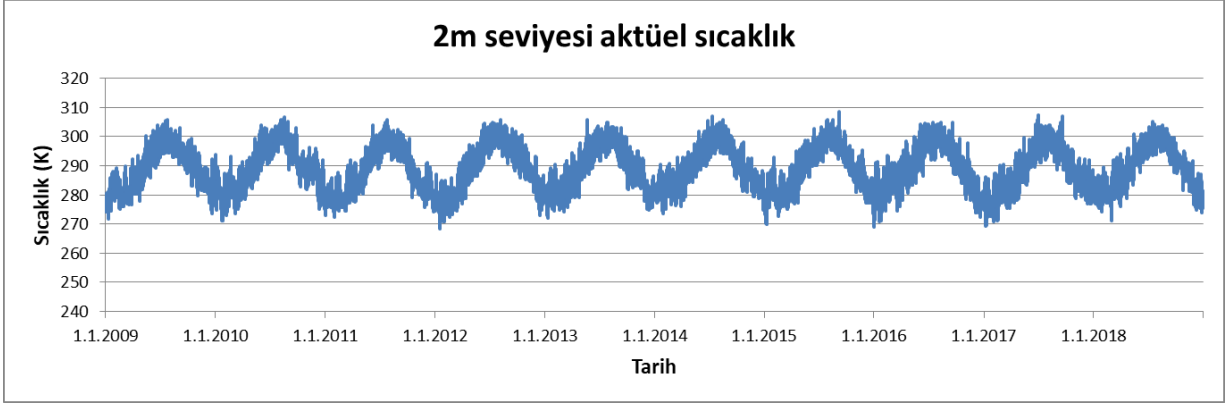
	ERA-INTERIM	ERA5	MERRA2	CFSR/CFSv2
Zaman Kapsamı	1979 – Mart, 2019	1979– Günümüz 1950 – Günümüz (2020 itibariyle)	1980 - Günümüz	CFSR: 1979 – 2010 CFSv2: 2011 - Günümüz
Gerçek zaman gecikmesi	2 – 3 ay	2 – 3 ay ERA5, 2-5 gün ERA5T	1 – 2 ay	1 gün
IFS Model Döngüsü	31r2 (2006)	41r2 (2016)	GEOS 5.12.4	Grid Bazlı İstatiksel İnterpolasyon
Alan çözünürlüğü	79 km	31 km	50 km	38 km / 25 km
Dikey çözünürlük	60 seviye (10 Pa'a kadar)	137 seviye (1 Pa'a kadar)	72 seviye (1 Pa'a kadar)	64 seviye (26 Pa'a kadar)
Çıktı zaman çözünürlüğü	6 saat analiz, 3 saat tahmin	1 saat	1 saat	1 saat

Sonuç olarak, ERA5 veri setiyle ilerlemeye karar verilmiştir ve bu amaçla veri setinin ham grid noktalarından, 41.25° N enlemi ve 28.75° E boylamı noktasından gerekli veriler çekilip; analiz edilmişlerdir (Şekil 6.1). ERA5 veri setinin herhangi bir interpolasyon yapılmadan direkt olarak kullanılması, belirsizliğin artmasını engellerken; çalışma dahilinde istenilen noktaya çok yakın ve bu noktayı oldukça iyi temsil eden bir grid noktasının bulunması da veri setinin tek başına kullanılabilmesi kararında önemli bir nokta olmuştur.



Şekil 6.1. Veri seti için seçilen Havalimanı koordinatı

Klimatolojik analiz sonuçlarına bakıldığında, FOGSI İndeksinde de kullanılan bazı parametrelere ait 10 yıllık zaman serileri aşağıda Şekil 6.2'de verilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre; 2m seviyesinde ortalama aktüel sıcaklık değeri 288.9 K, 2m seviyesinde ortalama çiy noktası sıcaklık değeri 283.9 K, 850 hPa seviyesinde ortalama aktüel sıcaklık değeri 280.8 K ve 850 hPa seviyesi ortalama rüzgar şiddeti değeri 7.93 m/s olarak bulunmuştur. Dewpoint depression olarak adlandırılan, diğer bir deyişle aktüel ve çiy noktası sıcaklıkları arasındaki farka baktığımızda, ortalamada bu değer 4.8 olduğu görülmüştür. 5 K ve altındaki değerler bize çoğunlukla yere yakın seviyede bulut (stratus tarzı) ve dolayısıyla sis oluşumunun bir göstergesidir.



Şekil 6.2. 2m ve 850hPa seviyesine ait bazı meteorolojik parameter değerleri

FOGSI VE GÖRÜŞ MESAFESİ İLİŞKİSİ

Proje kapsamında, FOGSI ve görüş mesafesi arasındaki lineer ilişkiyi gösteren denklemin İstanbul 3. Havalimanı için tutarlılık ve doğruluğu tartışılmıştır. Diğer yandan, rapor içerisinde 3. Havalimanı için sis hadisesinin yaşandığı günlere ait örnek olay incelemesine yer verilmiştir.

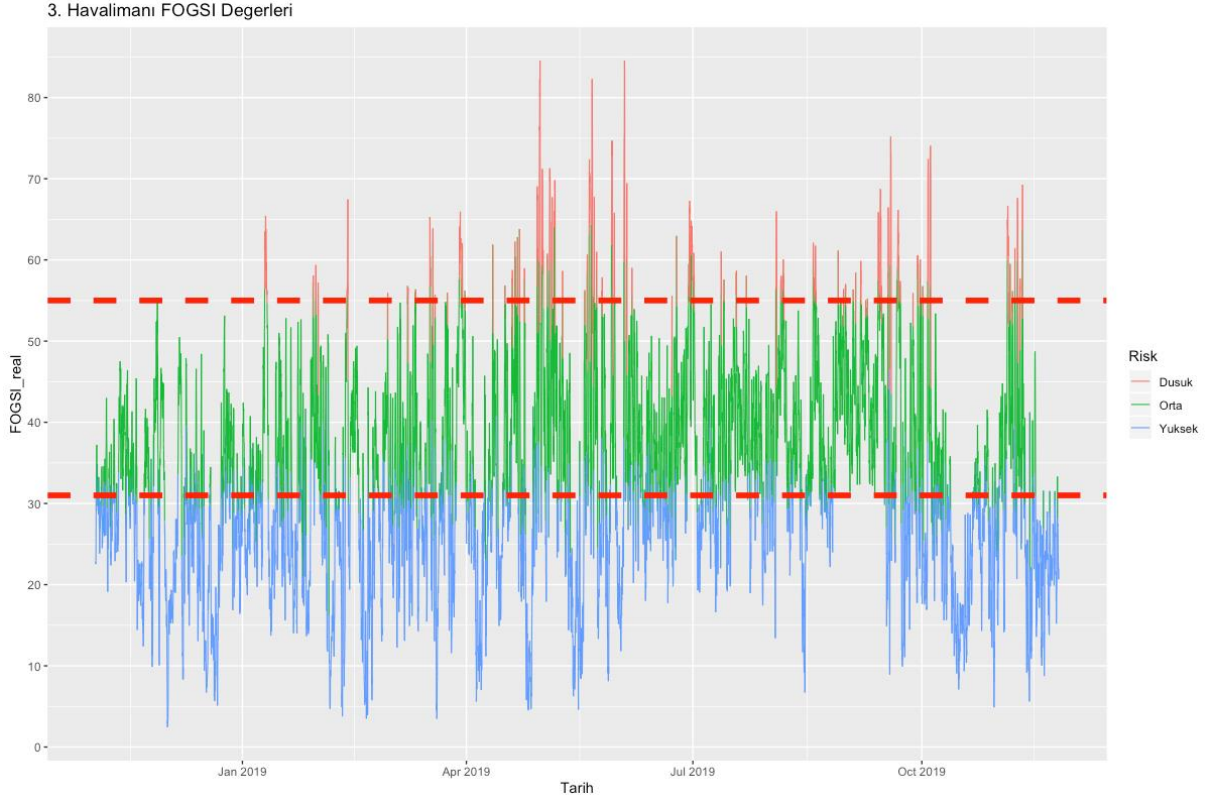
Bu bölümde, LFTM kodlu 3. Havalimanı için IOWA State University'den alınmış yarım saatlik METAR verileri incelenmiştir. METAR verileri 3 Kasım 2018 tarihinden başlayarak, 25 Kasım 2019 tarihine kadar devam etmekte ve yarım saat zaman çözünürlüğüne sahiptir.

Diğer yandan, verileri karşılaştırabilmemiz ve FOGSI değerlerinin hesaplanabilmesi için ihtiyaç olan 850 hPa sıcaklık ve rüzgar hızı verileri için WRF (Weather Research and Forecasting) modeli çalıştırılmıştır. Kullanılması planlanan model ile ilgili gerekli bilgiler 3 ve 6. Bölümlerde verilmiştir.

Model 3 Kasım 2018 ve 25 Kasım 2019 tarihleri arasında çalıştırılmış ve model çıktıları saatlik olarak alınmıştır. Model koşturmaları 3 günlük spin-up süreleri ile yapılmıştır. Diğer yandan, model çıktılarından FOGSI'yi hesaplayabilmemiz için elde ettiğimiz 4 değişken bulunmaktadır. Bunlar yüzey sıcaklığı, yüzey çığ noktası sıcaklığı, 850 hPa sıcaklığı ve 850 hPa yatay rüzgarın u ve v bileşenleridir. 850 hPa yatay rüzgar bileşenleri kullanılarak, rüzgar hızına geçiş yapılmış ve ardından 3. havalimanı için FOGSI değerleri hesaplanmıştır.

FOGSI değerleri aşağıdaki formül baz alınarak 850 hPa değişkenleri için WRF modeli çıktıları, yüzey değişkenleri için METAR verileri kullanılarak 3 Kasım 2018 ve 25 Kasım 2019 tarihleri arası için hesaplanmıştır (Şekil 7.1). Şekil 7.1'de, kırmızı, yeşil ve mavi renkler FOGSI değerlerinin daha önce belirtilen aralıklara göre sis oluşma ihtimalini göstermektedir. Kırmızı, düşük sis ihtimalini gösterirken; yeşil ve mavi renkler sırasıyla orta ve yüksek olasılıkla sis oluşma ihtimalini göstermektedir. Üçüncü havalimanında, 3 Kasım 2018 – 25 Kasım 2019 tarihleri arasında yer alan toplam 9271 saatlik model çıktılarından hesaplanan FOGSI değerlerine göre, 4267 saatte sis oluşma riski yüksek, 4493 saatte sis oluşma riski orta seviyede ve 511 saatte ise sis oluşma riski düşük olarak hesaplanmıştır. Diğer bir deyişle, bu tarihler arasındaki model çıktılarına göre yüksek olasılıkla sis oluşma ihtimali 46% iken, sis

olma ihtimalinin orta seviyelerde olduğu saatlerin sayısı 48.4%'lere denk gelmektedir. Diğer yandan, sis olma ihtimalinin düşük seviyelerde olduğu saatler ise 5.5% olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.1. İstanbul 3. Havalimanı için hesaplanan FOGSI değerleri

FOGSI ve görüş mesafesi arasındaki lineer ilişki denkleminde hareketle model verileri ile elde edilen FOGSI değerlerinden hesaplanan görüş mesafeleri, havalimanı için elde edilen METAR kodlarında yer alan gerçek görüş mesafesi ile karşılaştırılabilmekte ve gerektiğinde bu iki değişkenin ilişkisinin gerekli denklemlerle yeni bir ifadesi söz konusu olmaktadır.

Bu denkleme göre model verileriyle hesaplanan görüş mesafesi ve METAR kodlarından alınan görüş mesafeleri karşılaştırılmıştır. METAR verileri yarım saatlik çözünürlüğe sahipken; karşılaştırmanın yapılabilmesi için saatlik ortalama alınarak gidilmiştir. Diğer yandan görüş mesafesi denklemleri kilometre olarak sonuç verdiği için, METAR kodlarındaki mil uzunluk birimi kilometreye dönüştürülmüştür. Hesaplanan görüş mesafesi verileri maksimum 10 km. olacak şekilde üst limitle sınırlandırılırken, minimum görüş mesafesi de 0'a limitlenmiştir.

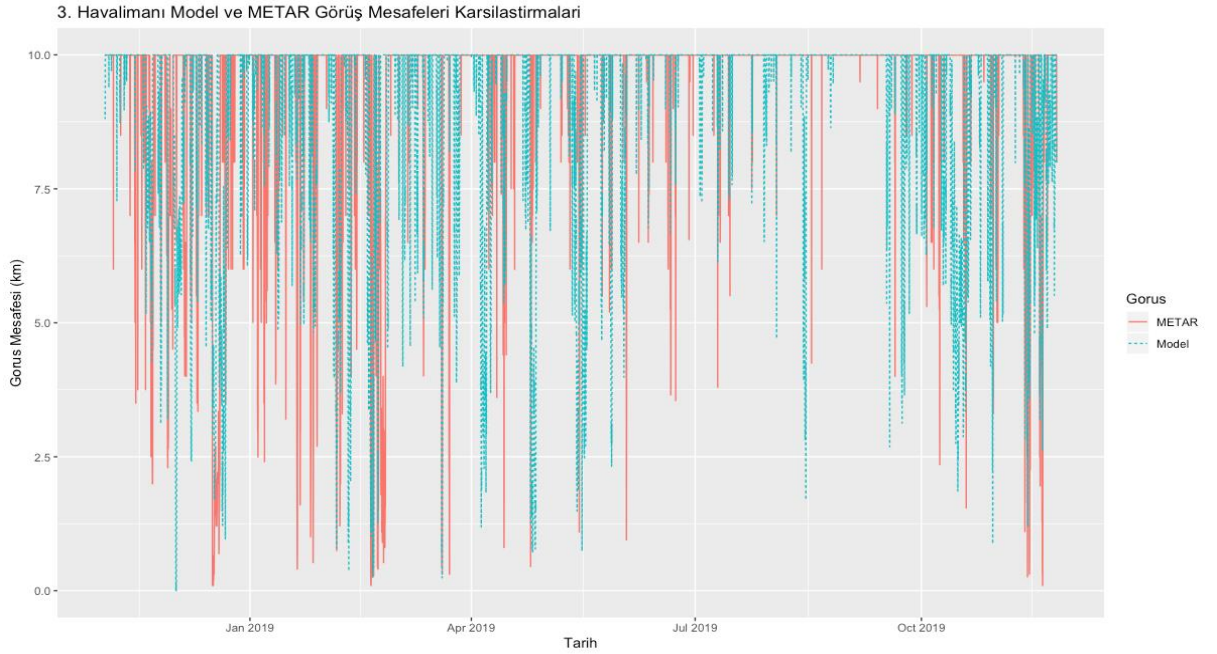
Diğer yandan, görüş mesafesi hesabına geçerken ayrıca hesaplanması gereken FOGSI değerleri, iki farklı şekilde hesaplanmıştır. Bunlardan ilki FOGSI denkleminde yer alan yüzey değişkenleri için (yüzey sıcaklığı ve yüzey çığ noktası sıcaklığı) METAR verilerinin kullanıldığı; diğeri yüzey değişkenleri için de 850 hPa basınç seviyesi değişkenleri gibi WRF modeli çıktılarının kullanılarak hesaplandığı FOGSI değerleridir. Böylelikle, iki farklı FOGSI hesabından hangisinin görüş mesafesine geçerken daha tutarlı sonuçlar verdiği tartışılmıştır.

Aşağıdaki tabloda iki farklı FOGSI değerlerinden hesaplanan görüş mesafelerinin, gerçek görüş mesafeleriyle istatistiksel olarak karşılaştırılması görülmektedir (Tablo 7.1). Tablo 7.1'e göre, FOGSI denkleminde yer alan yüzey değişkenleri için METAR verilerini kullanmanın daha doğru olduğu ortaya çıkmaktadır. Böylelikle, normalize ortalama hata karekökünde ve ortalama mutlak hatalarda düşme görülürken; korelasyonda ise tutarlılık anlamında gözle görülür bir artış fark edilmektedir.

Tablo 7.1. İki farklı FOGSI değerinin karşılaştırması

	Görüş (METAR)	Görüş (WRF)
Korelasyon (Pearson)	0.372	0.258
MAE	0.951	0.959
nRMSE	20.5	22.9

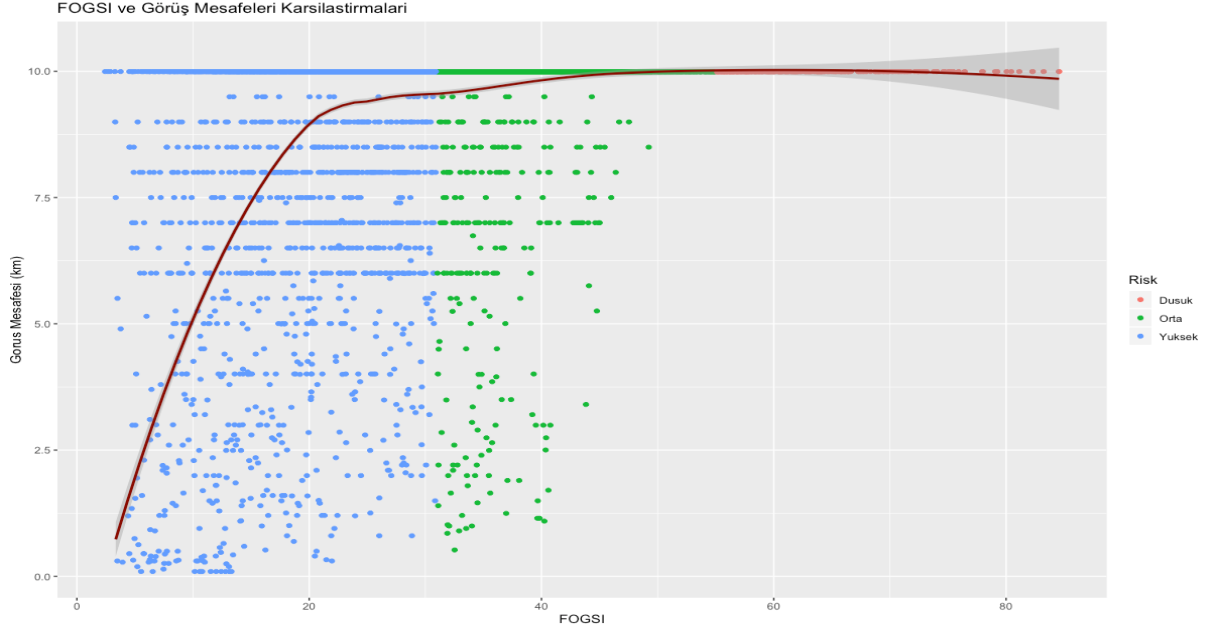
METAR ve WRF verileri kullanılarak hesaplanan FOGSI değerlerinden görüş mesafelerinin, gerçek görüş mesafesi değerleriyle karşılaştırıldığı zaman serisi grafiği ise Şekil 7.2'de verilmiştir. Sonuç olarak, görüş mesafesi lineer modeli kullanılarak elde edilen sonuçların iyi bir model oluşturabilmek için yeterli olmadığı görülmektedir.



Şekil 7.2. Görüş mesafesi değerlerinin karşılaştırması

Dolayısıyla, çalışma içerisinde sonuçları iyileştirebilmek adına daha iyi bir model oluşturulmasına ihtiyaç duyulmuş ve bu ileri safhalarda anlatılacağı üzere gerçekleştirilmiştir. Görüş mesafesi ve FOGSI arasında ilişkiyi daha iyi temsil eden yeni bir modelin kurulumu için; bu iki değişkenin saçılım diyagramı grafikleri aşağıdaki gibidir (Şekil 7.3). Bu saçılım diyagramı üzerine, LOESS yöntemiyle nonlineer bir model oturtulmuştur. Böylelikle, aralarındaki ilişkinin

lineer olmadığı açık olan FOGSI ve görüş mesafesini daha iyi anlamlandırabilen bir model ile ilerlenebilecektir. LOESS veri seti içerisinde lokal bölgelere farklı regresyon modelleri oturtan parametrik olmayan bir yöntemdir. Diğer bir deyişle, lokal olarak ağırlıklandırılmış polinomial regresyon olarak da bilinir. Loess'daki her bir ağırlıklandırılmış en küçük kareler uyumu için kullanılan verilerin alt kümeleri en yakın komşuluk algoritmasıyla belirlenir.



Şekil 7.3. FOGSI ve Görüş mesafeleri karşılaştırması

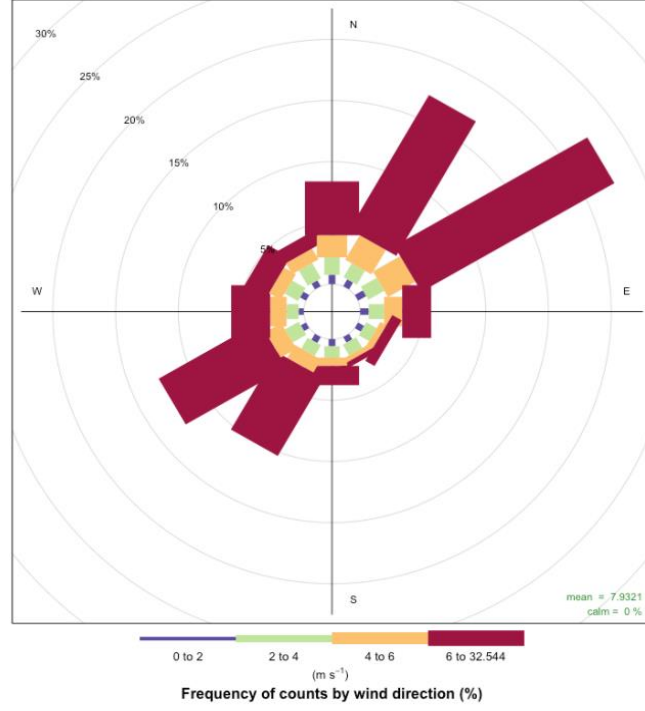
Bu yöntem kullanılarak elde edilen model ile elde edilen görüş mesafelerinin, gerçek görüş mesafeleriyle karşılaştırıldığı tablo aşağıdaki gibidir (Tablo 7.2). Görüldüğü üzere, nonlineer model ile lineer modelin korelasyon, ortalama mutlak hata ve normalize ortalama hata karekökü anlamında biraz daha üzerine çıkabilmek mümkün olmuştur. Ancak, yeteri kadar başarı hala elde edilememiştir. Dolayısıyla, veri seti farklı rüzgar yönlerine ayrı ayrı filtrelenerek, her bir yön filtresiyle ayrılmış veri setine ayrı bir model kurulması planlanmıştır. Böylelikle, her yön kategorisinin kendine ait bir tahmin modeli olacaktır. Bunun için, WRF modeli sonucu elde edilen 850 hPa rüzgar hızı ve yön verileri kullanılmıştır.

Tablo 7.2. Gerçek ve Modelden elde edilen görüş mesafelerinin karşılaştırılması

	Görüş – Eski Lineer Model	Görüş - LOESS
Korelasyon (Pearson)	0.372	0.391
MAE	0.951	0.902
nRMSE	20.5	19.5

850 hPa rüzgar hız ve yön verisinin görselleştirildiği rüzgar gülü grafiği aşağıda görülmektedir (Şekil 7.4). Rüzgar gülü grafiğine göre, 3. Havalimanı 850 hPa basınç seviyesinde birincil hakim rüzgar yönü kuzey doğuluyken; ikincil hakim rüzgar yönü güney batıdır. Dolayısıyla,

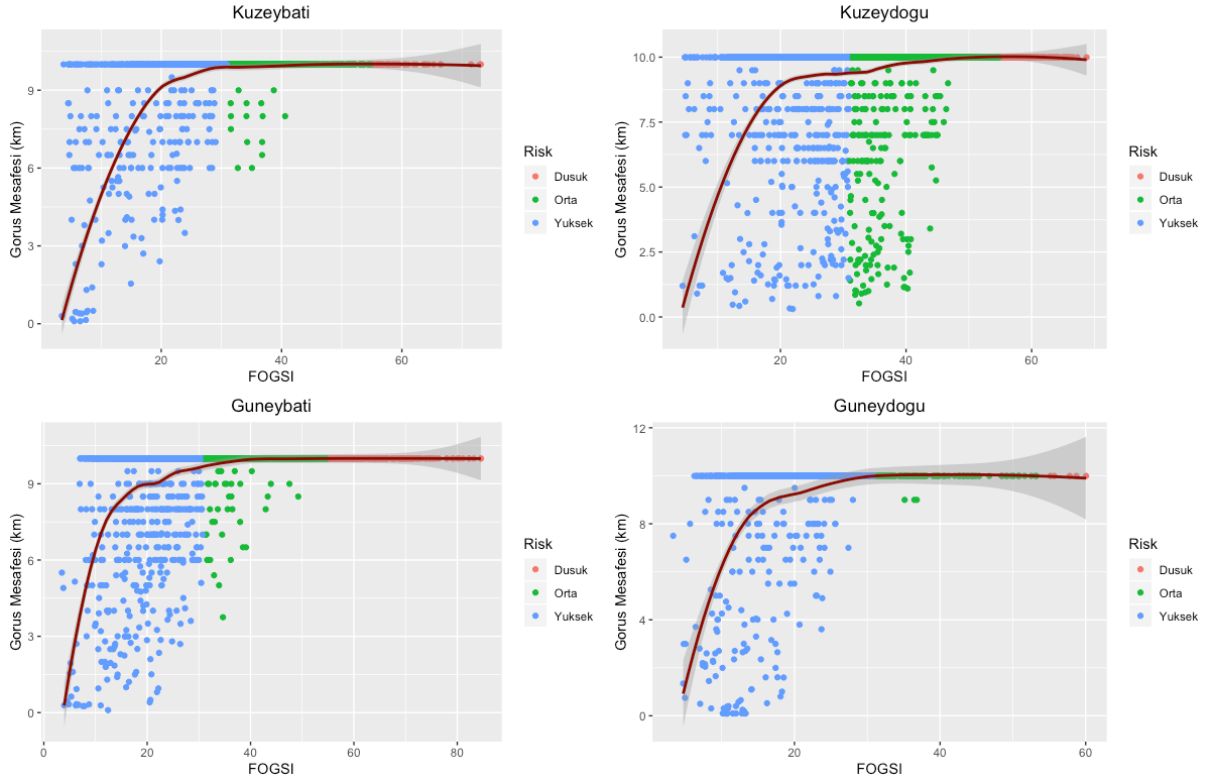
rüzgar yönünün 4 farklı kategoriye ayrılarak filtrelenmesi uygun görünmektedir. Bu kategoriler, 0 – 90, 90 – 180, 180 – 270, 270 – 360 şeklinde belirlenmiştir. Bu kategorilere göre filtreleme işlemi yapıldığında, Kuzey doğuyu temsil eden 0 – 90 kategorisinde toplam veri setinin %48.48'i bulunurken; güney batıyı temsil eden 180 – 270 kategorisinde toplam veri setinin %28.23'ü bulunmaktadır. Kuzey batı ve güney doğuda ise toplam veri setinin sırasıyla %14.5 ve %8'i bulunmaktadır.



Şekil 7.4. Rüzgar gülü

Yönlere göre oluşturulan dört kategorinin saçılım diyagramları ve bu veri bulutlarını en iyi temsil eden eğrilerin (modellerin) çizdirildiği grafikler aşağıda görülmektedir (Şekil 7.5). Şekilden de görüleceği üzere, dört farklı kategori için ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur.

Yön Kategorileriyle FOGSI ve GORUS Mesafeleri Karsilastirmalari



Şekil 7.5. 4 farklı yön kategorisi için oluşturulan modeller

Her bir yön kategorisi için oluşturulan farklı modellerin, yine aynı kategori içinde lineer model ve tüm veriye fit edilen model ile karşılaştırmalarının yer aldığı tablo ise aşağıda görülmektedir (Tablo 7.3). Yönlere göre kategorilenmiş verilere oturtulan modeller, diğer iki yöntemden çok daha iyi sonuç vermektedir. Diğer yandan, sadece bu kategorilere ayrılmış verilere oturtulan modelleri tüm veri setine yön koşullarıyla beraber uyguladığımızda hem korelasyon, hem ortalama mutlak hata hem de normalize ortalama hata karekökü istatistiksel metriklerinde oldukça iyi bir ilerleme gözlenmiştir. Modelin normalize ortalama hata karekökü, 20.8%'lerden, 16%'lara kadar gerilerken; ortalama mutlak hatası 0.945 km'den, 0.817 km'lere gerilemiştir.

Sonuç olarak, ilk olarak oluşturulan yön bazlı dört model ile FOGSI ve görüş mesafesi arasındaki ilişki irdelenmiş ve FOGSI hesabından görüş mesafesine geçilebilmesi için mevcut durumda kullanılan lineer modelin yerlerine bu modeller getirilerek; tutarlılığı daha yüksek görüş mesafesi tahminleri elde edilmiştir.

Tablo 7.3. 4 farklı kategoride oluşturulan modellere ait çıktıların karşılaştırması

Kategoriler	İstatistiksel Metrikler	Lineer Model	Tüm Veri Yeni Model	Kategori Modeli
Kuzeydoğu	<i>Korelasyon</i>	0.178	0.198	0.210
	<i>MAE</i>	0.715	0.771	0.773
	<i>nRMSE</i>	19.8	20.5	16.8
Güneydoğu	<i>Korelasyon</i>	0.434	0.450	0.467
	<i>MAE</i>	2.179	1.737	1.336
	<i>nRMSE</i>	33.9	31.2	26.5
Güneybatı	<i>Korelasyon</i>	0.452	0.474	0.493
	<i>MAE</i>	0.951	0.865	0.754
	<i>nRMSE</i>	20	18.7	14.4
Kuzeybatı	<i>Korelasyon</i>	0.537	0.539	0.533
	<i>MAE</i>	0.958	0.898	0.774
	<i>nRMSE</i>	20.7	18.4	16.5
<i>Kategori Toplam</i>	<i>Korelasyon</i>	0.373	0.389	0.400
	<i>MAE</i>	0.945	0.900	0.817
	<i>nRMSE</i>	20.8	19.7	16

Projenin ara raporları boyunca yapılan ve yukarıda anlatılan tüm analizler sonrasında, FOGSI ve görüş mesafesinden ayrı olarak; makine öğrenmesi algoritmalarından olan gradient boosting machines (GBM) ile yeni bir görüş mesafesi modeli ortaya çıkarılmıştır. Bunun için 3 Kasım 2018 ve 25 Ağustos 2020 tarihleri arasında LFTM kodlu, İstanbul Havalimanı'na ait METAR verileri kullanılmış ve bu veriler IOWA State University websitesi üzerinden alınmıştır. Yaklaşık 662 günden oluşan bu verinin yanında, sis ve görüş mesafesini modelleyebilmek ve FOGSI hesabı için de gerekli olan yukarı seviye verilerini elde edebilmek adına WRF modeli çalıştırılmıştır. 3 Kasım 2018 ve 25 Kasım 2019 tarihleri arasında çalıştırılan WRF modeli, 25 Ağustos 2020 tarihine kadar koşturulmuştur. Böylelikle, elde bulunan gözlem verileri olan METAR verileriyle eş zamanlı olarak, sayısal hava tahmin modeli verileri de elde edilmiştir. Diğer yandan, kurulması planlanan yeni model ile İstanbul Havalimanı'nın uzun yıllar sis analizini yapabilmek adına ERA5 verilerine de başvurulmuştur.

İlk olarak, gözlem verileri olarak; LFTM kodlu 3. Havalimanı için IOWA State University'den alınmış yarım saatlik METAR verileri kullanılmıştır. METAR verileri 3 Kasım 2018 tarihinden başlayarak, 25 Ağustos 2020 tarihine kadar devam etmekte ve yarım saat zaman çözünürlüğüne sahiptir.

Diğer yandan, FOGSI değerlerinin hesaplanabilmesi için ihtiyaç olan 850 hPa sıcaklık ve rüzgar hızı verileri için WRF (Weather Research and Forecasting) modeli çalıştırılmıştır. Model 25 Kasım 2019 ve 25 Ağustos 2020 tarihleri arasında çalıştırılmış ve model çıktıları saatlik olarak alınmıştır. Model koşturmaları 3 günlük spin-up süreleri ile yapılmış ve model çıktıları, 3. ara rapordaki model çıktılarıyla birleştirilmiştir. Böylelikle, 3 Kasım 2018 ve 25 Ağustos 2020 yılları arasında saatlik model çıktıları elde edilmiştir.

Model verileri saatlik ortalamalar halinde elde edilirken; havalimanının METAR verilerinin zaman çözünürlüğü ise yarım saattir. Verilerin eş zamanlı olup; anlamlı bir model çıkartılabilmesi adına METAR verilerinin de saatlik ortalamaları alınmıştır.

7.1 Gradient Boosting Machines ile Görüş Mesafesi Modeli Oluşturma

Daha öncesinde, FOGSI kullanılarak elde edilen lineer görüş mesafesi modelini geliştirebilmek adına, loess yöntemi yardımıyla FOGSI kullanılarak görüş mesafesini elde edebilmek adına nonlineer bir model geliştirilmiş ve lineer modele göre üstünlükleri istatistiksel anlamda gösterilmişti. Bu bölümde ise, makine öğrenmesi algoritmalarından gradient boosting machines yöntemi kullanılarak yeni bir görüş mesafesi modeli elde edilmiştir. Modele girdi olarak kullanılan değişkenler aşağıdaki gibidir (Tablo 7.4).

Tablo 7.4. Modele girdi olarak kullanılan değişkenler

2 metre sıcaklık	850 hPa rüzgar hızı
2 metre çiy noktası sıcaklığı	850 hPa rüzgar yönü
2 metre bağıl nem	925 hPa rüzgar hızı
850 hPa sıcaklık	925 hPa rüzgar yönü

Tablo 7.4'ten de görüleceği üzere FOGSI hesabından farklı olarak 925 hPa rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri de modele eklenmiştir. Wantuch'un (2011), Visibility And Fog Forecasting Based On Decision Tree Method isimli çalışmasında kurulan görüş mesafesi ve sis ile ilgili karar ağacında da 925 hPa verileri de modellerine eklenmiş ve bu doğrultuda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Kurulan modelde yüzey verileri için METAR verilerinden yararlanılırken; yukarı seviye verileri için WRF modeli çıktıları kullanılmıştır.

GBM modelini anlatmaya geçmeden önce; modelin temelinde yer alan ve gelişiminde büyük katkısı olan karar ağaçlarından bahsetmekte fayda vardır. Karar ağaçları, sınıflandırma veya regresyon problemlerinde sıklıkla uygulanan bir makine öğrenmesi yöntemidir. Temel anlamda hedef değişkeni, geçmiş veriden elde edilen basit karar kuralları ile tahmin eden bir modeldir. Modelin ağaç yapısı, hedef değişkenin tahminine giderken belirli koşullar dahilinde oluşturulan karar mekanizmalarının birbirleriyle olan bağından gelmektedir. Bir karar ağacı modeli örneğinde gerekli olan algoritmanın temeli; eğitilmesi düşünülen veri seti elde edildikten sonra, bu veri setini en iyi ayıran niteliği belirlemekten geçmektedir. Veri setinin nasıl ayrılması gerektiğiyle ilgili literatürde önemli iki yöntem bulunmaktadır. Bunlar bilgi kazancı ölçümü (Information Gain) ve Gini İndeks'tir. Bilgi kazancı ölçümü için en çok kullanılan yöntem entropi ölçümüdür. Entropi; rastgelelik ve düzensizliğin bir ölçümüdür ve bu ölçüm için gerekli formül aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned}
H(X) &= \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 \left(\frac{1}{p(x_i)} \right) \\
&= - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i)
\end{aligned}$$

Yukarıdaki formülde $H(X)$, X veri kümesinin entropisini gösterirken; $p(x_i)$ ise X kümesindeki, hedef değişkenlerin oluşma olasılığını göstermektedir. Bütün kümenin entropisi hesaplandıktan sonra ise hangi niteliğin en fazla bilgi kazancı getirdiğini anlayabilmek adına aşağıdaki gibi ilerlenir;

$$Kazanç(X, A) = H(X) - \sum_{j=1}^n p(v_j) H(X(V_j))$$

Yukarıdaki formülde $p(v_j)$, A niteliğindeki değerlerin oluşma olasılığını gösterirken; $H(X(V_j))$ ise X veri kümesinde yer alan A niteliği içerisindeki alt kümelerin ayrı ayrı entropilerini göstermektedir. Bu durumda, formülün negatif kısmı ne kadar küçük olursa; o nitelikten daha fazla bilgi alınacaktır.

Diğer yandan, Gini indeksi ise aşağıdaki şekilde belirlenir;

$$Gini(X) = 1 - \sum_{i=1}^n p(x_i)^2$$

Yine aynı şekilde formülde, $Gini(X)$, X veri kümesinin Gini indeksini gösterirken; $p(x_i)$ ise X kümesindeki, hedef değişkenlerin oluşma olasılığını göstermektedir. Bu belirleme yöntemleri, hem ağacın kökü hem de ağacın alt düğümlerinde kullanılmaktadır.

Diğer yandan, karar ağaçlarının birleştirilip yeni bir model oluşturulması da mümkündür. Bu yeni model, bagging ve boosting olmak üzere iki farklı yöntemle oluşturulabilmektedir. Bagging yöntemi ile eğitilmesi planlanan veri seti rastgele alt gruplara ayrılarak; her alt grubun kendi karar ağacı oluşturulur ve bunun sonucunda elimizde birden fazla karar ağacı modelinin topluluğu olur. Böylelikle oluşturulan her model tahmini birleştirilerek; tek bir karar ağacının tahmininden daha düşük varyansa sahip bir tahmin elde edilir. Bagging yöntemi kullanılarak oluşturulan modellere rastgele orman modelleri denmektedir. Bu modellerde, başarımının çok yüksek olmasına gerek olmayan ve rastgele üretilen karar ağaçlarının “bagging” yöntemi ile varyansının düşürülmesi esastır. Diğer yandan “boosting” yöntemi, karar ağaçları topluluğundan bir model elde etmek için kullanılan diğer bir yöntemdir. Boosting yöntemindeki

temel prensip yeni elde edilen modelleri art arda eklemektir. Burada her bir yeni ağaç, mevcut temel modeldeki kalan değerleri (residuals) düzelterek ilerler. Boosting yönteminde; öncelikle eğiteceğimiz veri setine uyarlanan bir temel karar ağacı modeline ihtiyacımız vardır. Bunun için;

$$F_1(x) = y$$

x, değişkenlerini verdiğimizde y tahminini yapan bir F_1 karar ağacı modeli düşünelim. Ardından bu modelin hatalarını (residuals) tahmin eden yeni bir model oluşturalım;

$$h_1(x) = y - F_1(x)$$

Elde edilen yeni modeli eski modelimizle topladığımızda yeni bir $F_2(x)$ modeli elde ederiz.

$$F_2(x) = F_1(x) + h_1(x)$$

Ardından F_2 modelinin hataları için yeni bir model eğitirsek;

$$h_2(x) = y - F_2(x)$$

Böylelikle, yeni F_3 modeli oluştururuz;

$$F_3(x) = F_2(x) + h_2(x)$$

Kısacası, M sayıda model oluşturulduğunda;

$$F_M(x) = F_{M-1}(x) + h_{M-1}(x)$$

şeklinde bir denklem ile karşılaşırız. Bu yöntem boosting olarak geçmektedir ve cross-validation gibi farklı kontrol mekanizmaları dahilinde, modelin gelişimi artmaya devam edene kadar sürdürülür.

Kararağaçlarının da dahil olduğu birçok algoritma kalan değerleri minimize etmeye odaklanır ve çoğu zaman ortalama kare hataları gösteren bir cost function (maliyet fonksiyonu) ile ilişkilendirilir. Ortalama kare hataları gösteren maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilir;

$$L(y, F_M(X)) = \sum_{i=1}^n (y_i - F_M(x_i))^2$$

Burada, F_M oluşturulan modeli gösterirken; gerçek değer ve model sonucunun girdi olarak kullanıldığı maliyet fonksiyonu ise $L(y, F_M(X))$ şeklinde gösterilir. Model çıktısını $F_M(X)$ yerine \hat{y} ile gösterirsek;

$$L(y, \hat{y}) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Bu durumda daha önceden belirtildiği gibi maliyet fonksiyonunu minimize etmek öncelikli amacımız olduğundan, burada gradyan azalma yöntemini kullanırız. Gradyan azalma ile, maliyet fonksiyonunun türevi alınır ve böylelikle lokal minimum noktasına ulaşmak amaçlanır. Bunun için maliyet fonksiyonumuzun y_i^p 'ye göre türevini alıp bu değeri belirli bir öğrenme oranı ile çarparsak; fonksiyonun minimum noktasını elde etmek üzere öğrenme oranının büyüklüğüyle orantılı olarak ilerleme gerçekleşir.

$$F_b(x_i) = F_{b-1}(x_i) + \gamma(-\nabla L(y_i, F(x_i)))$$

Yukarıdaki formülde F_b b iterasyonundaki modeli göstermektedir. Ayrıca, γ öğrenme oranını gösterirken; ∇ gradyanı göstermekte; dolayısıyla maliyet fonksiyonunun birinci dereceden kısmi türevini temsil etmektedir. Yukarıda maliyet fonksiyonu ortalama kare hata olduğundan, bu fonksiyonun türevi kalan değerleri verecektir.

Çalışmada, GBM modeli olarak R dilinde hazırlanan xgboost kütüphanesi kullanılmıştır. Bu model için seçilen hiperparametreler aşağıdaki gibidir (Tablo 7.5).

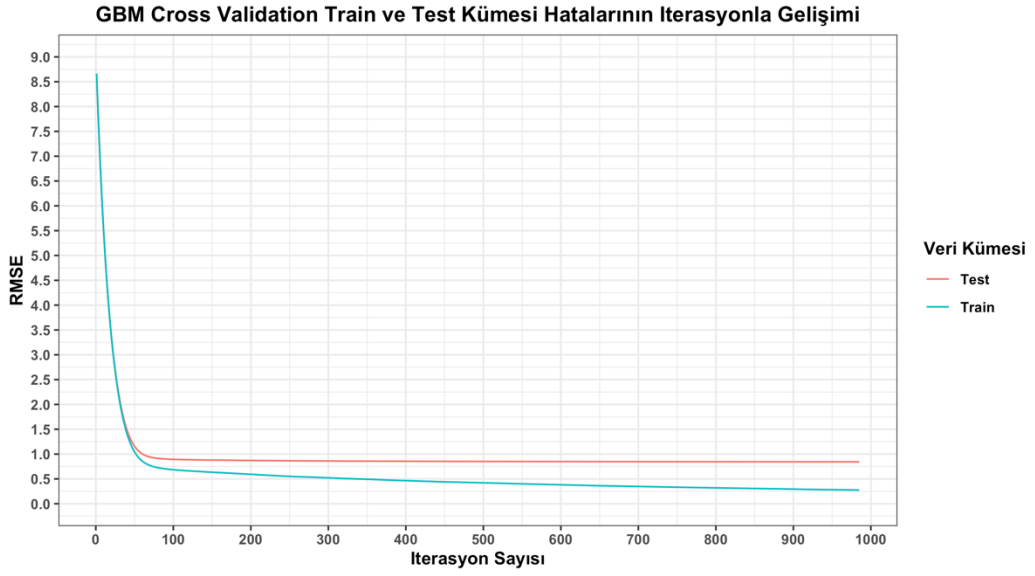
Tablo 7.5. GBM modeli için seçilen hiperparametreler.

Ağaç Sayısı	965
Öğrenme Oranı	0.05
Maksimum Derinlik	6
Erken Durma Sayısı	20

Bu işlem için seçilen hiperparametreler sırasıyla; ağaç sayısı, öğrenme oranı ve maksimum ağaç derinliği ve erken durma sayısıdır. Ağaç sayısı, kurulması planlanan modelde yer alacak ve tahminlerin hatasını düşürmeyi sağlayacak toplam karar ağacı sayısını gösterir. Modelde öncelikle rastgele yapılan tahminden biraz daha yüksek tutarlılığa sahip bir ağaç ile veriye model oturtulur ve sonrasında, modelin hataları ve kalan değerlerine modeller oturtulmaya devam edilir. Böylelikle, hatalardan öğrenme yoluyla GBM modeli oluşturulur. Öğrenme oranı ise GBM modelinin bir sonraki ağacın tahmininde hatayı ne kadar hızlı düzelttiğinin ölçüsünü gösteren bir çarpandır. Örneğin, mevcut durumda bir GBM modelinin tahmininin 0.2 olduğunu ve bir sonraki ağacın bu değeri 0.8 olarak tahmin ettiğini varsayalım. Bu durumda, düzeltme 0.6 olarak alınabilir ve öğrenme oranının 1 olduğu durumda güncellenmiş tahmin $0.2 + 1(0.6)$ denkleminde 0.8 olarak bulunacaktır. Ancak, öğrenme oranının 0.1 olduğu durumda ise $0.2 + 0.1(0.6)$ yani 0.26 yeni tahmin olacaktır. Genelde düşük değerler daha iyi sonuç verse de, bu durum daha çok ağaç sayısı gerektirdiğinden (modelin eğitim sürecinin uzaması anlamına gelir) aralarındaki ilişki iyi kurulmalıdır. Diğer yandan, ağaç derinliği ise her bir ağacın sahip olacağı derinliği belirlemektedir. Genelde yüksek ağaç derinliği daha kompleks modeller oluşturmaya yararken, bu durum modelin overfit olmasına da neden olabilir. Son olarak erken durma sayısı ise modelin belirlenen hata metriğinde daha fazla gelişme olmaması durumunda

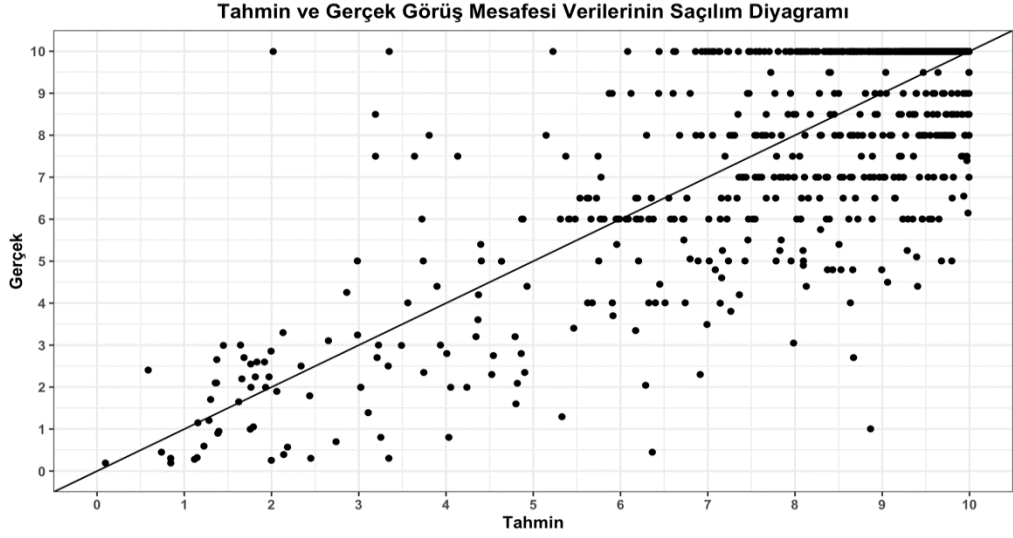
daha fazla çalışmayarak durmasını sağlayan bir hiperparametredir. Burada belirlenen 20 sayısı ise bu gelişmeyi modelin 20 ağaçta bir kontrol etmesini sağlar.

Modele girdi olarak hazırlanan veri seti, train ve test olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Train kümesine toplam verinin % 80'i ayrılırken; geriye kalan veri test kümesi için ayrılmıştır. Gradient boosting modelinde overfit olmaması ve modelin belirlenen hiperparametrelerde kaç ağaca ihtiyacı olduğunu bulabilmemiz için 5 alt kümeden oluşan cross-validation modeli kurulmuştur. Bu modelin train ve test kümelerindeki hatalarının belirlendiği grafik aşağıdadır (Şekil 7.6).



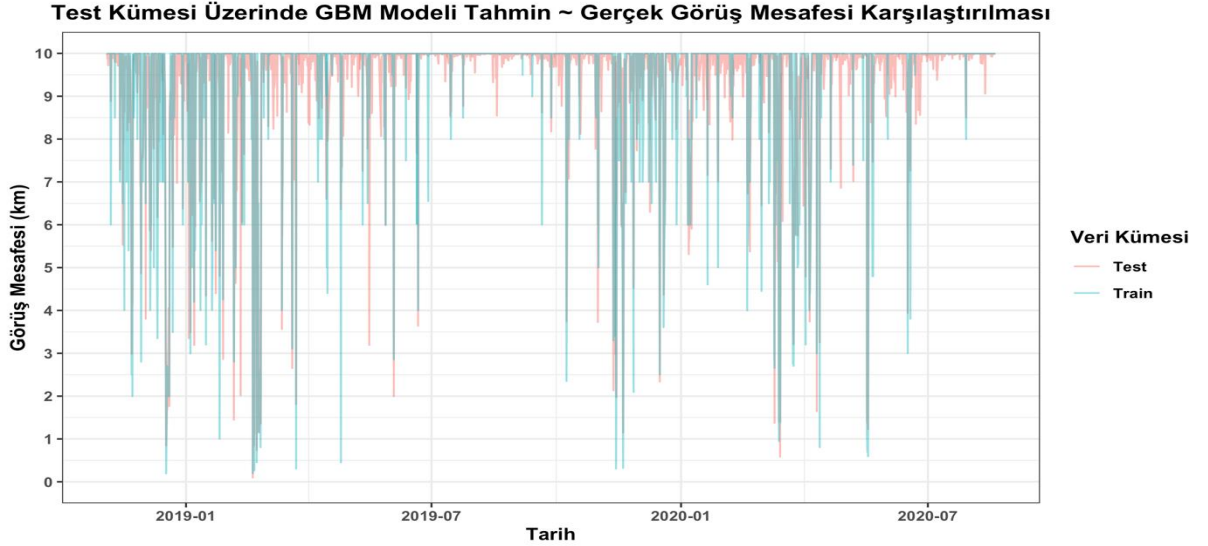
Şekil 7.6. GBM Cross Validation sonuçlarının test ve train kümesinde iterasyonlar ile gelişimi.

Cross validation'a göre en iyi iterasyon 965. ağaçta gerçekleşmiştir. Bu yüzden GBM modelin 965 ağaçtan oluşması planlanmıştır. Train kümesi üzerinde GBM modeli kurulmuş ve test kümesi üzerinde model denenmiştir. Modelin tahminlerinin gerçek görüş mesafesi ile karşılaştırıldığı saçılım diyagramı aşağıda gösterilmiştir (Şekil 7.7).



Şekil 7.7. Tahmin ve gerçek görüş mesafesi verilerinin saçılım diyagramı.

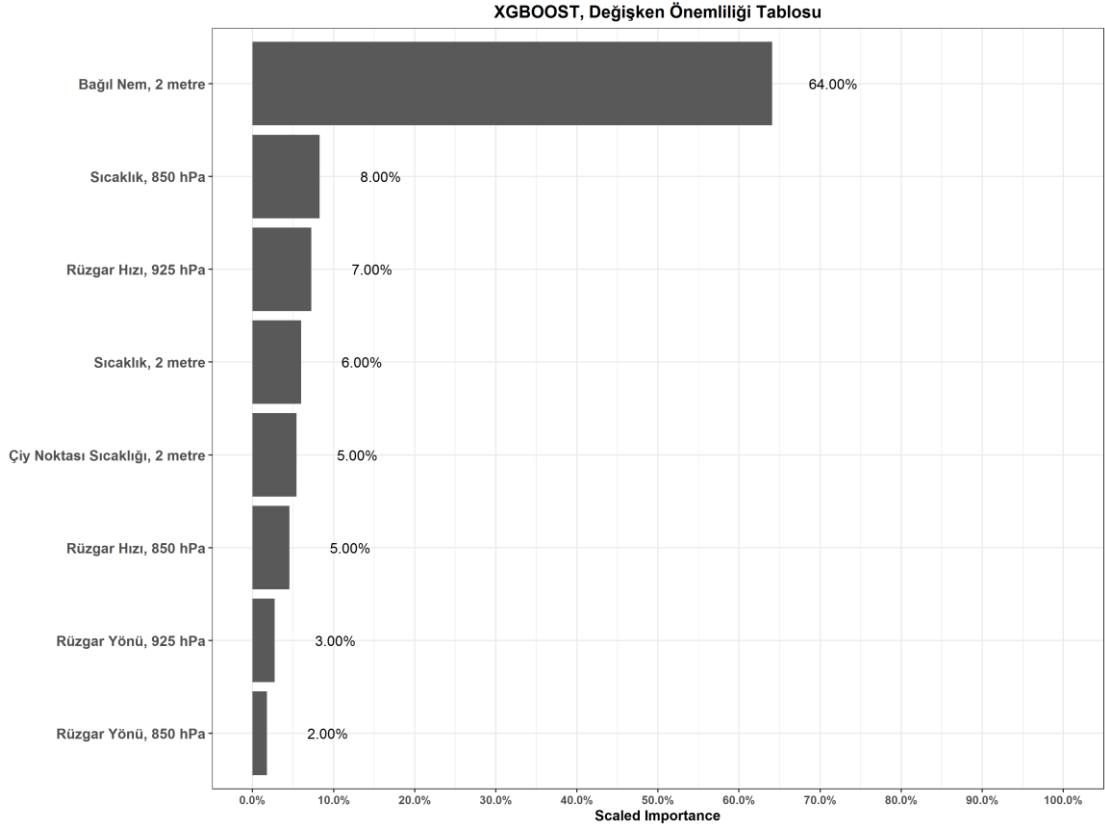
Şekil 7.7'de görülen lineer çizgi $x=y$ çizgisini göstermektedir. Model sonuçlarının tutarlılığı noktaların, bu çizgi etrafında olup; köşe noktalarda olmaması ile gösterilebilir. Diğer yandan, grafikteki noktaların bu çizginin daha çok altında olması ise elde edilen modelin, genel olarak overestimate ettiğinin göstergesidir. Modelin test kümesi üzerindeki sonuçlarının zaman serisi grafiği aşağıda Şekil 7.8'de görülmektedir.



Şekil 7.8. Test kümesi üzerinde GBM modeli tahminlerinin ve gerçek görüş mesafesinin zaman serisi grafiğiyle karşılaştırılması.

Elde edilen bu modelin istatistiksel olarak tutarlılığı da incelenmiş ve sonuçlar bir önceki raporda nonlineer model ile elde edilen sonuçlara kıyasla oldukça tatmin edici bulunmuştur. Bir önceki ara raporda 0.4'lerde olan pearson korelasyon katsayısı, bu model ile 0.854'e yükselmiştir. Diğer yandan, RMSE 0.819 olarak hesaplanırken; MAE 0.338 olarak

hesaplanmıştır. Kurulan modelde kullanılan değişkenlerin, modele katkısı şekil 7.9'da gösterilmektedir.

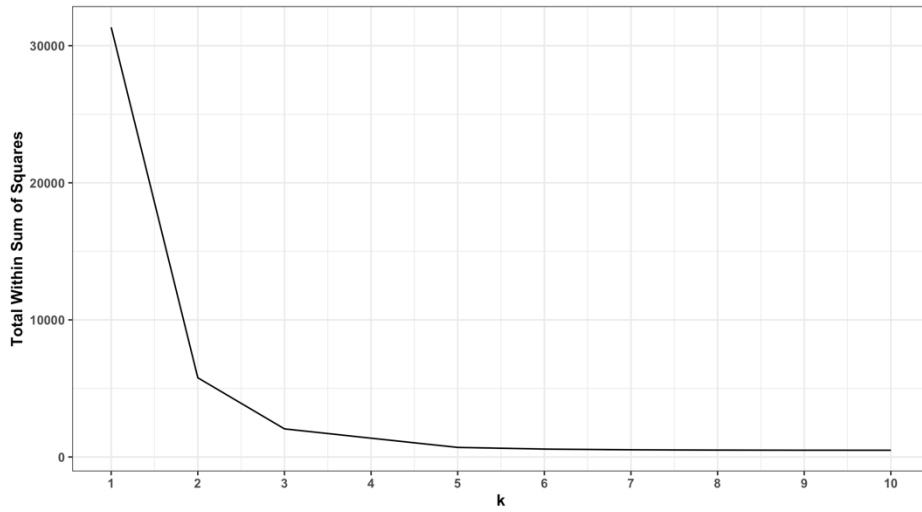


Şekil 7.9. İstanbul Havalimanı, 3 Kasım 2018 ve 25 Ağustos 2020 tarihleri arasında METAR verilerinden elde edilen görüş mesafelerinin sınıflandırılması.

Şekil 7.9'a göre modele en büyük katkı 64% ile 2 metre bağıl nem verisinden gelirken; en düşük katkı yön verilerinden gelmektedir. Yön verileri, modele eklenirken 8 kategoriye ayrılmıştır (Kuzey, Kuzeydoğu, Doğu, Güneydoğu, Güney, Güneybatı, Batı, Kuzeybatı). FOGSI'nin hesaplanabilmesi için gerekli olan değişkenlerin haricinde modele eklenen 925 hPa rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri 850 hPa rüzgar hızı ve yönü verilerinin önem açısından önündedirler. 925 hPa rüzgar hızı verilerinin önemi 7% iken; 850 hPa rüzgar hızı verisinin önemi 5%'dir. Diğer yandan, yön verileri ise 925 ve 850 hPa için sırasıyla 3% ve 2% olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, görüş mesafesi hesabında 925 hPa verilerinin, 850 hPa verilerinden daha önemli olduklarını söyleyebiliriz.

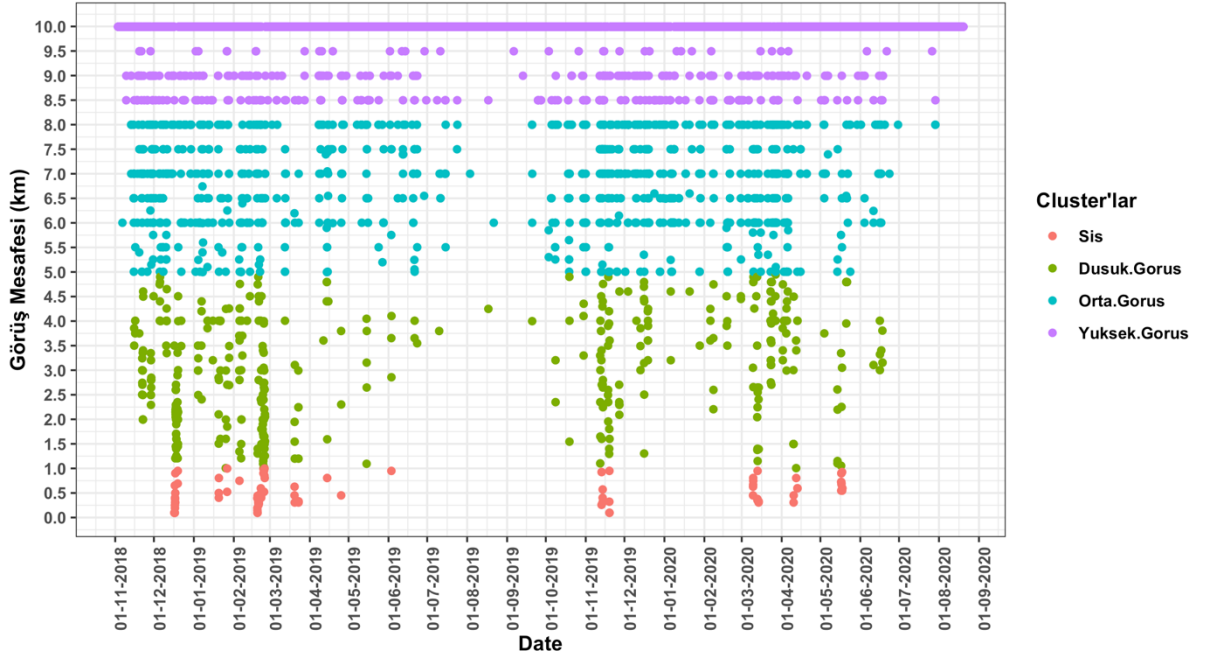
7.2 Görüş Mesafesi Sınıflandırması

Görüş mesafelerini daha iyi ifade edebilmek adına, bu verilerin sınıflandırılmasına karar verilmiştir. Bunun için METAR'dan elde edilen gerçek görüş mesafeleri kullanılmıştır. Sınıflandırma öncesinde, sis için 1 km ve altı görüş mesafesinin olması gerçeği göz önüne alınmış ve bu veri bu şekilde sınıflandırılarak toplam verinin içerisinde çıkarılmıştır. Kalan görüş mesafesi verilerini sınıflandırabilmek için ise KNN yöntemine başvurulmuştur (Şekil 7.10).



Şekil 7.10. KNN algoritmasının k değeri incelemesi.

KNN yönteminin en önemli parametresi k'dır. k, istenilen veri setinin kaç parçaya ayrılacağını belirleyen parametredir. Buna karar verebilmek için kullanılan yöntemlerden biri dirsek grafikleridir. Bu grafiklerde, belirlenen clusterlar içerisindeki toplam kare hata çizdirilir ve optimum cluster sayısı, bu grafiğin çizgisinin ilk dirsek yaptığı yerdir. Şekil 5'ten de görüleceği üzere, bu grafik; k = 2 veya k = 3 noktasında dirsek yapmaktadır. Verinin içerisinde 1 km ve altı görüş mesafesi zaten bir cluster oluşturduğundan ve en az 4 clusterın olması istendiğinden; 3 sayısı ile ilerlenmiştir (Şekil 7.11). Cluster sonuçlarına göre, elde edilen sınıflandırma grafiği Tablo 7.'da verilmiştir.



Şekil 7.11. Clusterlandırma sonucu oluşturulan 4 sınıfın zaman serisi.

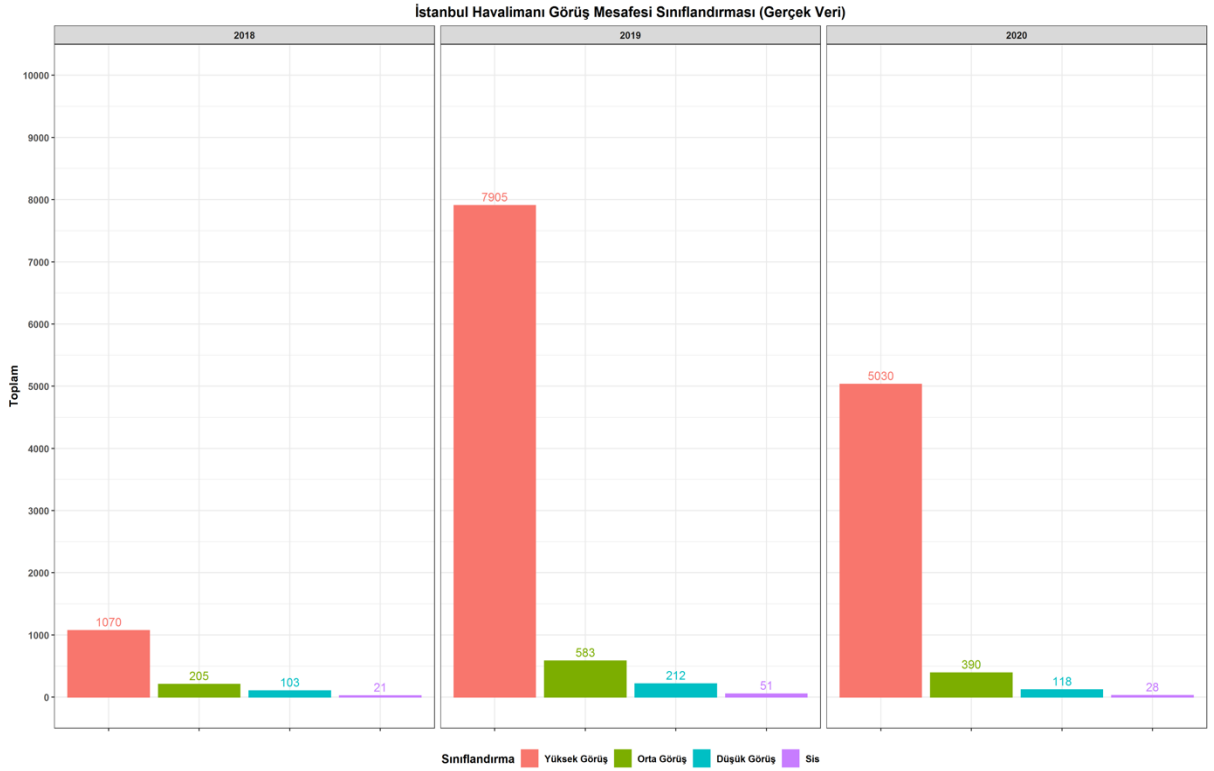
Tablo 7.6. KNN ile görüş mesafesi sınıflandırma sonuçları.

	Minimum Sınır (km)	Maksimum Sınır (km)
Sis	0	1
Düşük Görüş	1	4.99
Orta Görüş	4.99	8.49
Yüksek Görüş	8.49	10

7.3 İstanbul Havalimanı ERA5 Uzun Dönem Görüş Mesafesi Analizi

Görüş mesafesini tahmin eden başarılı bir makine öğrenmesi modeli kurulmasının ardından, bu model ile İstanbul Havalimanı üzerinde 1979 yılından İstanbul Havalimanı'nın METAR verilerinin ilk tarihine kadar ERA5 verileri kullanılarak, uzun dönemli görüş mesafesi tahmini yapılmış ve bölgenin sis analizi gerçekleştirilmiştir. ERA5 verisi 41.25 kuzey enlemi ve 28.75 doğu boylamı noktasından çekilmiştir. Bu noktadan çekilen değişkenler; 2 metre sıcaklık, 2 metre çiy noktası sıcaklığı, 2 metre bağıl nem, 850 hPa sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü, 925 hPa rüzgar hızı ve yönüdür. Bu koordinatlardan alınan verilerin, İstanbul Havalimanı'nın koordinatları olan 41.259 kuzey enlemi ve 28.742 doğu boylamına oldukça yakın olmaları ve aynı zamanda ERA5 reanaliz verisinin tam grid noktalarında bulunmasından dolayı direkt olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Bu analizde İstanbul Havalimanı'nın METAR verilerinin olduğu tarihler için gerçek görüş mesafesi kullanılırken; 1979'dan METAR verilerinin ilk tarihine kadar olan süre için, yukarıda anlatılan görüş mesafesi modeli kullanılmıştır.

Şekil 7.12'de çalışmanın görüş mesafesi sınıflandırması bölümünde bahsedilen kNN yöntemi ile elde edilen Yüksek Görüş, Orta Görüş, Düşük Görüş ve Sis olmak üzere 4 adet görüş mesafesi sınıfına göre METAR verilerinin sınıflandırılması görülmektedir. Buna göre yıllar içerisinde, 2018 yılında 21, 2019 yılında 51 ve 2020 yılında ise 28 adet sis sınıflandırması meydana gelmiştir. 2018 yılı verileri 3 Kasım'dan itibaren olmasına rağmen bu yıl içerisinde toplamda 21 adet sis hadisesi olması, İstanbul Havalimanı üzerinde özellikle Kasım ve Aralık aylarında sis hadisesinin yoğunlukta olduğunu göstermektedir. 2018 yılı özelinde, toplamda yer alan 8751 saatin, 846 saatinde görüş mesafesi yüksek görüşten farklı olarak, 8.49 km'nin altına düşmüştür. Bu, yılın %9.6'sına denk gelmektedir.



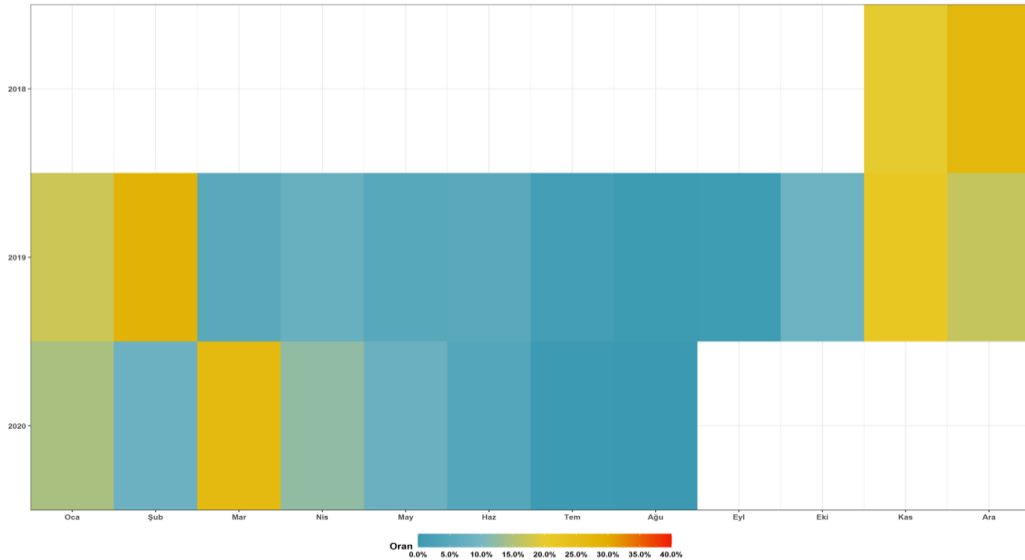
Şekil 7.12. İstanbul Havalimanı, 3 Kasım 2018 ve 25 Ağustos 2020 tarihleri arasında METAR verilerinden elde edilen görüş mesafelerinin sınıflandırılması.

Şekil 7.13'de ise, 1979 ve 2020 yılları arasında ERA5 ve METAR verilerinden elde edilen görüş mesafelerinin sınıflandırılması görselleştirilmiştir. ERA5 verilerinden görüş mesafesi, yukarıda GBM ile elde edilen görüş mesafesi modeli ile hesaplanmıştır.



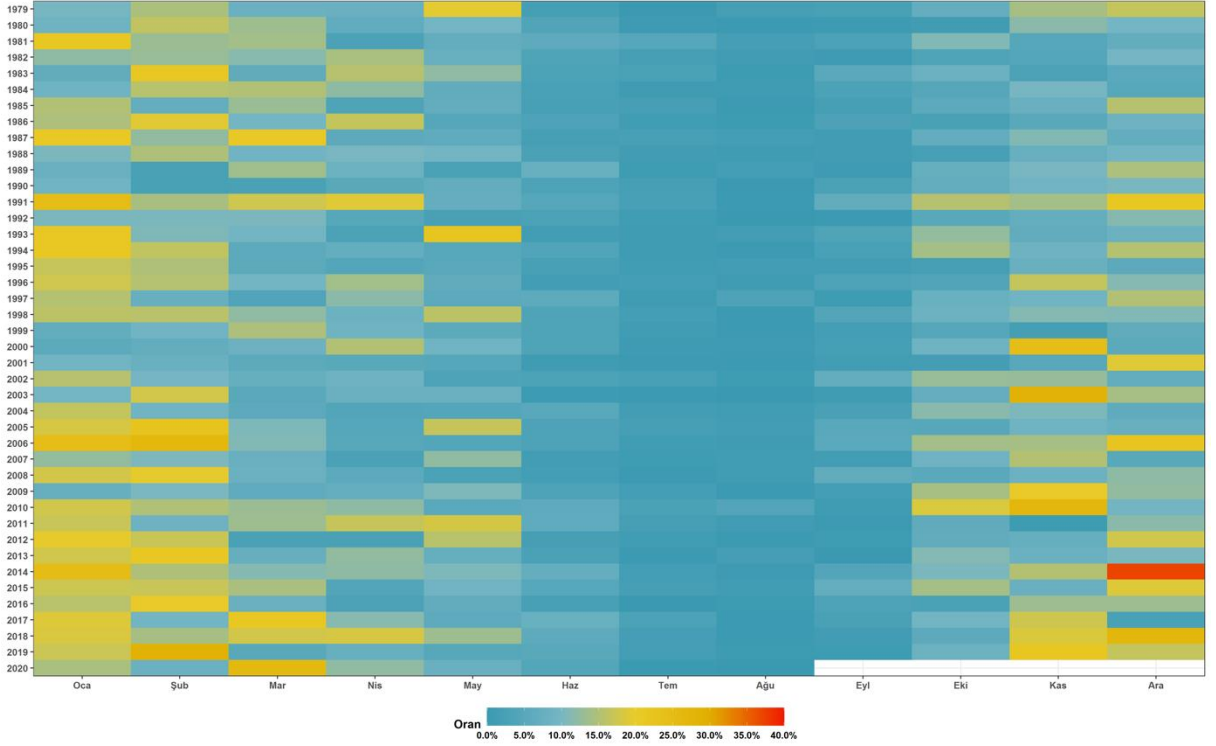
Şekil 7.13. İstanbul Havalimanı, 1979 ve 2020 yılları tarihleri arasında ERA5 ve METAR verilerinden elde edilen görüş mesafelerinin sınıflandırılması.

Şekil 7.14'de METAR verilerinden elde edilen gerçek görüş mesafeleri için elde edilen ısı haritası, yüksek görüş mesafesi dışında kalan görüş mesafesi sınıflandırmalarının ay içerisindeki toplam sayısının, yine ay içerisindeki toplam veriye oranını göstermektedir. Şekil 7.14'de de görüldüğü üzere, 2018 ve 2019 yıllarının Kasım ve Aralık aylarında görüş mesafesinin yüksek olmama ihtimali, diğer aylara göre daha fazla olup; %25 – 30 seviyelerindedir.



Şekil 7.14. İstanbul Havalimanı, 3 Kasım 2018 ve 25 Ağustos 2020 tarihleri arasında METAR verilerinden elde edilen görüş mesafelerinin aylar ve yıllar boyunca ısı haritası.

Şekil 7.15'de ise, İstanbul Havalimanı için 1979 ve 2020 yılları arasında aylık olarak elde edilen, görüş mesafesi sınıflandırmasının yüksek olmama ihtimalini gösteren ısı haritası gösterilmektedir. METAR verisinin olmadığı yıllar için elde edilen görüş mesafeleri, çalışmada kurulan görüş mesafesi modelinin ERA5 verileriyle çalıştırılması sonucu elde edilmiştir. Şekil incelendiğinde, özellikle yaz aylarında görüş mesafesinin yüksek olmama ihtimalinin neredeyse hiç olmadığı görülürken; kış aylarında bu ihtimalin arttığı görülmektedir. Diğer yandan, 2014 yılının Aralık ayında ise diğer yılların aynı ayıyla karşılaştırıldığında outlier olarak atanabilecek bir durum söz konusu olmuş ve yüksek görüş olmama ihtimali %40'lara kadar çıkmıştır. Grafiğin diğer bir çarpıcı sonucu olarak, yıllar içerisinde İstanbul Havalimanı üzerindeki nokta için, görüş mesafesinin yüksek olmama ihtimalinin artan bir trend gösterdiği görülmektedir.



Şekil 7.15. İstanbul Havalimanı, 1979 ve 2020 yılları tarihleri arasında ERA5 ve METAR verilerinden elde edilen görüş mesafelerinin aylar ve yıllar boyunca ısı haritası.

SONUÇLAR

TUJJB projesi kapsamında İstanbul Havalimanı için geçmiş METAR verileri kullanılarak sis analizi yapılmış ve görüş mesafesi tahmini modelleri oluşturulmuştur. Diğer yandan, literatürde kabul görmüş FOGSI sis indeksinin İstanbul Havalimanı üzerinde tutarlılığı da araştırılmıştır. Bulgularımıza göre, FOGSI'nın İstanbul Havalimanı üzerinde tek başına isabetliliği oldukça düşük iken; FOGSI'den görüş mesafesi elde etmeye yarayan lineer modelin tutarlılığı da oldukça düşüktür. 3. ara raporla beraber elde edilen FOGSI ve görüş mesafesi arasındaki saçılım diyagramlarında gösterilen nonlineer model ile FOGSI'den görüş mesafesine giden bu modelin tutarlılığını arttırılırken; bu nonlineer modellerin İstanbul Havalimanı üzerindeki 4 ana yöne göre kategorize edilmiş 4 farklı model ile tutarlılık daha da yukarı seviyelere çıkarılmıştır. Projenin final raporunda kurulması planlanan gradient boosting machines yöntemiyle görüş mesafesi modelinde; FOGSI hesabı ve sis analizi için gerekli olan 2 metre sıcaklık, 2 metre çiy noktası sıcaklığı, 2 metre bağıl nem, 850 hPa rüzgar hızı, 850 hPa rüzgar yönü verilerine ek olarak, 925 hPa rüzgar hızı, 925 hPa rüzgar yönü verileri de kullanılmıştır. Kurulan bu modelde kullanılan değişkenlerin katkılarının da araştırıldığı bu projede, 925 hPa verilerinin 850 hPa verilerine göre daha önemli oldukları gösterilmiştir.

Makine öğrenmesi algoritmalarından gradient boosting machines yöntemiyle elde edilen görüş mesafesi modeliyle, pearson korelasyon katsayısı 0.854'e yükselirken; RMSE ve MAE ise sırasıyla 0.819 ve 0.338 olarak hesaplanmıştır. Böylelikle, projede gösterilen FOGSI'den yararlanılarak, lineer ve nonlineer model yardımıyla elde edilen görüş mesafelerinin korelasyonunun 2.135 katı daha fazla korelasyon elde edilirken; MAE ise yaklaşık 2.41 kat düşürülmüştür.

Bu yüksek başarılı görüş mesafesi modeliyle, ERA5 verileri kullanılarak İstanbul Havalimanı üzerinde 1979 yılından, 25 Ağustos 2020 tarihine kadar uzun dönemli görüş mesafesi analizi yapılmış ve İstanbul Havalimanı'nın aylara göre görüş mesafesi ısı haritası çıkarılmıştır. Bunun haricinde görüş mesafesinin yıllar içerisinde düşüş trendi olduğu ortaya çıkmıştır.

Aktaş C, Erkuş, O., 2009, Lojistik Regresyon Analizi ile Eskişehir'in Sis Kestiriminin İncelenmesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (Istanbul Commerce University Science Journal). 8(16): 47-59.

Annex-3, ICAO (Annex-3: Meteorological Service for International Air Navigation, International Civil Aviation Organization), 2013, Chapter-1, Page 5. Alıntı tarihi: 01/09/2018, alıntı adresi: http://www.icao.int/safety/airnavigation/NationalityMarks/annexes_booklet_en.pdf

Çamalan G, Yağan S, Akgün, N., 2010, TC Çevre ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Esenboğa Havalimanı Sis Etüdü Uluslararası Katılımlı 1. Meteoroloji Sempozyumu (Meteorology Symposium). Symposium Book. 27-28 May 2010. 317-327.

Deutscher Wetterdienst (DWD), 2019. Alıntı adresi:

http://www1.wetter3.de/archiv_dwd_dt.html

Freeman, L.E., Perkins, J.S., 1998, Meteorological Techniques, AFWA/TN-98/002, alıntı tarihi: 15/09/2015, alıntı adresi: http://www.comptus.com/PDF/AFWA_TN_98-002.pdf

Glossary NOAA, 2004, alıntı tarihi: 08/11/2018, alıntı adresi: <http://w1.weather.gov/glossary/index.php?word=fog>.

Holtzlag, M.C., Steeneveld, G.J., Holtzlag, A.A.M., "Fog forecasting: old fashioned semi empirical methods from radio sounding observations versys modern numerical models", 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Münster, Germany, 25-30 Temmuz 2010.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2018, alıntı tarihi: 05/11/2018, alıntı adresi : http://www.ibb.gov.tr/sites/ks/tr-TR/0-IstanbulTanitim/konum/Pages/Cografik_Konum_ve_Stratejik_Onem.aspx

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2019. Alıntı adresi:

<https://www.ready.noaa.gov/READYamet.php>

Pearson, D.C., 2002, A study of weather-related fatal aviation accidents, VFR flight not recommended, alıntı adresi : <http://www.srh.noaa.gov/topics/attach/html/ssd02-18.htm>, alıntı tarihi: 05/10/2018.

RAOB (The Universal Rawinsonde Observation Program), 2015, "Fog Index Table Configuration Options", alıntı tarihi: 03/09/2015, alıntı adresi: <http://raob.com/fog.php>.

WRF (Weather Research and Forecasting Model), 2018, "WRF Tutorial", alıntı tarihi: 04/09/2015, alıntı adresi: <http://www.wrf-model.org/index.php>