

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**WRF ve ALARO SAYISAL HAVA TAHMİN MODELLERİ İÇİN  
VERİFİKASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Canberk KARADAVUT**

**Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Atmosfer Bilimleri Programı**

**EYLÜL 2014**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**WRF ve ALARO SAYISAL HAVA TAHMİN MODELLERİ İÇİN  
VERİFİKASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Canberk KARADAVUT  
(511101002)**

**Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Atmosfer Bilimleri Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yurdanur S. ÜNAL**

**EYLÜL 2014**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511101002 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Canberk KARADAVUT**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**WRF ve ALARO SAYISAL HAVA TAHMİN MODELLERİ İÇİN VERİFİKASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Yurdanur S. ÜNAL** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Ş. Sibel MENTEŞ** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Ufuk Utku TURUNÇOĞLU**.....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **16 Eylül 2014**  
**Savunma Tarihi :**      **26 Eylül 2014**



*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Bu çalışma Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde operasyonel olarak çalıştırılan WRF ve ALARO modellerinin 5 yıllık Ocak ve Temmuz ayları için verifikasyonu niteliğindedir. ECMWF'den alınan tahmin verileri girdi verileri olarak, Türkiye'deki 2010 yılında mevcut bulunan otomatik gözlem istasyonlarının ölçümleride gözlem verileri olarak kullanılmıştır.

Çalışmamda her zaman desteğini yanımda hissettiğim anneme ve teyzeme, yüksek lisans eğitimimde de beni yalnız bırakmayan danışman hocam Yudanur ÜNAL'a, bana zaman ayırıp, danıştığım konularda yardımını esirgemeyen Tayfun DALKILIÇ, Murat ÖNAL, Sezel KARAYUSUFOĞLU UYSAL ve Yelis CENGİZ'e ve her türlü imkanı bana sağlamaya çalışan iş yeri arkadaşlarıma, İstanbul'da bana her daim kapısını açan Bahtiyar Bahadır YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Eylül 2014

Canberk KARADAVUT  
(Meteoroloji Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

|                                                    | <u>Sayfa</u> |
|----------------------------------------------------|--------------|
| ÖNSÖZ.....                                         | vii          |
| İÇİNDEKİLER.....                                   | ix           |
| KISALTMALAR.....                                   | xi           |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                               | xiii         |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                | xv           |
| ÖZET .....                                         | xvii         |
| SUMMARY.....                                       | xix          |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                              | <b>1</b>     |
| 1.1 Tezin Amacı.....                               | 2            |
| 1.2 Literatür Araştırması .....                    | 2            |
| <b>2. KULLANILAN MODELLER VE VERİLER.....</b>      | <b>11</b>    |
| 2.1 WRF .....                                      | 11           |
| 2.2 ALARO.....                                     | 13           |
| 2.3 IFS .....                                      | 15           |
| <b>3. KULLANILAN VERİFİKASYON TEKNİKLERİ .....</b> | <b>17</b>    |
| <b>4. UYGULAMA .....</b>                           | <b>21</b>    |
| 4.1 Uygulama Bilgileri.....                        | 21           |
| 4.2 Aktüel Basınç.....                             | 24           |
| 4.3 Sıcaklık .....                                 | 27           |
| 4.4 Yağış.....                                     | 33           |
| 4.5 Rüzgar.....                                    | 37           |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                   | <b>45</b>    |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                              | <b>47</b>    |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                               | <b>51</b>    |



## KISALTMALAR

|               |                                                                 |
|---------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>AFWA</b>   | : Hava Kuvvetleri Hava Ajansı                                   |
| <b>ALADIN</b> | : Aire Limitée Adaptation dynamique Développement International |
| <b>ALARO</b>  | : transition step between ALadin and AROme                      |
| <b>AROME</b>  | : Application of Research to Operations at Mesoscale            |
| <b>ARW</b>    | : Advanced Research WRF                                         |
| <b>ARPEGE</b> | : Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle             |
| <b>ECMWF</b>  | : Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi                       |
| <b>IFS</b>    | : Integrated Forecasting System                                 |
| <b>GMT</b>    | : Greenwich Mean Time                                           |
| <b>NCAR</b>   | : Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi                           |
| <b>NCEP</b>   | : Ulusal Çevresel Koruma Merkezi                                |
| <b>NHM</b>    | : Non-Hydrostatic Model                                         |
| <b>NMM</b>    | : Non-hydrostatic Mesoscale Model                               |
| <b>NOAA</b>   | : Ulusal Okyanus ve Atmosferik Araştırmalar Merkezi             |
| <b>MGM</b>    | : Meteoroloji Genel Müdürlüğü                                   |
| <b>SAM</b>    | : Sınırlı Alan Modelleri                                        |
| <b>SHT</b>    | : Sayısal Hava Tahmini                                          |
| <b>WPS</b>    | : WRF Öncü-işleme Sistemi                                       |
| <b>WRF</b>    | : Weather Research and Forecasting                              |
| <b>3MT</b>    | : Moduler Multiscale Microphysics ve Transport                  |



## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                         | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Çizelge 3. 1 : İhtimal Tablosu .....                                                                    | 18                  |
| Çizelge 4. 1 : ALARO ve WRF modelleri, Parametrizasyon setleri.....                                     | 21                  |
| Çizelge 4. 2 : ALARO Modeli, 400 metreden fazla farka sahip istasyon yükseklik<br>listesi (metre) ..... | 22                  |
| Çizelge 4. 3 : WRF Modeli, 400 metreden fazla farka sahip istasyon yükseklik listesi<br>(metre) .....   | 23                  |





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : WRF-ARW Akış Şeması .....                                                                                          | 12 |
| Şekil 2.2 : WPS Akış Şeması .....                                                                                              | 12 |
| Şekil 4.1 : ALARO ve WRF modelleri koşturulma alanları ve yükseklik haritası....                                               | 21 |
| Şekil 4.2 : 2010 yılı Otomatik Gözlem İstasyonları.....                                                                        | 22 |
| Şekil 4.3 : ALARO ve WRF modelleri istasyon yükseklikleri farkları. ....                                                       | 23 |
| Şekil 4.4 : ALARO ve WRF modelleri, Aktüel Basınç Parametresi, Ocak ayı<br>Ortalama RMSE ve bias skorları.....                 | 25 |
| Şekil 4.5 : ALARO ve WRF modelleri, Aktüel Basınç Parametresi, Temmuz ayı<br>Ortalama RMSE ve bias skorları.....               | 26 |
| Şekil 4.6 : ALARO ve WRF modelleri, Aktüel Basınç Parametresi, Ocak ayı 30,<br>Temmuz ayı 72. zaman adımı, bias skorları. .... | 26 |
| Şekil 4.7 : ALARO ve WRF modelleri, Sıcaklık Parametresi, Ocak ayı Ortalama<br>RMSE ve bias skorları. ....                     | 27 |
| Şekil 4.8 : ALARO ve WRF modelleri, Sıcaklık Parametresi, Temmuz ayı Ortalama<br>RMSE ve bias skorları. ....                   | 28 |
| Şekil 4.9 : ALARO modeli, Ocak ayı 36. zaman adımı, bias ve düzeltilmiş bias<br>skoru. ....                                    | 29 |
| Şekil 4.10 : ALARO modeli, Ocak ve Temmuz ayı 0. ve 3. zaman adımı, bias skoru.<br>.....                                       | 29 |
| Şekil 4.11 : WRF modeli, Ocak ve Temmuz ayı 0. ve 3. zaman adımı, bias skoru....                                               | 30 |
| Şekil 4.12 : ALARO ve WRF modelleri, Düzeltilmiş Sıcaklık Parametresi, Ocak ayı<br>Ortalama RMSE ve bias skorları. ....        | 30 |
| Şekil 4.13 : ALARO ve WRF modelleri, Düzeltilmiş Sıcaklık Parametresi, Temmuz<br>ayı Ortalama RMSE ve bias skorları.....       | 31 |
| Şekil 4.14 : ALARO ve WRF modelleri, Sıcaklık Parametresi, Ocak ayı 0 °C altı<br>isabet skorları.....                          | 31 |
| Şekil 4.15 : ALARO ve WRF modelleri, Sıcaklık Parametresi, Temmuz ayı 35 °C<br>üstü isabet skorları. ....                      | 32 |
| Şekil 4.16 : ALARO ve WRF modelleri, Düzeltilmiş Sıcaklık Parametresi, Ocak ayı.<br>.....                                      | 32 |
| Şekil 4.17 : ALARO ve WRF modelleri, Düzeltilmiş Sıcaklık Parametresi, Ocak ayı.<br>.....                                      | 33 |
| Şekil 4.18 : ALARO modeli, Ocak ayı, Yağış Parametresi isabet skorları.....                                                    | 35 |
| Şekil 4.19 : ALARO modeli, Temmuz ayı, Yağış Parametresi isabet skorları. ....                                                 | 35 |
| Şekil 4.20 : WRF modeli, Ocak ayı, Yağış Parametresi isabet skorları.....                                                      | 36 |
| Şekil 4.21 : WRF modeli, Temmuz ayı, Yağış Parametresi isabet skorları. ....                                                   | 37 |
| Şekil 4.22 : ALARO ve WRF modelleri, Rüzgar Parametresi, Ocak ayı Ortalama<br>RMSE ve bias skorları.....                       | 38 |
| Şekil 4.23 : ALARO ve WRF modelleri, Rüzgar Parametresi, Temmuz ayı Ortalama<br>RMSE ve bias skorları.....                     | 39 |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.24 :</b> ALARO modeli Ocak ayı, Rüzgar Parametresi isabet skorları. ....    | 40 |
| <b>Şekil 4.25 :</b> ALARO modeli, Temmuz ayı, Rüzgar Parametresi isabet skorları. .... | 41 |
| <b>Şekil 4.26 :</b> WRF modeli, Ocak ayı, Rüzgar Parametresi isabet skorları. ....     | 42 |
| <b>Şekil 4.27 :</b> WRF modeli, Temmuz ayı, Rüzgar Parametresi isabet skorları. ....   | 43 |

## **WRF ve ALARO SAYISAL HAVA TAHMİN MODELLERİ İÇİN VERİFİKASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

### **ÖZET**

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte Sayısal Hava Tahmin (SHT) ürünlerinin çeşitliliği de artmıştır. Çoklu girdi verisi ile yapılan tahminler gibi SHT için istatistiki birçok yöntem uygulanmaktadır. Kısa ve uzun dönemli hava tahminleri, tarımdan ulaşım, turizmden şehir planlamasına ve enerji ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik birçok alanda önemli rol oynamaktadır.

SHT modellerinin parametrisasyon setlerinin birbirine uyumluluğu, model girdi verisinin kalitesi, çalışma yapılan alanın coğrafi özellikleri vb. gibi durumlar atmosferik prognostik değişkenlerinde sistematik veya sistematik olmayan hatalar doğurmaktadır ve yapılan tahminin kalitesini etkilemektedir. Verifikasyon teknikleri, bu tahminlerdeki sistematik hataları ortaya çıkarmak ve tahmini gerçeğe yakınsatmak için kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmada, Weather Research and Forecasting (WRF) and transition step between ALadin and AROme (ALARO) modelleri Sınırlı Alan Modelleri (SAM) olarak kullanılmıştır. Bu modeller Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından ağırlıklı olarak kullanılan modellerdir. Integrated Forecasting System (IFS) modeli ise, global model olarak seçilmiştir. IFS modelinin ürettiği tahminler WRF ve ALARO modellerine girdi verisi olarak verilmiştir.

WRF modeli Amerikan menşeli, açık kaynak kod yapısıyla bütün dünyada birçok kullanıcı tarafından kullanılan/geliştirilen, orta ölçekli SHT modelidir. Bu çalışmada, WRF modeli iç içe iki alan olarak koşturulmuştur. Dıştaki alanın özellikleri yatayda 13500 metre çözünürlükle ve 480x300 grid sayısı ve düşeyde 46 sigma seviye, içteki alanın özellikleri yatayda 4500 metre çözünürlükle 649x430 grid sayısı ve düşeyde de 46 sigma seviyedir.

ALARO modeli, Fransa menşeli, Aire Limitée Adaptation dynamique Développement International (ALADIN) konsorsiyumunun geliştirdiği ve üye ülkeler tarafından kullanılan/geliştirilen, orta ölçekli SHT modelidir. ALARO modeli yatayda 4,5 kilometre çözünürlükle 709x439 grid sayısı ve düşeyde 60 sigma seviye ile hidrostatik olmayan eşitliği kabul ederek koşturulmuştur.

IFS modeli, Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından 1 Ağustos 1979 tarihinden beri operasyonel olarak koşturulan ve üye ülkelere geliştirilen global modeldir. IFS global modelinin çıktıları, bu çalışmada koşturulan SAM 'ın girdi verisi olarak kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan verifikasyon teknikleri, hata kareleri ortalamalarının karekökü (RMSE), ortalama hata (bias) ve isabet skorudur. RMSE, hatanın şiddeti hakkında bilgi verirken bias, hatanın yönü hakkında da bilgi vermektedir. İsbet skoru, modellerin parametreleri belirlenen aralıklardaki yakalama başarısını göstermektedir.

Bu alışma MGM’de operasyonel olarak alıştırılan WRF ve ALARO modellerinin 5 yıllık Ocak ve Temmuz ayları için sıcaklık, aktüel basınç, rüzgar ve yağış parametrelerinin verifikasyonu niteliğindedir. ECMWF’den alınan tahmin verileri girdi verileri olarak, Türkiye’de 2010 yılında mevcut bulunan 361 adet otomatik gözlem istasyonunun 5 yıllık periyot içindeki ölçümleri de gözlem verileri olarak kullanılmıştır.

# **COMPARING THE VERIFICATION RESULTS OF WRF AND ALARO NUMERICAL WEATHER PREDICTION MODELS**

## **SUMMARY**

Nowadays, the weather forecast plays an important role in our modern life. It has been used in extended area from agriculture to transport; from tourism to urban planning. Therefore the numerical products used in the prediction should be more realistic and effective. In recent years, number of the numerical products in the weather prediction area has increased with the developments in the simulation technologies. There are many statistical techniques in the literature such as multi input data predictions method also known as Ensemble Predictions System (EPS).

The quality of the predictions can be affected by many error sources. Coherency of parametrization sets, quality of input data, geographic properties of study area and such circumstances lead to systematic or non-systematic errors. The systematic errors can be recognized by the verification techniques that are used to improve the predictions. The scope of this study is the evaluation of the verification techniques in Limited Area Models (LAM).

The main goal of The Numerical Weather Prediction (NWP) is to produce prediction about the future or the past by means of meteorological observations that are processed with mathematical models in the simulation environment. The NWP models are classified in terms of temporal resolution and geographical scale. In the temporal resolution point of view, NWP models can be studied as the short-term predictions (per day or daily); the middle-term predictions (monthly or seasonal); and long-term predictions (decades to century). Besides that, when geographical range is considered, NWP models are splitted as Limited Area Models (LAM) and Global Models (GM).

In this study, the Weather Research and Forecasting (WRF) and transition step between ALadin and AROme (ALARO) models are selected as a LAM. These models are typically used in the Numerical Weather Prediction Department at Turkish State Meteorological Service (TSMS). In addition, Integrated Forecasting System (IFS) is chosen as a global model. The prediction output from IFS model is used as input data for the WRF and ALARO models.

WRF is an American originated, open source, non-hydrostatic mesoscale weather prediction model; that is used and developed by researchers around world. In this study, two nested domains are used for WRF model simulations. The outer domain has 13500 meters horizontal resolution; 480x300 grid points in the horizontal direction and 46 sigma levels in the vertical direction. On the other hand, the inner domain has 4500 meter horizontal resolution; 649x430 grid points in the horizontal direction and 46 sigma levels in the vertical direction. The current version of the model can be downloaded from the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) website.

The other LAM used in this study is ALARO model. It is a French mesoscale weather prediction model that is generated/developed by Aire Limitée Adaptation dynamique Développement International (ALADIN) consortium and used by the member states. Its horizontal resolution is 4500 meters and it includes 709x439 grid points in the horizontal plane and the atmosphere is divided into 60 sigma levels in the vertical direction. Also, the model has hydrostatic and non-hydrostatic versions. In order to compare with WRF results, ALARO model's non-hydrostatic version is used in the simulations.

IFS model, the input of the LAMs, has been run operationally at European Center for Mesoscale Weather Forecast (ECMWF) since 1 August 1979. The model is generated and developed by the member states of ECMWF. In this study, output of this model is used as input data for WRF and ALARO, without any processing operation.

Objective weather forecast verification can be performed at least three different point of view: accuracy, skill and utility. From the accuracy point of view, the difference between prediction and measurements is evaluated. From the skill perspective, the predictions are compared with the reference data i.e compared with climate data or checked against an alternative forecast model. Last one, utility, the results of predictions are evaluated in terms of its political consequences or economic effects. Second and third viewpoints are both subjective interpretation, on the contrary, first one is an objective evaluation. In the thesis, forecasts are assessed from accuracy viewpoint.

In the scope of above mentioned information, three verification methods are used in the present study. These are Root Mean Square Error (RMSE), Mean Error (ME) and Threat Score. RMSE, provides information about strength of the error. ME, gives information about strength and direction of the error. Finally, Threat Score demonstrates prediction accuracy of the model for predicting parameters in a predefined range.

For the implementation of the mentioned verification techniques, matching sets of stations and model's grid points are determined by selecting the nearest grid point and weather observation stations by means of their latitude and longitude information. However, topography data sets of the models are different from actual situation. In other words, station's actual altitudes are differ from model's altitudes due to the nature of the models. It is assumed that the 361 stations from 2010 are common stations for a five-year calculation period (2009-2013).

In the verification study, January and July months are selected for representing the winter and summer seasons respectively in the five-year calculation period. The WRF and ALARO models are run along 72-hour prediction for each day. The outputs of the models deal with the four prognostic parameters (temperature, actual pressure, wind speed and precipitation). For the temperature, actual pressure and wind speed the outputs are produced every three hours, on the other hand the precipitation output is taken for cumulative values in a day. Threat score is used for temperature, precipitation and wind speed values. However, the RMSE and bias values are generated for the temperature, actual pressure and wind speed. In addition, for the temperature parameter; the altitude correction implemented using calculated relative humidity and altitude values by means of linear method in order to decrease the error that comes from altitude differences between actual and model topography.

This study involves a verification study of 5 years of January and July temperature, actual pressure, wind and precipitation parameters outputs of WRF and ALARO models that operationally run by TSMS. Prediction data from ECMWF is used as input data whereas automated weather observation stations data is used as observation data.





## 1. GİRİŞ

Bilimin gelişmesindeki en önemli olgu insanın doğasındaki merakıdır. Daha rahat ve konforlu bir yaşam hayal eden insanoğlu, gelecek ile ilgili en ufak bir bilgiyi bile kullanarak kendine büyük yararlar sağlayabilmektedir. Gelişen teknoloji bilimin her dalında kullanıldığı gibi meteoroloji alanında da birçok konuda kullanılmaktadır.

20. yüzyılın ikinci yarısı itibariyle yer gözlem istasyonları, uydu sistemleri, radarlar, şamandıralar gibi gözlem ağılarının gelişmesi ve yaygınlaşması ile atmosfer daha yüksek mekansal ve zamansal çözünürlükte temsil edilebilmiştir. Özellikle, uzaktan algılama sistemleri olan uydular ve radarlar sayesinde, istasyon kurulması zor ya da imkansız olan bölgelerin meteorolojik bilgilerine ulaşılabilmektedir. Hava gözlemleri, asimilasyon adı verilen süreç ile sayısal modellere girdi teşkil ederek sıcaklık, yağış ve diğer meteorolojik bileşenlerin tahminin üretilmesini sağlamaktadır. Bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda, meteorolojik ölçümlerin sıklığı ve güvenilirliği, sayısal hava tahmin modellerinin gelişmesine katkı sağlamaktadır.

Sayısal Hava Tahmini (SHT), meteorolojik gözlemleri bilgisayar ortamında matematiksel modeller ile işleyerek geleceğe ya da geçmişe yönelik tahminler üretmeye odaklanmıştır. SHT modelleri zamansal çözünürlük olarak kısa vadeli (saatlik hava tahmini), mevsimsel tahminler (aylar mertebesinde) ve iklimsel çalışmalar (yüz yıllar mertebesi) şeklinde değişirken, mekansal çözünürlük anlamında ise, Sınırlı Alan Modelleri (SAM) ve global modeller mevcuttur. Yanı sıra gözlem verilerini istatistiksel ve dinamik metodlarla işleyen Çoklu Tahmin Sistemleri (Ensemble Prediction System-EPS), atmosferin dinamik sisteminin gelecekteki olası durumlarının temsili örneklerini üretmektedir. Ulusal hava tahmin modelleri olduğu gibi ülkelerin birleşerek oluşturduğu konsorsiyumlarca geliştirilen modeller de mevcuttur.

Bu çalışmada Türkiye'nin de dahil olduğu ve bir çok Avrupa ülkesinin oluşturduğu *Aire Limitée Adaptation Dynamique Développement International* (ALADIN)

konsorsiyumunun geliştirdiği sınırlı alan sayısal hava tahmin modeli *transition step between ALadin and AROme* (ALARO) ile, Amerika kökenli *Weather Research and Forecasting* (WRF) modeli, aynı girdi verisi ile koşturulmuş ve sonuçları yer gözlem verileri ile karşılaştırarak, iki modelin seçilen prognostik değişkenleri analiz edilmiştir.

## 1.1 Tezin Amacı

Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nde (MGM) operasyonel olarak *Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle*’den (ARPEGE) alınan tahmin verileri ile ALARO modeli, Entegre Tahmin Sisteminden (*Integrated Forecast System*-IFS) alınan tahmin verileri ile de WRF modeli çalıştırılmaktadır. Bu alışmada ALARO ve WRF sınırlı alan modelleri, dünyada sıklıkla kullanılan ve kabul görmüş Avrupa Orta lekli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) IFS modelinden alınan tahmin verileri ile koşturularak verifikasyon çalışmalarının yapılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda aynı girdi verisi kullanılarak Türkiye için hangi modelin hangi parametresinin daha tutarlı sonuçlar verdiği tespit edilmeye çalışılmıştır..

## 1.2 Literatür Araştırması

SHT, atmosferdeki dinamik ve fiziksel süreçlerin diferansiyel fonksiyonlar şeklinde tanımlanması ve sayısal yöntemler kullanılarak bu eşitliklerin çözülmesi ile gelecek bir zamandaki atmosfer koşullarını tahmin etme süreci olarak adlandırılabilir. Dolayısıyla havanın durumunu gösteren sıcaklık, rüzgar, nem ve basınç gibi prognostik değişkenlerin zamansal ve mekansal değişiminin elde edilmesi sağlanır (MGM Teknik Raporu, 2012; Schulze, 2007). Günümüzde kullanılan modelleri temel olarak SAM ve Global olmak üzere iki gruba ayırabiliriz.

Global Modellerde basit hidrostatik eşitlik kullanılmaktadır. Yatay znrlk Spektral (dalga sayısıyla orantılı) veya Grid (iki grid noktası arasındaki mesafeyle orantılı) olarak çözümlenmektedir. Bu tip modellerde havanın ağırlığı ile düşey basınç gradyan kuvveti arasında hidrostatik bir denge olduğu kabul edilmektedir. Düşey ivmenin hesaplamalarda ihmal edilir mertebede olduğu varsayılmaktadır. Global atmosferik modeller ve genel sirkülasyon modelleri global modellere örnek olarak verilebilir. Mevcut belli başlı global modeller ve bu modelleri geliştiren

ülkelere ve/veya kuruluşlara örnek olarak IFS (ECMWF), UM (İngiltere), GM (Almanya), ARPEGE (Fransa), AVN, MRF (ABD), GEM (Kanada) ve JMA (Japonya) verilebilir.

SAM, günümüzde araştırma amaçlı ve operasyonel hava tahmini için ülkeler bazında kullanılmaktadır. Bilgisayarların ve bilgisayar ünitelerinin hızla artan performans/fiyat oranı ile birlikte SAM, amatör kullanıcılar için daha ulaşılabilir bir hal almıştır. SAM'ın operasyonel olarak koşturulduğu pek çok örnek de mevcuttur. Örneğin, Birleşik Devletler Ulusal Hava Servisi'nce bölgesel hava tahmini için operasyonel olarak kullanıldığı gibi (Eta, RUC ve NGM modelleri – Black 1994; Benjamin ve diğ., 1994) küçük yüzölçümlü ülkeler, mevcut küresel tahminlerin kendi ihtiyaçlarını karşılamayacağını anlayarak kendi özel koşulları için SAM kullanmaktadır. Bununla birlikte, zirai danışma şirketleri de bitki örtüsünün hassas ve duyarlı olduğu hava durumlarının öngörüsü amacı ile operasyonel olarak SAM çalıştırmaktadır. Hükümet ve iş dünyasına bölgesel hava kalitesi yönetiminde strateji geliştirmelerinde yardımcı olmak için hava kalitesi modelleri ile birleştirilerek koşturulabilmektedir. Askeri idareler deniz ve karalar üzerindeki operasyonlarını yönlendirmelerini etkileyecek özel hava durumu koşullarını tahmin etmek için bölgesel modeller çalıştırmaktadırlar. Kaza sonucu zararlı kimyasalların ve radyoaktif materyallerin yayılmaları halindeki acil durum planlamaları için yine SAM kullanılmaktadır. Warner vd. (1997), gelecekte hava alanı yakınlarındaki rüzgâr kaymalarının kısa vadeli tahmini için havacılık amaçlı olarak da kullanılacağını belirtmiştir.

SAM'larda global modellerin tersine yatay çözünürlük dalga sayısı ile değil grid noktaları arasındaki mesafe ile orantılıdır. Yani global modellerde dalga sayısı arttığında çözünürlük artarken SAM'da grid sayısı artınca -ki bu durumda gridler arasındaki mesafe azalır- çözünürlük artmaktadır. SAM'ın bazılarında hidrostatik denge kabul edilirken (Sinoptik / Orta ölçekli modeller) bazılarında ise hidrostatik denge eşitliği kabul edilmez. Bunlar genellikle çok yüksek çözünürlük gerektiren tahmin problemlerinde kullanılmaktadır. Dünyada kullanılan belli başlı sınırlı alan modelleri ve bu modelleri geliştiren ülkelere örnek olarak ALADIN ( Fransa, Çek Cum., Macaristan, Avusturya, Belçika, Slovenya, Slovakya, Romanya, Fas, Tunus, Cezayir, Portekiz, Bulgaristan, Hırvatistan, Polonya ve Türkiye), Eta ( Yugoslavya-ABD ), LM ( Almanya, İtalya, İsviçre, Yunanistan, Romanya, Polonya, Rusya ),

HIRLAM ( İrlanda, Danimarka, İspanya, Norveç, Hollanda, İzlanda, Estonya, Finlandiya, İsveç, Letonya, Litvanya ), MM5 ve WRF ( ABD ) verilebilir.

Hem global hem de SAM tahminlerinde bir takım hatalar meydana gelmektedir. Bu hatalar sistematik ve sistematik olmayan hatalar olarak gruplandırılabilir. Sistematik hatalar, modelin gerek fiziksel parametrizasyon problemlerinden, gerek yatay çözünürlüğünün düşük olmasından, gerekse topografya verisinin gerçek topografyayı tam olarak ifade edememesinden meydana gelen ve süreklilik arz eden hatalardır. Bu tür hataların düzeltilmesi için modelin kendisine müdahale edilmesi gerekmektedir. Sistematik olmayan hatalar ise, modele giren başlangıç koşullarındaki hatalardan kaynaklanan ve devamlılık arz etmeyen hatalardır. Başlangıç verilerinin düzeltilmesi için veri asimilasyon metotlarının daha hassas kullanılması, SHT modellerinin tahminlerinin gelişmesinde önemli faktörlerden biridir (Kalnay ve diğ., 2003).

SHT modellerinden elde edilen tahminler, modellerin doğası gereği belirsizlikler içermektedir. Bu belirsizlikler, modellerin tanımlanmış başlangıç koşullarındaki hatalardan ya da formülasyonlardaki hatalardan kaynaklanmaktadır. Atmosfer dinamiğinin kaotik yapısı, her iki kaynağın da sebep olduğu hataları arttırmaya meyillidir. Bu nedenle, SHT süreçlerinde her iki belirsizlik kaynağının da göz önünde bulundurulması oldukça önemlidir. Belirsizliklerin yanı sıra, SHT modelleri aşağıda sıralanan model içi kabullerine bağlı olarak gerçekçi tahminler vermez:

- Lineer olmayan hareket eşitliklerinin kesin analitik çözümleri yoktur.
- Atmosferi idare eden hareket eşitlikleri, türbülanslı akımların tüm spektrumunun oluşumunu ve dinamik etkileşimlerini içermez (Shafee ve Shafee, 1987).
- Mevcut bilgisayar kapasite kısıtları nedeniyle kabuller yapılarak hareket eşitliklerinde basitleştirmeler çözümlerde hata yaratmaktadır (Ehrendorfen, 1997).
- Bilgisayar hassasiyetine bağlı yuvarlama hataları, daha önce bahsi geçen belirsizliklerin zamanla eksponansiyel olarak şiddetlenmesine ve model tahminlerinin gerçek dışı olmasına neden olur (Beck ve Roepstorff, 1987). Bu nedenle, hava fenomeninin doğru şekilde modellenmesi, alternatif kavramlar ve hesaplama teknikleri gerektirmektedir (Selvam, 1988).

Hava tahminlerindeki belirsizliklerin niceliksel ve güvenilirlik anlamında değerlendirilmesi hem bilimsel hem de ekonomik anlamda önemlidir. Bilimsel olarak, verilen atmosfer dinamiği koşulları için, başlangıçta birbirine yakın giden iki değişkenin birbirinden ne oranda saptığı, atmosferik tahmin edilebilirlik ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Ekonomik olarak ise, belirli bir tahminin belirsizliğini öngörmek hava tahmininin güvenilirliğinin ve hava tahmininden elde edilen yararın artmasını sağlayacaktır (Ehrendorfen, 1997).

Dünyada meteorolojik gözlem sistemleri ne kadar gelişmiş olsa da dünyanın birçok bölgesinde direk olarak gözlem değerleri hala ölçülememektedir. Bu bölgelerdeki eksiklikler uzaktan algılama teknikleri (uydu, radar) ile elde edilen değerlerle giderilmektedir. Fakat uzaktan algılama ile alınan veriler direk gözlemler kadar güvenilir değildir. Hava tahmininde modelin iyi olması kadar modele girecek olan başlangıç verisinin güvenilirliği de çok önemlidir. Zira model konfigürasyonu ve parametrisasyon paketleri birbiri ile uyumlu bir şekilde hazırlanmış olsa da kullanılan veri hatalysa, hata tahmini de o derece tutarsız olacaktır. Özellikle hava kütlelerinin kaynak bölgelerindeki küçük bir analiz hatası tahmin periyodu boyunca büyüyebilir ve çok geniş ölçekteki akışları dahi etkileyebilir. Tahminlerin doğruluklarının zamanla azalmasının ana sebeplerinden birisi de budur. Bu tip veriden kaynaklanabilecek hataları göz önüne alabilmek için başlangıç verilerine küçük perturbasyonlar (sapmalar) eklenip çıkarılmaktadır. Bu sayede yeni başlangıç koşulları oluşturularak her bir başlangıç koşuluyla farklı tahminler üretilmektedir. Deterministik modellerin özelliklerine ilave olarak her bir parametrenin meydana gelebilme olasılıkları hakkında bilgi veren bu yapı EPS olarak adlandırılır. Son yıllarda EPS, şiddetli hava olaylarının tahminini geliştirmede, modellerin hatalarının kaynaklarını tespit etmede ve hava öngörülerinin hatalarını yok etmek için yöntemler geliştirmede önemli bir bilimsel araç haline gelmiştir (Wang ve diğ., 2011).

Verifikasyon ya da doğrulama, tahmin sistemlerinin kullanımı ve geliştirilmesinde kritik bir bileşendir. İdeal olarak tahminin kalitesini görüntülemeye, geliştiricilere ve tahmincilere tahmini geliştirmek için yardım etmek üzere geri bildirim sağlamada önemli bir rol oynamaktadır. Buna ek olarak, Mahoney ve diğ. (2002) tarafından belirtildiği üzere tahmin verifikasyonu farklı modeller ya da tahminciler tarafından yapılan tahminlerin farklılıklarının tespit edilmesine yardımcı olabilir. Sonuç olarak tahmin kalitesi tahmin değeriyle yakinen ilişkili olduğundan, ilişkiler bazen çok

karmaşık olmasına rağmen, verifikasyon belirli tipteki tahminlerin değerlendirilmesinde önemli bir role sahiptir (Murphy, 1993). Tipik olarak verifikasyon teknikleri, tahmin gridinin gözlem gridiyle ya da gözlem noktalarıyla eşleştirildiği noktasal örtüştürmeye dayanmaktadır (Davis ve diğ., 2006).

Wang ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada yenilenmiş ALADIN-LAEF (Aire Limit'ee Adaptation Dynamique D'evloppement InterNational – Limited-Area Ensemble Forecasting) modelinin performansını incelemişler ve operasyonel olarak kullanım öncesi, değerlendirme amacıyla iki aylık periyot için ALADIN-LEAF'in önceki versiyonu ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Oluşturdukları model dizaynına göre model 00 UTC'de başlayıp 54 saatlik tahminler üreterek koşturulmuştur. Yukarı atmosfer parametrelerinin tahminin verifikasyonunda ECMWF'in analiz verileri kullanılırken; yer parametrelerinin tahmininde ise 1219 adet sinoptik istasyondan alınan gözlem verileri kullanılmıştır. Çalışmada, 2 metre sıcaklığı, 10 metre rüzgarı ve aktüel basınç gibi parametreler için tahmin değerleri gözlem noktalarına interpolate edilerek taşınmış; ancak yağış parametresi için gözlem değerlerinin en yakındaki grid notası ile eşleştirilmesi yolu izlenmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre yenilenmiş ALADIN-LAEF yukarı atmosfer sıcaklığı, rüzgar hızı ve bağıl nem parametreleri için verifikasyon sonuçlarında azalan Hata Kareleri Ortalamalarını Karekökü (Root Mean Square Error-RMSE) değerleri gözlemlenmiştir. Yenilenmiş versiyonun yukarı atmosfer parametrelerinin tahminleri için yanlışlık (Bias) değerleri iyileşme eğilimi gösterirken, 850 mb'daki bağıl nem parametresinde iyileşme gözükmemesi ALADIN-LAEF'de kullanılan model fizik paketi ile ilişkilendirilmiştir. Yeryüzü parametreleri verifikasyonunun sonuçlarına göre, yenilenmiş versiyonun çoklu ortalamasının RMSE değerinin ise eski versiyona göre daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Yağış ve yere yakın sıcaklık tahminlerinde açık bir iyileşme gözlemlenirken, rüzgar parametresinin RMSE değerine bakıldığında iyileşmenin ihmal edilebilecek derecede olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada her iki versiyonun da çoklu ortalamalarının hatalarının günlük bazda değiştiği, gündüzleri daha büyük hatalarla karşılaşırken geceleri bu hataların azaldığı vurgulanmıştır. Bu durum özellikle 2 metre sıcaklığı ve denize indirgenmiş basınç parametrelerinde gözlemlenmiştir. Wang ve diğ. (2011) ALADIN'in gündüz saatlerindeki tahminlerinin yetersiz olduğu ortaya koymuşlardır. Diğer önemli sonuç da SAM'ın daha iyi tahmin yapabilmesi için model girdi verisinin çözünürlüğü ile

model çözünürlüğünün uyum göstermesi gerektiği ancak dinamik ölçek küçültme metodunun doğası gereği bu ihtiyacı karşılayamadığıdır. SAM'ın çözdüğü tüm ölçeklerde blending tekniğinin uygulanmasının daha gerçekçi model girdi verisi oluşturacağı yönünde fikir belirtmişlerdir. Blendingin bu özelliğinin yeni versiyonda RMSE değerlerinin küçük çıkmasına kısmen katkıda bulunduğu ifade edilmiştir.

Hayashi ve diğ. (2008), Japonya ve Güneydoğu Asya için 20 km yatay çözünürlükte Non-Hydrostatic Model (NHM) ve WRF-ARW sayısal hava tahmin modellerinin kısa vadeli tahminleri için istatistiksel verifikasyon çalışması yapmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, yağış parametresi için iki modelin de isabet skorları neredeyse aynı bulunmuştur. Aynı zamanda, elde edilen bu sonuçların operasyonel olarak kullanılan orta ölçekli Japonya Meteorolojik Ajansı (JMA) modelinden elde edilen sonuçlarla da uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. WRF-ARW modeli, NHM'ye göre daha fazla miktarda yağış tahmin ederken, yağış yoğunlunun fazla olduğu yerlerde NHM'nin bias değerlerinin WRF-ARW'nin bias değerlerine göre daha tutarlı olduğu görülmüştür. Elde ettikleri sonuçlara göre, Güneydoğu Asya için her iki modelin tahmin doğruluğu da Japonya'daki yağışlı dönemin tahminlerinin doğruluğundan daha kötü çıkmıştır. Bunun sebeplerinden biri olarak Japonya'daki yağışlı mevsimdeki yağışların orta enlem sinoptik bozulmasından kaynaklanırken, tropikal yağışlara konveksiyonun sebep olması gösterilmiştir. Diğer sebeplerin başlangıç-sınır koşulları ve/veya iki modeldeki fiziksel süreçlerden kaynaklı olabileceği eklenmiştir. Şu anki küresel modellerin, doğulu tropiklerdeki yağışları tahmin etmede yetersiz olabileceği gibi ayrıca bu iki orta ölçekli modelin parametrisasyon setlerindeki uyumsuzlukların da nedenler arasında olabileceği vurgulanmıştır.

Sousounis ve diğ. (2004) Uluslararası Hava Hizmetleri Şirketi'nde (WSI) mevcut olan orta-ölçekli sayısal hava tahmin modellerinin 0-12 saatlik yağış tahminlerinin tutarlılık ve doğruluğunun performansını değerlendirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Araştırmanın hedeflerinden biri, şiddetli yağışların başlangıç ve bitişinin mevcut modellerce yapılan tahminlerinin saatlik zaman ölçeğinde doğruluğunu değerlendirmektir. Bu kapsamda dört farklı orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli değerlendirilmiştir. Ardışık şiddetli hava olaylarının gözlemlendiği 15 Nisan ve 11 Mayıs 2003 arasındaki ilkbahar sezonunda, 1300 adet dolu, yaklaşık 3200 adet hasar veren şiddetli fırtına ve neredeyse 500 adet tornado rapor edilmiştir.

İki aylık çalışma periyodunda, 100 den fazla model konfigürasyonu, 39 farklı başlangıç koşulu ile kombine edilerek yaklaşık 4000 adet simülasyon elde edilmiştir. Model çıktılarının verifikasyonunda geleneksel yöntemlere (isabet skoru vb.) ek olarak yeni geliştirilen duyarlılık-doğruluk (Marshall ve diğ., 2004) adındaki teknik de kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan dört model MM5 (v3.5, Grell ve diğ. 1993), WRF (v1.3, Michalakes ve diğ. 2001, Skamarock ve diğ., 2001), ARPS (v5.0.0, Xue ve diğ., 2000) ve Eta'dır (Listemaa, 2002). Her bir modelin mevcut fiziksel parametrisasyonları ve opsiyonları kullanılarak elde edilen farklı konfigürasyonlar ile modeller koşturulmuştur. Modeller, 36 ve 12 km yatay çözünürlükte tek yönlü nesting (yuvalama) işlemi yoluyla 12 saatlik periyotlarla koşturulmuştur. 36 km çözünürlüklü model alanı için başlangıç ve sınır koşulları NCEP Eta modelinden alınmıştır. Bu model alanı için geleneksel yöntemlerle (isabet skoru) elde edilen verifikasyon sonuçlarına göre, MM5 değerlendirilen eşik değerlerin çoğunda WRF'ye istatistiksel olarak belirgin bir üstünlük sağlamıştır. Ek olarak, MM5 ve WRF, Eta ve ARPS'ye göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Modelin performansını, zamanlama ve yoğunluk hatalarını göz önünde bulundurarak değerlendiren duyarlılık-doğruluk yöntemi sonuçlarına göre 36 km çözünürlüklü model alanı için WRF, MM5'ten daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu sonuca ek olarak, geleneksel yöntemlerle yapılan verifikasyon sonuçlarının tersine, WRF'nin 12 km'lik simülasyon sonuçları 36 km'lik simülasyon sonuçlarından daha iyidir.

Lokal yüzey koşullarından ve arazi şartlarından yüksek oranda etkilenebilen yüzey rüzgarlarının ve sıcaklık alanlarının tahminini için WRF modelinin kullanılmasına sıklıkla rastlanmaktadır. Son çalışmalar göstermiştir ki, WRF modelinin genel eğilimi 10 metre rüzgar hızını daha yüksek, 2 metre gündüz sıcaklıkları ise daha düşük tahmin etme yönündedir. Prabha ve arkadaşlarının 2008'deki çalışmasında, gündüz sıcaklık tahminlerinde gün batımından 2 saat önce gözlemlenen -2 ila -4 arasında değişen negatif bias değerlerinde istikrarlı şekilde artış görülmüştür (Prabha, 2008). Beklendiği üzere, gündüz saatleri boyunca, modelin negatif bias değerleri, istasyonun yüksekliği ile artmaktadır, en yüksek hatalar dağlık alanlarda yer alan istasyonlarda görülmüştür. Gece saatleri boyunca, model 700 metreden daha düşük yükseklikte yer alan istasyonlar için gerçekleşen sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklar tahmin ederken, dağlık bölgelerde yer alan istasyonlar için gerçekleşenden yüksek değerler öngörmüştür. En yüksek hatalar, yüksek dağlık



alandaki istasyonlar için gündüz zamanında gözlenirken, deniz seviyesine yakın yükseklikte yer alan istasyonlar için ise gece boyunca gözlenmiştir. Verifikasyon sonuçları göstermektedir ki, model 2 metre sıcaklıklarını ortalama  $-0.33\text{ }^{\circ}\text{C}$  daha düşük tahmin ederken, 10 metre rüzgar hızı değerlerini  $+0.45\text{ metre/saniye}$  daha fazla öngörmüştür. İleri düzeydeki analizler göstermiştir ki, hatalar yüksek oranda günlük döngüye, istasyonun lokasyonuna, tahmin aralığına ve hava rejimlerine bağlıdır. En yüksek hata değerleri ( rüzgar hızı için  $1\text{ m/s}$ ; sıcaklık için  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar) dağlık bölgeler gibi yüksek arazilerde yer alan istasyonlarda ve deniz seviyesine yakın istasyonlarda görülmüştür. Sıcaklık için negatif bias değerleri, gün batımından birkaç saat önce maksimumlara ulaşırken, rüzgar hızı için gece boyunca maksimum değerler görülmektedir. Hava rejimleri, model performansını önemli ölçüde etkileyebilmektedir ve belirli günlerde bias değerleri, rüzgar hızı için  $5\text{ m/s}$  ye sıcaklık için ise  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ye kadar ulaşabilmektedir (Roux ve diğ., 2009).

Demirtaş ve diğ. 2005 yılında yaptıkları çalışmada, kantitatif yağış tahmini için uygulanan iki verifikasyon tekniğini incelemiştir. Çalışmada belirtildiği üzere, SHT modellerinde, kantitatif yağış tahminlerinin kalitesini değerlendirmek için tahmin grid noktası ve gözlem istasyonu değerleri karşılaştırılmakta (grid-to-point) veya analiz edilip gridlenmiş yağış alanları incelenmektedir (grid-to-grid). İlk metot, belirli bir lokasyonun tahmin başarısını değerlendirmek için model grid noktası tahmin değerini, istasyon noktasına interpolasyonu kullanılarak yapılmaktadır. Bu doğrulama yaklaşımını ECMWF, MGM vb. gibi kuruluşlarda operasyonel olarak kullanılmaktadır. Bu metodun dezavantajı, modellerce tahmin edilen toplam yağış alanlarını koruyamamasıdır. İkinci metot ise birden fazla tahmin modelini incelemek için tahminlerin ortak grid noktalarına interpolate edilmesiyle uygulanmaktadır. Bu doğrulama tekniği *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) ve Avustralya Meteoroloji Bürosunda operasyonel olarak yürütülmektedir. Bu tekniğin dezavantajı ise ölçülen gözlem değerlerinin, ortak gridlere interpolasyon sürecinde yumuşatılmasıdır. Çalışmada WRF modelinin Nonhydrostatic Mesoscale (NMM) ve Advanced Research WRF (ARW) versiyonları koşturulmuş ve sonuçlar Eta modeli ile karşılaştırılmıştır. Yüksek yağış değerleri için WRF modelinin iki versiyonu da fazla tahmin üretme eğiliminde iken, Eta modelinin az tahmin değerleri hesaplama eğiliminde olduğu görülmüştür (Demirtaş ve diğ., 2005).

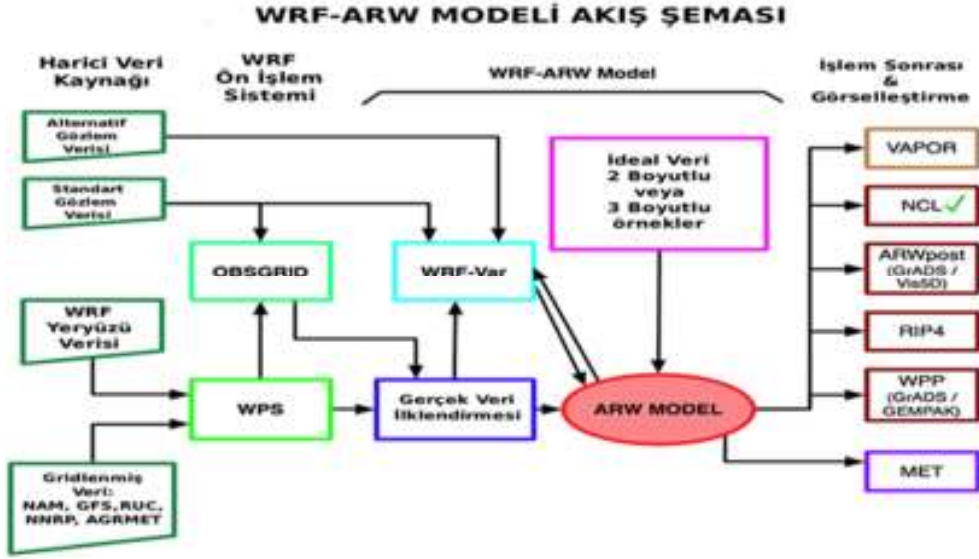
MGM Sayısal Hava Tahmin Şube Müdürlüğü'nde (SHTŞM) operasyonel olarak koşturulan sınırlı alan hava tahmin modellerinden WRF ve ALARO ile ECMWF tarafından küresel olarak koşturulan IFS modeli, MGM tarafından hazırlanan hava tahmin raporlarında önemli rol oynamaktadır. Sınırlı alan hava tahmin modelleri için başlangıç ve sınır koşul verileri, WRF modeli için IFS modelinden, ALARO modeli için de ARPEGE modelinden alınan tahmin verileri kullanılarak koşturulmaktadır. Bu çalışmada, bu iki SAM aynı başlangıç ve sınır koşul verisi ile, IFS modeli tahminleri ile, koşturulmuş ve bu iki farklı modelin aynı girdi verisiyle yaptığı tahminlerin doğrulaması yapılmıştır. Kullanılan modeller ve girdi verisi ile ilgili bilgiler, uygulanan verifikasyon teknikleri ile ilgili açıklamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

## 2. KULLANILAN MODELLER VE VERİLER

### 2.1 WRF

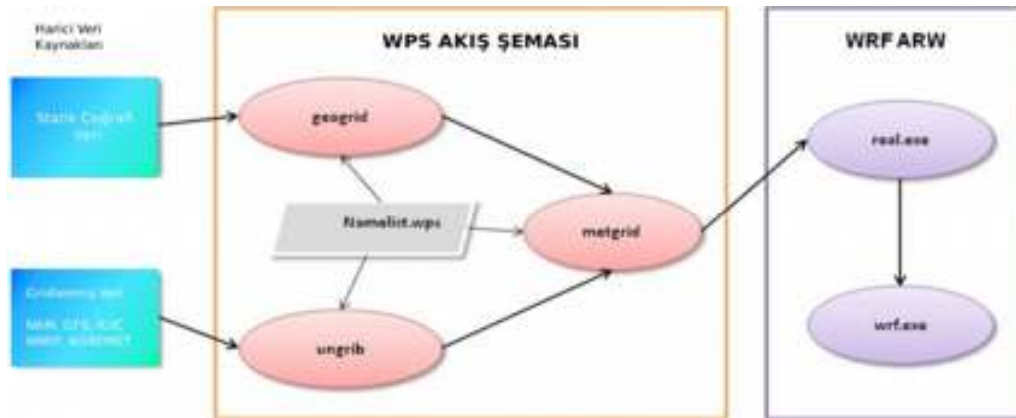
WRF modeli yeni nesil, açık kaynaklı, mezo ölçekli sayısal hava tahmin modelidir. Atmosferik simülasyon sistemi ve veri (noktasal, radar ve uydu ) asimilasyon eklentileri de bulunmaktadır. Hava tahmin merkezleri, üniversiteler ve enstitülerdeki atmosferik araştırmalarda kullanılabilmesini sağlayan çok esnek bir kodlamaya sahiptir. WRF'yi paralel hesaplama üniteleri ve kişisel bilgisayarlarda kullanmak mümkündür. Modelin denklemleri tam sıkıştırılabilir, Eulerian, hidrostatik olmayan denklemlerdir. Bu denklemlerde skaler değişkenler korunumlu olduğu için idealize ve gerçek koşullarda kullanılabilir. Model düşeyde sigma gridi kullanmaktadır. Atmosferin tepesindeki basıncı 0 olarak kabul ederek, model seviyelerini yüzey basıncına göre normalize etmektedir. Yatay grid yapısı Arakawa-C grid ve zaman integrasyonu Runge-Kutta ikinci ve üçüncü mertebeden şemalardır. Model iki şekilde çalıştırılabilir. Birincisi ARW (Advanced Research WRF – Gelişmiş Araştırma WRF) ve diğeri NMM (Non-hydrostatic Mesoscale Model- Non-hidrostatik Orta ölçekli Model). ARW, Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi (NCAR) tarafından araştırma amaçlı geliştirilmiştir. ARW çözücüsü sigma koordinatları olarak adlandırılan topografyada, keskin değişimlerin olduğu bölgelerde genellikle kullanılan, arazi yapısını takip eden düşey koordinat sistemini kullanmaktadır. NMM ise NCEP tarafından operasyonel kullanım için geliştirilmiştir. Hibrit sigma düşey koordinatlarını kullanır. Modeli destekleyen ve geliştiren kuruluşlar Ulusal Okyanus ve Atmosferik Araştırmalar Merkezi (NOAA), Hava Kuvvetleri Hava Ajansı (AFWA), Naval Araştırma Laboratuvarı, Oklahoma Üniversitesi ve FAA'dır.

Veri asimilasyonu, parametrisasyon, atmosfer kimyası, küresel ve bölgesel uygulamalar, uzun dönem klimatolojik araştırmalar, kuple model uygulaması, orman yangınlarını tahmini gibi çok geniş alanlarda model kullanılabilir. Şekil 2.1' de WRF-ARW modelinin akış şeması gösterilmektedir.



**Şekil 2.1 : WRF-ARW Akış Şeması**

Modelin ana bileşenlerinden biri WRF Öncü-işleme Sistemi'dir (WPS). WPS arazi verilerini ve meteorolojik verileri eşleştirip modelin çalışacağı bölgeye örtüştürür. Bu işlemi 3 aşamada yapar; geogrid, ungrib, metgrid (Şekil 2.2). Geogridin amacı modelin çalışacağı alanı belirlemek ve arazi verilerini modelin grid noktalarına göre interpolate etmektir. Arazi verileri modelin çözünürlüğüne bağlı olarak 10 dk, 5 dk, 2 dk ve 30 s çözünürlükteki veri setlerinden birisi olarak seçilebilir. Ungrib GRIB formatındaki verileri modelin çalışacağı bölgeye dair koordinatlara ve seçilen çözünürlüğe bağlı olarak WRF modelinin veri formatına dönüştürür. Metgrid ise ungrib ve geogrid ile hazırlanmış topoğrafya ve arazi kullanımı verileri üzerine meteorolojik verileri interpolate etmektedir (Mesoscale & Microscale Meteorology Division, 2014).



**Şekil 2.2 : WPS Akış Şeması**

## 2.2 ALARO

Global modeller, yatay ve düşey çözünürlüklerinin düşük olması ve hidrostatik eşitlik prensibine dayanmaları nedeniyle lokal hava tahmininde yetersiz kalmaktadırlar. Bu sebeple, global modellerden daha yüksek çözünürlüklerde sınırlı alanlar için çalıştırılabilen modellere ihtiyaç duyulmuştur.

ARPEGE, Meteo-France tarafından geliştirilen ECMWF IFS kaynaklı global bir hava tahmin modelidir. ALADIN ise yukarıda bahsedilen ihtiyaçlara cevap vermek amacıyla geliştirilmiştir. İlk olarak Kasım 1990 yılında Meteo-France'nin ARPEGE global modelinin sınırlı alan için geliştirilen versiyonunu Bulgaristan, Macaristan, Çek Cumhuriyeti, Polonya, Romanya ve Slovakya ile birlikte araştırma ve geliştirmeye açmasıyla başlanmıştır. Bundan sonraki süreçte Cezayir, Belçika, Fas, Tunus, Portekiz, Avusturya, Hırvatistan, Slovenya ve en son olarak Türkiye bu gruba katılmıştır.

ALADIN aslında, *Application of Research to Operations at Mesoscale* (AROME), ALARO ve ALADIN modelleri ile bu modellerin başlangıç ve sonuç datalarını işlemek için gerekli araçları da içeren komple bir sistemdir. Bu araçlar arasında data asimilasyonu, ODB (Observational Database), FAtogRIB, klimatolojik dataların hazırlanması, diagnostik parametrelerin üretilmesi de yer almaktadır.

AROME ve ALARO ise ALADIN'ın non-hidrostatik versiyonları olup yatay çözünürlükleri sırasıyla 2.5 km ve 4-5 km.dir.Bu modellerin başlangıç ve sınır koşulları ARPEGE global modelinden elde edilmektedir.

ALADIN yaklaşık olarak 10 km yatay çözünürlükte kartezyen gridlerde sınırlı bir alanda çalışan bi-periyodik ve hidrostik hava tahmin modelidir. ALADIN modeli Lambert Conformal, polar stereografik ve Mercator olmak üzere üç farklı coğrafik grid için çalıştırılabilir.

ALADIN'ın ECMWF grib formatıyla benzerlik gösteren "FA" formatında girdi ve çıktı dosyaları vardır. Bunlar üzerinde metview benzeri grib encode/decode eden programları kullanabilmek için FA dosyalarını Grib formatına çevirmek gerekmektedir. İlgili dönüşüm kodları ALADIN paketinde mevcuttur.

ALADIN kaynak kodu farklı zamanlarda üye ülkelerin katkılarıyla yenilenmekte ve geliştirilmektedir. Bu nedenle farklı versiyonları adlandırmak için CY38T1 gibi bir

notasyon kullanılmaktadır. Burada CY versiyonu T ise alt sürümleri ifade etmektedir.

ALADIN modeli çalışırken 3 farklı alana ihtiyaç duymaktadır.

**C Bölgesi:** Central Zone ( Merkez Bölge ): Sadece ALADIN hesaplamaları

**I Bölgesi:** Intermediate Zone ( Ara bölge ): C bölgesiyle coupling(Arpege to Aladin) değerleri arasında dataların sürekliliğini sağlar

**E Bölgesi:** Extension Zone ( İlave Bölgesi ): Modelin bi-peryodikliğini (dalgalarda kesinti olmaması) sağlamak için matematiksel bölge. Bu alanda meteorolojik denklemlerin çözümü yapılmaz. Sadece modelde sürekliliği sağlamak için gereklidir (Tahminler Dairesi Başkanlığı Sayısal Hava Tahmini Şube Müdürlüğü, 2012).

ALARO-0 modelinin fizik parametrisasyon paketi özellikle konveksiyon oluşumuna elverişli çözünürlüklerde çalıştırılmak için dizayn edilmiştir. Paketin arkasındaki anahtar konsept Moduler Multiscale Microphysics ve Transport (3MT) adındaki yağış ve bulut şemasında bulunmaktadır. Aynı ayrı hesaplanan derin konvektif yoğunlaşma ve geniş ölçekli yoğunlaşma (sedimentasyon, oto konversiyon, yağış sırasında erime ve buharlaşma), prognostik-geometrik mikro fiziksel hesaplamalar seti için tek bir girdi olarak birleştiriliyor.

ALARO-0 modelindeki gelişmeler 3MT konseptini merkez alarak gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple diğer parametrisasyon şemaları da 3MT kullanımına uygun olmaktadır.

ALARO, ALADIN'ın bazı merkezi ve doğu Avrupa ülkeleri tarafında kullanılan versiyonudur. ALADIN'ın bu versiyonu AROME uyumlu orta ölçekli fizik paketi kullanılmaktadır. Bu paket ayrıca yatay çözünürlüğü 3-10 km arasında iken de çalışmaya uyumludur. Bazı spesifik noktalar için fizik paketleri ARPEGE'den ve hatta AROME'ninkinden farklıdır. Burada amaç ALARO'yu yatay çözünürlük 3-10 km iken kullanabilmektir.

ALARO modeli çok ölçekli operasyonel davranışı, algoritmik seçenekleri boyutlandırmadaki güvenilirliğiyle ve gelecek için seçilmiş belirli konulardaki girişimleri ile karakterize edilebilir.

### 2.3 IFS

ECMWF 26 Avrupa ülkesi tarafından desteklenen bağımsız bir uluslar arası kuruluştur. Sözleşmesinin yürürlüğe girmesiyle 1975 yılında 13 ülke tarafından kurulmuştur. 1976 yılında Türkiye ECMWF'e tam üye olmuştur.

Yapılan araştırma ve çalışmalar sonucu ECMWF Deterministik Modeli *Integrated Forecasting System* (IFS) ortaya çıkarılmıştır ve 1 Ağustos 1979 tarihinden itibaren de operasyonel hale getirilmiştir. Halen MGM tarafından en çok kullanılan bu model 0.125x0.125 (Yaklaşık 15 km.) çözünürlükte olup global olarak çalışan ve 10 günlük tahminler üreten bir modeldir.





### 3. KULLANILAN VERİFİKASYON TEKNİKLERİ

Tahmin verifikasyonu, tahminin kalitesini değerlendirme amaçlı uygulanan bir işlemdir. Literatürde çok çeşitli verifikasyon teknikleri mevcut olsa da temelde hepsi tahminler ve bu tahminlerle ilgili gözlemler arasındaki ilişkiyi ölçmektedir (Wilks, 2011).

Objektif hava tahminin verifikasyonu en az üç farklı bakış açısı ile gerçekleştirilebilir: doğruluk ( tahmin ve verifikasyon arasındaki fark), beceri (referans bir yöntem ile karşılaştırılması) ve yararlılık/kullanılabilirlik (tahminin ekonomik değeri ve politik sonuçları). Beceri ölçüsü, sübjektif bir seçim olan referansa bağlı iken, yararlılık ölçüsü ise son kullanıcının seçimlerine bağlıdır. Sadece ilk yaklaşım olan “doğruluk” ölçüsünün tam anlamıyla objektif olduğu söylenebilir (ECMWF User Guide, 2013).

#### **Ortalama Hata Kareleri Kökü (RMSE)**

En yaygın doğruluk ölçüsü “Ortalama Hata Kareleri Kökü”dür (3.1).

$$OHKK(RMSE)=\sqrt{(\overline{f-a})^2} \quad (3.1)$$

Analiz ya da gözlem ile tahmin arasındaki farkı ölçer. RMSE (Root Mean Square Error) negatif yönelimlidir, yani artan sayısal değerler hatanın arttığını göstermektedir.

#### **Ortalama Mutlak Hata(MAE)**

$$OMH=|\overline{f-a}| \quad (3.2)$$

Ortalama Mutlak hata da (3.2) aynı şekilde negatif yönelimlidir. RMSE kuadratik doğası gereği kuadratik olmayan MAE’ye (Mean Absolute Error) göre daha yüksek sayısal değerler alır. MAE’nin RMSE’ye göre daha düşük sayısal değerler alıyor olması, RMSE’nin tahmin hatalarının pratikteki sonuçlarını daha iyi temsil etmesine rağmen, MAE’nin tercih edilmesi sebebi olabilir (ECMWF User Guide, 2013).

Ayrıca Ortalama Hata (OM - bias) MAE'den farklı olarak hataların sayısal değerleriyle birlikte hatanın yönü hakkında da bilgi verir.

Tahminlerin verifikasyonunda, son kullanıcıların tahminler üzerindeki düşüncesi oldukça önemlidir. Bu durum hava tahmini verifikasyonuna sübjektif bir bakış açısı getirir. Tahminlerin işe yararlılık anlamında değerlendirilmesinde ihtimal tabloları (contingency table) sıklıkla kullanılmaktadır. İhtimal tablosunda tahmin ve gözlemin örtüşmesi hit (a), gözlemde var olan hadisenin model tarafından tahmin edilmediği durumlar yanlış alarm (b), gözlemde hadise gerçekleşmeyip model tahmininde hadisenin gerçekleştiği durumlar ıska (c), hem gözlemde hem de model tahmininde hadisenin gerçekleşmediği durumlar ise doğru ret (d) ve bunların toplamı örnek uzayı (n) olarak adlandırılır (Çizelge 3.1).

**Çizelge 3. 1 : İhtimal Tablosu**

| Tahmin | Gözlem |       |           |
|--------|--------|-------|-----------|
|        | Evet   | Hayır | Toplam    |
| Evet   | a      | b     | a+b       |
| Hayır  | c      | d     | c+d       |
| Toplam | a+c    | b+d   | n=a+b+c+d |

2x2'lik ihtimal tablosundan elde edilebilecek çeşitli ölçüler mevcuttur:

#### **Doğru yüzdesi (Percent Correct)**

Doğru yüzdesi (PC) yapılan tahminin yüzde olarak doğruluğunu ölçer. Tabloya göre bu ölçek (3.3):

$$PC=(a+d)/n \quad (3.3)$$

PC, 0 ile 1 arasında değer alır. Hiçbir tahminin doğru olmadığı durumu 0 ve tüm tahminlerin doğru olduğunu 1 ifade eder. Bu ölçü, gerçekleşme frekansı düşük olan şiddetli hava olayları için kullanışlı bir ölçüm yöntemi değildir. Bu gibi durumlarda, doğru ret (d) hadiseler için PC değeri yüksek olur ve sık gözlenmeyen hadiseler için yanıltıcı bilgi oluşturur.

#### **Hit Oranı (H)**

Hit oranı, aynı zamanda Tespit Edilme Olasılığı (Probability of Detection; POD) olarak da adlandırılır. Gözlemlenen olaylarla bu olayların doğru tahmin edildiği durumları tespit etmek için kullanılır ve şu şekilde hesaplanır (3.4):

$$H=a/(a+c) \quad (3.4)$$

Hit oranı, 0 en kötü olmak üzere, en iyi ve istenen sonuç olan 1 arasında değişen değerler alır.

#### **Yanlış Alarm Oranı**

Yanlış Alarm Oranı (False Alarm Ratio, FAR) gözlemlenen hadisenin model tarafından tahmin edilmediği durumları ölçer (3.5).

$$FAR=b/(a+b) \quad (3.5)$$

FAR en iyi sonuç 0 olmak üzere en kötü sonuç 1'e kadar olan aralıkta değerler alır.

#### **İsabet Skoru (Threat Score)**

İsabet Skoru (TS) ya da diğer adı ile Kritik Başarı İndeksi (Critical Success Index, CSI), Hit Oranı ve Yanlış Alarm Oranı ölçeklerinin düşük frekanslı olayların tespiti için kombine edilmiş bir versiyonudur. Aşağıdaki formül ile hesaplanır (3.6):

$$TS=CSI=a/(a+b+c) \quad (3.6)$$

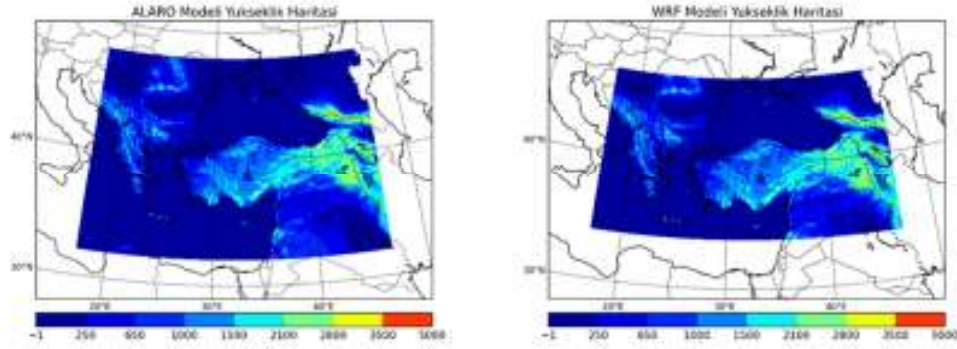
Bu skor 0 ile 1 arasında değerler alır. TS için 0 en kötü, 1 en iyi sonuçtur.



## 4. UYGULAMA

### 4.1 Uygulama Bilgileri

ALARO modeli yatayda 4,5 kilometre çözünürlükle 709x439 grid sayısı ve düşeyde 60 sigma seviye ile ve WRF modeli ise iç içe iki alan olarak koşturulmuştur. Dıştaki alanın özellikleri yatayda 13500 metre çözünürlükle ve 480x300 grid sayısı ve düşeyde 46 sigma seviye, içteki alanın özellikleri yatayda 4500 metre çözünürlükle 649x430 grid sayısı ve düşeyde de 46 sigma seviyedir. Şekil 4 1’de modellerin çalışma alanı sınırları ve topografya haritaları gösterilmektedir.



**Şekil 4.1 :** ALARO ve WRF modelleri koşturulma alanları ve yükseklik haritası.  
Çizelge 4.1’de ALARO ve WRF modellerinin MGM’de operasyonel olarak kullanılan parametrisasyon şemaları verilmiştir.

**Çizelge 4. 1 :** ALARO ve WRF modelleri, Parametrisasyon setleri.

| Parametrizasyon    | ALARO               | WRF                   |
|--------------------|---------------------|-----------------------|
| <b>Mikro fizik</b> | 3MT                 | Single-Moment 5-class |
| <b>Radyasyon</b>   | ACRANEB(New-Geleyn) | RRTM/Dudhia           |
| <b>Bulut</b>       | Xu-Randal           | Kain-Fritsch          |
| <b>LSM</b>         | ISBA                | Noah                  |
| <b>PBL</b>         | Geleyn              | YSU                   |

Çalışmada, hesaplamaların yapılacağı model grid noktaları seçilirken, istasyonun enlem ve boylamına en yakın olan nokta seçilmiştir. Verifikasyon işlemleri

yapıldıktan sonra, sonuçlar tekrar grid noktalarına taşınıp görselleştirilmiştir. Modellerdeki topografya bilgisi ile gerçek topografya farklı olduğu için, istasyon yüksekliği ile modellerin o nokta için kullandığı yükseklik bilgileri büyük farklar içermektedir. Şekil 4. 3’de model yükseklikleri ile istasyon yüksekliklerinin farkları gösterilmektedir. Çizelge 4.2 ve 4.3’te ALARO ve WRF modelleri ile istasyonlar arasında 400 metreden fazla fark olan istasyonlar listelenmiştir. 5 yıl için ortak istasyonlar olarak kabul edilen 2010 yılına ait 361 adet otomatik gözlem istasyonlarının konumları Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



**Şekil 4.2 :** 2010 yılı Otomatik Gözlem İstasyonları.

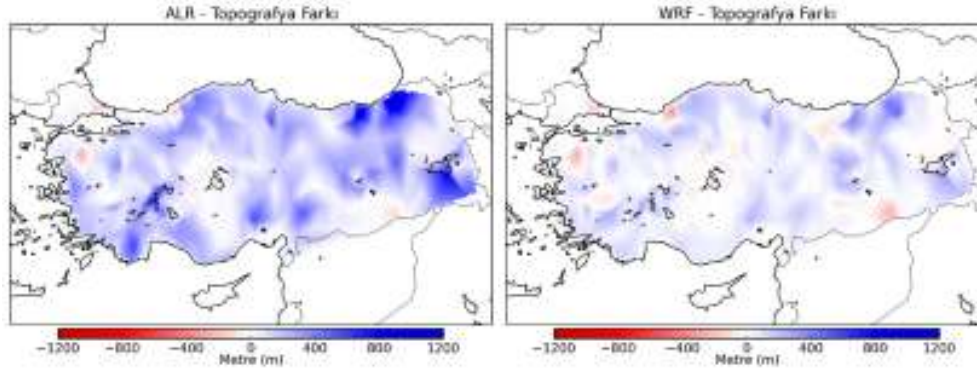
**Çizelge 4. 2 :**ALARO Modeli, 400 metreden fazla farka sahip istasyon yükseklik listesi (metre).

| İstasyon Numarası | İstasyon Yükseklik | ALARO Yükseklik | İstasyon Numarası | İstasyon Yükseklik | ALARO Yükseklik |
|-------------------|--------------------|-----------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| 17045             | 613.0              | 1408.5          | 17776             | 1366.0             | 1867.0          |
| 17078             | 259.0              | 667.1           | 17793             | 996.0              | 1599.9          |
| 17085             | 409.0              | 986.9           | 17806             | 869.0              | 1294.6          |
| 17088             | 1216.0             | 1921.1          | 17823             | 1150.0             | 1573.2          |
| 17255             | 572.0              | 1097.7          | 17826             | 959.0              | 1715.0          |
| 17285             | 1727.0             | 2263.8          | 17843             | 1300.0             | 1714.2          |
| 17615             | 162.0              | 617.9           | 17852             | 1694.0             | 2494.2          |
| 17660             | 1151.0             | 1746.5          | 17864             | 1025.0             | 1598.8          |
| 17666             | 1223.0             | 1833.8          | 17865             | 1240.0             | 1682.3          |
| 17713             | 1354.0             | 2543.0          | 17934             | 1080.0             | 1648.5          |
| 17714             | 1030.0             | 2096.9          | 17952             | 1095.0             | 1710.2          |

**Çizelge 4. 3 :**WRF Modeli, 400 metreden fazla farka sahip istasyon yükseklik listesi.

| İstasyon Numarası | İstasyon Yükseklik (metre) | WRF Yükseklik (metre) |
|-------------------|----------------------------|-----------------------|
| 17018             | 1112.0                     | 683.5                 |
| 17088             | 1216.0                     | 1619.3                |
| 17660             | 1151.0                     | 1623.7                |
| 17713             | 1354.0                     | 1757.8                |

Ocak ve Temmuz aylarının 1-31'inci günleri için 5 yıllık (2009-2013) WRF ve ALARO modelleri 72 saat tahmin uzunluğunda koşturulmuştur. Sıcaklık, basınç ve rüzgar parametreleri için 3'er saatte bir çıktılar; yağış parametresi için günlük toplam çıktılar üzerinden verifikasyon çalışmaları yapılmıştır. Sıcaklık, basınç ve rüzgar parametreleri için RMSE ve bias değerleri, sıcaklık, yağmur ve rüzgar parametreleri için de isabet skorları hesaplanmıştır. Ayrıca her istasyon noktası için modelin topografya bilgisi ile gerçek yükseklik arasındaki farktan kaynaklanabilecek hatayı azaltabilmek amacıyla, modellerce hesaplanan bağıl nem değerleri ve yükseklik farkları kullanılarak lineer metot ile yükseklik düzeltmesi yapılarak tekrar hesaplanan sıcaklık parametresinin RMSE ve bias değerleri, incelemeye dahil edilmiştir. Yükseklikle sıcaklık değişimi kuru hava için 0,98 °C/100 m ve nemli hava için 0,65 °C/100 m kabul edilmiştir. ICAO standart atmosfer kabullerine göre yeryüzünden troposfere kadar ortalama sıcaklık değişimi 0,65 °C/100 m olarak kabul edilmiştir (Darling ve diğ., 2012).



**Şekil 4.3 :** ALARO ve WRF modelleri istasyon yükseklikleri farkları.

2009-2013 yılları arasındaki Ocak aylarında ölçülen en yüksek sıcaklık 2012 yılında 37,8 °C ile Antalya-Alanya istasyonunda, en düşük sıcaklık 2012 yılında -31,6 °C ile Kayseri-Tomarza istasyonunda, en yüksek aktüel basınç 2013 yılında 1049,4 milibar ile Adana-Ceyhan istasyonunda, en düşük aktüel basınç 2013 yılında 721,3 milibar

ile Erzurum-Palandöken istasyonunda, en fazla yağış 367,8 mm ile Erzurum-Palandöken istasyonunda ve en şiddetli rüzgar 27,7 m/sn ile Trabzon-Torul istasyonunda görülmüştür.

Temmuz aylarında ölçülen en yüksek sıcaklık 2011 yılında 48,6 °C ile Zonguldak-Merkez istasyonunda, en yüksek aktüel basınç 2013 yılında 1024,9 milibar ile Düzce-Akçakoca istasyonunda, en düşük aktüel basınç 2013 yılında 737,6 milibar ile Erzurum-Palandöken istasyonunda görülmüştür. Kullanılan gözlem verileri MGM'den alınan ham verilerdir, kalite kontrol testine sokulmamıştır.

#### **4.2 Aktüel Basınç**

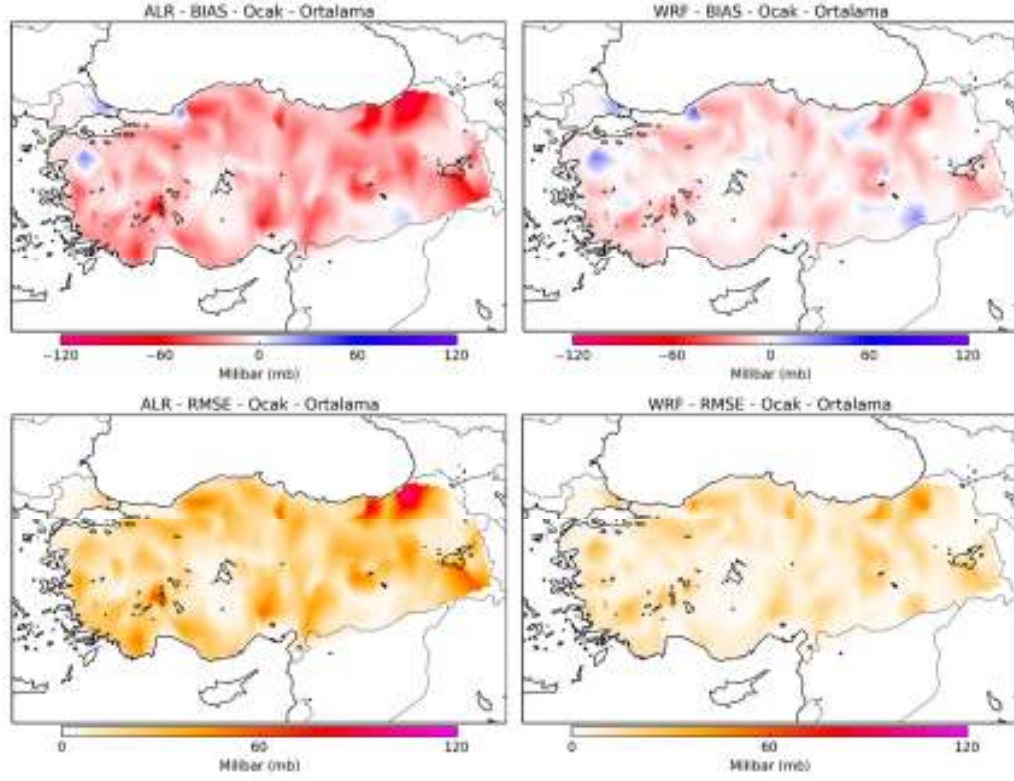
Her iki modelin RMSE ve bias değerlerine bakıldığında, birinci zaman adımları ile yetmiş ikinci zaman adımları arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Buna göre, hataların tahmin süresinin uzunluğundan bağımsız olduğu anlaşılmıştır. Ocak ve Temmuz aylarının tüm zaman adımları için ortalama RMSE ve bias değerleri harita üzerinde çizdirildiğinde patern olarak yüksek benzeşim göstermektedir. Buna karşın aldıkları minimum ve maksimum değerlerde farklılıklar gözlenmiştir. Ocak ayında maksimum RMSE değeri WRF modeli için 52,7 milibar iken ALARO modeli için 110,1 milibardır. Temmuz ayında ise maksimum RMSE değerleri modeller için WRF modeli için 48,7 milibar ve ALARO modeli için 104,6 milibara düşmektedir. Şekil 4. 4 ve 4. 5'te her iki model için Ocak ve Temmuz ayları RMSE ve bias değerlerinin ortalamaları harita üzerinde gösterilmiştir.

Model grid noktası yüksekliği ve istasyonun gerçek yüksekliği arasındaki fark ile RMSE ve bias değerlerinin örtüştüğü tespit edilmiştir. Model topografya bilgisinin gerçek istasyon yüksekliğinden fazla olduğu noktalarda negatif bias değerleri; yani az tahminler, gerçek istasyon yüksekliğinin model topografyasından fazla olduğu noktalarda ise, pozitif bias değerleri; yani fazla tahminler hesaplanmıştır. WRF topografya setinin gerçeğe daha yakın olduğu şekil 4. 3'te görülmektedir. Sonuçlara bu doğrultuda bakıldığında aktüel basınç için WRF modelinin tahminleri iki ay için de ALARO modelinin tahminlerinden daha tutarlı sonuçlar vermektedir.

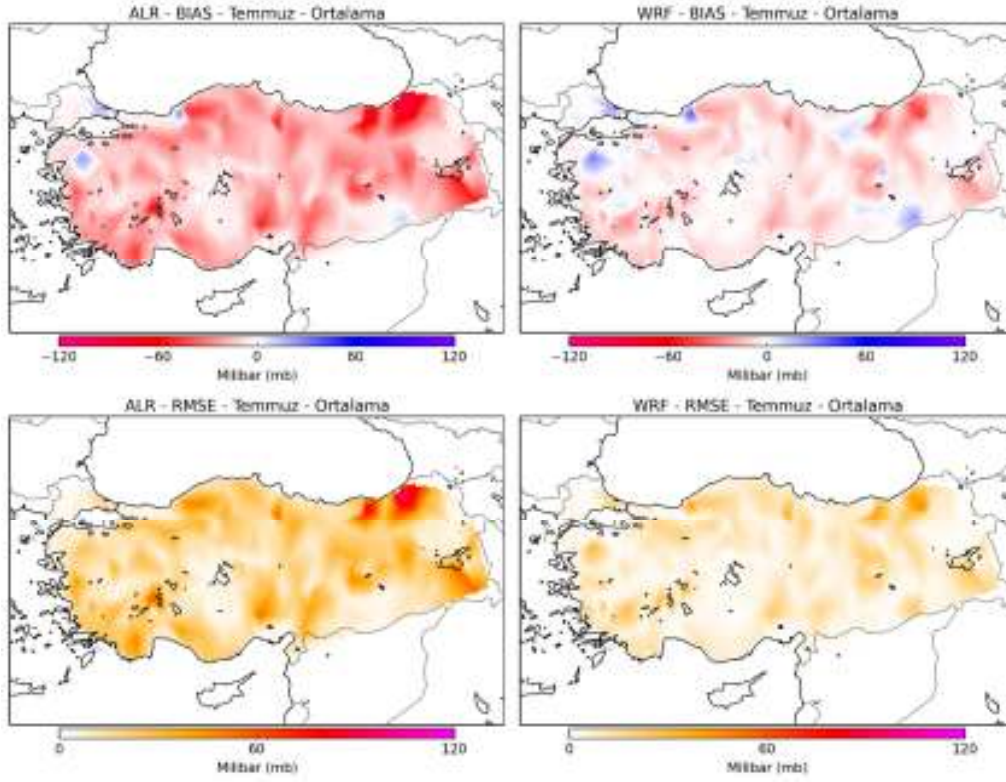
Şekil 4. 6'da Ocak ve Temmuz aylarında, ALARO modeli için karşılaşılan en büyük bias sonuçları ve aynı tahmin zamanı için WRF modelinin bias sonuçları gösterilmektedir. Tablo 1'de, ALARO modelinde 17713 numaralı Rize-Çamlıhemşin



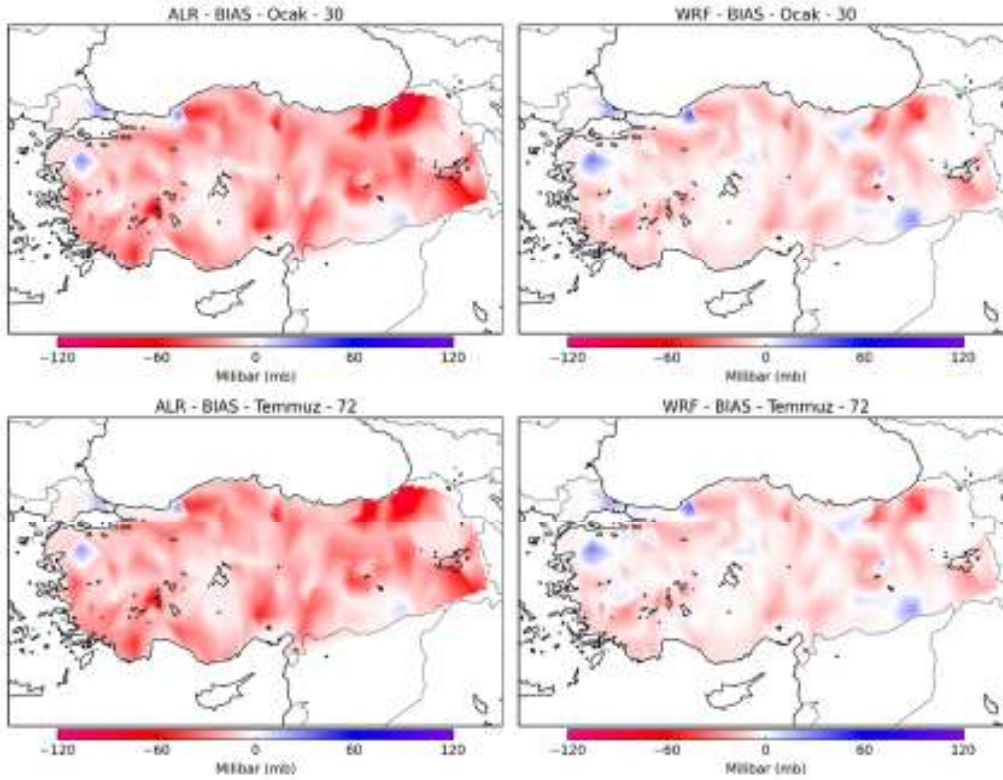
istasyonuna ait yükseklik farkı yaklaşık 1200 metre olarak görülmektedir. ALARO modeli Ocak ve Temmuz ayları için en büyük RMSE değerleri bu istasyonda hesaplanmıştır. Tablo 2' ye bakıldığında, 17660 numaralı Erzurum-Uzundere istasyonu WRF modeli için 470 metre yükseklik farkı olduğu görülmektedir. İki ayın en yüksek RMSE değerleri WRF modeli için bu istasyonda hesaplanmıştır.



**Şekil 4.4 :** ALARO ve WRF modelleri, Aktüel Basınç Parametresi, Ocak ayı Ortalama RMSE ve bias skorları



Şekil 4.5 : ALARO ve WRF modelleri, Aktüel Basınç Parametresi, Temmuz ayı Ortalama RMSE ve bias skorları.

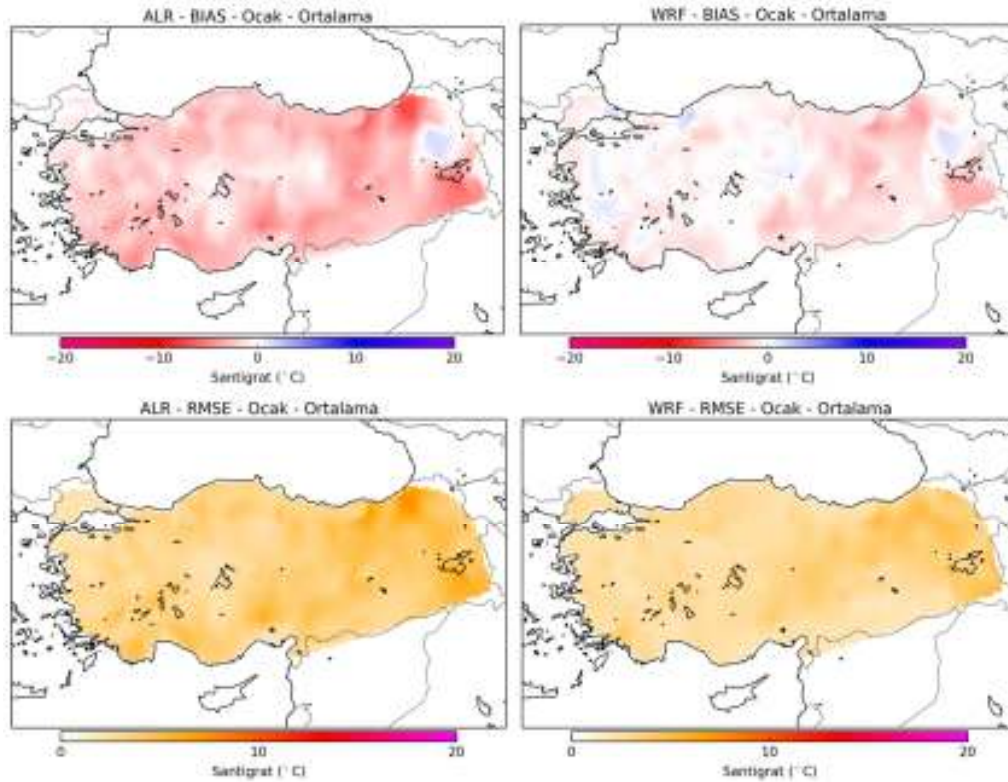


Şekil 4.6 : ALARO ve WRF modelleri, Aktüel Basınç Parametresi, Ocak ayı 30, Temmuz ayı 72. zaman adımı, bias skorları.

### 4.3 Sıcaklık

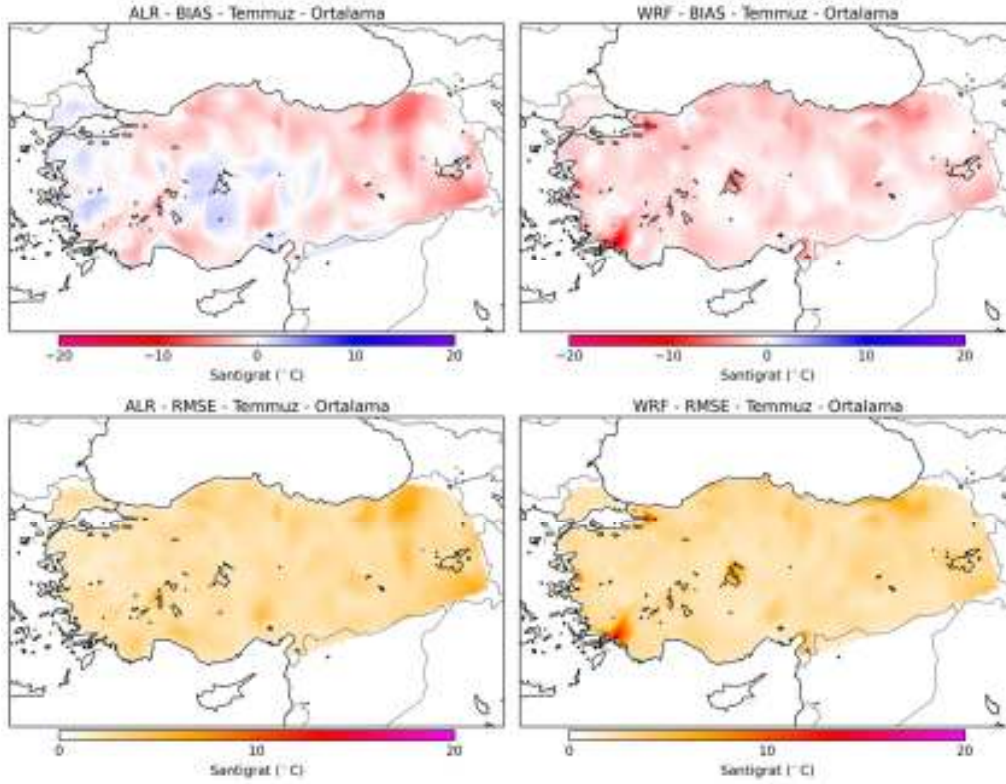
2009-2013 yılları arası Ocak ayı sıcaklık parametresi incelendiğinde, günlük salınım süresince WRF ve ALARO modellerinde RMSE değerlerinin, öğlen saatlerinde hesaplanan maksimum değerlere ulaştığı dikkat çekmektedir. Öğlen saatleri bias değerlerine bakıldığında, her iki modelde genel olarak az tahmin etme eğiliminde olduğu görülmektedir. WRF modeli gece saatleri için incelendiğinde ise negatif bias skorları azalırken, pozitif bias skorlarında artış gözlenmekte; yani gece saatleri için fazla tahmin etme eğilimi dikkat çekmektedir. ALARO modelinde genel olarak negatif bias skorları üretilirken, Van Gölünün kuzeyinde, Ağrı ve Kars civarında pozitif bias değerleri tespit edilmiştir. Şekil 4.7’de Ocak ayı ortalama RMSE ve bias skorları gösterilmiştir.

Temmuz ayında ise ALARO modelinde, öğlen saatlerinde WRF modelinden daha fazla hesaplanan pozitif bias, aylık ortalama bias haritasında net bir şekilde fark edilmektedir (Şekil 4. 9). WRF modelinde RMSE ve bias hata değerlerinin



**Şekil 4.7 :** ALARO ve WRF modelleri, Sıcaklık Parametresi, Ocak ayı Ortalama RMSE ve bias skorları.

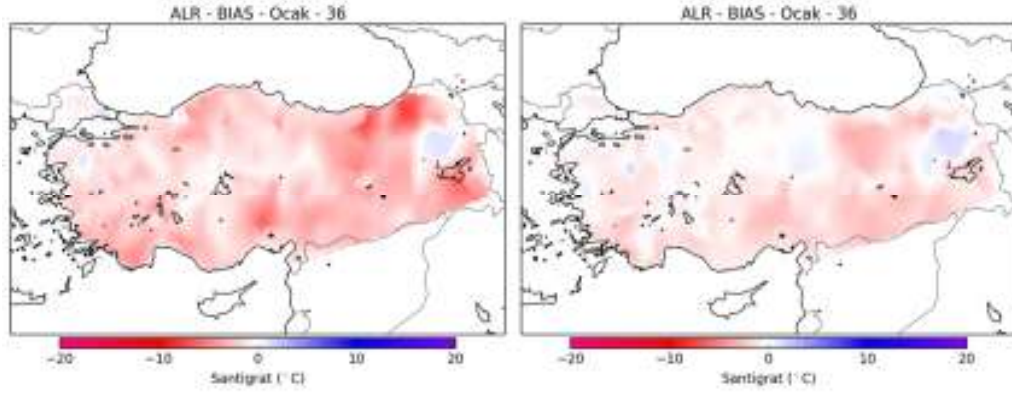




**Şekil 4.8 :** ALARO ve WRF modelleri, Sıcaklık Parametresi, Temmuz ayı Ortalama RMSE ve bias skorları.

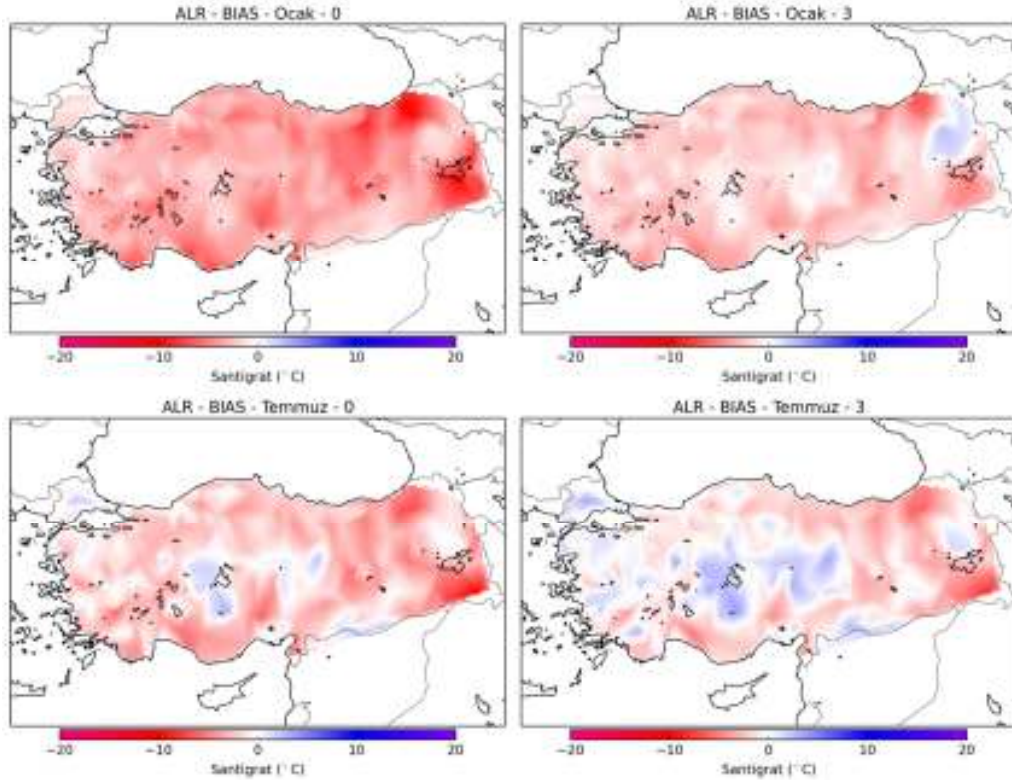
maksimum olduğu bölgeler Marmaris ve Fethiye arasında, Trabzon'un ve Rize'nin dağlık alanlarında, Sakarya çevresinde, özellikle Temmuz ayı için Aliğa ve Çandarlı arasında ve Tuz Gölü civarında görülmüştür. Bu bölgeler için tekrar hesaplanan RMSE değerlerine bakıldığında bu hataların azalmadığı fark edilmiştir. Bu durumda hataların yükseklikten kaynaklanmadığı anlaşılmıştır. Temmuz aylarında WRF modeli için hesaplanan maksimum RMSE 19,2°C değeri iken, ALARO modeli için hesaplanan maksimum RMSE değeri 10,4°C'dir.

Yükseklik farkı ve bağıl nem parametresi kullanılarak tekrar hesaplanan sıcaklık değerleri için verifikasyon sonuçlarına bakıldığında ALARO modelinde gözle görülür düzeltmeler Şekil 4.9'de görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.12 ve 4.13'de düzeltilmiş sıcaklığın Ocak ve Temmuz ayları için bias ve RMSE skorları gösterilmektedir.

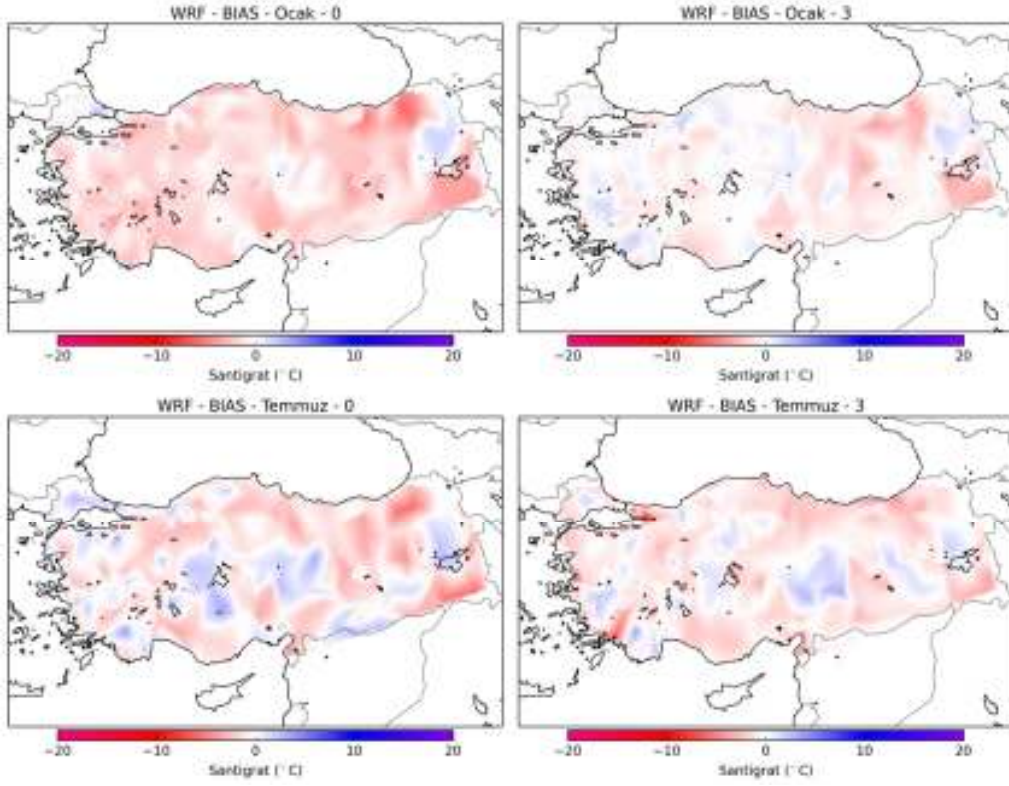


**Şekil 4.9 :** ALARO modeli, Ocak ayı 36. zaman adımı, bias ve düzeltilmiş bias skoru.

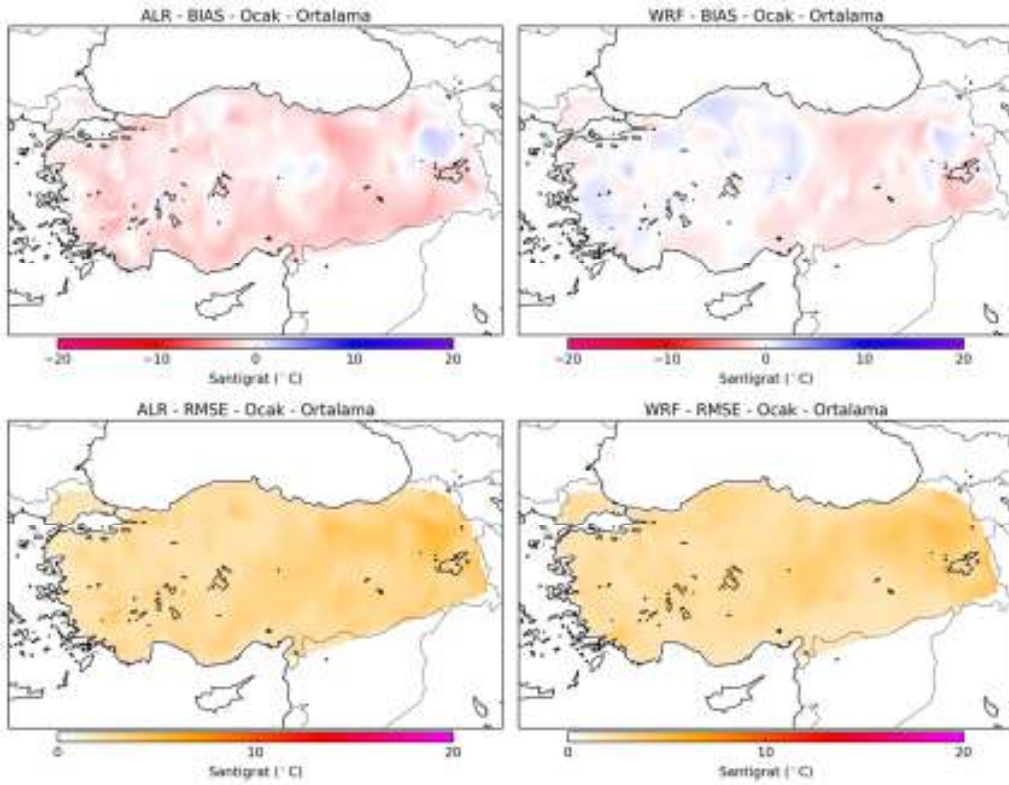
Ayrıca başlangıç zaman adımındaki hataların, ilk zaman adımındaki hatalara göre büyük farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4. 10). Oluşan bu fark, başlangıç verilerini model topografyasıyla örtüştürürken oluşmaktadır ve bu hatalar, modellerin topografik bilgi verileri ile bağlantılıdır. Modeller koşturulmaya başladıktan sonra model içindeki dinamik durum ilerledikçe bu hatalar azalır. WRF modeli topografik bilgisi gerçeğe daha yakın olduğundan, başlangıç zaman adımı hataları ALARO modelinden daha azdır.



**Şekil 4.10 :** ALARO modeli, Ocak ve Temmuz ayı 0. ve 3. zaman adımı, bias skoru.

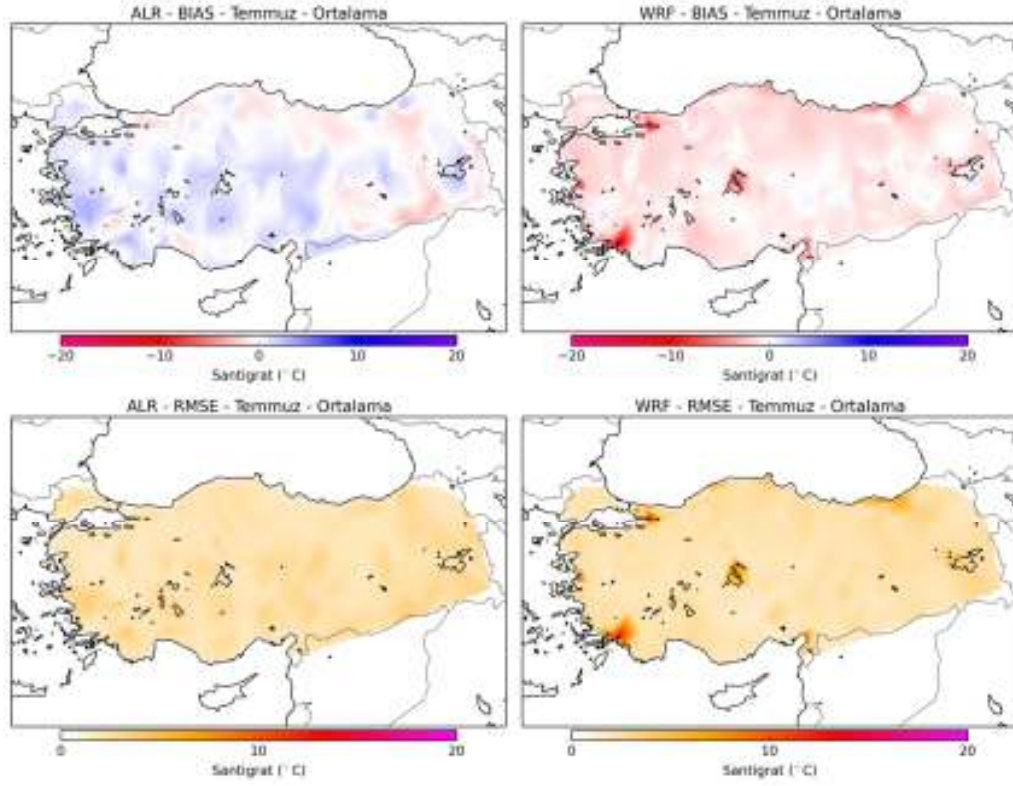


Şekil 4.11 : WRF modeli, Ocak ve Temmuz ayı 0. ve 3. zaman adımı, bias skoru.



Şekil 4.12 : ALARO ve WRF modelleri, Düzeltilmiş Sıcaklık Parametresi, Ocak ayı Ortalama RMSE ve bias skorları.





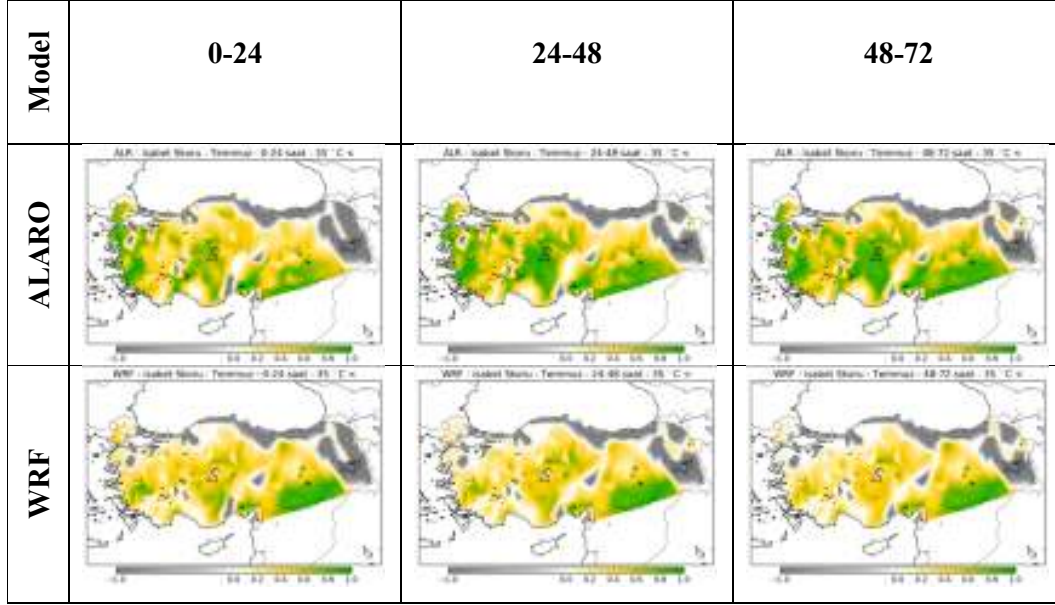
Şekil 4.13 : ALARO ve WRF modelleri, Düzeltilmiş Sıcaklık Parametresi, Temmuz ayı Ortalama RMSE ve bias skorları.

| Model | 0-24 | 24-48 | 48-72 |
|-------|------|-------|-------|
| ALARO |      |       |       |
| WRF   |      |       |       |

Şekil 4.14 : ALARO ve WRF modelleri, Sıcaklık Parametresi, Ocak ayı 0 °C altı isabet skorları.

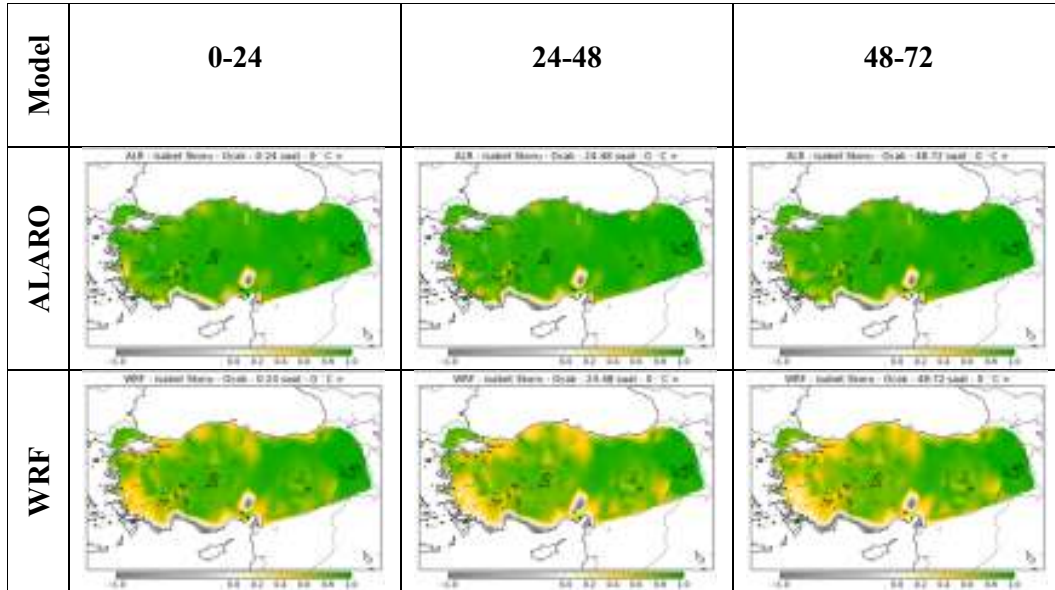
ALARO modeli WRF modeli ile kıyaslandığında Ocak ayında 0 °C altı için yaptığı tahminlerde oldukça tutarlı görünmektedir. WRF modelinde Ege ve Karadeniz

kıyılarında, tahmin zaman adımı ilerledikçe isabet skorlarındaki düşüş fark edilmiştir.



**Şekil 4.15 :** ALARO ve WRF modelleri, Sıcaklık Parametresi, Temmuz ayı 35 °C üstü isabet skorları.

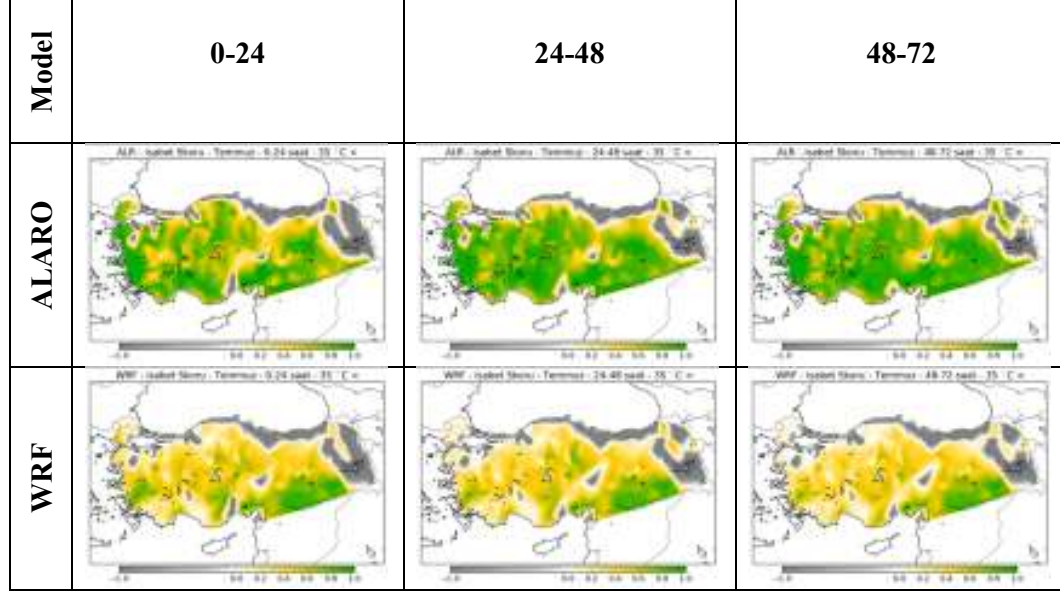
Temmuz ayı 35 °C üstü isabet skorları incelendiğinde ALARO modelinin ege kıyıları ve Konya civarındaki yüksek isabet skorları dikkat çekmektedir. Gaziantep, Şanlıurfa ve Diyarbakır'ı kapsayan alandaki 1'e yakın isabet skorları her iki modelde ortak olarak görülmektedir. Türkiye genelinde ALARO modelinde tahmin zaman adımı ilerledikçe isabet skorlarında artan bir eğilim fark edilmiştir.



**Şekil 4.16 :** ALARO ve WRF modelleri, Düzeltilmiş Sıcaklık Parametresi, Ocak ayı.



0 °C altı isabet skorları. Düzeltilmiş sıcaklık parametresi için isabet skorları incelendiğinde, Ocak ayı 0 °C altı tahminlerde, her iki model için de belirli bölgelerde isabet skorlarında düşüşler görülmektedir. Bu düşüşün nedeni, model topografyası ile istasyonların gerçek yükseklik bilgisi arasındaki farktan kaynaklanmaktadır (Şekil 4.16).



**Şekil 4.17 :** ALARO ve WRF modelleri, Düzeltilmiş Sıcaklık Parametresi, Ocak ayı.

0 °C altı isabet skorları ALARO modeli Temmuz ayı isabet skorları 35 °C düzeltilmiş sıcaklık parametresi başarısında büyük artış oluşmuştur. WRF modelinde ise benzer bir artış görülmemektedir (Şekil 4.17). Modeller genel olarak istasyonları daha yüksek noktalara yerleştirdikleri için düzeltilen sıcaklık değerleri de düzeltme esnasında artmaktadır. Bu sebeple 0 °C için başarı skorları düşerken, 35 °C için yükselmiştir.

#### 4.4 Yağış

Yağış tahminleri 00 GMT'den başlayarak günlük toplam olarak değerlendirilmiştir. '0 ile 1 mm', '1 ile 5 mm', '5 ile 20 mm' ve '20 mm'den fazla' yağış aralıklarının isabet skorları ilk gün, ikinci gün ve üçüncü gün tahminleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Skaladaki -1 değeri, istasyonda belirlenen aralıklarda yağış olmadığı ya da gözlem ve/veya model verisinin olmadığı durumlara kullanılmaktadır.

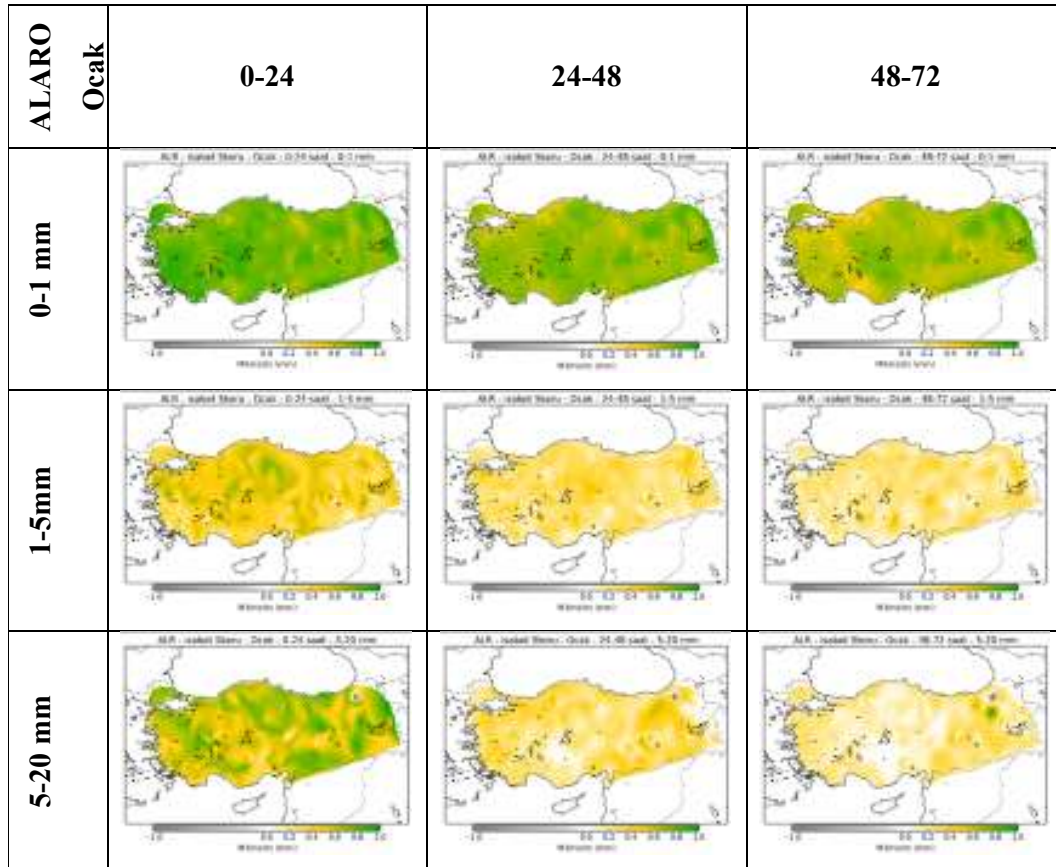
İki modelde de bütün aralık için ilk gün tahminleri en iyi isabet skorlarına sahiptir. Az ve hafif yağış aralıklarında, Ocak ayı için daha yüksek isabet skorları

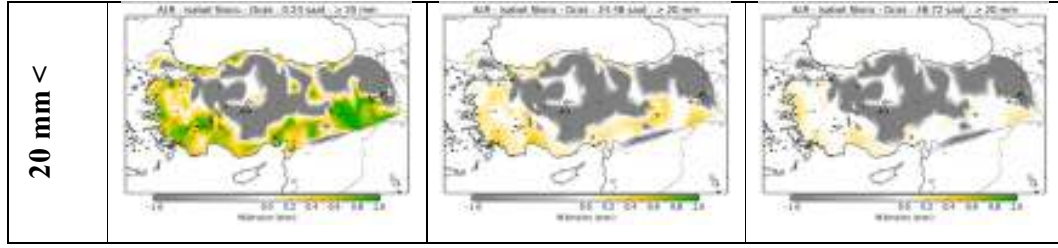
hesaplanmıştır. İki modelde en yüksek isabet skorları, yağışın olmadığı aralık ve 0-24 saat arası için hesaplanmıştır.

Her iki modelde Ocak ayları için Karadeniz'in kıyı kesimi, Akdeniz, Ege ve Doğu Anadolu bölgelerinin dağlık alanlarında, 20 mm üzeri ilk gün tahminleri için hesaplanan 0.8 civarındaki isabet skoru dikkate alınmıştır.

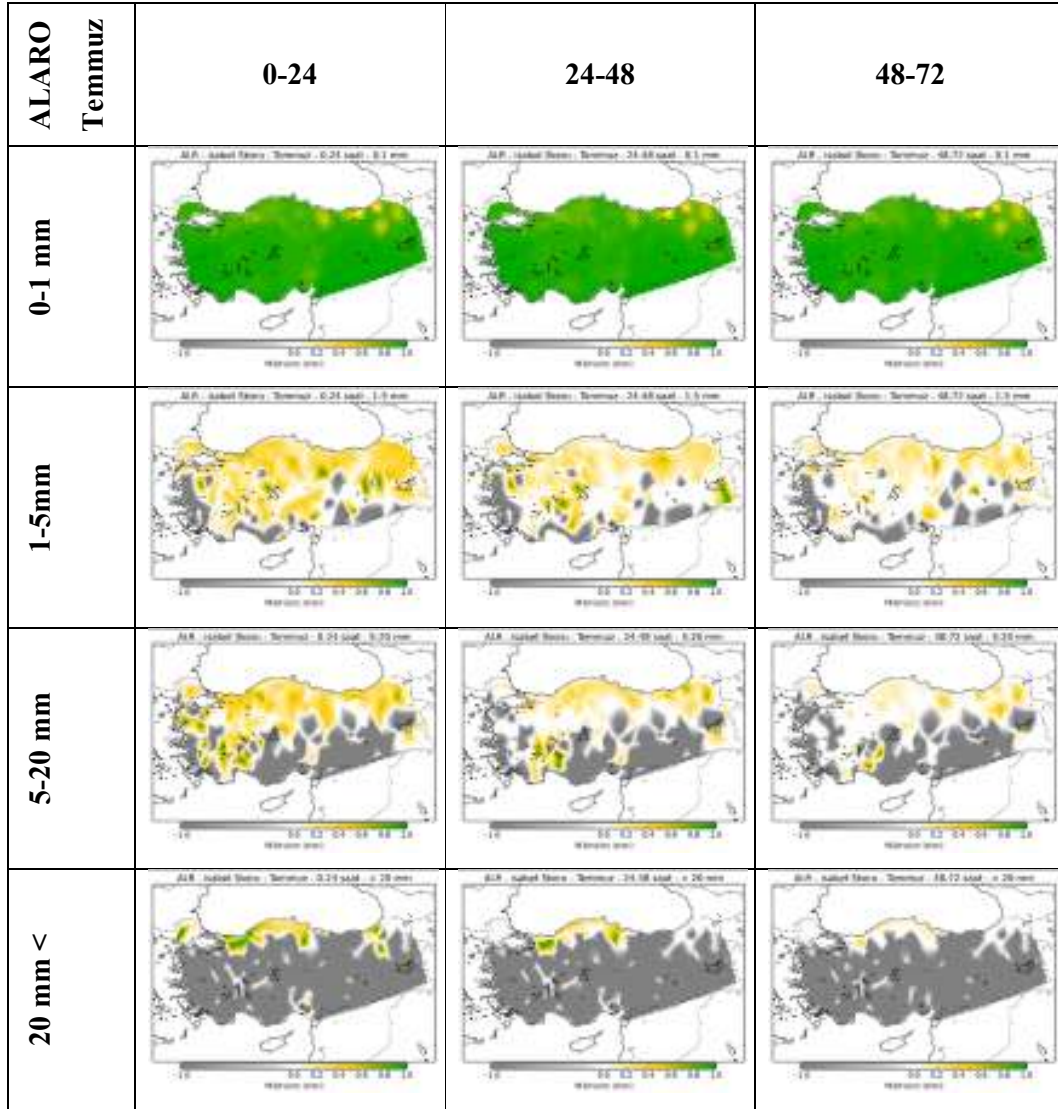
ALARO modeli ocak ayı yağış olduğu aralıklarda ilk gün 1'e yakın başarı oranı dikkat çekmektedir. Temmuz ayında ise yağış olmama aralığında başarısı fark edilmiştir.

Modellerde ocak ayında 24-48 ve 48-72 zaman tahminleri için 0.1-5 ve 5-20 mm aralıklarında isabet skorlarında büyük düşüş olduğu görülmektedir. Aynı aralıktaki yağışlarda, temmuz ayında ilk gün tahminlerinde 1'e yakın olan bölgeler dikkat çekmektedir.

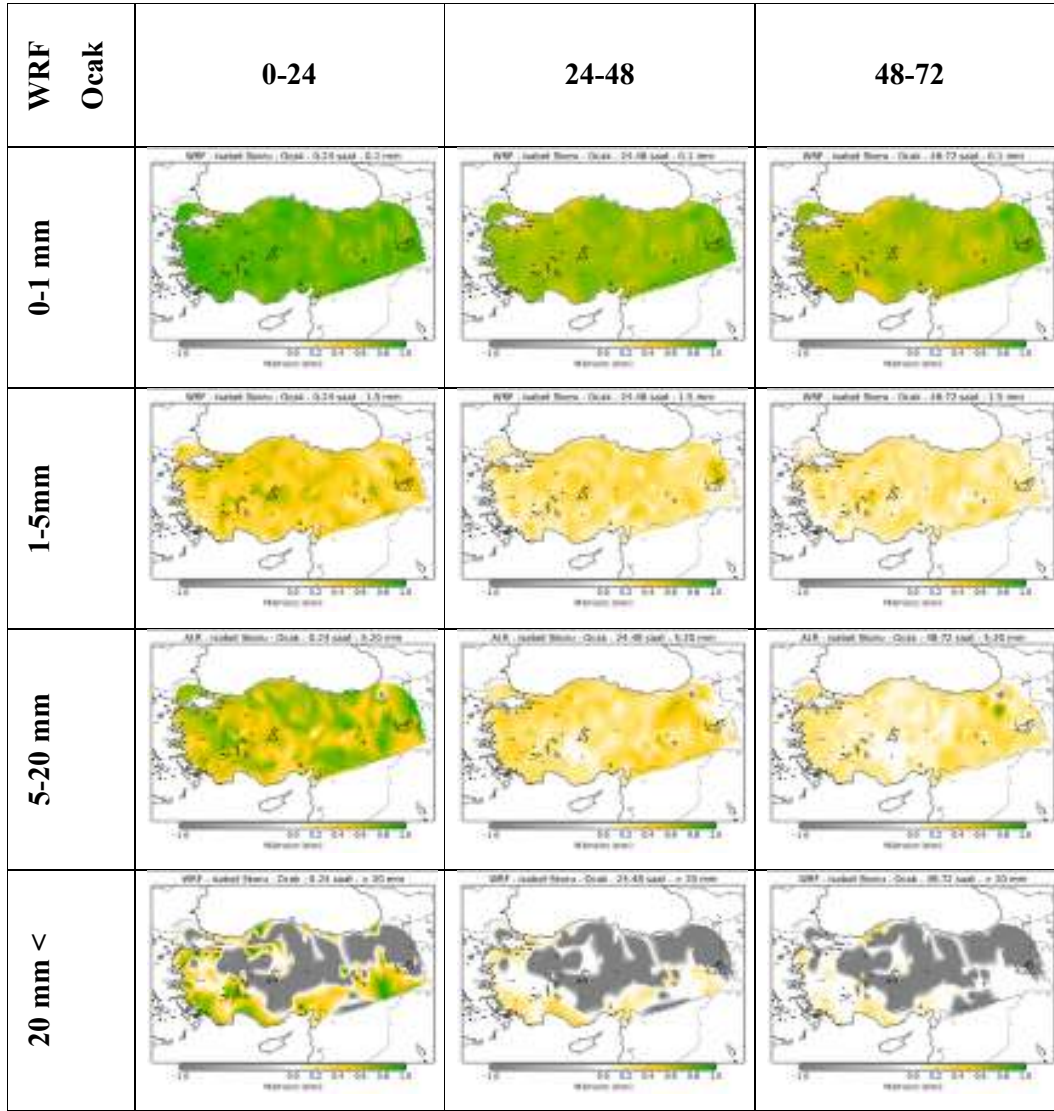




Şekil 4.18 : ALARO modeli, Ocak ayı, Yağış Parametresi isabet skorları.

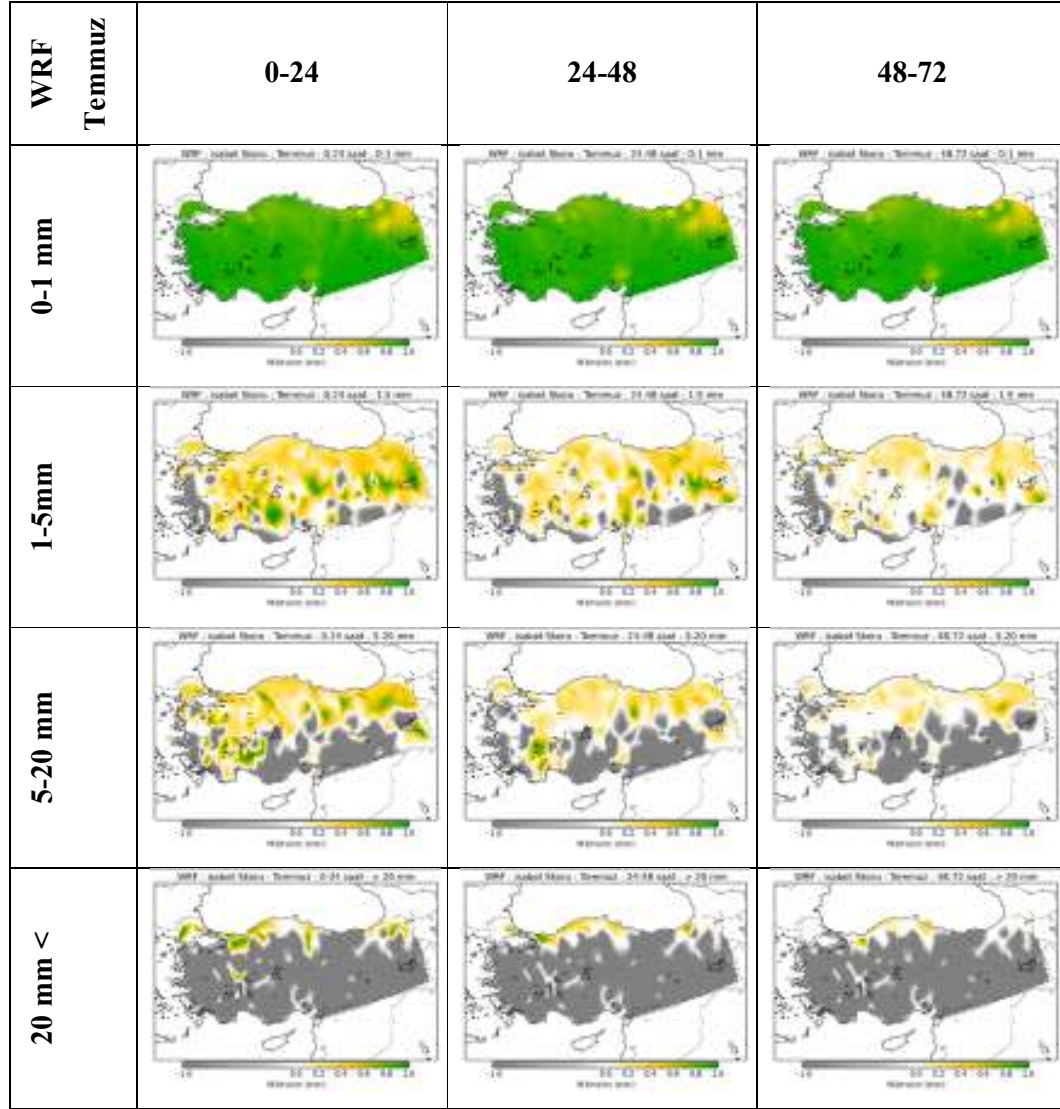


Şekil 4.19 : ALARO modeli, Temmuz ayı, Yağış Parametresi isabet skorları.



Şekil 4.20 : WRF modeli, Ocak ayı, Yağış Parametresi isabet skorları.



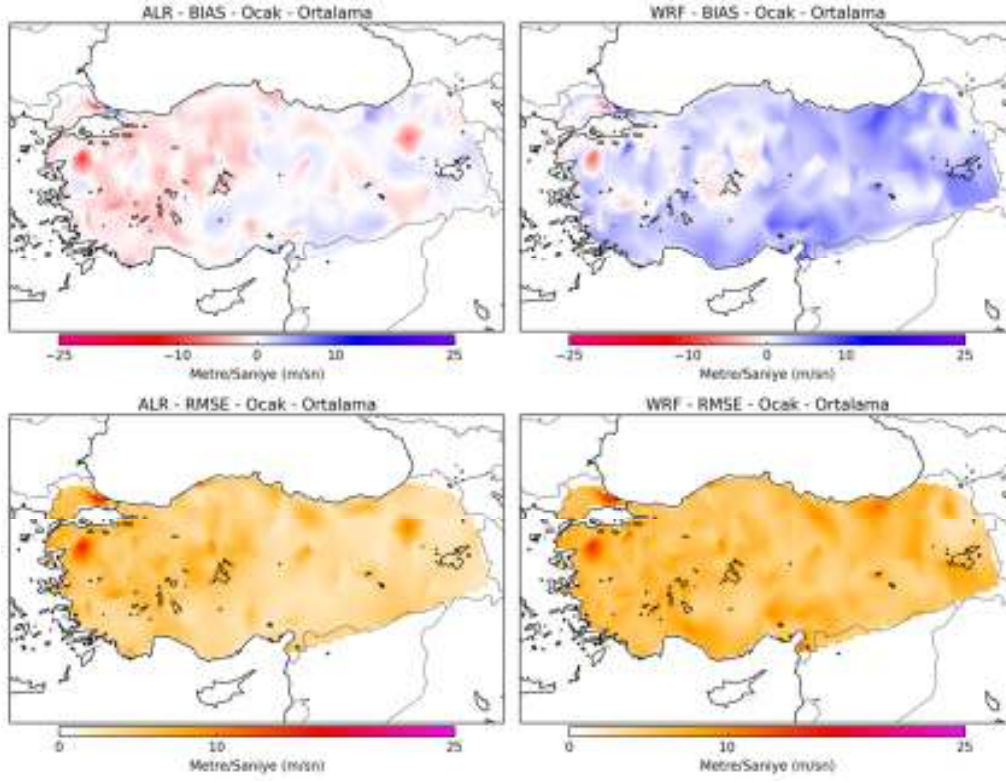


Şekil 4.21 : WRF modeli, Temmuz ayı, Yağış Parametresi isabet skorları.

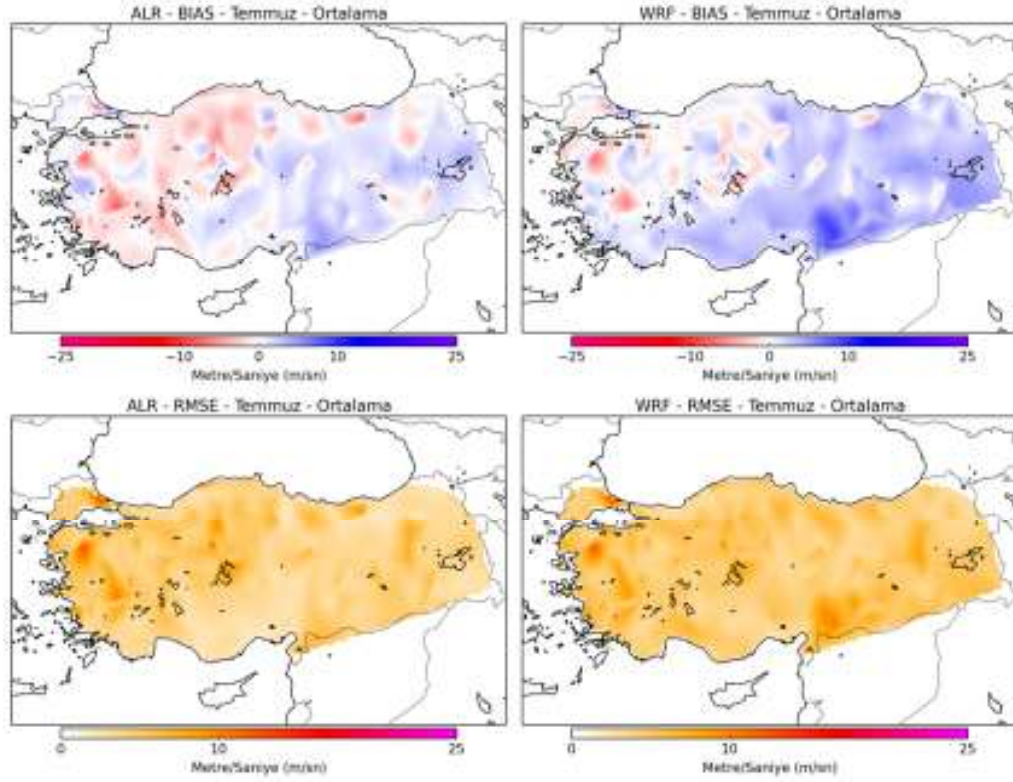
#### 4.5 Rüzgar

Türkiye genelinde bias skorları incelendiğinde, WRF modeli Ocak ayı için fazla tahminler ürettiği görülmektedir. Balıkesir ve Lüleburgaz çevresi, Ocak ayında iki modelde de ürettiği yüksek RMSE skorları ile dikkat çekmektedir. Bu bölgede, modellerin az tahmin hesaplama eğiliminde olduğu görülmektedir. Temmuz ayı için RMSE ve bias skorlarına bakıldığında, WRF ve ALARO modellerinin birbirine çok benzer tahminler yaptıkları tespit edilmiştir. Hatay, Gaziantep ve Kahramanmaraş çevresi için WRF modeli için hesaplanan pozitif bias değerleri ALARO modelinde;

Artvin, Rize ve Erzurum çevresi için ALARO modeli için hesaplanan negatif bias değerleri WRF modelinde görülmemektedir.



**Şekil 4.22 :** ALARO ve WRF modelleri, Rüzgar Parametresi, Ocak ayı Ortalama RMSE ve bias skorları.

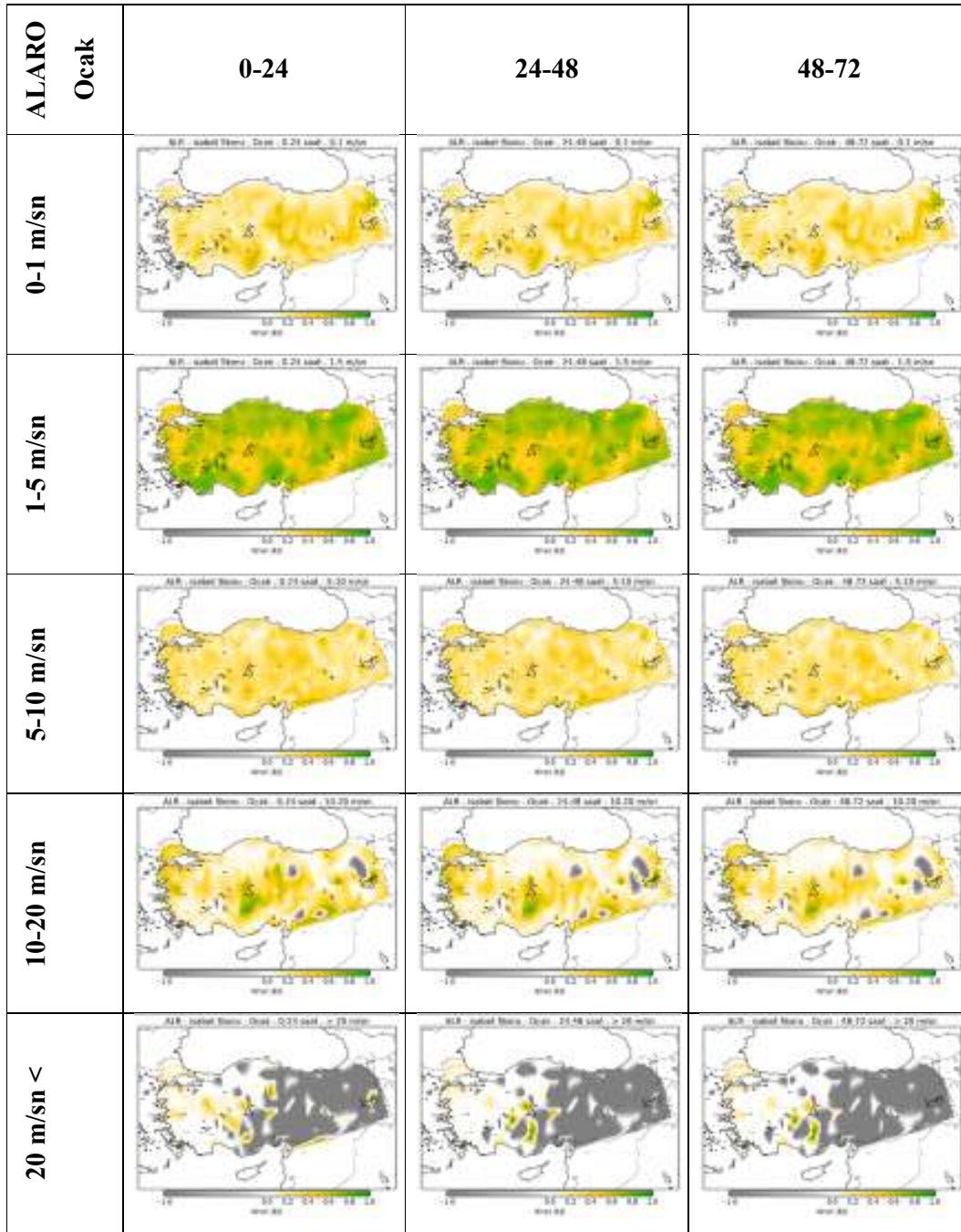


**Şekil 4.23 :** ALARO ve WRF modelleri, Rüzgar Parametresi, Temmuz ayı Ortalama RMSE ve bias skorları.

'0 ile 1 m/sn', '1 ile 5 m/sn', '5 ile 10 m/sn', '10 ile 20 m/sn' ve '20 m/sn'den fazla aralıklarının isabet skorları ilk gün, ikinci gün ve üçüncü gün tahminleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

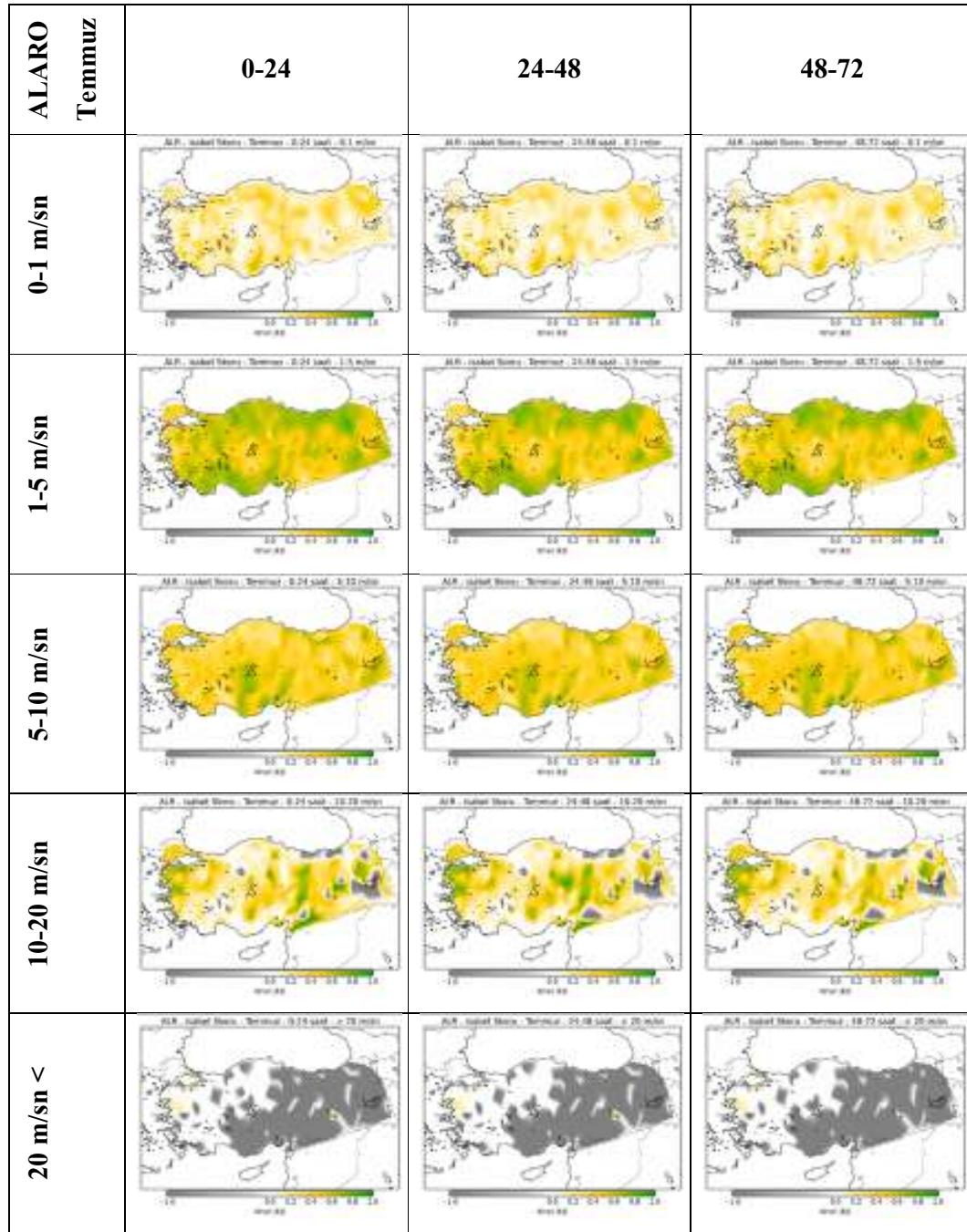
Modeller her iki ay içinde 0-1 m/sn aralığında, özellikle WRF modeli, çok düşük isabet skorları hesaplanmıştır. Yani havanın sakin olduğu durumlarda bile modeller bir miktar rüzgar şiddeti üretmektedir.

Temmuz ayında 10-20 m/sn aralığı için Akdeniz'in doğusundan orta ve doğu Karadeniz'e doğru uzanan hat boyunca hesaplanan yüksek skorlar dikkat çekmektedir. WRF modelinin yüksek hızdaki rüzgarları tahmin etme becerisi belirli, istasyonlar için ALARO modelinden daha iyi olduğu görülmektedir. 1-5 m/sn aralığı için her iki ayda da, ALARO modelinin ürettiği 0,8'lerin üzerinde isabet skorları fark edilmiştir.

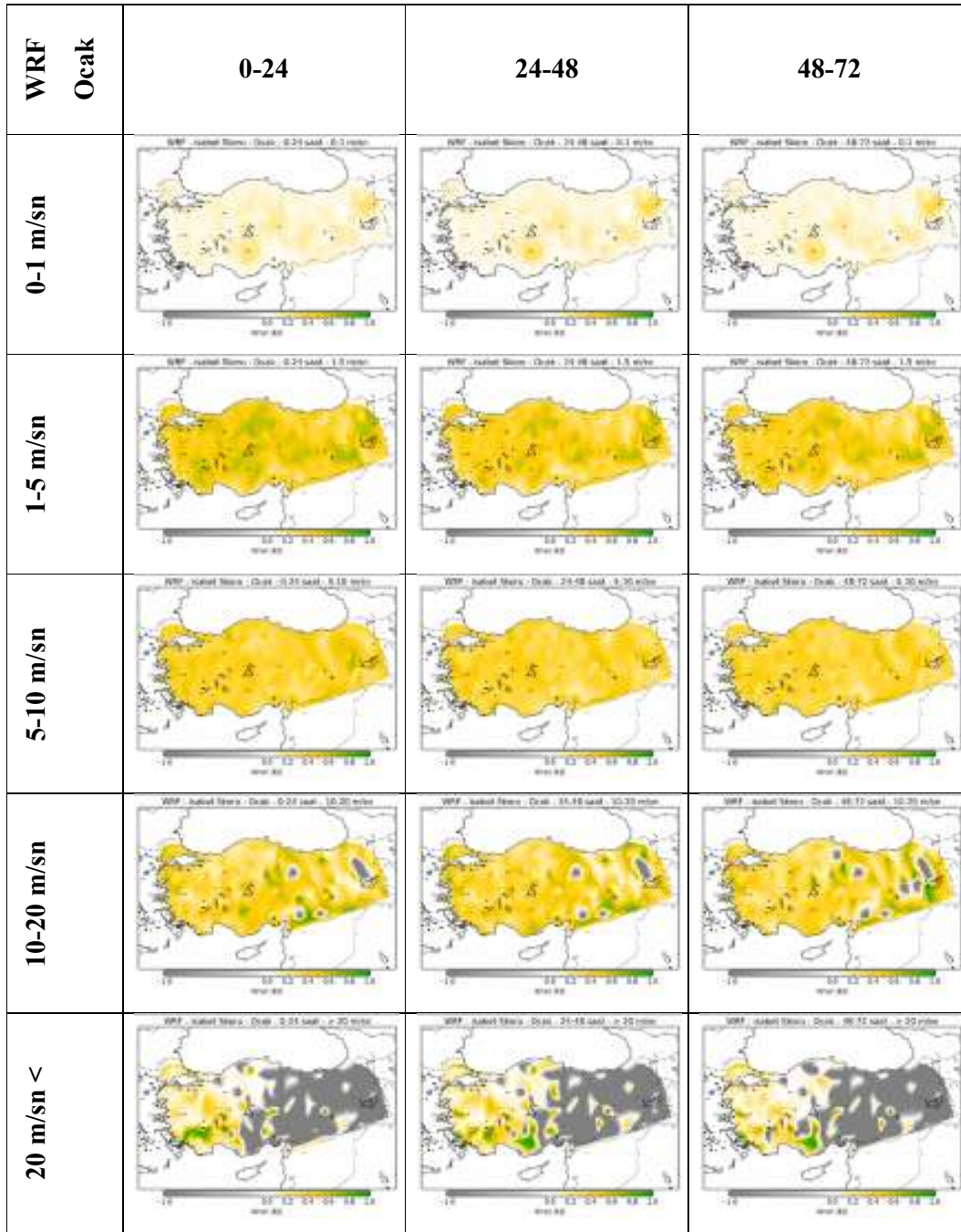


Şekil 4.24 : ALARO modeli Ocak ayı, Rüzgar Parametresi isabet skorları.

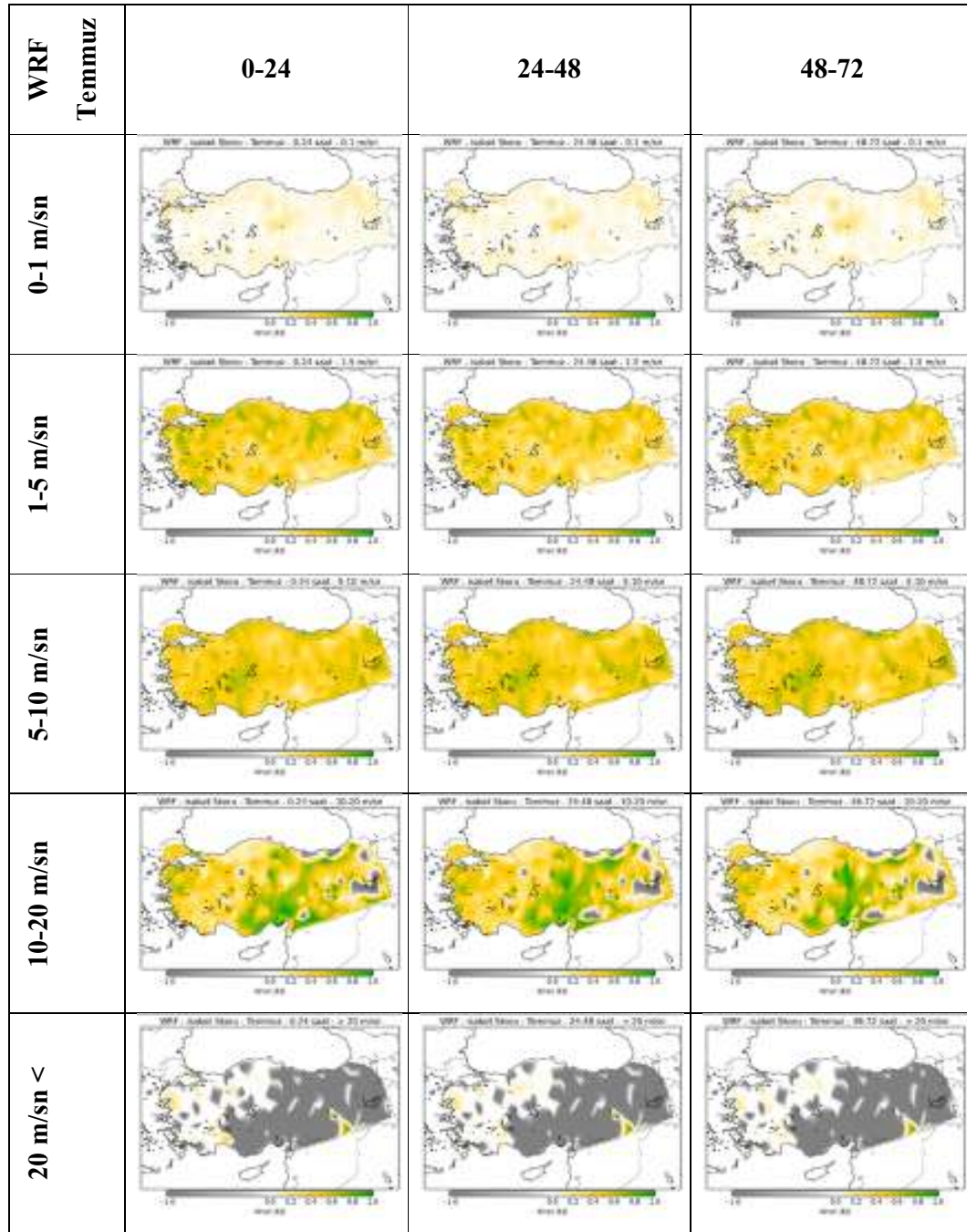




Şekil 4.25 : ALARO modeli, Temmuz ayı, Rüzgar Parametresi isabet skorları.



Şekil 4.26 : WRF modeli, Ocak ayı, Rüzgar Parametresi isabet skorları.



Şekil 4.27 : WRF modeli, Temmuz ayı, Rüzgar Parametresi isabet skorları.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada 2009-2013 yılları arasında WRF ve ALARO modelleri IFS'ten alınan tahmin verileri ile Ocak ve Temmuz ayları için koşturulmuş ve Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü Otomatik Gözlem İstasyonlarından alınan gözlem değerleri ile verifikasyonu yapılmıştır. SHT konusu incelenmiş ve SAM'lar hakkında literatür taraması yapılmıştır. SAM'ların doğası gereği oluşan hatalardan bahsedilmiştir. Literatürdeki en yaygın verifikasyon hesaplamaları uygulanmıştır.

Aktüel basınç parametresi için RMSE ve bias hatalarının, modellerin topografik veri setlerindeki hatalarla paralel olduğu görülmüştür. Bu durumda Ocak ve Temmuz aylarında WRF modelinin aktüel basınç parametresi için yaptığı tahminlerin ALARO modelinkinden daha tutarlı olduğunu söyleyebiliriz. Hatalar günlük döngüde gözle görülemeyecek ölçüde değişirken, Ocak ve Temmuz ayları için mevsimsel ölçekte incelendiğinde de çok ufak farklar tespit edilmiştir. Modelleri karşılaştırırken daha sağlıklı sonuçlar elde etmek için, denize indirgenmiş basınç parametresi de kullanılabilir.

Sıcaklık parametresi için üretilen hatalar hem bölgesel hem de zamansal olarak değişim göstermiştir. Oluşan hatalar, günlük salınımda irdelendiğinde öğlen saatlerinde negatif bias değerlerin ve gece saatlerinde ise pozitif bias değerlerin maksimum değerlere ulaştığı iki modelde de görülmektedir. Sıcaklık parametresi için yapılan tahminler de modellerin topografik veri setlerindeki hataları içermektedir. Bu sebeple sıcaklığın yükseklikle değişimi her istasyon için lineer bir metotla hesaplanmış ve verifikasyon sürecine baştan başlanılmıştır. WRF modelinin, sıcaklık parametresi için Türkiye genelinde daha soğuk sıcaklıklar üretme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Temmuz ayında belirli istasyonlarda sabit olarak görülen büyük hatalar dikkat çekmiştir. ALARO modeli ise Ocak ve Temmuz ayları için farklı sonuçlar üretmiştir. Ocak ayında WRF modelinden bile daha büyük negatif bias değerlerine sahipken, Temmuz ayında İç Anadolu, Ege ve Marmara bölgelerinde pozitif bias değerler üretmiştir. Sıcaklıkta yapılan düzeltme sonunda iki modelde de

iyileşmeler görülürken, ALARO modelinde, Temmuz ayında ürettiği negatif bias değerleri azalırken, pozitif bias değerlerini de arttırmıştır.

Yağış parametresi için hesaplanan isabet skorlarında en yüksek değerleri, her iki modelin de yağış olmama durumu için ürettiği ilk gün tahminlerinde görülmektedir. Her iki modelde şiddetli yağışlar aralığında, yağışın daha fazla gerçekleştiği Ocak ayları için Karadeniz'in kıyı kesimi, Akdeniz, Ege ve Doğu Anadolu bölgelerinin dağlık alanlarında, ilk gün tahminlerde hesaplanan yüksek skorlar ve yağışın daha çok konvektif olarak oluştuğu Temmuz aylarında Karadeniz kıyılarında hesaplanan yüksek skorlar dikkat çekmiştir. SAM hesapladıkları tahminlerde, zamansal veya bölgesel olarak kaymalar olabilir. Özellikle yağış parametresi için oluşacak bölgesel kaymalar, noktasal verifikasyonda fark edilmeyebilir. Yağış parametresi için noktasal verifikasyon yerine uzaktan algılama sistemleri kullanılarak uygulanacak alansal verifikasyon teknikleri, modellerin yağış parametresi için nasıl tahminler ürettiğinin anlaşılmasında daha yararlı olabilir.

Rüzgar parametresi yönü ve büyüklüğü olan bir parametredir. Bu çalışmada rüzgar parametresi için yalnızca büyüklüğü ele alınıp, gerekli incelemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan WRF modelinin hesapladığı fazla tahminler ve ALARO modelinin Türkiye'nin batısı için hesapladığı az tahminler, doğusu için hesapladığı fazla tahminler dikkat çekmektedir.

Belirli istasyonlarda görülen sistematik ve çok büyük hatalar, hem gözlem verilerinin hem de model konfigürasyonlarının ve topografik veri setlerinin tekrar gözden geçirilmesini göstermektedir. Ocak ve Temmuz ayları Kış ve Yaz mevsimlerinin temsilen seçilmiştir. Havanın daha kararsız olduğu bahar ayları da ilerideki çalışmalarda ele alınıp, belirlenen yıl sayısı da arttırılacaktır. Model konfigürasyonlarının çeşitliliği arttırılıp, Türkiye için en uygun parametrisasyon setleri belirlenebilir. Ayrıca model girdi verileri de farklı kaynaklardan beslenebilir ya da çoklu tahmin sistemleri ile girdi verisi çeşitliliği arttırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Andersson, E. (2013)**, User Guide to ECMWF Forecast Products. Eds. Eric Andersson, 23/07/2013, ECMWF, Reading, UK, 81.
- ARW Version 3 Modeling System User's Guide** (2014), Mesoscale & Microscale Meteorology Division, *National Center for Atmospheric Research*.
- Beck, C. ve Roepstorff, G.** (1987). Effects of phase space discretization on the long time behaviour of dynamical systems. *Physica* 25D, 173-180.
- Benjamin, S. G., Brundage, P.A. Miller, T.L. Smith, G.A. Grell, D. Kim, J.M. Brown, Schlatter, T.W.** (1994). The Rapid Update Cycle at NMC. Preprints, *Tenth Conference on Numerical Weather Prediction*, Portland, OR, USA 18-22 Temmuz.
- Black, T. L., 1994:** The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Wea. Forecasting*, 9, 265–278.
- Darling, W. G., Goddy, D. C., MacDonald, A. M., & Morris, B. L.** (2012). The practicalities of using CFCs and SF6 for groundwater dating and tracing. *Applied Geochemistry*, 27(9), 1688-1697.
- Davis, C., Brown, B., Bullock, R.** (2006). Object-Based Verification of Precipitation Forecasts, Part I: Methodology and Application to Mesoscale Rain Areas. *American Meteorological Society*, VOLUME 134, MONTHLY WEATHER REVIEW
- Demirtas, M., Nance, L., Bernardet, L., Lin, Y., Lough, A., Mahoney, J. L., Gall, R., Koch, S.** (2005). QUANTITATIVE PRECIPITATION FORECAST (QPF) VERIFICATION OF DWFE 7.2.
- Ehrendorfer, M.** (1997) Predicting the uncertainty of numerical weather forecasts: a review, *Meteorol. Zeitschrift*, N.F. 6, 147-183.
- Grell, G. A., Dudhia, J., Stauffer, D.R.** (1993) A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Technical Note, NCAR/TN-398, 117 pp
- Hayashi, S., Aranami, K., Saito, K.** (2008). Statistical Verification of Short Term NWP by NHM and WRF-ARW with 20 km Horizontal Resolution around Japan and Southeast Asia. *SOLA*, Vol. 4, 133-136
- Kalnay, E.** (2003). Atmospheric modeling, data assimilation, and predictability. Cambridge university press.
- Listemaa, S. A.,** (2002) Workstation ETA verification efforts at the lower Mississippi River Forecast Center. *Preprints, 16th Conf. on Probability and Statistics*, Orlando, FL, *Amer. Meteor. Soc.*, 54-56.



- Marshall, S. F., P. J. Sousounis, and T. A. Hutchinson** (2004) verifying mesoscale model precipitation forecasts using an acuity-fidelity approach. *Preprints 20th Conference on Weather Analysis and Forecasting, Seattle, Amer. Meteor. Soc.*, J13.3.
- Mahoney, J. L., B. G. Brown, J. E. Hart, and C. Fischer** (2002) Using verification techniques to evaluate differences among convective forecasts. *Preprints, 16th Conf. on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences, Orlando, FL, USA, Amer. Meteor. Soc.*, 12–19.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü Tahminler Dairesi Başkanlığı Sayısal Hava Tahmini Şube Müdürlüğü Teknik Raporu** (2012), Ankara.
- Michalakes, J., S. Chen, J. Dudhia, L. Hart, J. Klemp, J. Middlecoff, W. Skamarock** (2001) Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model. Developments in Teracomputing: *Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology*. Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore. 269–276.
- Murphy, A.H.** (1993). What is a good forecast? An essay on the nature of goodness in weather forecasting. *Wea. Forecasting*, 8, 281–293.
- Prabha T, Hoogenboom G.** (2008). Evaluation of the Weather Research and Forecasting model for two frost events *Computers and electronics in Agriculture* 64 (2), 234–247.
- Roux, G., Liu, Y., Monache, L. D., Sheu, R. S., & Warner, T. T.** (2009). Verification of high resolution WRF-RTFDDA surface forecasts over mountains and plains. In 10th WRF users’ workshop (pp. 20–23).
- Schulze G.C.** (2007). Atmospheric observations and numerical weather prediction, *South African Journal of Science* 103, 318–323.
- Selvam, A. M.** (1998). The Dynamics of Deterministic Chaos in Numerical Weather Prediction Models. *Indian Institute of Tropical Meteorology, Pune* 411 008, India.
- Shaffee, A. and S. Shaffee** (1987). Implication of the spatial finiteness of mesoscale meteorological fields. *Physical Review A* 35, 892–896.
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, and J. Dudhia,** (2001) Prototypes for the WRF (Weather Research and Forecasting) Model. *Preprints, Ninth Conf. on Mesoscale Processes, Fort Lauderdale, FL, USA, Amer. Meteor. Soc.*, J11–J15.
- Sousounis, P.J., Hutchinson, T.A., Marshall, S.F.** (2004). Acomparision of MM5, WRF, RUC and Eta performance for Great Plains heavy precipitation events during the spring of 2003. *20th Conferance on Weather Analysis and Forecasting/16th Conference on NWP*, 10–15 Ocak, Seattle, WA, USA.
- Wang, Y., Bellus, M., Wittmann, C., Steinheimer, M., Weidle, F., Kann, A., Iivatek-Sahdan S., Tian W., Ma X., Tascu S., Bazile E.** (2011). The Central European limited-area ensemble forecasting system:



ALADIN-LAEF. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137: 483–502.  
DOI:10.1002/qj.751

**Warner, T.T., Peterson, R.A., Treadon, R.E.** (1997). A Tutorial on Lateral Boundary Conditions as a Basic and Potentially Serious Limitation to Regional Numerical Weather Prediction, *American Meteorological Society*, Vol. 78, No.11.

**Wilks, D.,** (1995) Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction. Academic Press, 467 pp.

**Xue, M., K. K. Droegemeier, and V. Wong** (2000) The Advanced Regional Prediction System (ARPS) - A multiscale nonhydrostatic atmospheric simulation and prediction model. Part I: Model dynamics and verification. *Meteorol. Atmos. Phys.* 75, 161-193.

**URL-1** <<http://www.mgm.gov.tr>>, alındığı tarih: 05/07/2014.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad** : Canberk KARADAVUT  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : ALTINDAĞ/ANKARA  
**E-Posta** : canberkkaradavut@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER: