TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

TURİZM TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

PROJE ADI: YAPAY ZEKA İLE İSTANBUL HAVALİMANI RÜZGAR HIZI, SICAKLIK VE AKTÜEL BASINÇ TAHMİNİ

TAKIM ADI:AERO

BAŞVURU ID: 468270

İçindekiler

1.Proje Özeti/ Proje Ekibi…….3

2.Algoritma ve Tasarım……....4

3.Sistem Mimarisi……..…...5

4.Hayata Geçirilebilirlik / Uygulanabilirlik……..6

5.Yenilikçilik Özgünlük……11

6.Bir Soruna / İhtiyaca Çözüm Üretmesi……12

7.SWOT Analizi……14

8.Kaynakça……..…15

1. Proje Ekibi/Proje Özeti (Proje Tanımı) (5 Puan)

Ülkemiz doğası, denizi, tarihi ve kültürel zenginlikleri ile dünya çapında turistlerin en beğendiği ülkeler arasındadır. Dünyanın önemli hub noktası olan, 120+ den fazla ülkeye uçuş yapılan, Avrupa'nın önemli şehirlerine 2 saatlik uçuş süresi ile İstanbul Havalimanı, 2021 yılında, dünyanın ikinci en yoğun havalimanı olmuştur.

Şekil 1. İstanbul Havalimanı Dünyanın En Yoğun İkinci Havalimanı [1]

Covid-19 pandemisi sonrasında, havacılık sektörü, pandemiden olumsuz etkilenen dünya turizm sektörüne ciddi katkılar sağlayacaktır.

Havacılık (Aeronatik) Meteorolojisinde rüzgar, sıcaklık ve basınç, hava trafiğinde ve yakıt tüketiminde en önemli etkenlerdir.

Projede, İstanbul Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü'nden alınan 17058 numaralı İstanbul Havalimanı istasyonuna ait 2020-2021 saatlik sıcaklık, rüzgar hızı, basınç ve nem verileri incelenmiştir. Yapay zeka ile İstanbul Havalimanı rüzgar hızı, sıcaklık ve aktüel basınç tahmini yapılmıştır. İstanbul Havalimanı için derin öğrenme yöntemlerinden Uzun-Kısa Dönem Hafıza Öz Yineleyen Yapay Sinir Ağları (Long Short Term Memory - LSTM) kullanılarak iki ayrı meteorolojik veri seti ile rüzgar hızı tahmini yapılmış ve bu tahminler Kapılı Öz Yineleyen Yapay Sinir Düğümü Ağları (Gated Recurrent Unit - GRU) metodu ile yapılan tahminler ile karşılaştırılmıştır. Temmuz 2020 için olan veriler 4 katmanlı LSTM ve GRU modelinde, %70 eğitim %30 test için kullanılmıştır.

Takım tek kişilik bir takımdır. Takım kaptanı, aynı zamanda proje yöneticisi ve sorumlusudur. Yazılım geliştirme uzmanlık alanıdır.

2. Algoritma ve Tasarım (15 Puan)

Projenin amacı küresel hub noktası olan İstanbul Havalimanı'nda rüzgâr nedeniyle ortaya çıkması olası iniş ve kalkış gecikmelerinden kaynaklanabilecek maddi ve manevi kayıpların en aza indirilmesine yardımcı olabilmektir.

Ülkemiz turizmi için stratejik öneme sahip İstanbul Havalimanı için yapay zekâ ile rüzgâr hızı, sıcaklık ve basınç tahmini yapılarak olası finansal kayıpların, zaman kayıplarının azaltılıp, SARS-CoV-2 salgınlarının yayılımının kontrolünün sağlanmasına ve havalimanının verimliliğinin arttırılmasına katkıda bulunabilmek hedeflenmiştir.

Çalışmada uygulamalar Python dilinde yazılmıştır.
Projede iki türlü tahmin metodu kullanılmıştır. Yapay sinir ağları (YSA) modeli oluşturarak meteorolojik verileri ile rüzgâr hızı, sıcaklık ve basınç tahmini yapılmıştır. Çalışma kapsamında İstanbul 1.Bölge Meteoroloji Müdürlüğünden İstanbul Havalimanı için 2020-2021 yıllarına ait saatlik ve günlük rüzgâr, sıcaklık ve basınç verileri alınmıştır. Saatlik olarak tahmin yapılmasına karar verilmiş ve ilgili verilerden 2020 yılı temmuz ayı çalışma kapsamında dataset olarak kullanılmasına karar verilmiştir. İletilen veri dosyalarında veriler 2 boyutlu veri matrisi şeklinde olduğu için söz konusu verileri Pandas kütüphanesi kullanarak tek boyutlu dizilere dönüştürme hem saatlik hem de günlük veriler için yapılmıştır.

Uygulamamızda yapay sinir ağı oluşturulmasında LSTM ve GRU derin öğrenme modelleri kullanılmıştır ve sonuçları karşılaştırılmıştır. MinMaxScaler standartizasyon yöntemi tercih edilmiştir, Modellerin değerlendirilmesi sklearn (mean_squared_error, mean_absolute_error, r2_score) fonksiyonları kullanılmış RMSE değeri hesaplanmıştır. Matplotlib ile grafik görselleştirmeleri yapılmıştır. Pandas, Numpy kütüphaneleri işlemler için tercih edilmiştir.
Zaman Serisi Analizi ile rüzgar hızı tahmini için Mevsimsel Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama Modeli (SARIMA) ile tahmin işleminde statmodels kütüphaneleri kullanılmıştır. SARIMAX modelimiz yapılan incelemeler ve testler sonrasında SARIMAX (self.train, order=(13,0,24), sesional_order=(16,0,24,48)) olarak oluşturulmuş ve eğitilmiştir.

3. Sistem Mimarisi (15 Puan)

Proje Python kullanılarak geliştirilmiştir. PyCharm IDE kullanılarak kodlanmış, Python 3.10 derleyici kullanılmıştır. Yapay sinir ağları (YSA) ile tahmin işlemi için ise keras kütüphanesi sklearn kütüphanesi ve tensorflow kütüphaneleri kullanılmıştır. Uygulamamızda yapay sinir ağı oluşturulmasında LSTM ve GRU derin öğrenme modelleri kullanılmıştır ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Matplotlib ile grafik görselleştirmeleri yapılmıştır. Pandas, Numpy kütüphaneleri işlemler için tercih edilmiştir.

Proje kapsamında alınan ve işlenen veriler excel formatında olup, veritabanı ihtiyacı olmamıştır. Program çalışması sırasında ilgili veri okunup modellerin eğitimi ve test edilmesinde anlık kullanımı gerçekleştirilmiştir.

Projeye ait yazılım kodları sayfa sınırı sebebiyle eklenmemiştir. İstenildiğinde sunulacaktır.

4. Hayata Geçirilebilirlik/Uygulanabilirlik (20 Puan)

İstanbul Havalimanı küresel bir hub noktası olmasının yanı sıra ülkemizin kültür ve turizmi açısından önemli ve tercih edilen bir destinasyon olmasını sağlayan havalimanıdır. Ülkemiz dünya çapında M.I.C.E. (Meetings, Incentives, Conferences, Exhibitions) turizmi, uluslararası spor organizasyonları gibi zaman kavramının önemli olduğu turizm çeşitlerine, uluslararası organizasyonlara ev sahipliği yapmaktadır.

İstanbul Havalimanı yalnızca ülkemiz turizm sektörüne ekonomik katkı sağlamakla kalmayıp dünya turizmine de katkı sağlamaktadır. Yapay zeka ile doğru Aeronatik Meteoroloji tahminlerin yapılması hem ülke ekonomisine hem de dünya ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Meteorolojik bilgiler iniş ve kalkış sırasında pilotlar ve havacılık sektörü için hayati öneme sahiptir. Rüzgâr hızı, basınç, sıcaklık gibi meteorolojik bilgiler uçakların emniyetli iniş kalkış yapmalarını sağlar [2]. Uçuş planlaması yapılırken kalkış tahmini için rüzgar, sıcaklık ve basınç verileri kullanılarak toplam ağırlık hesaplanmaktadır. Projede İstanbul Havalimanı için meteorolojik tahminlerin doğru ve zamanında yapılabilmesi için yapay zeka kullanılarak model oluşturulması için çalışma yapılmıştır.

Projemde yapılan tahmin sonuçlarının

- Havayolu taşımacılığının yanı sıra hava taksi hizmetlerinde değerlendirilmesi
- Orman yangınlarına havadan hızlı müdahalede kullanılması
- Yerli ve yabancı turistlerin kullanabileceği turizm asistanı uygulamasına entegre edilmesi
- MICE etkinlikleri için ICCA üyelerinden İstanbul Haliç Kongre Merkezi web sayfasında yer alması
- Uluslararası Kültür ve Sanat etkinliklerinin merkezi AKM'nin sayfasında yer alması hedeflenmektedir.
- Doğa turizmine yönelik mobil uygulama için entegre edilebilir.

Uçuş Faaliyetleri

1. Bir uçağın uçuşunu etkileyen etmenler:
   i) Uçağın toplam ağırlığı (Weight-W)
   ii) Uçağın kaldırma gücü (Lift - L)
   iii) Sürtünme (Drag - D)
   iv) İtme, Hareket gücüdür (Thrust – T)
2. Uçağın uçuşu kalkış, seyir ve iniş olarak üç aşamaya ayrılabilir [3].

Uçuş Planlaması

Bir uçuş planlaması için aeronatik meteorolojik bilgiler ve tahminler gereklidir. Toplam ağırlık rüzgar, sıcaklık ve basınç verileri kullanarak hesaplanmaktadır [3].

Projede tüm uçakların kalkış tahmini için kullanılan toplam ağırlık hesabı formülünde yer alan faktörlerin yapay zeka kullanılarak tahmini yapılmaya çalışılmıştır.

Yer Rüzgarının Uçuş Üzerine Etkisi

Uçağın kararlılığını ve dengesini korunması için iniş ve kalkış safhalarında, yer rüzgarının yön ve hızının pilot ve hava trafik kontrolleri tarafından bilinmesi gerekmektedir.

Uçuş için uçağın (L = W) kaldırma gücünün uçağın toplam ağırlığına eşit olma şartı vardır. ($L=K_1 p V^2$) Formüldeki V uçağın havada kalmasını sağlayacak olan stalling hızıdır. Emniyetli bir uçuş için iniş veya kalkış hızı Vs – Y olmalıdır. Y knot hızındaki rüzgar hızıdır. Emniyetli uçuş için gerekli olan pist seçiminde yer rüzgar ölçümleri kullanılır. Baş rüzgarı (Head wind)

hafif ise uçak kalkış için ağırlık azaltmak zorundadır.
Kuvvetli yan rüzgarı olduğunda genellikle inişe müsaade edilmez [3].

Yer Seviyesi Hava Sıcaklığının Uçuş Üzerine Etkisi

Yüksek sıcaklıklarda hava yoğunluğu azaldığı için motor performansı daha düşüktür. ($L=K_1\ p\ V^2$) Kaldırma gücü hava yoğunluğundan, hava yoğunluğu ise basınç ve sıcaklıktan etkilenir. Yüksek sıcaklıkta daha yüksek unstick hıza (Vs.) ihtiyaç vardır. Söz konusu hıza ulaşmak için daha uzun bir pist veya kalkış ağırlığının düşürülmesi zorunludur [3].
Hava sıcaklığındaki 1ºC artış, uçağın pistte durma mesafesini %7 arttırır [4].

Basıncın Uçuş Üzerine Etkisi

Hava yoğunluğu basınç ve sıcaklıktan etkilenir. Düşük hava yoğunluğu olduğunda uçağın hızı arttırılmalıdır. Yüksek hız için kullanılan yakıt miktarı artar. Basınç değerleri kalkış planlaması yapılırken hesaplanması gereken önemli bir faktördür. Düşük hava yoğunluğu motor gücünü azaltmaktadır [3].

Atmosferik Basınç (P) birim sahaya (S) etki eden kuvvettir (F). (P = F / S). Sivil uçaklar Hecto Pascal (hPA) basınç birimini kullanır. 1hPA, $1cm^2$'lik yüzeyi etkileyen 1000 dyn'lik kuvvettir [2].

Bu projede İstanbul Havalimanı için İstanbul 1.Bölge Müdürlüğünden alınan 2020-2021 yılına ait rüzgar hızı, sıcaklık, basınç ve nem verileri derin öğrenme yöntemlerinden LSTM modeli kullanılarak iki ayrı meteorolojik veri seti ile rüzgar hızı tahmini yapılmış ve bu tahminler GRU metodu ile yapılan tahminler ile karşılaştırılmıştır. LSTM modeli ile aynı meteorolojik verileri kullanarak sıcaklık ve basınç tahminleri yapılmıştır.

Yapay Sinir Ağı LSTM Modellerine ve GRU modeline ait model değerlendirme metrikleri Tablo1 de verilmiştir.

Tablo 1. Model Başarı Metrikleri Tablosu

Model Bağımsız Değişken	**Tahmin Değişkeni**	**MSE**	**R^2**	**RMSE**	**MAE**
LSTM Sıcaklık, Nem, Basınç	Rüzgar Hızı	0.0035	0.8753	0.0594	0.0447
LSTM Rüzgar Hızı, Nem, Basınç	Sıcaklık	0.0026	0.8635	0.0515	0.0381
LSTM Sıcaklık, Nem, Basınç	Basınç	0.0005	0.9664	0.0229	0.0179
LSTM Sıcaklık, Nem, Basınç	Rüzgar Hızı	0.0035	0.8752	0.0594	0.0444
GRU Sıcaklık, Nem, Basınç	Rüzgar Hızı	0.0044	0.8445	0.0664	0.0504
SARIMA	Rüzgar			2.0793	

Rüzgar Hızı	Hızı				

YSA modellerinin öğrenmesinde, eğitimi için seçilen verinin önemi büyük olduğundan modeller arası daha doğru bir karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla tüm model geliştirmeleri Temmuz 2020 yılına ait saatlik Rüzgar Hızı, Sıcaklık, Nem ve Basınç verileri ile eğitilmiştir. Rüzgar Hızı verisi için LSTM modeli ile yapılan tahminler iki farklı input veri seti ile denenmiş ve sonuç verileri incelendiğinde yaklaşık aynı değerlere sahip olduğu için sıcaklık değişkeninin, Rüzgar hızı tahmini için önemli bir veri olmadığı sonucu çıkmaktadır. Fakat kesin bir sonuca ulaşabilmek için daha uzun süreli farklı veriler ile test edilmesi gerekmektedir. LSTM modelleri ve GRU modeli Rüzgar hızı tahmini için karşılaştırıldığında Sıcaklık-Basınç-Nem verileri ile eğitilen LSTM modeli en iyi sonucu vermektedir. Teorik olarak GRU modeli LSTM modeline göre özellikle büyük boyutlu verilerde daha hızlı sonuç almayı sağlayacağı öngörülmektedir, fakat yaptığımız testlerde kısa süreli veri ile test yapıldığı için anlamlı bir fark görülememiştir.

Zaman serisi modeli için RMSE değeri, YSA modellerine göre daha yüksek bir hata oranı olmasına rağmen başka bir input verisine ulaşılamadığı durumda kullanımı mümkün bir yöntem olarak görülmektedir.

YSA kullanılarak oluşturulan LSTM ve GRU metodu modellerinin yaptığı tahminlerin güvenilir ve tutarlı olduğu anlaşılmıştır.

5. Yenilikçilik/Özgünlük (15 Puan)

2020 yılında Yapay Zeka ve Bilgi Güvenliği Şube Müdürlüğünün kurulması, Sayısal Hava Tahminlerin teknolojik destekli olarak yapılması için önemli bir gelişmedir [5].

DHMİ Genel Müdürlüğü Hava Seyrüsefer Dairesi Hava Trafik Yönetimi (ATM) Araştırma ve Geliştirme Şube Müdürlüğü milli ve yerli ürünler ile hava trafik yönetimi gereksinimlerini karşılamak amacıyla çalışmalar yapmaktadır [6]. Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nin (DHMİ) yerli ve milli olanaklar ile geliştirilen ürün ve uygulamalar ile küresel pazarda uluslararası bir marka olabilme hedefine yardımcı olabilmek amacıyla bir proje yapılmaya çalışılmıştır.

Projemin yenilikçi ve özgün tarafları;

- Yerli ve milli imkanlar ile geliştirilmesi
- Yapay zeka derin öğrenme algoritmaları kullanarak iki farklı LSTM ve GRU modelleri oluşturulması ve rüzgar hızı tahmin sonuçlarının karşılaştırılması
- Zaman serisi SARIMA modeliyle kısa dönem rüzgar hızı tahmini yapılması
- Kalkış ağırlığı hesabına etki eden sıcaklık ve basınç için de LSTM modellemesi ile tahmin yapılması
- Doğruluk oranı yüksek kullanılabilir çalışan bir algoritmaya sahip olması

6. Bir Soruna/İhtiyaca Çözüm Üretmesi (20 Puan)

Havaalanları ülkeler hakkında ilk izlenimlerin edinildiği yerlerdir. Havayolu taşımacılığında yaşanan teknolojik gelişmelerden en çok etkilenecek olan sektör turizm sektörüdür. Havayolu taşımacılığı rüzgar, basınç, sıcaklık, nem gibi hava olaylarına son derece duyarlı bir sektördür.

Havacılık (Aeronatik) Meteorolojisinde en önemli etmenlerden bir tanesi rüzgardır. Tüm hava araçları (jet ve sesten hızlı uçaklar dahil) için iniş ve kalkış aşamasında, pist seçiminde rüzgar hızı en önemli etkenlerdendir [2].

Rüzgâr hızının, hava sıcaklığının ve basıncın yüksek doğrulukta ve hızda tahmininin yapılabilmesi Avrupa'nın en yoğun havalimanı olan İstanbul Havalimanı için oldukça önemlidir.

Hava aracının rüzgar limiti aşımı söz konusu ise başka hava meydanlarına yönlendirilir. Rüzgar hava aracının uçuş başı ve rotası arasında uyumsuzluğa neden olur. Hava aracının yer hızı rüzgar nedeniyle etkilendiğinde uçuş süresi uzar. Uçuş süresinin uzaması yakıt tüketimini arttırır [4]. Hava aracına uygulanan slot ile uyumsuzluklara, hava trafik akışında aksamalara neden olur. Hava trafik kontrol birimlerinin iş yükünü arttırır [2].

Bir uçuşun kalkış, seyir ve iniş safhaları vardır. Kalkış safhası için toplam ağırlık hesabı yapılırken rüzgar, sıcaklık ve basınç tahminine ihtiyaç vardır. Pist seçimi ve kalkış ağırlığını belirlemek için pilot veya uçuş planlamacıları yer rüzgarını kullanırlar. Baş rüzgarı (head-wind) hafif olduğunda uçağın kalkış yapabilmesi için ağırlık azaltması gerekmektedir. Yan rüzgarı kuvvetli olduğunda inişe izin verilmez [3].

Sıcaklık, uçağın motor performansında belirleyici bir faktördür. Yüksek sıcaklıklarda motor verimliği azalır. Yüksek sıcaklıkların hava yoğunluğunu düşürmesi sebebiyle taşıma gücünü azaltır; daha uzun bir pist gerekir ya da kalkış ağırlığını azaltmaya ihtiyaç vardır. Kaldırma gücü hava yoğunluğuna, hava yoğunluğu ise basınç ve sıcaklığa bağlıdır. Kalkış safhasında sıcaklık bilgisinin bilinmesi gerekmektedir [7].

Hava basıncı ve sıcaklığı, hava yoğunluğunu belirleyen en önemli etmenlerdir. Düşük hava yoğunluğu olduğunda daha yüksek hız ve daha çok yakıta ihtiyaç olur. Basınç azaldığında daha uzun bir piste gereksinim olur. Düşük hava yoğunluğu motor performansını azaltır [3].

Küresel hub noktası olan İstanbul Havalimanı, yalnızca İstanbul şehrinin değil, ülke ve dünya turizminin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Covid-19 pandemisi sonrasında havayolu taşımacılığı dünya turizm sektörüne ciddi ekonomik katkılar sağlayacaktır.

İstanbul Havalimanı 26,5 milyon yolcuya hizmet vererek 2021 yılında dünyanın en yoğun 2. Havalimanı olmuştur [1]. İstanbul Havalimanı'ndan 120+ ülkeye uçuş yapılmaktadır. Büyük Avrupa şehirlerine yalnızca 2-3 saatlik uçuş süresi ile İstanbul ve ülkemizi M.I.C.E.(kongre) ve spor turizmi için tercih edilen destinasyon olmasını sağlamıştır.

Spor Turizmi kapsamında İstanbul da dünya çapında önemli etkinlikler (Formula1, Boğaziçi Kıtalar arası yüzme yarışı, İstanbul Maratonu vb.), Basketbol ve voleybol turnuvaları, futbol ve bilardo maçları, tenis kupaları, golf ve yüzme müsabakaları yapılmaktadır [8].

Kültür Turizmi (çeşitli festivaller, konserler vb.), İstanbul turizminde önemli bir yer tutmaktadır [8].

Küresel çapta, İstanbul kongre, spor ve kültür turizminin merkezi konumundadır. İstanbul'a gelen turistlerin büyük çoğunluğunun ulaşım için İstanbul Havalimanı'nı kullanmaktadır. Havacılık sektörü meteorolojik olaylardan son derece etkilenmektedir.

Emniyetli, konforlu ve rahat bir yolculuk için tercih edilen havayolu ulaşımında yaşanacak bir aksama turizm hizmet kalitesini etkileyecektir.

Hava trafiğinde oluşabilecek aksamalar, SARS-CoV-2 salgınlarının küresel prevalansı arttıkça daha büyük bir sorun haline gelmektedir. 2022 yılında yapılan bir çalışmaya göre uçak atık suyunda SARS-CoV-2'nin Omicron (B.1.1.529) varyantı tespit edilmiştir [9]. Hava yolculuğunun hava koşulları sebebiyle uzaması virüsün bulaşma riskini arttıracaktır.

Güncel bilimsel literatürde tek bir havaalanından yapılan hava yolculuğunun küresel iklim ayak izi hesaplanarak iklim etkisine sera gazları dikkate alınarak bir fiyat etiketi verildiği belirtilmektedir [10].

Şekil2. Teknoloji Hazırlık Seviyesi

Projeye TRL1 ve TRL2 seviyesi üzerinden başlanılmıştır. Güncel bilimsel literatür taraması yapılmıştır. Derin öğrenme metotlarından LSTM ve GRU ile Zaman Serisi ile tahmin yöntemlerine karar verilmiştir. TRL4 aşamasında kodlama için yazılım dili Python seçilmiştir. Sistem mimarisi tasarlanmıştır. Veri temini ve kodlama geliştirme tamamlanmıştır. Proje çalışması için seçilen Temmuz 2020 ayı için program Simule edilmiş ortamda çalıştırılarak elde edilen sonuçların kontrolü ve kanıtlanması ile TRL5 ve TRL6 adımları tamamlandı. TRL7 ve TRL8 seviyesine gelinmiştir. Sistem tamamlanmıştır.

AYLAR(2021-2022)													
İşin Tanımı	**Nisan 2021**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**	**Kasım**	**Aralık**	**Ocak 2022**	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**
Literatür Taraması	X	X	X	X	X	X							
Veri Toplama ve Analizi				X	X	X	X	X					
Yazılım Geliştirilmesi				X	X	X	X	X	X	X			
Proje Raporu Yazımı											X	X	X

Tablo2. Proje Zaman Çizelgesi

7. SWOT Analizi (5 Puan)

8. Kaynakça (5 puan)

[1] Irtak, K., (12.04.2022). İstanbul Havalimanı Uluslararası Yolcu Trafiğinde İkinci Sıraya Yükseldi. Anadolu Ajansı. https://www.aa.com.tr/tr/istanbul-havalimani-uluslararas-yolcu-trafiginde-ikinci-siraya-yukseldi/2561733

[2] DHMİ (2018). DHMİ Seyrüsefer Dairesi Başkanlığı Hava Trafik Müdürlüğü Eğitim Notları Meteoroloji Ders Kitabı.2004(Güncelleme Tarihi:29.08.2018), Erişim Tarihi: 02.09.2021 https://www.dhmi.gov.tr/Lists/SsdHavaTrafikSbMd_KurumsalBilveDoc/Attachments/19/METWEB29082018.pdf

[3] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Tahminler Dairesi Başkanlığı Havacılık Meteorolojisi Şube Müdürlüğü. (2018). Havacılık Meteorolojisi Erişim Tarihi: 10.09.2021
https:// https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/kitaplar/havacilikmeteorolojisi.pdf

[4] İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi Sivil Hava Ulaştırma İşletmeciliği Önlisans Programı. (2010). Hava Trafik Kuralları ve Hizmetleri (2010). Erişim Tarihi:04.09.2021
http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/sivilhava_ao/havatrafikkurvehiz.pdf

[5] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su, Orman ve Meteoroloji Çalışma Grubu. (2021) 1.Su Şurası Su, Orman ve Meteoroloji Grubu Çalışma Belgesi Erişim Tarihi:15.09.2021
https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/467/Sayfa/1497/1861/DosyaGaleri/su_orman_ve_meteoroloji_grubu_calisma_belgesi.pdf

[6] DHMİ (2021). DHMİ Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı 2020 Faaliyet Raporu, Erişim Tarihi: 04.09.2021 https://www.dhmi.gov.tr

[7] DHMİ (2021). DHMİ Havacılık Eğitimi Daire Başkanlığı AIM DERS NOTU ŞEF (AIM). 2021, Erişim Tarihi: 02.09.2021 https://www.dhmi.gov.tr AIM DERS NOTU-ŞEF(AIM).pdf

[8] T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı. (2022). İstanbul İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. http://istanbul.ktb.gov.tr

[9] Ahmed, W., Bivins, A., (2022). Detection of the Omicron (B.1.1.529) variant of SARS-CoV-2 in aircraft wastewater. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722002613#!

[10] Klophaus, R., Laut, G.J. (2022). Monetary mapping of the climate footprint of air travel to a single airport.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969699722000254