



T.C.

Çevre ve Orman Bakanlığı

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

Sayısal Hava Tahmini

2008

Sayısal Hava Tahmini

Atmosferin durumunu gösteren değişkenlerin (sıcaklık, rüzgar, nem ve basınç) zamana ve yere bağlı değişimlerini ifade eden denklemlerin (hareket, termodinamik, süreklilik, hidrostatik eşitlik) matematik çözümleri yapılarak gelecekteki durumunu tahmin etme işlemine "sayısal hava tahmini" denir.

Günümüzde oldukça karmaşık eşitliklerin ve güçlü bilgisayar donanımlarının kullanılarak yapıldığı bu tahmin yönteminin gelişme süreci 1850'lere dayanmaktadır. Ferrel'in rüzgar ve genel sirkülasyon üzerine çalışmaları dinamik meteorolojinin başlangıcı olarak gösterilmektedir. 1860'larda atmosfer termodinamiğinde kuru ve nem adyabatik proseslerin yer almasını takiben 1904'te V. Bjerknes hava tahmininde fizik ve matematiğin temelleri üzerine çalışmalar yapmıştır. 1920'li yıllarda radio-sonde gözlemlerinin yapılmaya başlamasından sonra 1933'te ilk olarak yukarı seviye ve çeşitli basınç seviyelerinin haritaları çizilmeye başlanmıştır. 1940'ların sonunda meteorolojik radarların kullanılmaya başlanması kuvvetli hava olaylarının, orajların, fırtınaların gözlenmesi açısından bir devrim olmuştur.

İlk Sayısal Hava Tahmini denemesi 1922 yılında L.F. Richardson tarafından yapılmış ancak olumlu sonuç alınamamıştır. 1940'lı yıllarda Richardson'un öncülüğünde Princeton'daki Institute for Advanced Study'de Charney, Fjortfort ve Von Neumann, yakın geçmişte icat edilen bilgisayar üzerinde Richardson'un versiyonundan daha basit bir modelde barotropik vorticity eşitliği kullanarak 500 hPa'nın dinamiksel olarak sayısal tahminini yapmayı başarmıştır. 1960'lı yıllarda meteorolojik uyduların da hava tahmininde kullanılması ile global olarak hava gözlemi yapabilmeye kapasitesine ulaşılmıştır. Şu anda ise dünyanın birçok yerinde yapılan sinoptik, deniz, radio-sonde, uçaklardan yapılan gözlemlerle uydu ve radar ölçümleri bu modellerde kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan modelleri temel olarak iki gruba ayırabiliriz:

A) Global Modeller:

Yatay çözünürlüğün Spektral (yatay çözünürlüğün dalga sayısı ile orantılı olduğu) veya Grid (yatay çözünürlüğün iki grid noktası arasındaki mesafe ile orantılı olduğu) olarak çözümlendiği bu model türünde basit hidrostatik eşitlik kullanılmaktadır. Yani havanın ağırlığıyla düşey basınç gradyan kuvveti arasında bir denge olduğu kabul edilmektedir. Bu model türünde düşey ivme hesaplamalarda ihmal edilir. Global atmosferik modeller ve genel sirkülasyon modelleri global modellere örnek olarak verilebilir.

Dünyada kullanılan belli başlı global modeller ve bu modelleri geliştiren ülkeler şunlardır;

- IFS (ECMWF)
- UM (İngiltere)
- GM (Almanya)
- ARPEGE (Fransa)
- AVN, MRF (ABD)
- GEM (Kanada)
- JMA (Japonya)

B) Sınırlı Alan Modelleri

Bu tür modellerde global modellerin tersine yatay çözünürlük dalga sayısı değil grid noktaları arasındaki mesafe ile orantılıdır. Yani global modellerde dalga sayısı arttığında çözünürlük artarken sınırlı alan modellerinde grid sayısı artınca -ki bu durumda gridler arasındaki mesafe azalır- çözünürlük artmaktadır. Sınırlı alan modellerin bazılarında hidrostatik denge kabul edilirken (Sinoptik / Meso-scale modeller) bazılarında ise hidrostatik denge eşitliği kabul edilmez (Cloud-scale/ Cloud Resolving modeller). Bunlar genellikle çok yüksek çözünürlük gerektiren tahmin problemlerinde kullanılmaktadır.

Dünyada kullanılan belli başlı sınırlı alan modelleri ve bu modelleri geliştiren ülkeler;

- ALADIN (Fransa ve ALADIN Konsorsiyumu)
- Eta, MM5, WRF (ABD)
- LM (Almanya ve Cosmo Konsorsiyumu)
- HIRLAM (HIRLAM Konsorsiyumu)

Hem global hem de sınırlı alan modeller tahminlerinde bir takım hatalar meydana gelmektedir. Bu hataları iki grupta toplayabiliriz;

Sistemik Hatalar: Modelin gerek fiziksel parametrisasyon problemlerinden, gerek yatay çözünürlüğünün az olmasından, gerekse topografya verilerinin gerçek topografyayı tam olarak ifade edememesinden dolayı meydana gelen ve süreklilik arz eden hatalardır. Bu tür hataların düzeltilmesi için modelin kendisine müdahale edilmesi gerekmektedir.

Sistemik Olmayan Hatalar: Modele giren başlangıç koşullarındaki hatalardan kaynaklanan ve devamlılık arz etmeyen hatalardır. Bu tür hataların düzeltilmesi için başlangıç verilerinin asimilasyon çalışmalarıyla iyileştirilmesi gerekmektedir.

Türkiye’de Kullanılan Modeller

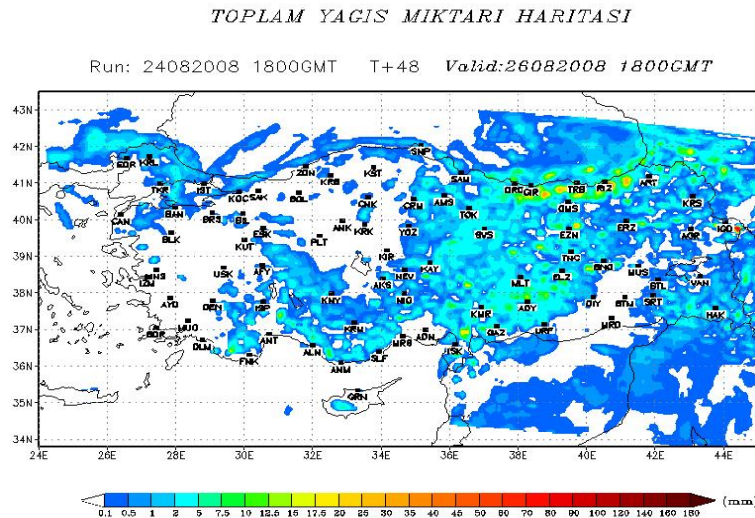
1. Kısa Vadeli Hava Tahminine Yönelik Kullanılan Modeller:

1.1. MM5 Modeli (5th Generation Meso-scale Model):

MM5 orta ölçekli tahmin modeli TEFER projesi kapsamında alınan HPC üzerinde operasyonel olarak çalıştırılmaktadır. MM5 modeli NCAR (National Center for Atmospheric Research-USA) tarafından geliştirilmiş ve tüm dünyada birçok meteoroloji örgütünde ve özellikle üniversitelerde kullanılan bir modeldir. Yüksek çözünürlükte kuvvetli fizik ve topografya seti ile oldukça iyi sonuçlar veren MM5 modeli çoklu iç içe geçmiş bölge yapısını desteklemesi, 10 km ve altındaki çalışma kabiliyetine (non-hydrostatic) sahip olması nedeniyle oldukça tercih edilmektedir. MM5, şu anda kurumumuzda günde 4 defa 00, 06, 12, 18 UTC’de, iki ayrı alanda iki farklı çözünürlükte eş-zamanlı olarak çalıştırılmaktadır. İç içe geçmiş bu alanların yatay çözünürlüğü birinci bölge için 21 km, Türkiye ve denizleri içinse 7 km’dir. Tahmin periyodu 48 saattir.

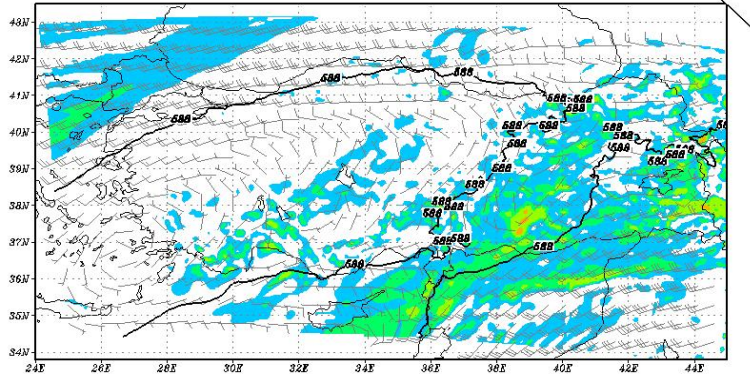
MM5 model sonuçları olarak şu anda yukarı seviyeler için tüm standart ve ara basınç seviyelerinde sıcaklık, rüzgar, geopotansiyel yükseklik, nem, düşey hız, akım çizgileri, diverjans ürünleri, yer seviyesi için ise MSLP, 2m sıcaklığı, 10m rüzgar, toplam yağış (istenilen aralıklarda), kar karışım oranı, yağışa geçebilir su miktarı, konvektivite, tendans değerleri üretilmektedir.

MM5 Modelinde kullanılan başlangıç ve sınır verisi ECMWF’nin Sınır Koşulları Projesi’nden (BC-Suite) temin edilmektedir. MM5 ürünlerine ilişkin bazı örnekler aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 1. MM5 Toplam Yağış Haritası

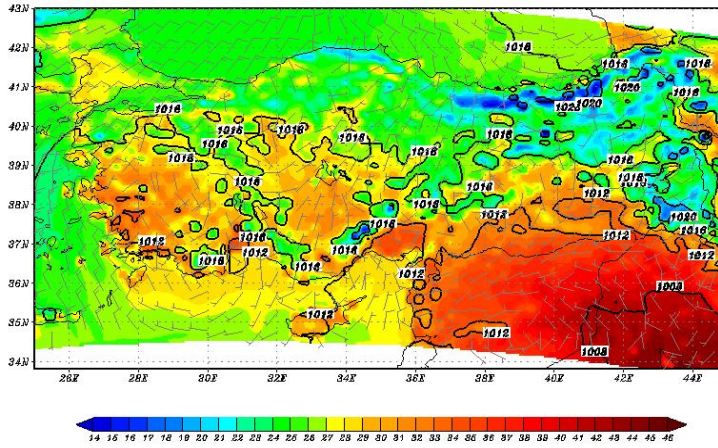
500 hPa YUKSEKLİK ve (+)VORTICITY
Run: 24082008 1800GMT T+42 Valid:26082008 1200GMT



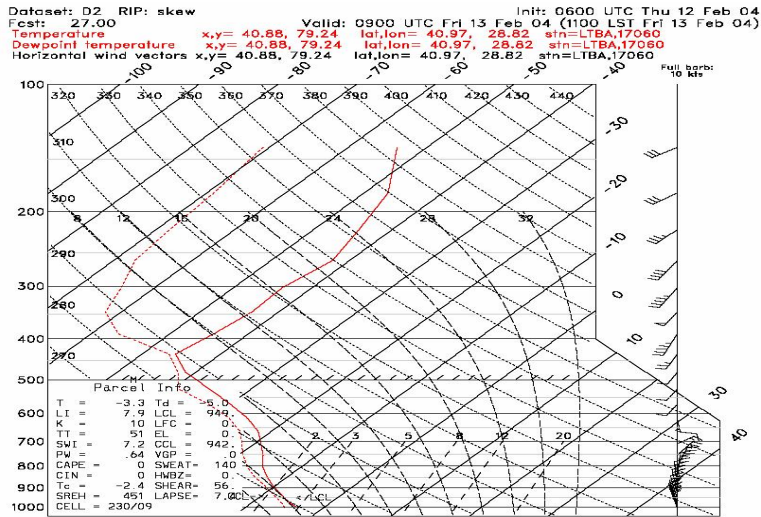
Şekil 2. MM5 500 hPa Yükseklik ve Vorticity Haritası

YERKARTI ve 2m SICAKLIK HARITASI

Run: 24082008 1800GMT T+39 Valid:26082008 0900GMT



Şekil 3. MM5 Deniz Seviyesi Basıncı, 2m Sıcaklığı, Yatay Rüzgar Hız ve Yönü Haritası



Şekil 4. MM5 modeli çıktısından üretilen 17060 (İstanbul) temp diyagramı

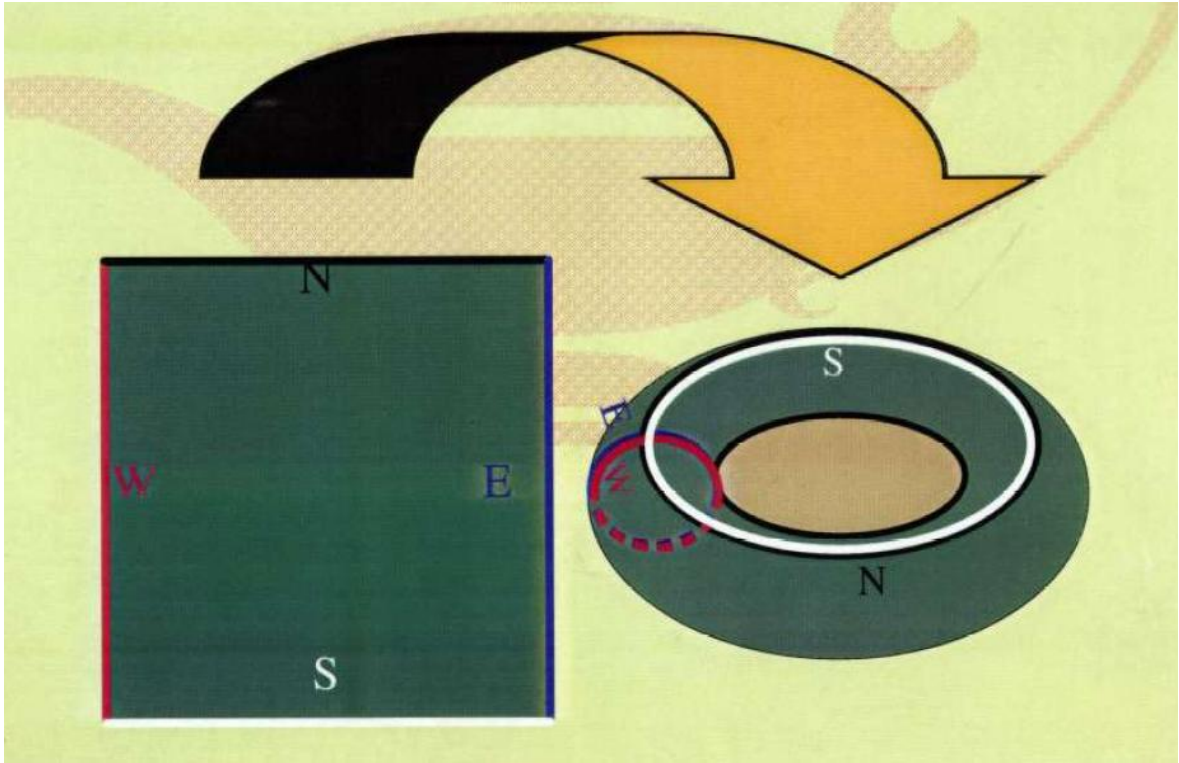
1.2. ALADIN (Aire Limite Adaptation dynamique Developpement InterNational)

ALADIN sınırlı alan modeli çalışmaları, ilk 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 başlamıştır. Bundan sonraki süreçte Cezayir, Belçika, Fas, Tunus, Portekiz, Avusturya, Hırvatistan, Slovenya ve en son olarak Türkiye bu gruba katılmıştır.

ALADIN aslında, 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'in non-hidrostatik versiyonları olup yatay çözünürlükleri sırasıyla 2.5km ve 5-7km.dir.Bu modellerin başlangıç ve sınır koşulları ARPEGE global modelinden elde edilmektedir. Kurumumuzda halen ALADIN modeli operasyonel olarak çalıştırılmakta olup daha sonraki süreçte ALARO ve AROME modelleri de operasyonel olarak kullanılması planlanmaktadır.

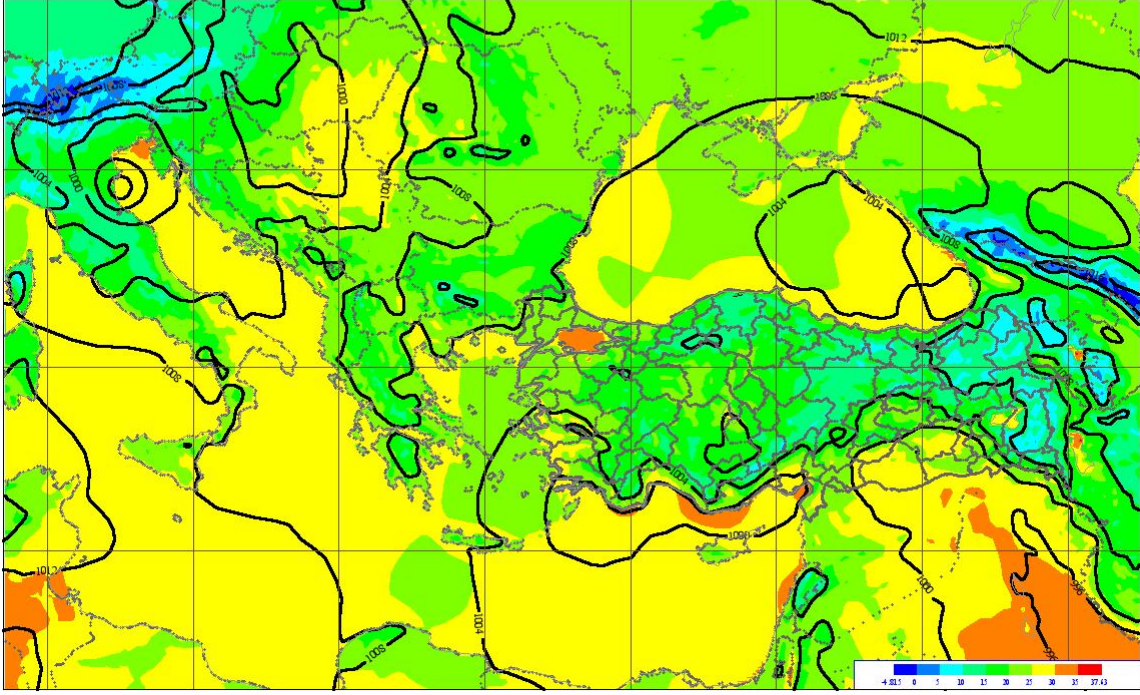
ALADIN yaklaşık olarak 10 km yatay çözünürlükte kartezyen gridlerde sınırlı bir alanda çalışan bi-periyodik ve hidrostatik hava tahmin modelidir.



Şekil 5. Bi-periyodik

ALADIN modeli Lambert Conformal, polar stereografik ve Mercator olmak üzere üç farklı coğrafik gride çalıştırılabilir.

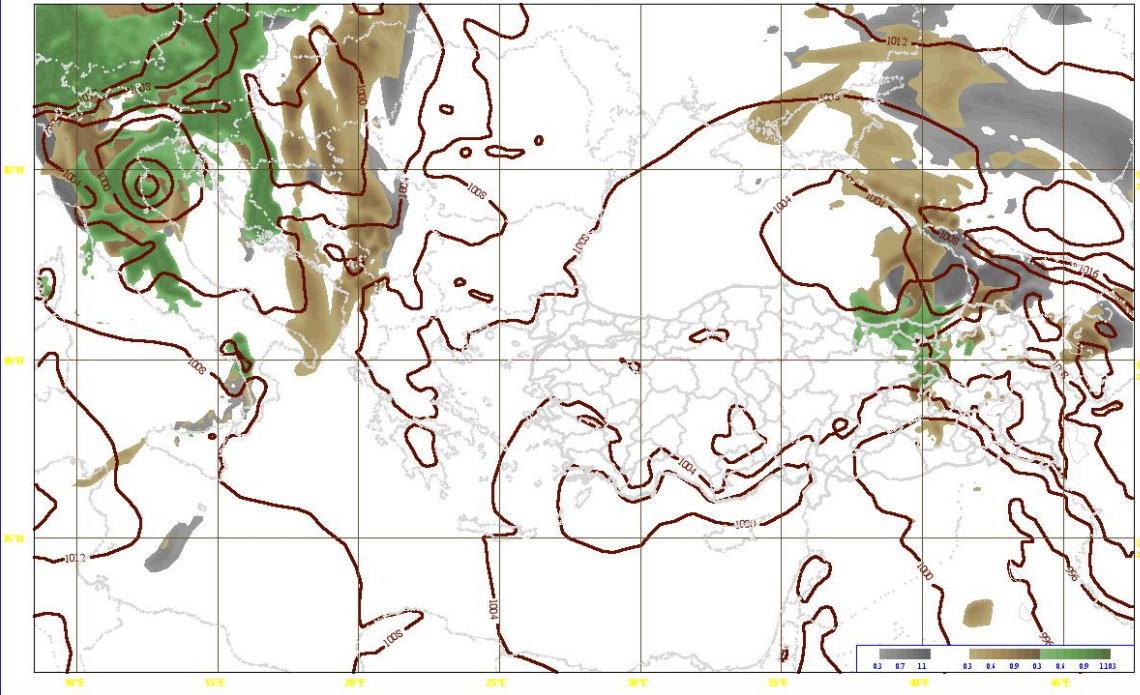
Thursday 14 August 2008 00UTC ANKRA Forecast t+48 VT: Saturday 16 August 2008 00UTC Surface: temperature/Surf: pressure reduced to msl
ALADIN_TURKIYE T+48 2m Temp,Mean Sea Level Pressure



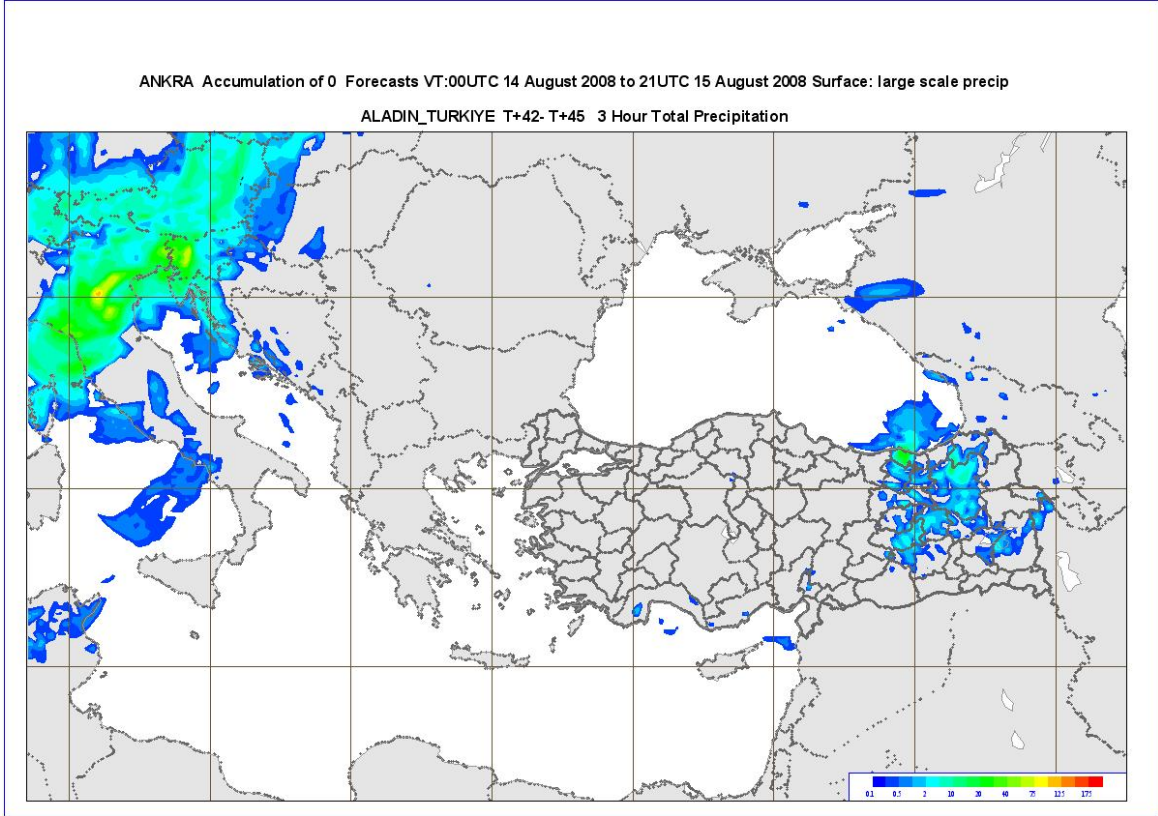
Şekil 6. ALADIN 2m sıcaklık ve Denize İndirilmiş Basınç Haritası

Thursday 14 August 2008 00UTC ANKRA Forecast t+48 VT: Saturday 16 August 2008 00UTC Surface: pressure reduced to msl
Thursday 14 August 2008 00UTC ANKRA Forecast t+48 VT: Saturday 16 August 2008 00UTC Surface: high cloud cover/Surf: medium cloud cover/Surf: low cloud cover

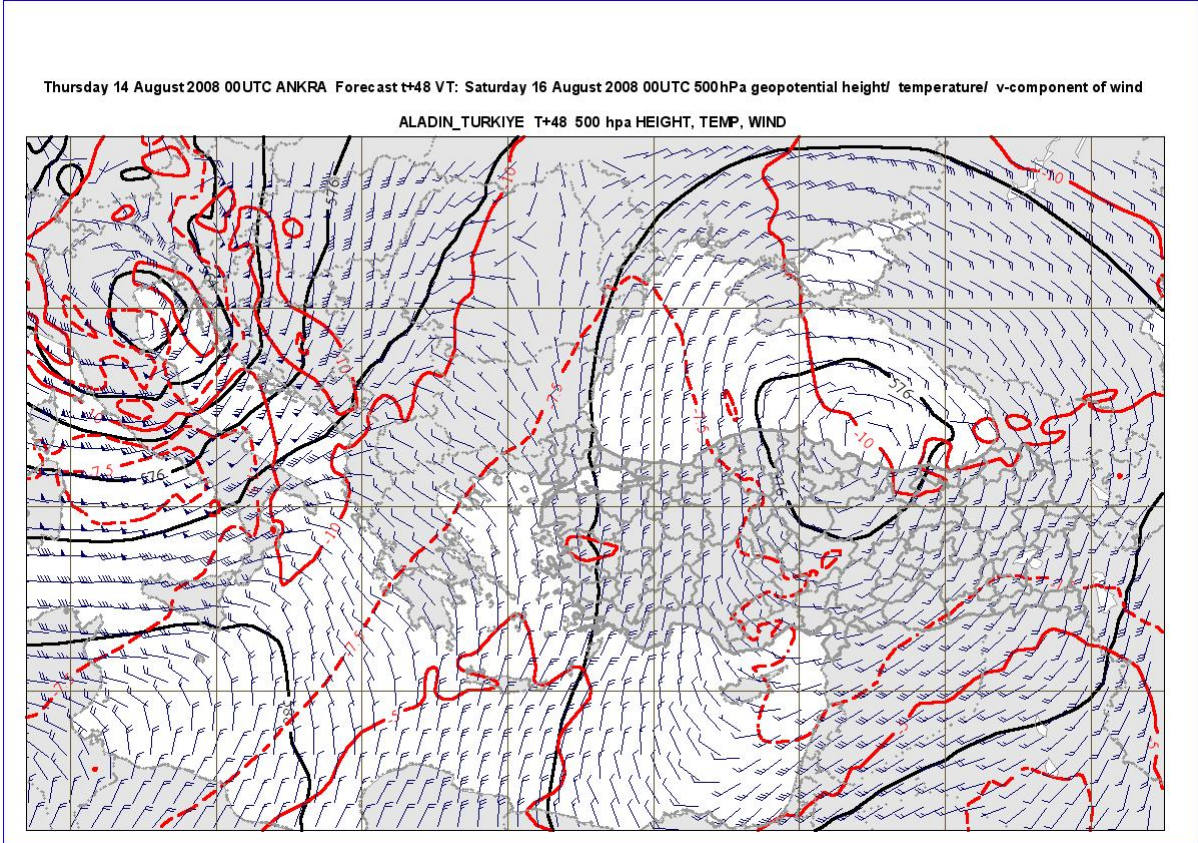
ALADIN_TURKIYE T+48 High/Med/Low Cloud Cover and MSL Pressure
High Cloud(grey) Med Cloud(Brown) Low Cloud(Green)



Şekil 7. ALADIN Alçak, Orta ve Yüksek Seviye Bulut Kapalılık Haritası



Şekil 8. ALADIN 3 Saatlik Toplam Yağış Haritası



2. Orta Vadeli Hava Tahminine Yönelik Kullanılan Modeller (ECMWF):

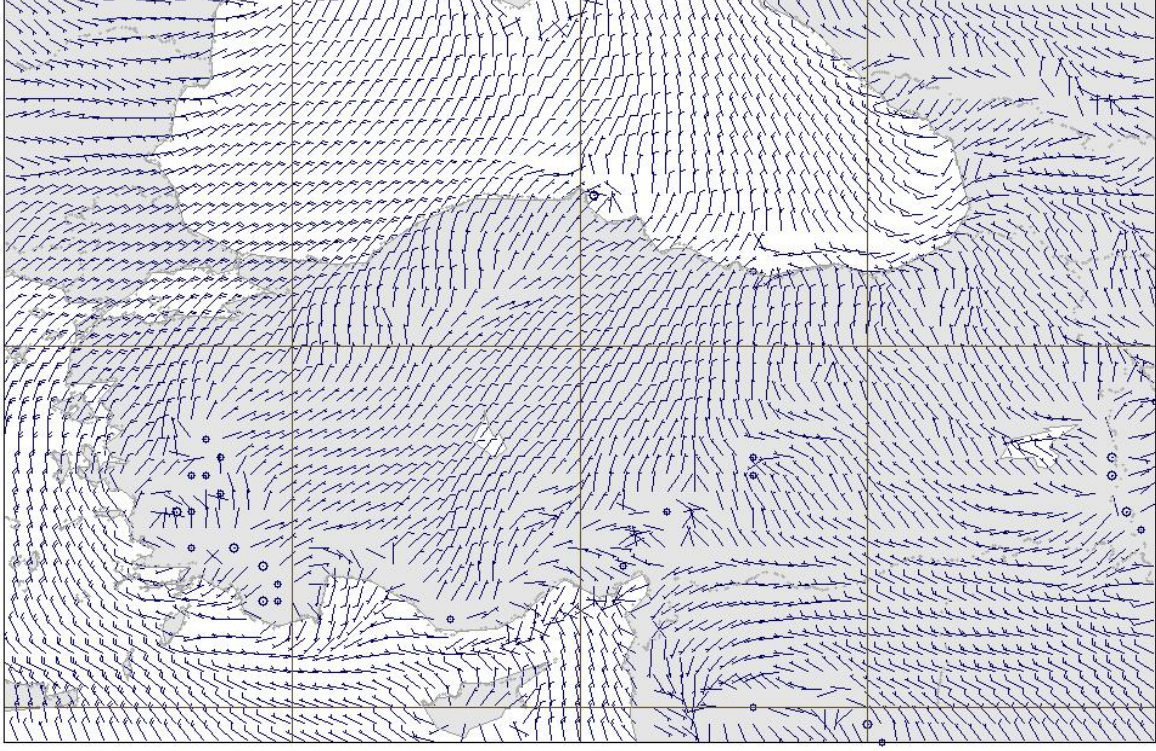
2.1. ECMWF Deterministik Model :

Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 17 Avrupa ülkesi tarafından 11 Kasım 1973'te kurulmuştur. Yapılan araştırma ve çalışmalar sonucu ECMWF Deterministik Modeli ortaya çıkarılmıştır ve 1 Ağustos 1979 tarihinden itibaren de operasyonel hale getirilmiştir. Halen genel müdürlüğümüz tarafından en çok kullanılan bu model 0.25x0.25 (Yaklaşık 25 km.) çözünürlükte olup global olarak çalışan ve 10 günlük tahminler üreten bir modeldir. Yer seviyesinden itibaren 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 ve 100 hPa seviyelerine ait bilgiler ilk 3 güne kadar üçer saat aralıklarla, 3 günden 10 güne kadar ise 6'şar saat aralıklarla yapılan tahminler genel müdürlüğümüze gelmektedir. Modelin ürettiği parametrelerden genel müdürlüğümüz tarafından alınanları şunlardır:

1. Geopotansiel yükseklik (Z)
2. Seviye sıcaklıktan (T)
3. 2m yer sıcaklığı (2T)
4. 10m yer rüzgan (10U,10V)
5. Seviye rüzgarları (U,V)
6. Diverjans (D)
7. Vortisiti (VO)
8. Düşey hız (W)
9. Bağıl Nem (R)
10. Denize indirilmiş basınç (MSL)
11. Toplam yağış (TP)
12. Kümülatif yağış (CP)
13. Büyük ölçekli yağış (LSP)
14. Kar yoğunluğu (SF)
15. Kar derinliği (SD)
16. Toplam bulut miktarı (TCC)
17. 2 Metre (İşba sıcaklığı) (2D)
18. Potansiyel vortisiti
19. PV=2 yüzeyinin geopotansiyel yüksekliği

20080824 12UTC ECMWF FC t+72 VT: 20080827 12UTC Surf: 10 metre V wind component/10 metre U wind component/ 10 metre U wind component/10 metre V wind component

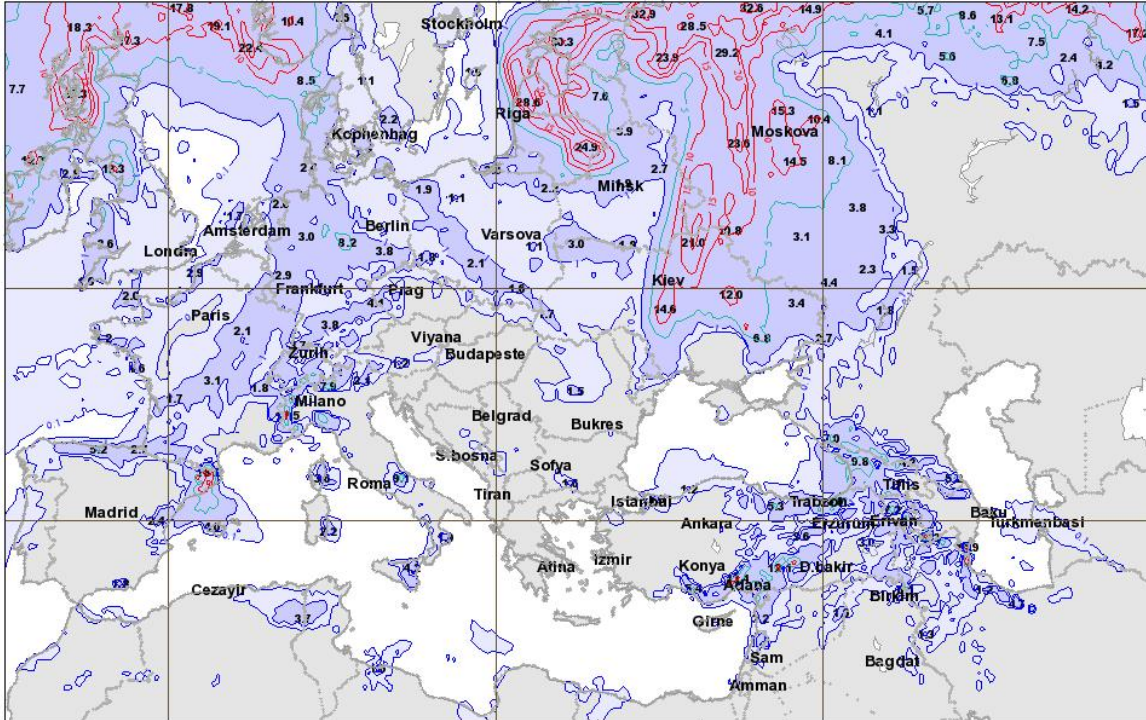
10 METRE RUZGAR HARITASI
SAYISAL HAVA TAHMINI (SHT) SUBE MUDURLUGU



Şekil10. T+72 için 10 m. Rüzgar Haritası.

Sunday 24 August 2008 12UTC ECMWF Forecast t+36 VT: Tuesday 26 August 2008 00UTC Surface: **Total precipitation

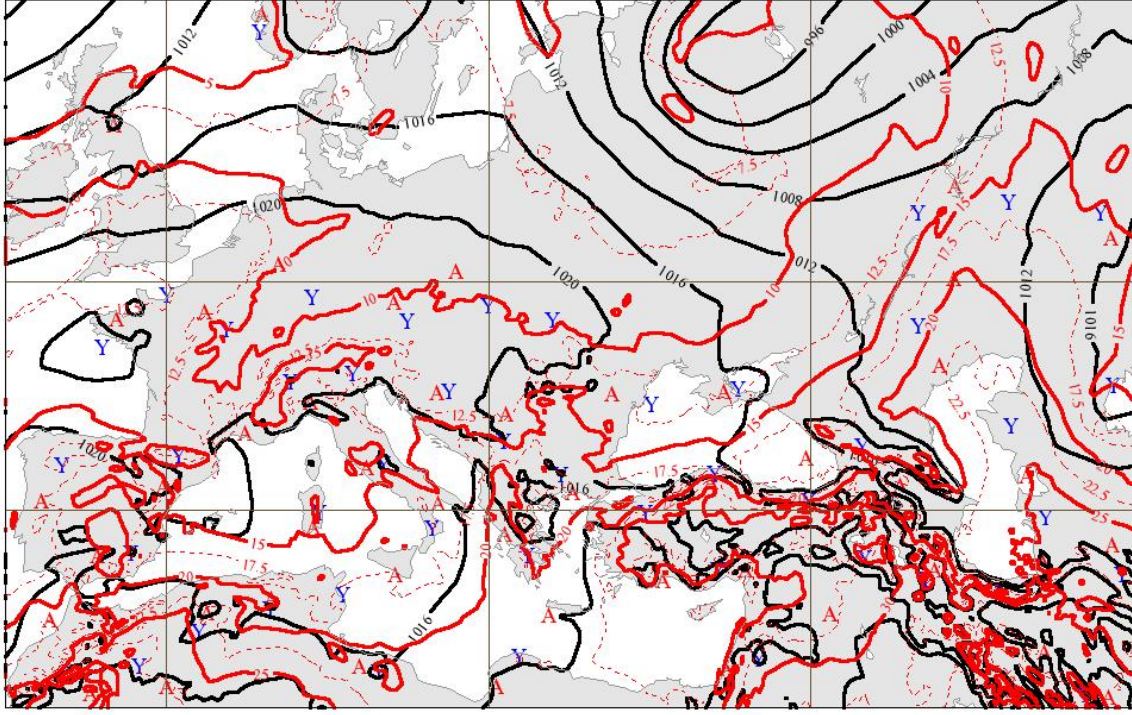
24 SAATLIK YAGIS (ARALIKLAR 0.1/ 1/ 5/ 10/ 15/ 20/ 30/ 40/ 50/ 75/ 100/ 150/ 200 mm)
SAYISAL HAVA TAHMINI (SHT) SUBE MUDURLUGU



Şekil 11. (T+12) – (T+36) Arası için 24 Saatlik Toplam Yağış Haritası.

Sunday 24 August 2008 12UTC ECMWF Forecast t+48 VT: Tuesday 26 August 2008 12UTC Surface: Mean sea level pressure/850hPa Temperature

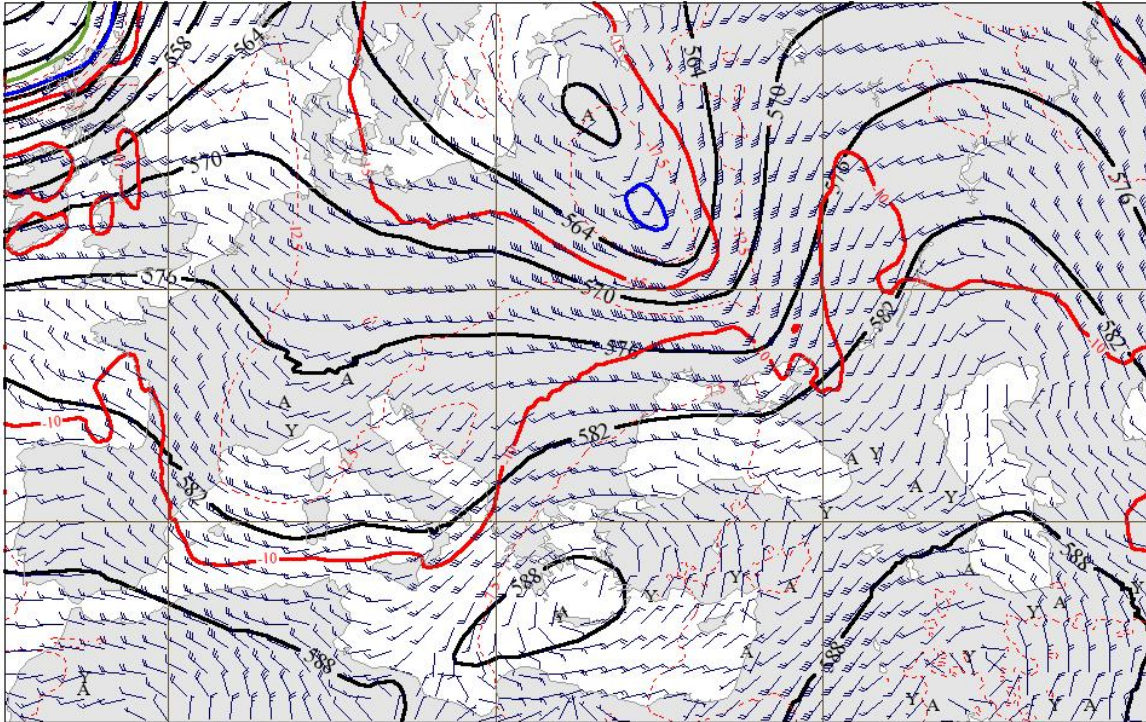
MSLP ve 850 hpa SICAKLIK HARITASI
SAYISAL HAVA TAHMİNİ (SHT) SUBE MUDURLUGU



Şekil 12. T+48 için 850 hPa Sıcaklık ve Deniz Seviyesine İndirilmiş Basıncı Haritası.

Sunday 24 August 2008 12UTC ECMWF Forecast t+24 VT: Monday 25 August 2008 12UTC 500hPa Geopotential/ Temperature/ V velocity

500 hpa YUKSEKLİK, SICAKLIK, RUZGAR HARITASI
SAYISAL HAVA TAHMİNİ (SHT) SUBE MUDURLUGU

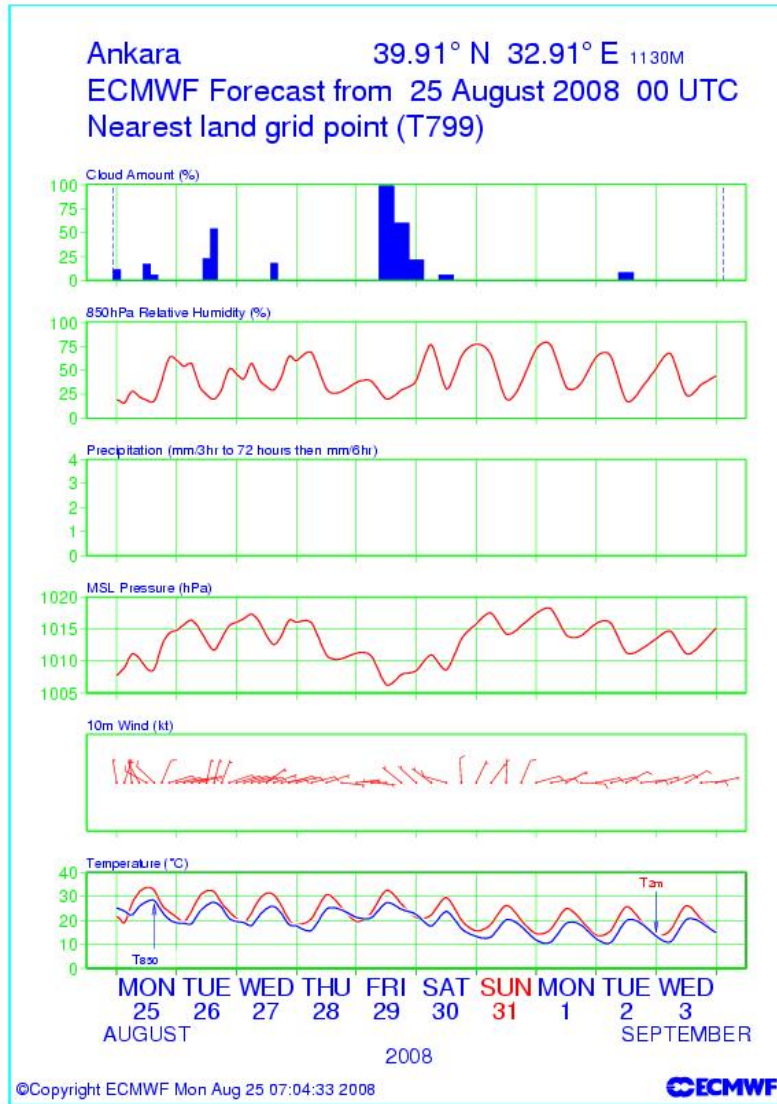


Şekil 13. T+24 için 500 hPa Yükseklik, Sıcaklık ve Rüzgar Haritası.

2.1.1. Meteogramlar :

Global olarak enlem ve boylam dereceleri verilen herhangi bir nokta için ECMWF Deterministik Model çıktıları kullanarak en fazla 10 güne kadar aşağıda belirtilen parametreler için hazırlanan kartlardır. Bu kartlardaki her parametrede, ilk 72 saat için 3'er saatlik aralıklarla, diğer kısımları ise 6 saatlik bölümlerden oluşmaktadır. Meteogramlarda bulunan parametreler şunlardır:

1. Kapalılık (*Cloud Amount (%)*)
2. Nem 850 mb seviyesine ait (*850 hPa Relative Humidity (%)*)
3. Yağış miktarı (*Precipitation (mm/6hr)*)
4. Deniz seviyesine indirilmiş basınç (*MSL Pressure (hPa)*)
5. 10m rüzgar yön ve şiddeti (*10m Wind (kt)*)
6. 2m ve 850 mb seviyesi sıcaklıkları (*Temperature (° C)*)



Şekil 14. Ankara İçin Meteogram

2.2. Gruplandırılmış Tahmin Sistemi - EPS (Ensemble Prediction System)

Dünyada meteorolojik gözlem sistemleri ne kadar gelişmiş olsa da dünyanın birçok bölgesinde direk olarak gözlem değerleri hala ölçülememektedir. Bu bölgelerdeki eksiklikler uydulardan elde edilen değerlerle giderilmektedir. Fakat uydulardan alınan veriler direk gözlemler kadar güvenilir değildir.

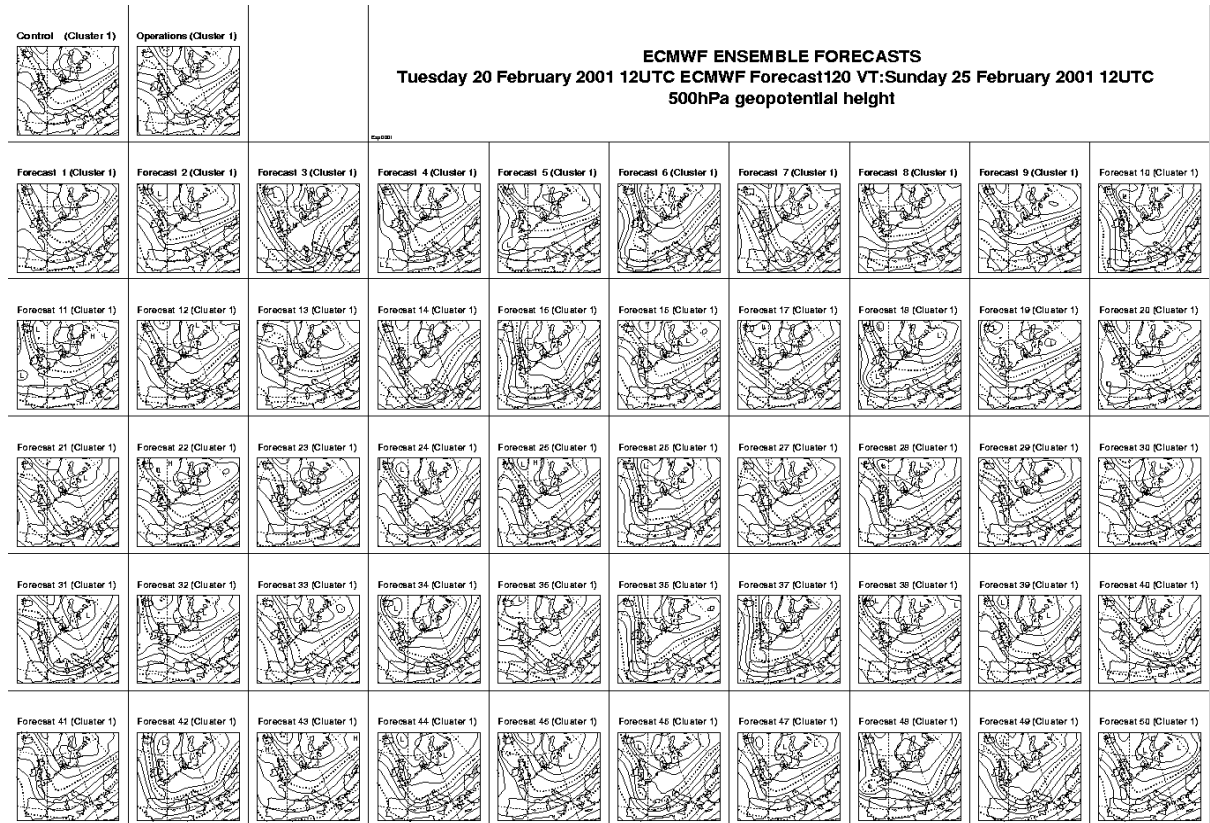
Hava tahmininde modelin iyi olması kadar modele girecek olan başlangıç datalarının güvenilirliği de çok önemlidir. Zira model ne kadar mükemmel şekilde hazırlanmış olsa da kullanılan veriler hatalıysa hata tahmini de o derece tutarsız olacaktır.

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.

İşte bu verilerden kaynaklanabilecek hataları gözününe almak için başlangıç datalarına küçük perturbasyonlar (sapmalar) eklenir ve çıkarılır. Bu sayede yeni başlangıç koşulları oluşturularak her bir başlangıç koşuluyla farklı tahminler üretilmektedir.

İlk olarak 1992 yılında yapılan Ensemble Prediction System – EPS (Olasılık Tahmin Sistemi)'nin operasyonel kullanımı için 32 farklı tahmin üretilmiştir. 1996 yılında tahmin sayısı 50'ye ve çözünürlük 125 km/grid'e çıkarılmıştır. 2006 yılı itibarıyla çözünürlük 40 km/grid'e yükseltilmiştir.

Elde edilen bu 50 farklı tahmin ile bir bölgede beklenen her türlü hava koşulları görülebilir. Deterministik model'de hava tahmini için kesin değerler elde edilir. Örneğin herhangi bir bölgede istenilen zaman periyodunda sıcaklık değerleri kolayca elde edilebilir. EPS modelinde ise çözünürlüğü deterministik modele oranla daha kötü olmakla birlikte 50 farklı deterministik model çalışmış gibi düşünülebilir. Dolayısıyla Deterministik modelin özelliklerine ilave olarak her bir parametrenin meydana gelebileme olasılıkları da görülebilir. Hatta bu sonuçlar geçmiş değerler de kullanılarak çeşitli ihtimal hesaplarıyla da tahminler üretilir.



Şekil 15. 500 hPa için t+120 deki Ensemble Tahminler. Sol üstte görülen ilk iki harita kontrol haritası ve deterministik model tahmin haritasıdır.

Başlangıç koşullarındaki küçük sapmalar her zaman büyük çapta hatalara yol açmazlar. Bu küçük hatalara rağmen bazen her bir modelin sonucu birbirine çok yakındır. Model sonuçlarının birbirine yakın olması hataların ihmal edilebileceğini gösterir ki bu durumda tutarlılık oranı yüksek demektir.

EPS modelinde tüm model sonuçlarına bakılarak en iyi ve en kötü durumlar görülebilir. Bir çok durumda ne olamaz sorusunun cevabını bilmek, ; ne olacağını bilmek kadar önemli olabilir. Bu EPS`i deterministik tahminden ayıran ve ona avantaj sağlayan en önemli özelliklerden birisidir.

Aşağıdaki şekilde t+120 için 500 hPa. geopotansiyel yüksekliğinin EPS model sonuçları görülmektedir. Sol üstteki ilk harita sapmalar eksenlenmiş haliyle çalıştırılmış olan model sonucu, ikinci harita ise deterministik model sonucunu göstermektedir. Diğer 50 harita ise 50 farklı başlangıç dataları kullanılarak elde edilmiş olan model sonuçlarıdır.

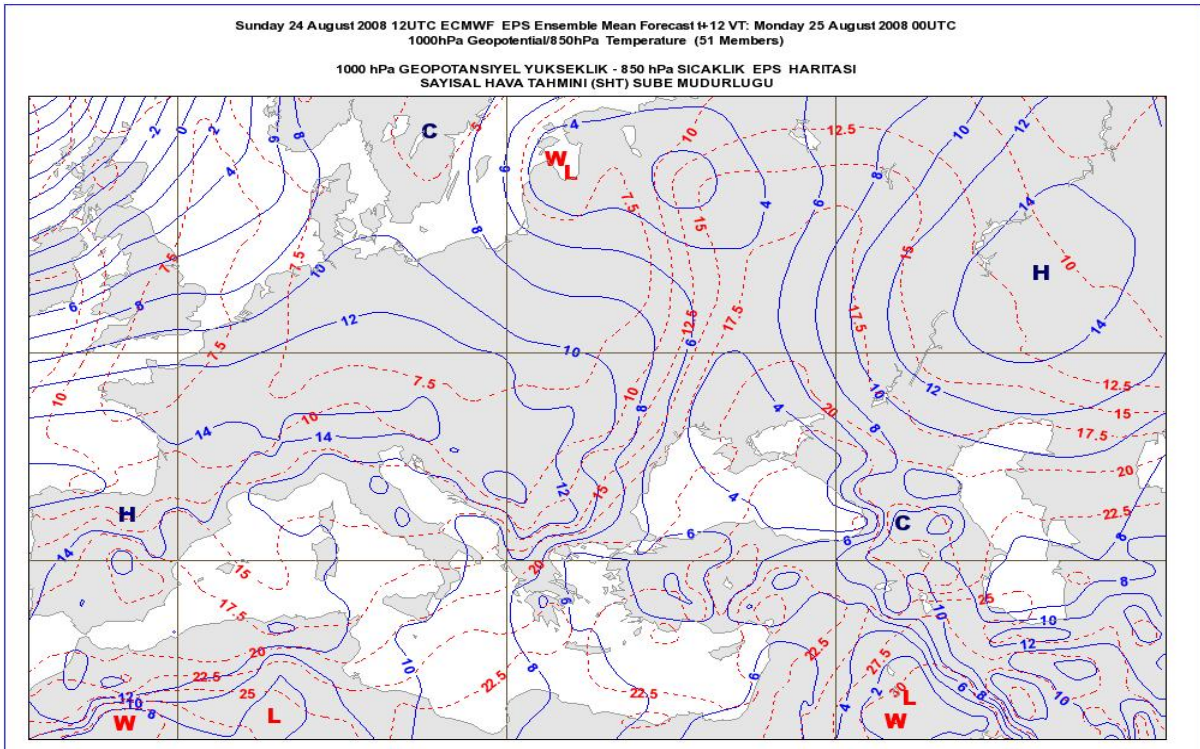
2.2.1. ECMWF'nin Operasyonel Demet Yöntemi (Clustering)

Grup tahmin sisteminin (EPS) ürettiği çok miktardaki bilgileri azaltmak ve önemli olan kısımları öne çıkarmak için ECMWF bazı benzer standartlara göre EPS tahminlerini bir araya getirir. Bir araya gelen EPS tahminleri kendilerine ait tahminlerin dışında ortak tahminler üretirler. Clustering (Demet Yöntemi) diye bilinen bu yöntem tahminlerin ortalamasını alır ve bu ortalamalardan yeni tahminler üretir.

2.2.2. Grup Ortalaması (Ensemble mean) ve Farklar

Grup ortalaması bütün tahminlerin ortalaması alınarak yapılır. Bu daha kolay tahmin yapmamızı sağlar. Kolaylığın derecesi grup tahminleri arasındaki farka bağlıdır. Fark küçük olduğunda, orta vadede, sinoptik sistemleri hatta cepheleri izlemek mümkün olacaktır. Ayrıca küçük farklar, tahmin edilebilirlik oranını yükseltirken, büyük fark da tahmine yönelik şüpheleri artırır.

Grup ortalama haritaları (ensemble mean) aynı zamanda günden güne oluşan tutarsızlığı da gözler önüne serecektir. Buna göre grup ortalaması, tahminin deterministik kısmının temeli sayılabilir. Grup tahminleri arasındaki farklar ile tahminlerin tutarsızlığı arasında %100 bir ilişki yoktur. Düşük farklar kontrol yada grup ortalamasının iyi olacağını gösterse de bunun tersi de mutlaka doğru değildir.



Şekil 16. 1000 hPa Yükseklik-850 hPa Sıcaklık Ensemble Ortalama Haritası

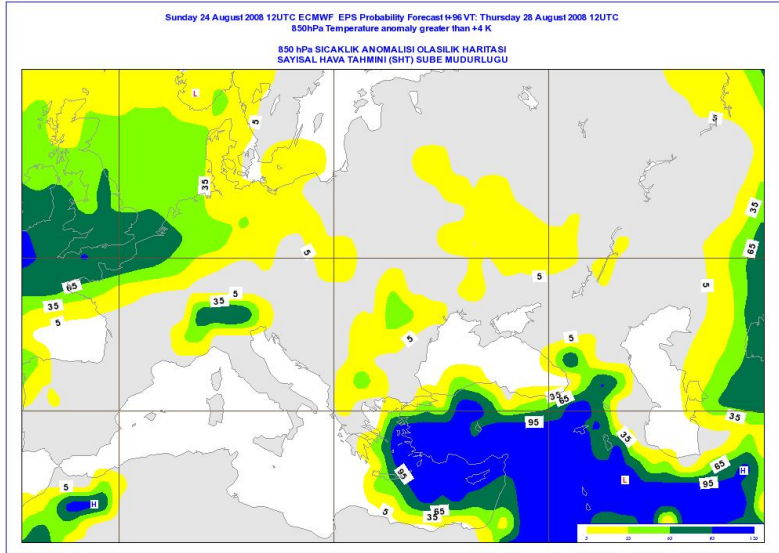
2.2.3. Tüp Yöntemi

Diğer bir demet yöntemi, özellikle farklı olan tahminleri ayırarak grup ortalamasına en çok benzeyen tahminleri aynı grupta toplar. Buna tüp (tubing) yöntemi denir. t+96 ile t+168 aralığında 500 hPa. RMS farkları göz önünde bulundurularak hazırlanır. Tüp yönteminin amacı grup ortalamasının daha fazla rafine edilmesini sağlamaktır. Bu yeni rafine edilmiş gruba merkezi demet (Central Cluster) denir. Farklı olan tahminler bir grup içinde toplanırlar ve en farklı tahmin tarafından temsil edilirler. Tüpler demet yönteminde olduğu gibi olasılıktan belirten ifadelerle sahip değildirler. Fakat tahminlere hangi durumların merkezi demete dahil olmadığını bildirirler. Merkezi demet ve tüpler bütün tahmin periyodu için hazırlanır.

2.2.4. EPS Olasılık Haritaları

EPS'in ana amaçlarından biri de, olasılık içeren ifadelerle rehberlik yapmaktır. Bu ifadeler hem nicelik (24 saatte 5mm.'den fazla yağış oluşma olasılığı % 70'dir vb.) hem de nitelik (kuvvetli yağış olabilir vb.) özelliklere sahiptir.

Eğer bütün EPS tahminlerinin yaklaşık eşit olasılığa sahip olduğunu farz edecek olursak, hava olaylarının olasılığı, EPS tahminlerinin kendi aralarındaki tahmin oranlarına eşit olur. Her bir meteorolojik parametrenin olasılık dağılımı model tarafından tahmin ve hesap edilir. Olasılık tahmin haritaları bir günden diğerine büyük bir uygunluk gösterir. Aynı zamanda, EPS birleştirilmiş parametrelerin ihtimallerini de hesaplamak için uygun bir yol olabilir. (Örneğin, sıcaklık 0°C derecenin altında ve rüzgar 5m/sn den fazla ve bulut kapallığı 6/8 den fazla gibi). Olasılıklar uzun tahmin vadeleri için oldukça güvenilirdir.



Şekil 17. 850 hPa Sıcaklık Anomalisinin +4 °K den Büyük Olma Olasılığı Haritası

EPS modelinden alınan olasılık, ensemble mean (grup ortalaması) ve Demet ortalaması kartları şunlardır:

1. Olasılık Kartları
 - a. 850 hPa sıcaklık anomali kartları
 - b. Toplam yağış olasılık kartları
 - c. 10 metre rüzgar hızı olasılık kartları
 - d. Periyodik 850 hPa sıcaklık anomali kartları

- e. Periyodik toplam yağış olasılık kartları
2. Grup ortalaması (Ensemble mean)
 - a. 1000 hPa geopotansiyel-850 hPa sıcaklık
 - b. 500 hPa geopotansiyel-sıcaklık
3. Demet Ortalaması (Cluster Mean)
 - a. 1000 hPa geopotansiyel-850 hPa sıcaklık
 - b. 500 hPa geopotansiyel-sıcaklık

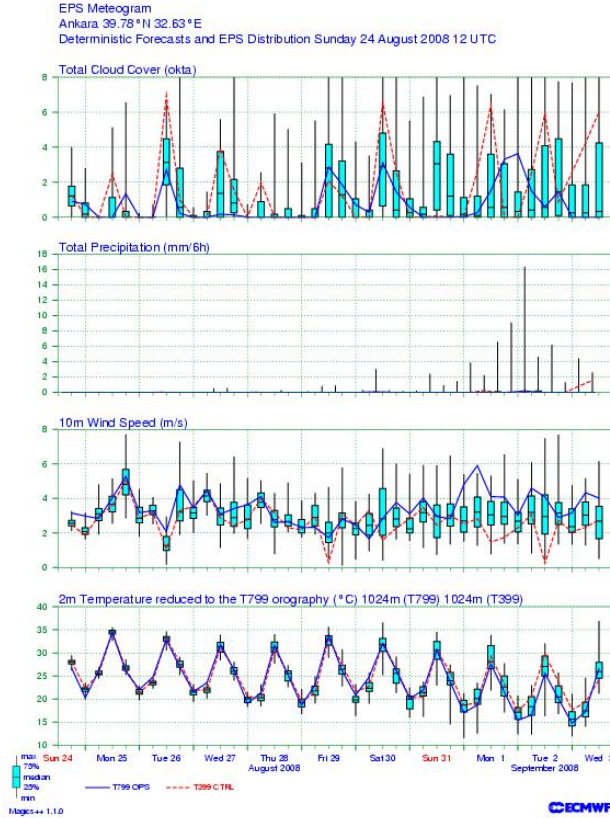
2.2.5. EPS Meteogramlar

EPS meteogramlar enlem ve boylamı verilen bir nokta için, ECMWF’te global olarak çalışmakta olan Ensemble Model ve yine ECMWF’in ana modeli olan deterministik modelin aynı anda yapmış olduğu tahmin sonuçlarının bir arada gösterilmesidir.

Ensemble Model global olarak çalışmakta 0.5*0.5 çözünürlükte yani her 40 km’lik grid aralığında 50+1 adet tahmin sonucu üretmektedir. Bunlardan +1 yani sonuncusu perturbasyon (sapmalar) eklenmeden ilk başlangıç koşullarıyla çalıştırılarak elde edilen kontrol tahmini (CTRL forecast) olarak adlandırılır.

EPS Meteogramlar aşağıda verilen parametrelerin 15 günlük değişimlerini içermektedir;

1. Kapalılık (Cloud Amount (%))
2. Yağış miktar (Precipitation (mm/6hr))
3. 10m rüzgar yön ve şiddeti (10m Wind (kt))
4. 2m ve 850 mb seviyesi sıcaklıklar (Temperature (°C))



Şekil 18. Ankara için EPS Metgramı

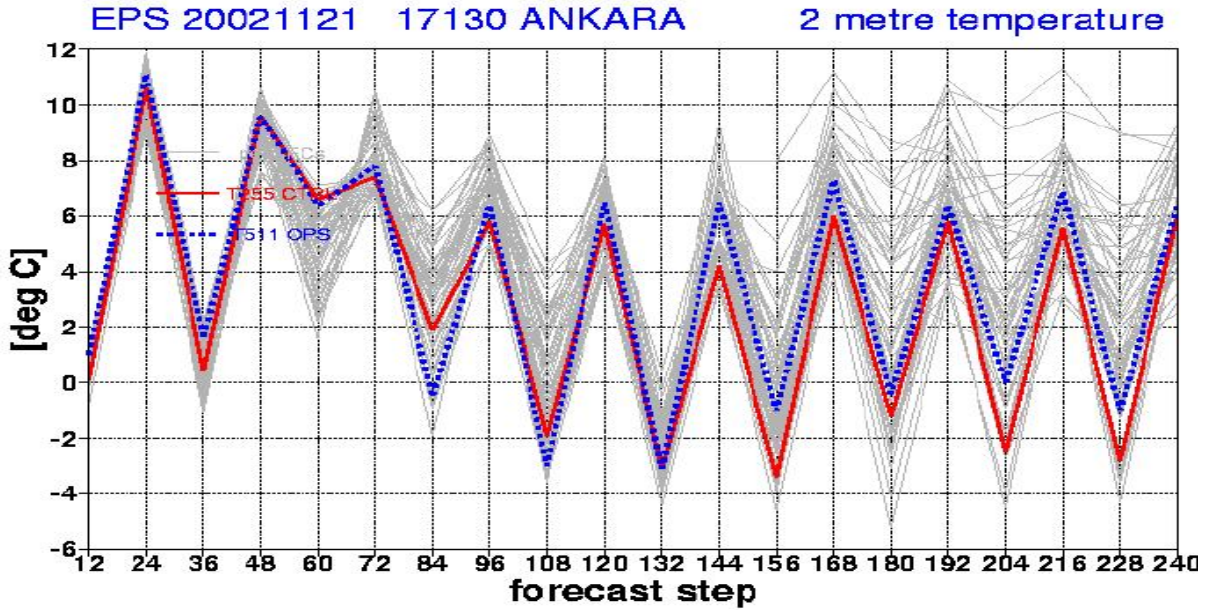
Mavi çizgi deterministik modelin sonucunu, kırmızı çizgi ensemble modelin kontrol tahmin sonucunu, yeşil kutular 50 adet ensemble tahmin sonucunun ortalamasını, siyah uzun çizgiler ise 50 adet ensemble model sonucu arasındaki uç tahminleri temsil etmektedir. Mavi ve kırmızı çizgilerin üst üste çakışık olması, yeşil kutuların çok küçük olması ve siyah uzun çizgilerin kısa olması bütün tahminleri aynı veya birbirine çok yakın sonuçlar vermesi demektir ve iyi bir tahmindir.

2.2. 6. Plume Diyagramları

Plume diyagramları enlem ve boyları verilen bir noktada, herhangi bir parametrenin 50+1 EPS modelini sonucunun ve deterministik model sonucunun aynı anda bir grafikte zamanla değişimlerinin gösterildiği diyagramlardır.

Şekil 19'da bir örneğinin gösterildiği plume diyagramlarında mavi çizgi deterministik modelin sonucunu göstermektedir. Kırmızı çizgi ensemble modelin kontrol tahmin sonucunu siyah çizgiler ise 50 adet ensemble tahmininin değerlerini göstermektedir.

İyi bir tahmin için mavi, kırmızı ve siyah çizgilerin üst üste çakışık olması gerekmektedir. Bu çizgilerin birbirinden uzak ve dağınık olması modellerin aynı nokta için farklı farklı tahmin değerleri üretmesi yani tutarsızlığını ifade etmektedir



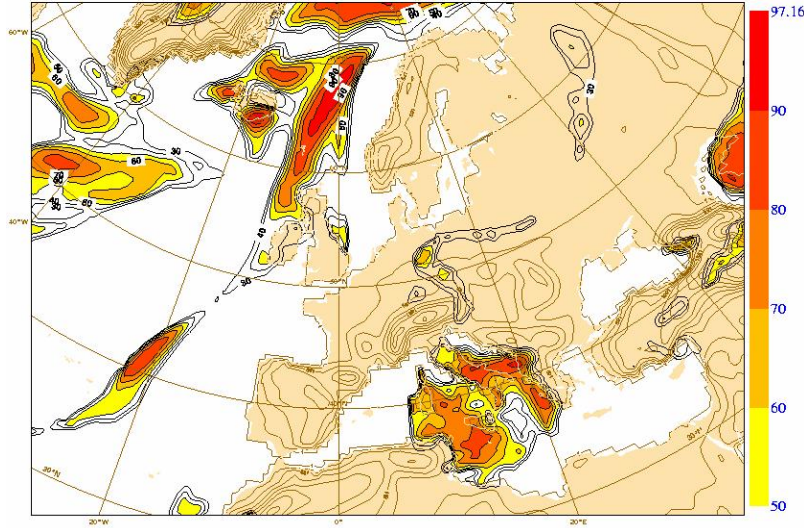
Şekil 19. Ankara için 2 metre Sıcaklık Plume Diyagramı

2.2.7. Şiddetli Hava Olaylarına İlişkin Tahminler (Extreme Forecast Index - EFI)

Şiddetli hava olaylarının tahmininde EPS modelinin 51 tahmininin yanı sıra istasyonların geçmişe yönelik klimatolojik verileri de kullanılmaktadır. Öncelikle istasyonlarda ölçülen parametrelerin çeşitli formüllerle eşik değerleri tespit edilir. Burada eşik değerleri bilimsel olarak belirlenebileceği gibi subjektif gözlemler sonucu belirlenebilir. Örneğin bazı bölgelerde özellikle su havzalarında yağış miktarına göre akışa geçebilecek yağış biliniyorsa o bölge için eşik değeri kolayca belirlenmiş olur. Daha sonra EPS Modelinin 51 model tahmininden kaç tanesi bu noktada eşik değerinden fazla yağış tahmin etmektedir. Örneğin 51 tane tahminden 35 tanesi o bölgede eşik değerinden fazla yağış bekliyorsa yüzde 69 olasılıkla bu bölgede ekstrem yağış yani eşik değerini aşan yağış beklenmektedir denir.

Bu değerler göre haritadaki olasılıklar 50 ila 100 aralığındaki renklerle ifade edilen alanlarda renginin tonuna göre % (yüzde) ihtimalle Örneğin: 80 ila 90 ihtimalle uzun yıllar görülen yağış değerlerinin veya belirleyeceğimiz eşik değerinden daha yüksek olacağı tahmin edilmektedir.

Precipitation accumulated over last 24h Ctrl Extreme Forecast Index 3
Base 16 April 2002 12UTC, VT: Monday 22 April 2002 06UTC

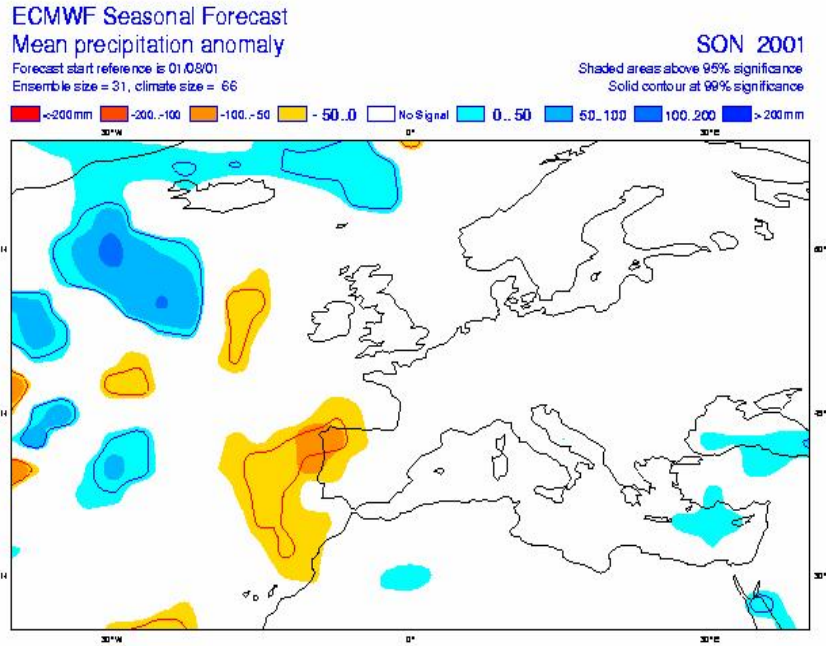


Şekil 20. Kümülatif Toplam yağış için EFI Haritası

3. Uzun Vadeli Hava Tahminine Yönelik Kullanılan Modeller (Mevsimsel Tahmin Modeli)

ECMWF'in uzun vadeli tahmin yapan modelidir. Yatayda 80 km. çözünürlüğe sahip olan bu model 3 aylık periyotlar halinde ayda bir defa tahmin yapmaktadır. Kartların ait olduğu ayların ortalama değerlerinden olan farklar bu kartlarda gösterilir. Geçmiş aylara göre değerlerde artış veya azalış miktarı renklendirme yöntemiyle görülmektedir. Bu modelden elde edilen parametreler şunlardır;

1. Ortalama deniz yüzeyi sıcaklığı anomalisi (Mean sea surface temperature anomaly),
2. Ortalama Yağış anomalisi (Mean precipitation anomaly),
3. Ortalama deniz seviyesi basıncı anomalisi (Mean sea level pressure anomaly),
4. Ortalama 2 metre sıcaklığı anomalisi (Mean temperature anomaly).

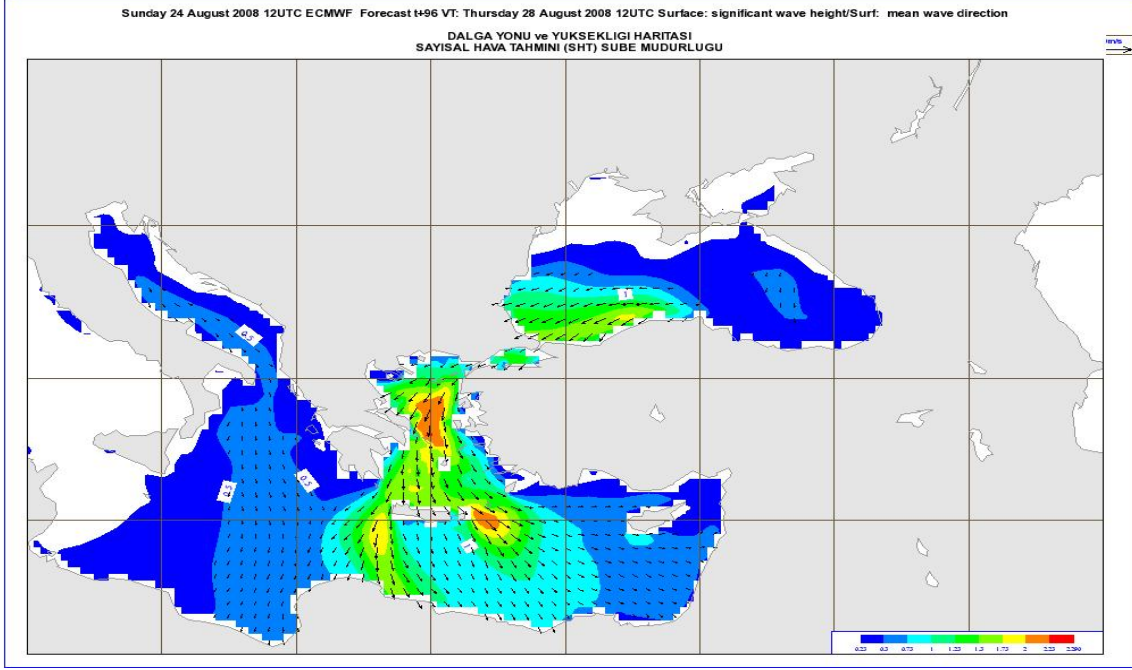


Şekil 21. SON(September-October-November) 3 aylık periyodu boyunca Ortalama yağış anomalisindeki değişim haritası

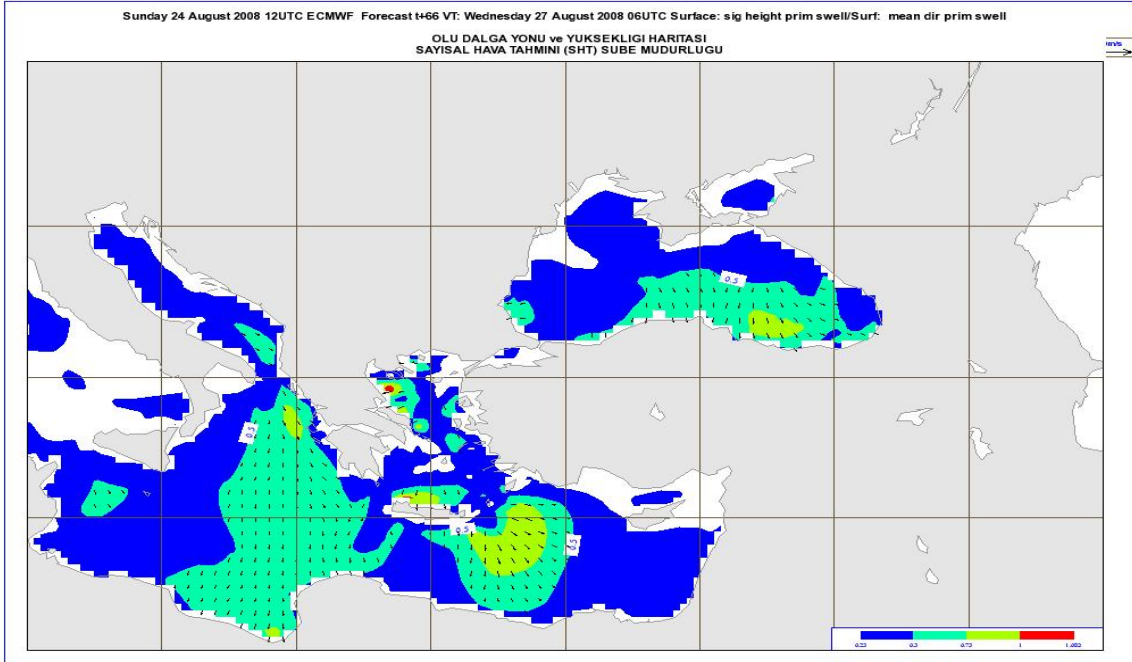
4. Denizlerimize Yönelik Tahmin Modelleri

4.1. ECMWF Dalga Modeli

Halen ECMWF’te dalga modelinin iki ayrı versiyonu çalışmaktadır: Bunlardan ilki olan global model 25 km çözünürlükte çalışmaktadır. Türkiye’nin kullandığı model ise sınırlı alan modelidir. Kuzey Atlantik, Norveç Denizi, Kuzey Denizi, Baltık Denizi, Akdeniz ve Karadeniz için çalışan bu modelin çözünürlüğü 25 km. olup t+120’ye kadar 6 saatlik tahminler yapmaktadır. Bu modelden dalga yüksekliği ve yönü ile ölü dalga yüksekliği ve yönü haritaları alınmaktadır.



Şekil 22. Dalga Yüksekliği ve Yönü Haritası



Şekil 23. Ölü Dalga Yüksekliği ve Yönü Haritası

4.2. METU3 Yerel Dalga Tahmin Modeli:

METU-3 Dalga Modeli, ODTÜ Kıyı ve Liman Mühendisliği öncülüğünde NATO'nun (Science for Stability) Programı ile desteklenen "Türkiye Kıyılarındaki Rüzgar Dalga Klimatolojisinin Saptanması" projesi doğrultusunda geliştirilmiştir.

Üçüncü nesil model METU3 rüzgarların oluşturduğu dalgaların tahmini için kullanılan model olarak tanımlanır. Okyanuslar ve denizlere olan ekonomik ve bilimsel ilginin artmasıyla, rüzgar-dalga değerlendirmeleri de önemli bir konu olmuştur. METU3 modelinden herhangi bir modifikasyona gereksinme duymaksızın sığ sularda da derin denizlerde olduğu kadar iyi sonuçlar elde edilmektedir.

Rüzgarların oluşturduğu dalgaların hesaplanmasında kullanılan METU-3 Karadeniz, Akdeniz, Ege, Marmara Denizi, Van Gölü ve Hazar Denizi için çalıştırılmaktadır.

Model hakkında temel bilgiler aşağıda görüldüğü gibi özetlenebilir.

Başlangıç Verisi : ECMWF Deterministik Modeli 10m. Rüzgar Hızı

Çözünürlük : 0.25*0.25 derece (yaklaşık 25km)

Tahmin periyodu : 72 saat

Tahmin Aralığı : 3 saat

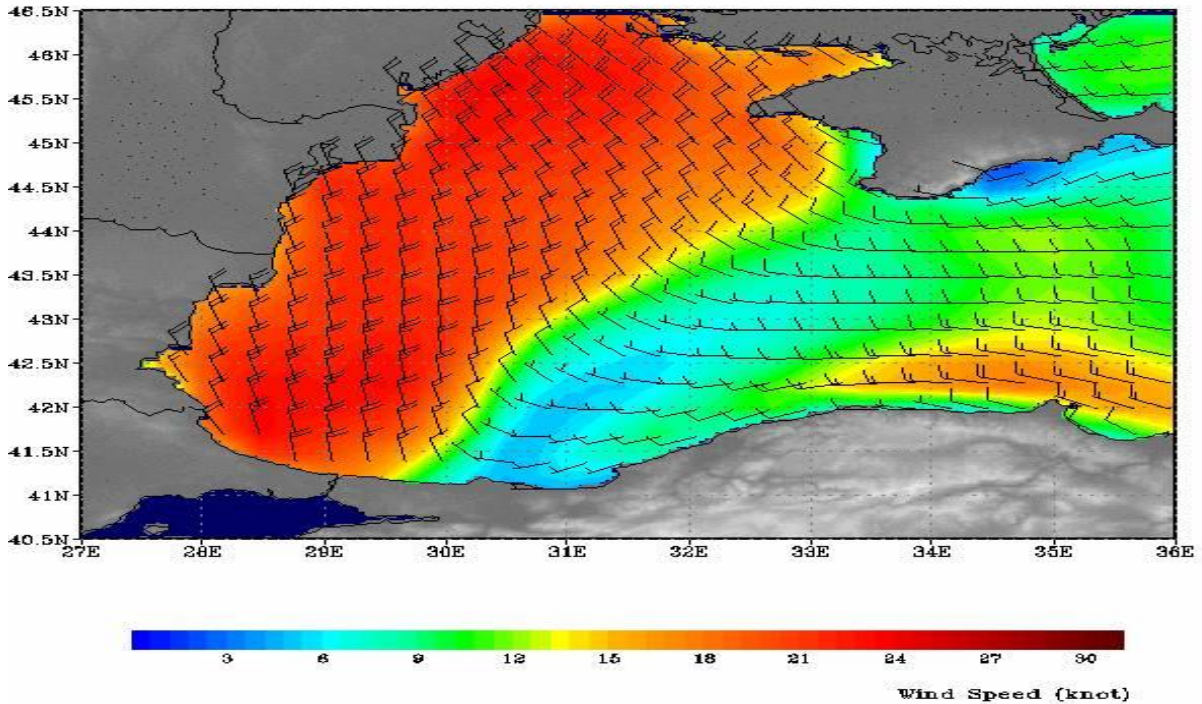
METU-3 modelinden elde edilen ürünler ise şunlardır;

- 10 m Rüzgar Hızı ve Yönü
- Dalga Yüksekliği ve Yönü
- Ortalama dalga Periyodu.



DANUBE

10m Wind(kt) Run:24082008 1200GMT T+18H Valid:25082008 0600GMT

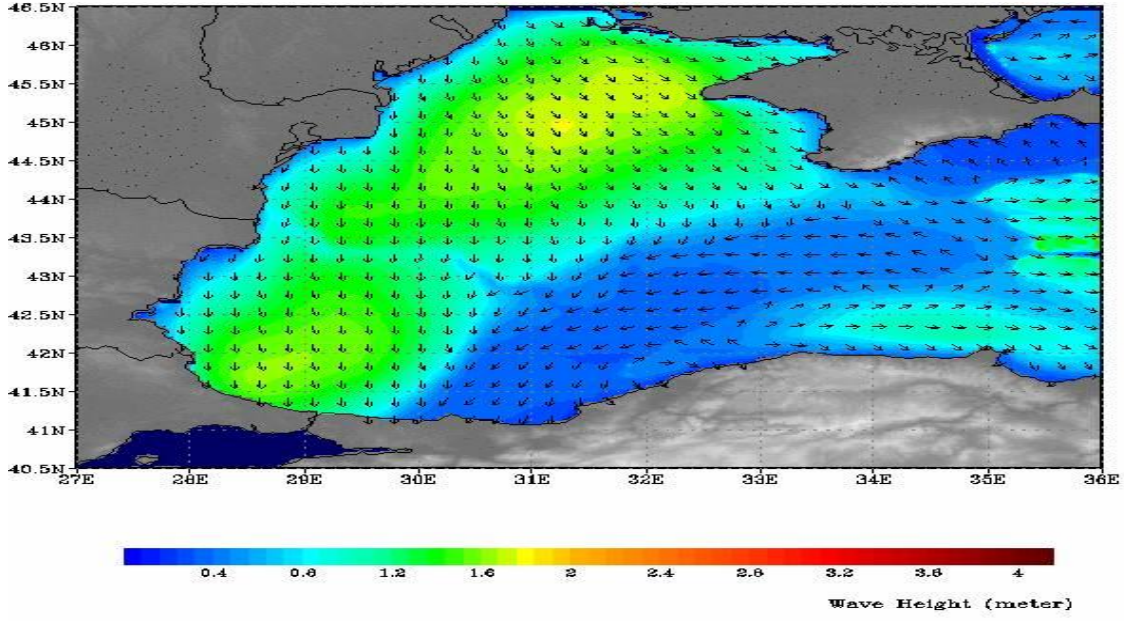


Şekil 24. Danube (Batı Karadeniz) için 10 m Rüzgar Hızı ve Yönü



DANUBE

W.Height(m) Run:24082008 1200GMT T+21H Valid:25082008 0900GMT

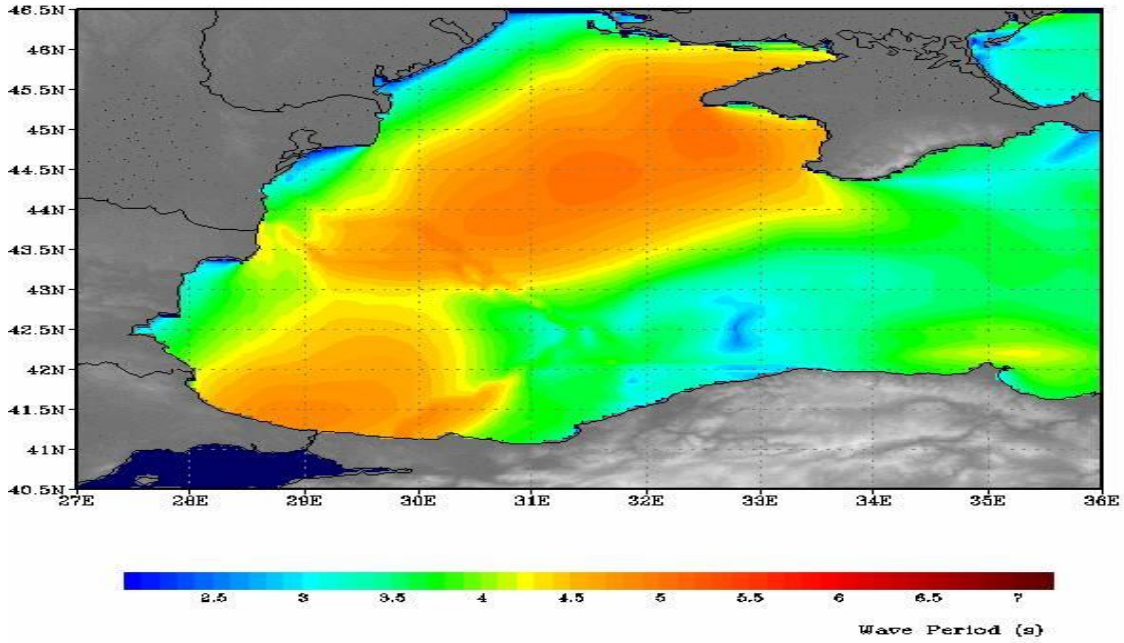


Şekil 25. Danube (Bati Karadeniz) için Dalga Yüksekliği ve Yönü



DANUBE

W.Period(s) Run:24082008 1200GMT T+24H Valid:25082008 1200GMT



Şekil 26. Danube (Bati Karadeniz) için Ortalama Dalga Periyodu.

5. Model Sonuçlarına Uygulanan İstatistiksel İşlemler (Kalman Filtresi)

Sayısal Hava Tahmin ("Numerical Weather Prediction-NWP") modelleri yere yakın parametrelerin tahmininde sistematik hatalar içermektedir. Örneğin; 2 metre sıcaklığı, mevsimsel geçişlere, tahmini yapılacak noktanın topografyasına ve istasyonun grid-altı (sub-grid) yerleşiminde olup olmasına bağlı olarak, sistematik hatalar taşıyabilmektedir.

Kalman Filtresi, SHT modellerinden elde edilen tahmin çıktılarıyla gerçekleşen değerleri (gözlemleri) istatistiksel metotlarla değerlendirerek, tahminler ile gözlemler arasında regresyon kuran bir yöntemdir. Temel olarak Kalman Filtrelemesi, ilgili parametrenin tahmininde yakın zamandaki (son 90 gün gibi) değerlerine dayalı olarak parametredeki modele bağlı gerçekleşen hatalı tahminleri düzeltir. Aşağıda Tablo-1 ve Tablo-2'de bununla ilgili örnekler verilmektedir. Tablolardaki DMO (Direct Model Output) Model Tahmini, OBS (Observation) gözlem, FTD (Filtered) ise Filtre edilmiş değerleri gösterir.

GÜN	DMO	OBS
1	11,3	11,8
2	10,2	12,0
3	12,7	15,4
4	14,1	17,0
5	13,6	16,4

Tablo-1: Model tahmini ve gözlemler.

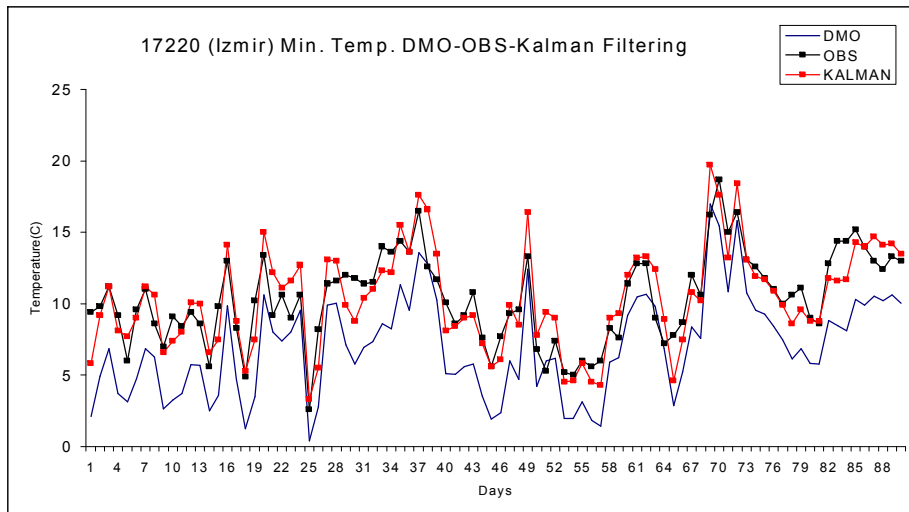
Yukarıdaki aynı zamana ait gözlem ve tahminler istatistiksel olarak değerlendirilerek;

$$Y = X(1) + X(2) * T(Fc)$$

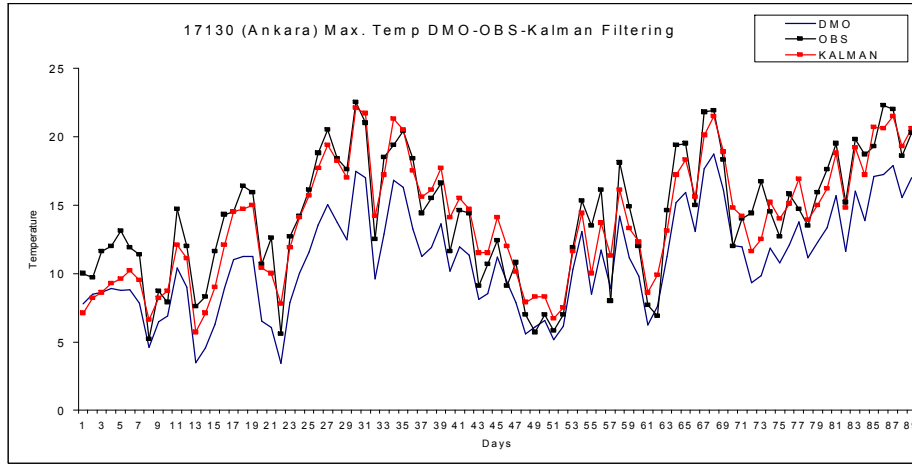
doğrusu elde edilmektedir. $X(1)$ ve $X(2)$ değerleri istatistiksel olarak gözlem ve tahmin değerleri arasındaki regresyonu ifade etmektedir. $T(Fc)$ ise en son tahmin değeridir. Bu şekilde 90 gün gibi uzun süreli tahmin ve gözlem değerleri arasında doğrusal ilişki ile $X(1)$ ve $X(2)$ değerleri elde edilerek, yeni tahmin ($T(Fc)$) yerine konularak düzeltilmiş tahminler elde edilir.

GÜN	DMO	OBS	FTD
1	11,3	11,8	11,6
2	10,2	12,0	11,1
3	12,7	15,4	13,9
4	14,1	17,0	16,8
..

Tablo-2: Model tahmini, gözlemler ve filtre edilmiş değerler.



Şekil 27. İzmir için t+24 Minimum Sıcaklık DMO-OBS-Kalman Grafiği



Şekil 28. Ankara için t+24 Maksimum Sıcaklık DMO-OBS-Kalman Grafiği

Şekil 27 ve Şekil 28’de görüldüğü gibi Kalman Filtresi uygulandıktan sonra model çıktılarının sistematik hataları düzeltilmiştir. Halen genel müdürlüğümüzde Kalman filtresi maksimum ve minimum D+1, D+2, D+3, D+4 ve D+5 tahminlerine uygulanmaktadır. Parametrelerin, istasyonların ve tahmin periyodunun artırılması yönündeki çalışmalar da hala devam etmektedir.

6. Verifikasyon

Verifikasyon, yapılan tahminlerin gözlemlerle kıyaslanarak doğruluk oranlarının tespiti. Günlük olarak alınan ECMWF Deterministik Modeli verilerinden elde edilen kısa ve uzun vadeli her türlü tahmin, gerçekleşen değerlerle karşılaştırılarak yapılan tahminlerin doğruluğu araştırılmaktadır. ECMWF’ye paralel olarak genel müdürlüğümüzde standart olarak verifikasyonu yapılan parametreler şunlardır.

Yer Seviyesi

- 2 Metre Sıcaklığı : D+1, D+2, D+3,
- Deniz Seviyesine İndirilmiş Basınç : D+1, D+2, D+3,
- Maksimum Sıcaklık : D+1, D+2, D+3,
- Minimum Sıcaklık : D+1, D+2, D+3,
- 24 Saatlik Toplam Yağış : D+1, D+2, D+3,
- 10 Metre Rüzgar Şiddeti : D+1, D+2, D+3,

Yukarı Seviye (1000,850, 700, 500,400 ve 300 mb.)

- Yükseklik
- Sıcaklık
- Nisbi Nem
- Rüzgar

Her yıl düzenli olarak üye ülkeler kendi bölgeleri için yapılan tahminleri gerçekleşen değerlerle karşılaştırarak verifikasyon sonuçlarını ECMWF’ye göndermekte ve gönderilen bu değerler bir kitapta toplanarak üye ülkelere bildirilmektedir. Daha önceki yıllarda elle verifikasyonu yapılan ECMWF Deterministik Modeli sonuçlarının, 2001 yılı itibariyle operasyonel olarak ilk 6 günlük tahminlerinin verifikasyonu yapılmaktadır. Halen operasyonel olarak yapılan verifikasyon değerlendirmelerini iki kategoride toplayabiliriz. Bunlar;

a) **Subjektif Verifikasyon:** Yapılan tahminlerle gerçekleşen değerler rakamsal değerleri göze alınmaksızın sadece grafik olarak kıyaslanmasıdır. ECMWF'in standart olarak tespit ettiği parametrelerin 6. güne kadar yapılan tahminleri gerçekleşen değerlerle kıyaslanmak suretiyle fark (tahmin-gözlem) haritaları yapılmaktadır. Bununla birlikte Analiz Şube Müdürlüğü'nde de yağışın meydana gelip gelmemesine göre hem analizin hem de ECMWF'in tutarlılığı gözlemlenmektedir.

b) **Objektif Verifikasyon:** Tespit edilen herhangi bir parametre için, yapılan tahminlerle gözlem değerleri kıyaslayarak verifikasyon değerlerinin rakamsal olarak ifade edilmesidir. Tabii ki burada haritadaki tüm noktaların fark değerleri bulunabilir. Ancak belirli bir düzlemdeki fark değerleri tek başlarına çok fazla bir anlam ifade etmeyebilir. Bunun için objektif verifikasyon hesaplamalarında, sabit bir noktada aynı parametre için fark değerlerinin zamanla nasıl bir trend ile devam ettiğini görmek, o nokta için yapılan tahminlerin doğruluğunun tespitinde daha büyük bir rol oynar. Bunun için de objektif verifikasyonlarda genel bir alandan ziyade bir noktada verifikasyonların zamanla değişimleri göz önüne alınır.

Bunun için de temel olarak şu hesaplamalar yapılmaktadır.

- **Ortalama Standart Hata (Mean Error-ME):** Belirlenen periyotta tahminlerle gözlemler arasındaki farkların toplamının ortalaması.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - o_i)$$

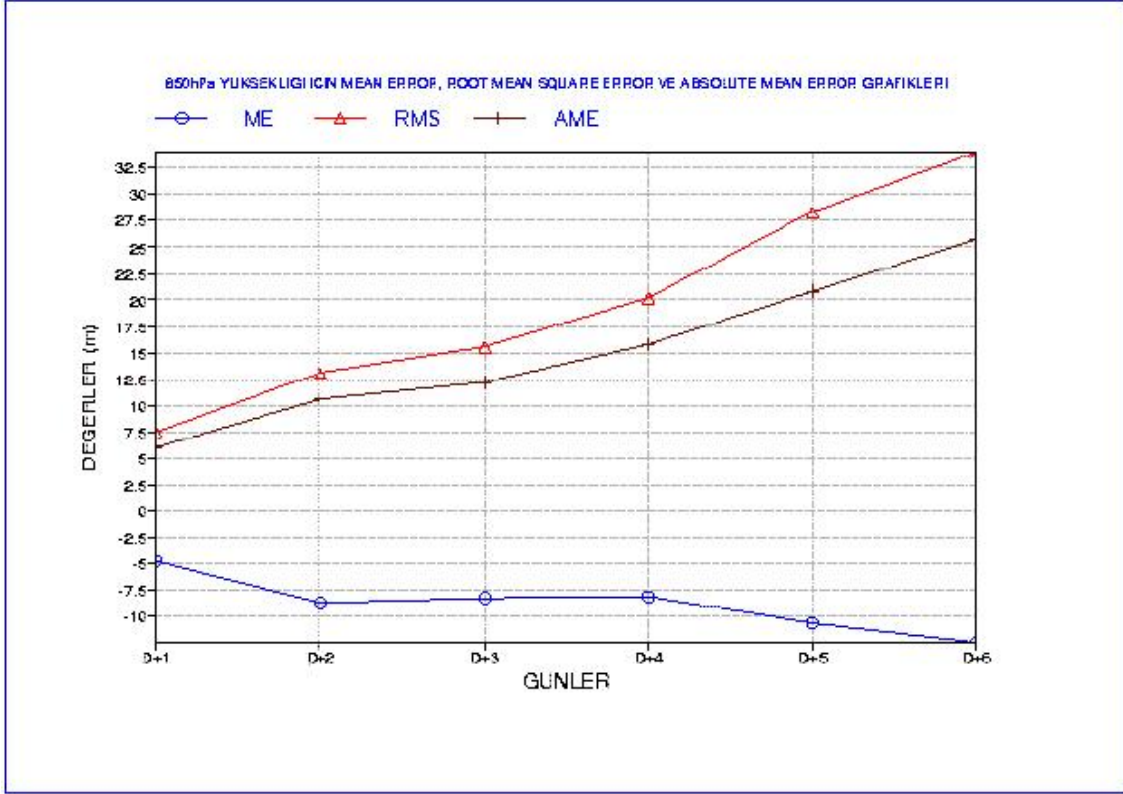
- **Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error-MAE):** Belirlenen periyotta tahminlerle gözlemler arasındaki farkların mutlak değerlerinin toplamının ortalaması.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - o_i|$$

- **RMSE Değeri (Root Mean Square Error-RMSE):** Belirlenen periyotta tahminlerle gözlemler arasındaki farkların karelerinin toplamının karekökü.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - o_i)^2}$$

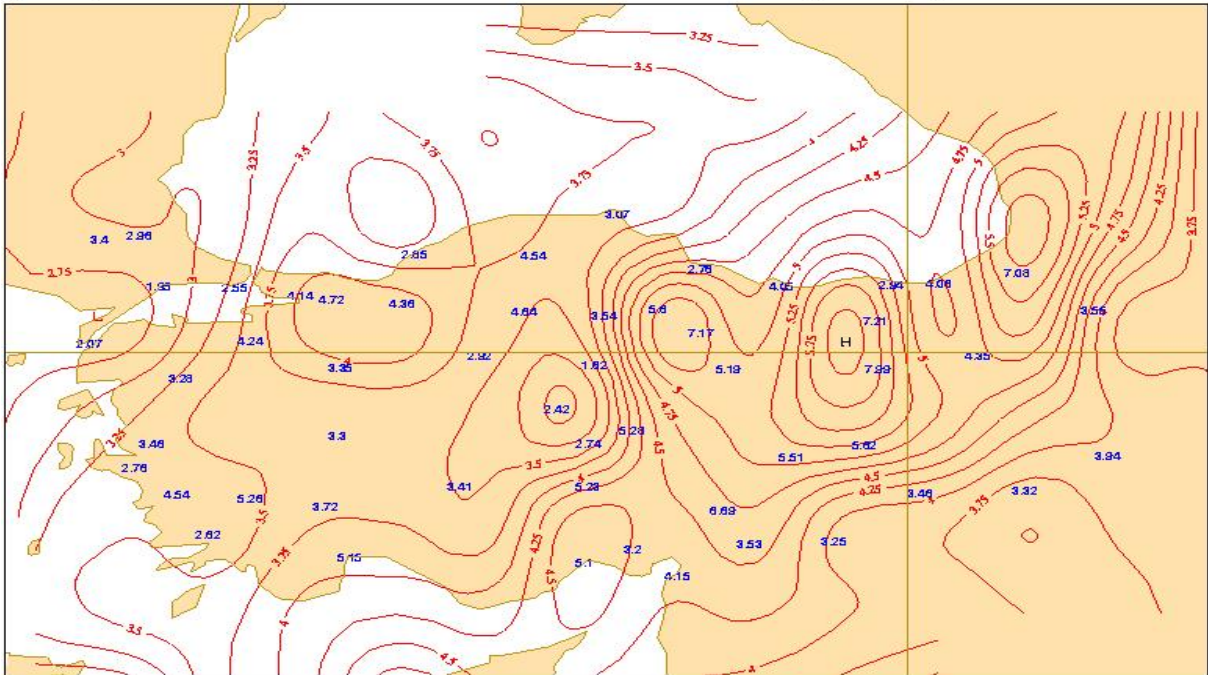
Hesaplanan bu değerler (D+1, D+2,) bir seri halinde grafiklerini çizdiğimiz zaman herhangi bir istasyonda verilen bir parametrenin tahmininin zamanla nasıl değişim gösterdiğini görebiliriz. Aşağıdaki grafikte Ankara'nın 850 hPa yüksekliğinin verifikasyonunun D+1'den D+6'ya kadar ME, AME, ve RMSE, değerleri görülmektedir. Bu değerlerin sıfıra yakınlığı o istasyon için ECMWF tahminlerinin doğruluğunun arttığını göstermektedir. Grafikte ME eğrisinin trendinden de ECMWF'in 850 hPa yükseklik tahmininin D+1 de 5 metre düşükken ilerleyen günlerde bu farkın sırası ile 8 metreye, D+6 da ise 10 metreye kadar çıktığı görülmektedir.



Şekil

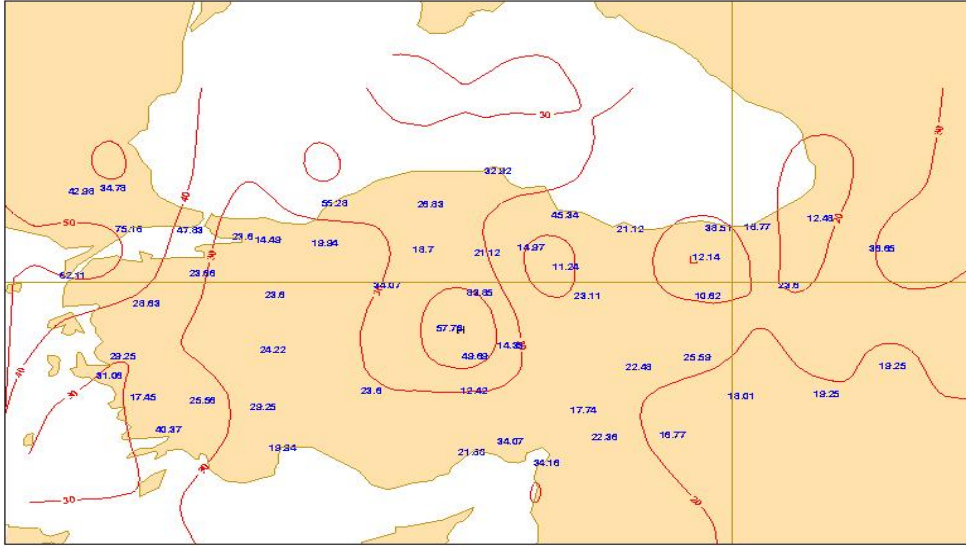
29. Ankara için 850 hPa Yükseklik ME, AME, RMSE Değişim Grafiği

(D+1) İÇİN DMO'nun MAKSİMUM SICAKLIK (RMSE) DEĞERLERİ



Şekil 30. D+1 için Direk Model Sonucu Maksimum Sıcaklığın Standart Sapma Haritası

(D+1) İCİN DMO'nun MAKSİMUM SICAKLIK TUTARLILIKLARI



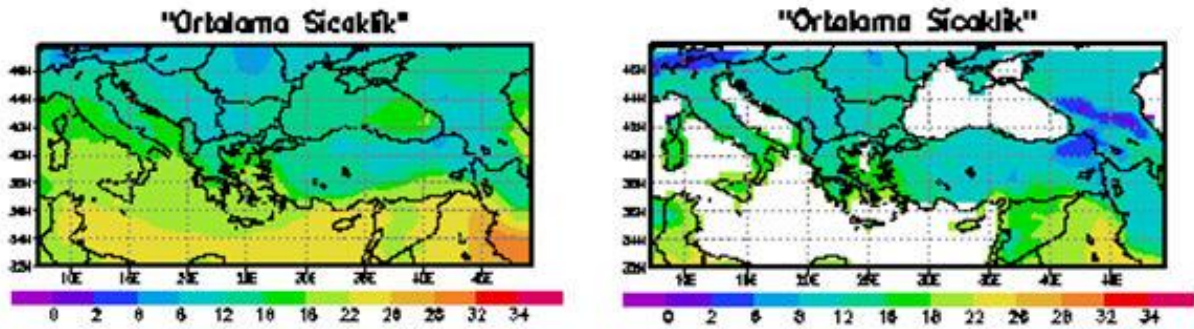
Şekil 31. D+1 için Direk Model Sonucu Maksimum Sıcaklığının $\pm 2^{\circ}\text{C}$ için Tutarlılık Oranları

7 Bölgesel İklim Modelleri

7.1 RegCM3 Bölgesel İklim Modeli

RegCM modelinin temeli Amerikan Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi (NCAR) çıkışı MM4 (orta ölçek model) modeline dayanır. Modelin dinamik bileşenleri temel olarak aynı kalmıştır. Bunlar sıkıştırılabilir, hidrostatik denge ile grid nokta modeli, dikey σ -koordinatlıdır. Farklıklar ise, topoğrafik gradyanların varlığındaki açık formda ayrıştırılmış zaman integrasyonu alt modeli ile azalan yatay difüzyon algoritmasının kullanımınıdır. RegCM modelinin dünyada farklı iklime sahip bölgeleri için de uygulamaları mevcuttur. Bu çalışmalarda değişik bölgelerdeki yıllar-arası değişimin simülasyonunda model performansı incelenmiştir. Bütün bu çalışmalarda model, gözlenmiş değerlerin analizleri kullanılarak çalıştırılmış ve özellikle de yağış simülasyonlarına odaklanmıştır. Genel olarak bu çalışmalar sonucunda RegCM modelinin bölgesel ölçekteki yıllar arası değişimin ana özelliklerini yakalamayı başardığı saptanmıştır.

RegCM3 modelinin kullanımının geliştirilmesi farklı parametrelerin testlerinin sağlanması ve uygun parametrelerin belirlenmesi amacıyla 60km çözünürlükte NCEP/NCAR NRP2 re-analiz verisi ile yaklaşık ikişer yıllık (Ekim 1996-Ocak 1999) kısa süreli test çalışmaları gerçekleştirilerek subjektif değerlendirmeleri yapılmıştır (Şekil 32 (a) ve (b)).

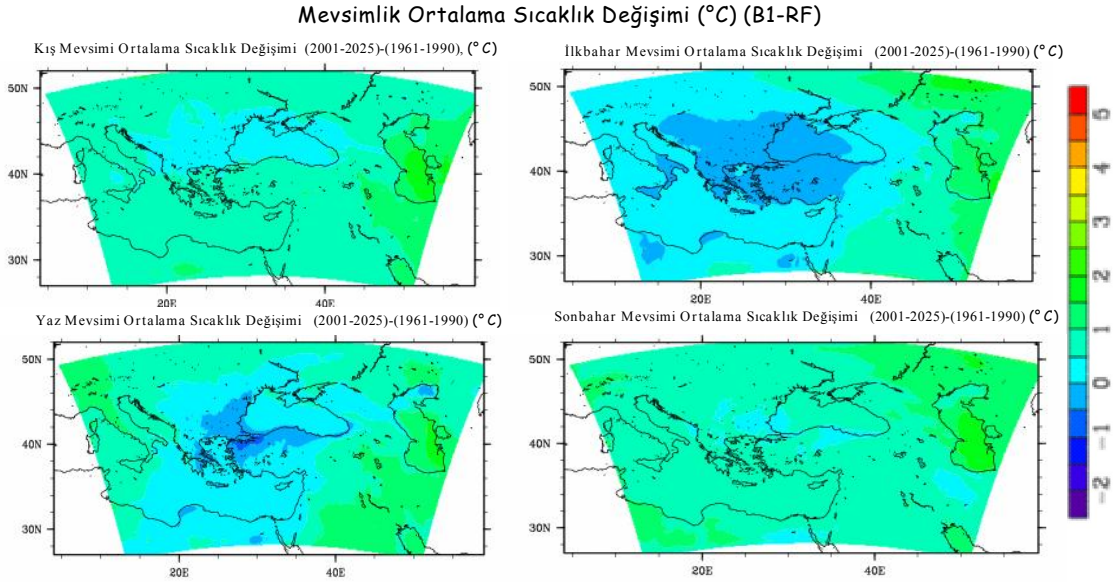


Şekil 32 1998 yılı sonbahar mevsimi sıcaklık dağılımı. (a) RegCM3. (b) CRU.

RegCM3 ile ECHAM5 küresel model çıktısının IPCC-SRES B1 senaryosunun kabul edildiği çalışma ile 1961-1990 referans periyodu ve 2001-2100 periyodu tamamlanmıştır. 2001-2025 periyodu simülasyonları referans kabul edilen 1961-1990 periyodu ile farkı alınarak yapılan değerlendirmeye göre:

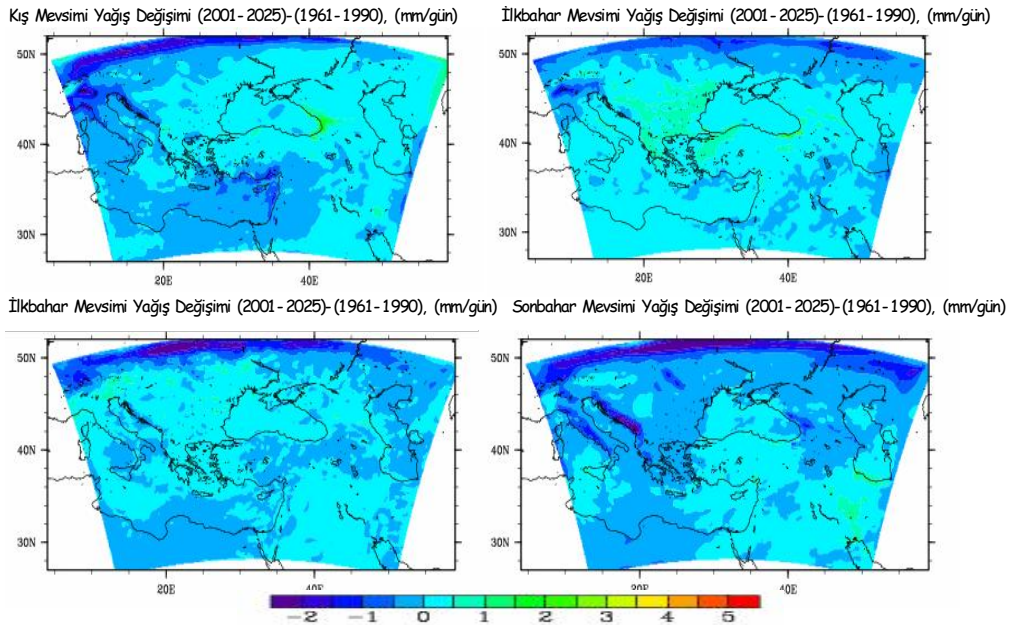
- **Mevsimlik Ortalama Sıcaklık Değişimi (°C) (B1(2001-2025)-RF(1961-1990))**

Kış ve sonbahar mevsiminde hafif ısınma, ilk bahar ve yaz mevsiminde orta ve batı bölgemizde soğuma beklenmektedir (Şekil33).



- **Mevsimlik Yağış Değişimi (mm/day) (B1(2001-2025)-RF(1961-1990))**

Kış mevsiminde Doğu Karadeniz Bölgesi kıyılarında, İlkbahar mevsiminde ise Doğu Karadeniz Bölgesi kıyılarının yanı sıra Marmara Bölgesi ve Ege Bölgesi'nin kuzeyinde artış, diğer mevsimlerde Türkiye genelinde azalma beklenmektedir (Şekil 34).

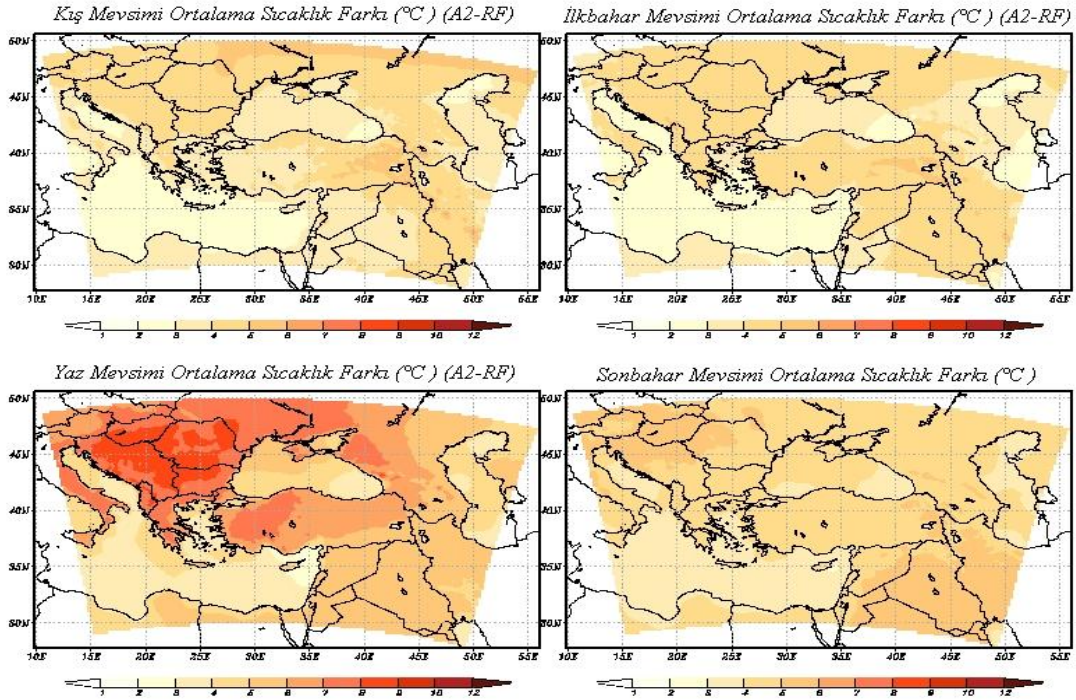


7.2 PRECIS Bölgesel İklim Modeli

Küresel iklim modeli HadCM3'ün en son sürümüne dayanan PRECIS, 32bit Intel Linux işletim sistemlerinde çalışan ve grafik ara yüzü olan bir modeldir. Herhangi bir Fortran derleyiciye gerek olmadan (kaynak kodları olmaksızın ön-derlenmiş haliyle), masaüstü bilgisayarlarda çok rahat çalışmaktadır. Ancak, seçilen alana ve çözünürlüğe göre, ihtiyaç duyulan bilgisayarların özellikleri değişmektedir. Model, mevcut durumda 50 ve 25 km çözünürlükte 19 dikey seviyede (50m - 30 km arasında), en alt dört seviye sadece arazi yüzeyini takip eden sigma, en üst üç seviyede sadece basınç ve kalan ara seviyelerde bu ikisinin birleşiminden oluşan hibrid (hybrid) koordinatlardan oluşmaktadır (Wilson ve ark., 2005; Jones ve ark., 2004).

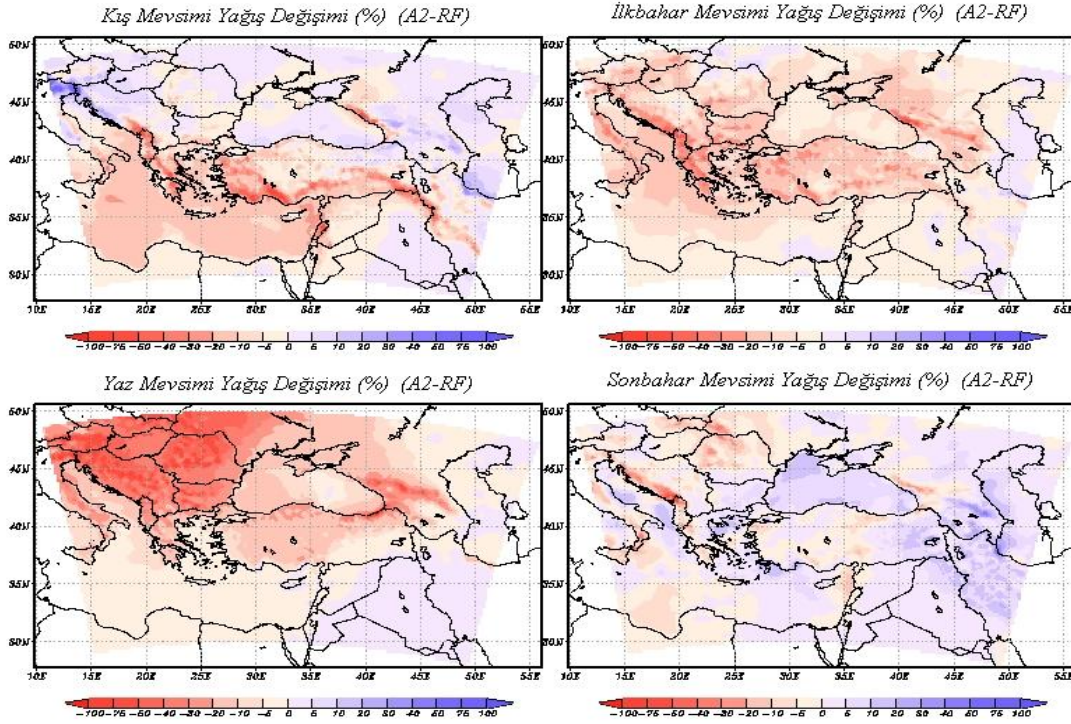
Yapılan çalışmalarda, Hadley İklim Tahmin ve Araştırma Merkezi'nin Atmosferik Dolaşım Modeli HadAMP3'ün çıktıları kullanılmıştır. Model geçmiş dönem yani referans dönemi, 1961-1990 ve gelecek dönem 2071-2100 yılları için iki aşamada çalıştırılmıştır. Referans dönemi (1961-1990) tamamlanan sonuçlarının verifikasyonunda küresel kara gözlem ağından elde edilen 0,5°x0,5° grid çözünürlüğüne sahip CRU (Climate Research Unit) gözlem verisinden yararlanılmıştır. 2071-2100 dönemini kapsayan gelecek model simülasyonları için IPCC SRES A2 senaryosu seçilmiştir. Model, iki farklı dönem simülasyonları için 156x109 grid matrisinde, 25-50 kuzey paralelleri, 7-50 doğu meridyenlerini kapsayan alanda, 25 km çözünürlükte, sülfat döngüsü hesaba katılmadan ve hesaba katılarak iki defa çalıştırılmaktadır. Model çalıştırmalarında, küresel modelin çıktıları başlangıç ve sınır koşulları olarak alındığından, ilk 8 grid noktasının 1-4 grid'e kadar olan bölümünde sınır koşulları beslenmektedir ve 5-8 grid aralığında ise küresel modelin topografik yüksekliğinin bölgesel model topografyasına geçişi sağlanmaktadır. Bu nedenle, değerlendirmelerde bu 8 grid alanı dikkate alınmamaktadır. Modelin kararlı hale gelmesi için, bütün simülasyonlar istenilen periyodun en az bir yıl öncesinden başlatılmaktadır.

- **Mevsimlik Ortalama Sıcaklık Değişimi (°C) A2(2071-2100)-RF(1961-1990)**



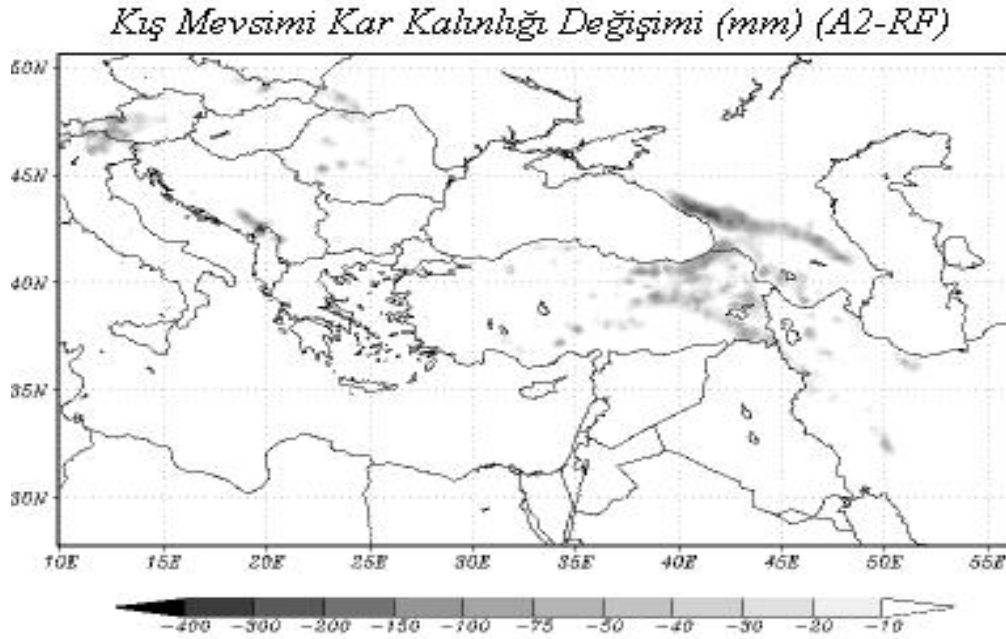
Şekil 35. Mevsimlik Ortalama Sıcaklık Değişimi A2(2071-2100)-RF(1961-1990), (°C)

- **Mevsimlik Yağış Değişimi (%) (A2(2071-2100)-RF(1961-1990))**



Şekil 36. Mevsimlik Yağış Değişimi (%) A2(2071-2100)-RF(1961-1990)

- **Kar Kalınlığı Değişimi (mm) (A2(2071-2100)-RF(1961-1990))**

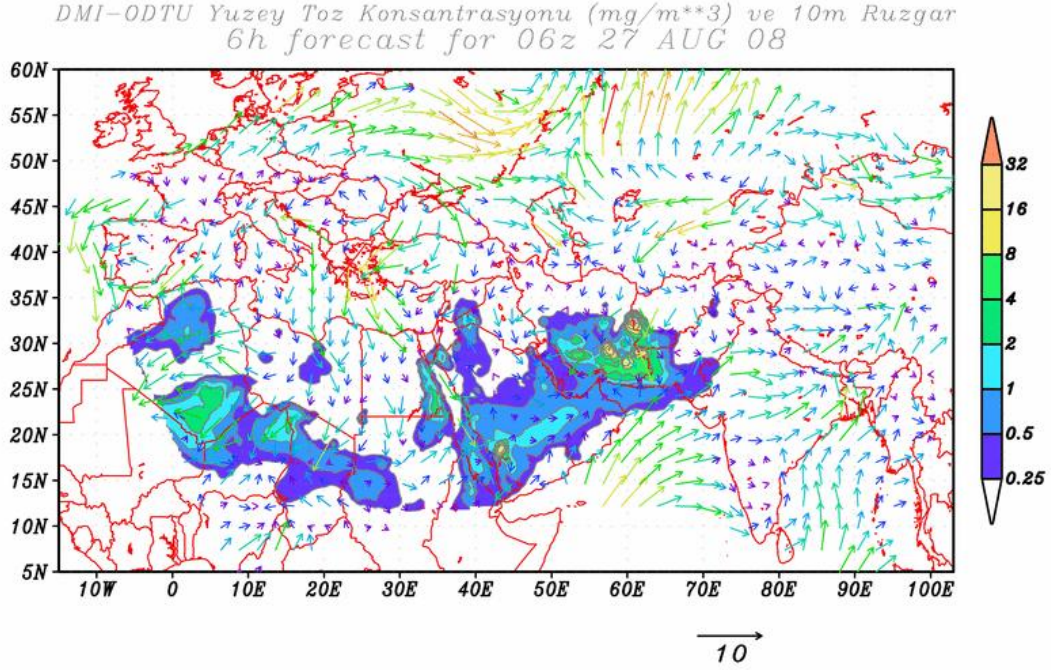


Şekil 37. Kar Kalınlığı Değişimi (mm) A2(2071-2100)-RF(1961-1990)

8 Taşınım ve Hava Kalitesi Modelleri

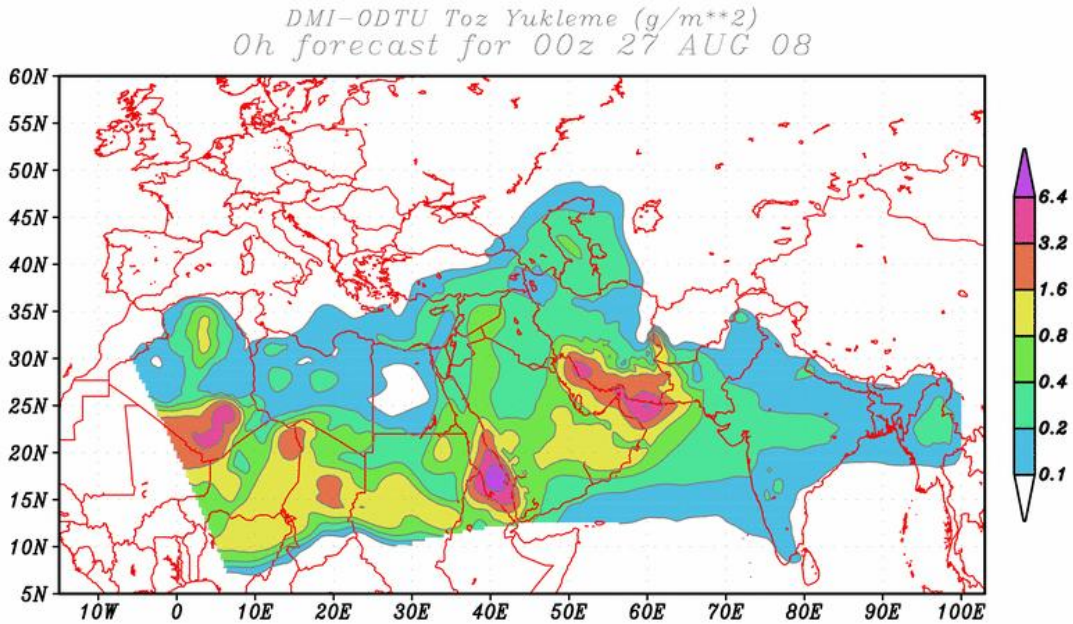
8.1 ETA-Toz Modeli

Ülkenizi etkileyebilecek toz kaynak alanlarını içermesi ve buradan oluşabilecek yayılma, taşınma ve çökme alanlarının izlenmesi amacıyla seçilen coğrafi bölge için her gün yeni verilerle çalıştırılarak 72 saatlik tahmin üretmektedir. Yüzey toz konsantrasyonu (mg/m^3) ve 10 rüzgar hızı ve yönü haritası (Şekil 37) ile toz yüklemesi (g/m^2) haritası (Şekil 38) olarak iki ürün her gün saat 12:00'de güncellenmektedir.



Şekil 38. Yüzey toz konsantrasyonu haritası.

Toz konsantrasyonu 1m^3 havadaki toz varlığının mg cinsinden gösterimidir. Toz yüklemesi ise 1m^2 alandan yüklenen toz miktarının g cinsinden değeridir.



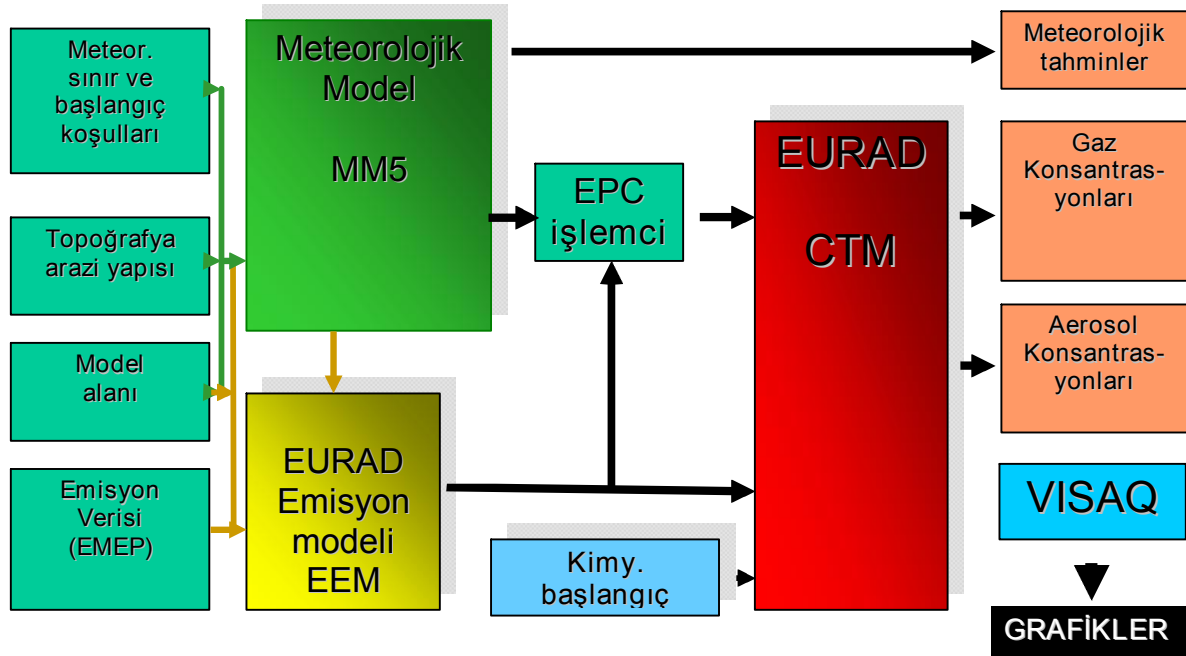
Şekil 39. Toz yüklemesi haritası.

8.2 EURAD Modeli

Bu sistem, atmosferik iz elementlerin emisyon kontrolü, üretimi, taşınımı, ve depolanması işlemlerinin fiziksel, dinamik ve kimyasal olarak modellenmesini sağlar. EURAD, bu iz elementlerin Avrupa üzerinde troposferdeki yoğunluğunu ve onların ıslak ve kuru depolanması ile taşınımını sağlar. Bu sistem meteorolojik, kimyasal, taşınım ve emisyon davranışları için 3 alt model içerir. Sistem ayrıca, birçok hava kirliliği olayının da modellenmesini sağlar. Çoğunlukla ozon ve fotooksidanlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Aynı zamanda aerosoller, sülfür ve amonyak gibi ilave kirleticiler üzerinde de çalışılmaktadır. Model, Avrupa' da ki hava kirliliğini azaltmak için geliştirilen stratejileri desteklemektedir, Ayrıca emisyon değişikliğinin değerlendirilmesinde de uygulanmaktadır.

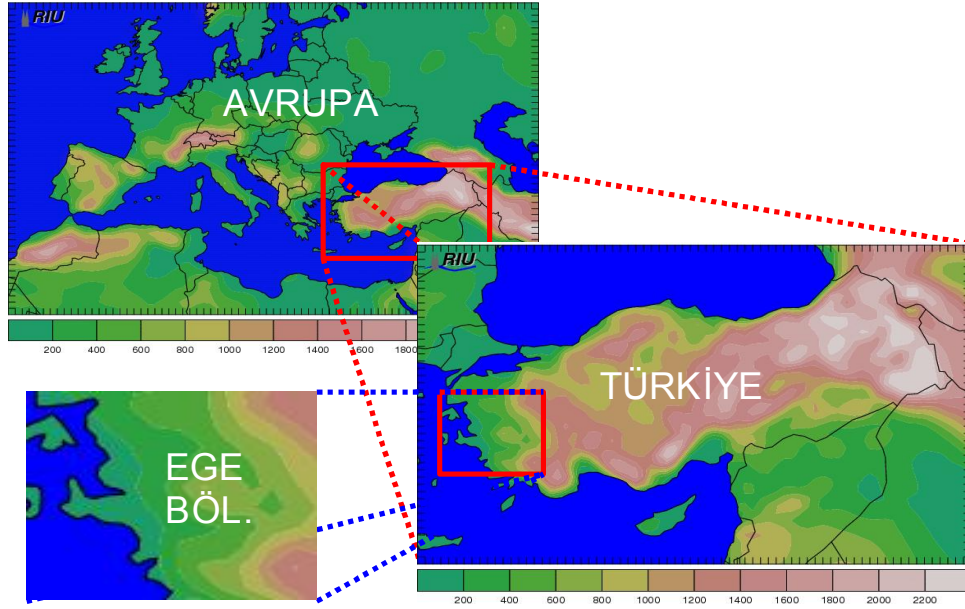
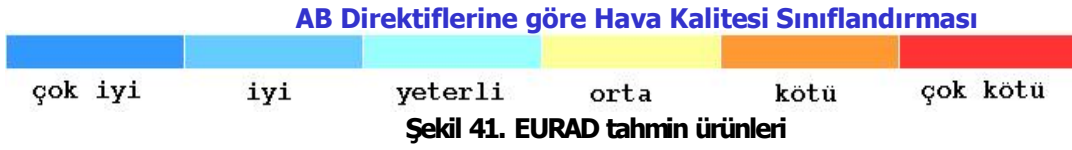
Çalışmanın temel amacı, geliştirilmiş olan 3 boyutlu bölgesel/orta ölçekli modeller yardımıyla Türkiye'ye olan uzun mesafeli kirlenici taşınımının araştırılması ve hava kalitesi tahminlerinin yapılmasıdır.

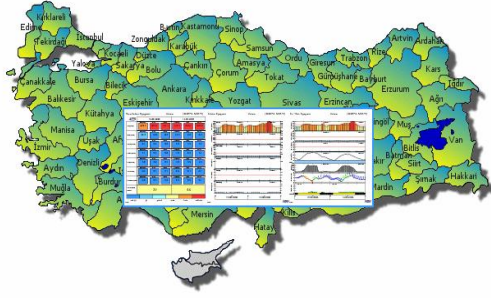
- Kirlilik taşınım yollarının belirlenmesi,
- Hava kalitesi tahmini yapılarak erken uyarı ve önlem mekanizmalarının hayata geçirilmesi,
- Emisyon senaryolarının oluşturulması (emisyon ticareti),
- Kirlilik azaltım politikalarının belirlenmesi, uygulanması ve takibi,
- Uluslararası anlaşmalarla gelen yükümlülüklerimizin karşılanması,
- Herhangi bir kaza anında, kaza sonuçlarının tahmini ile önlemlerin alınması,



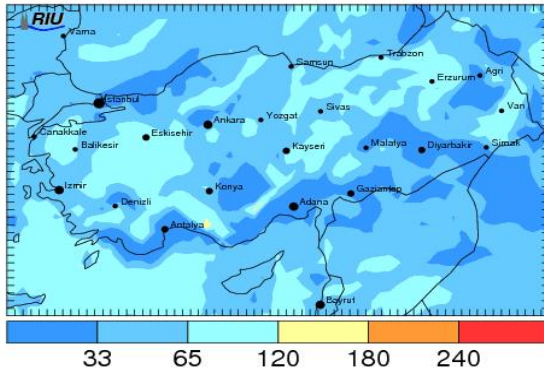
Şekil 40. EURAD Modelinin Yapısı

- Ozon
 - NO₂
 - PM₁₀
 - PM_{2.5}
 - SO₂
 - CO
 - Benzene
 - Hava Kalitesi İndeksi
- Günlük Maksimum
 - Maksimum 8 saatlik ortalama
 - Maksimum 24 saatlik ortalama
 - Animasyonlar
 - Kirleticiler için zaman serileri
 - Meteorolojik ürünler



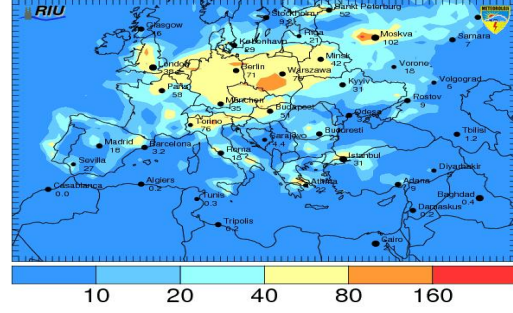


ADANA
Ozone $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Seviye 1 10.11.2006 00 UTC (F+24)

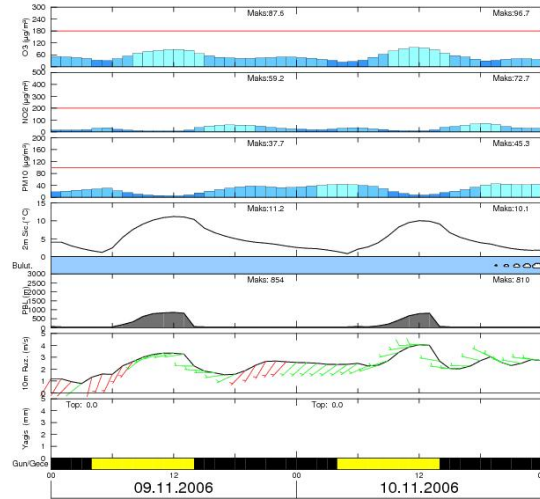


VİBAQ

NO2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Seviye 1 09.11.2006 Maks. 24 saat Ort.



VİBAQ
Kir.- Met. Diyagramı Ankara (39.93°N, 32.85°E)



VİBAQ

Şekil 43. EURAD günlük ürünler

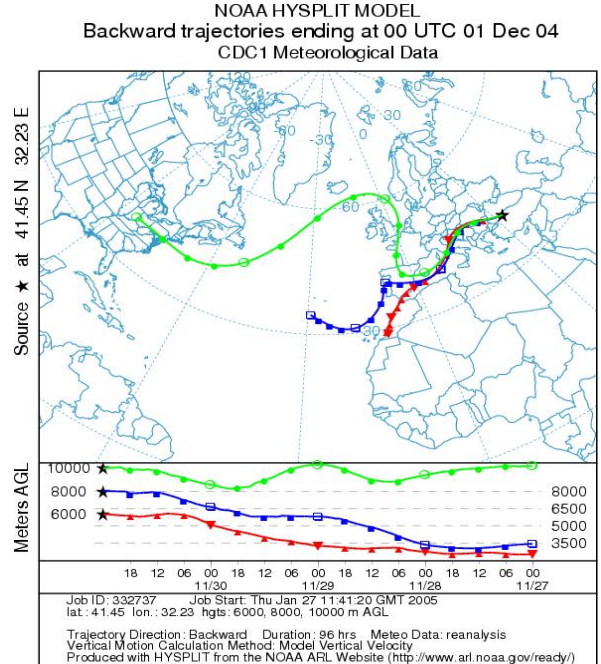
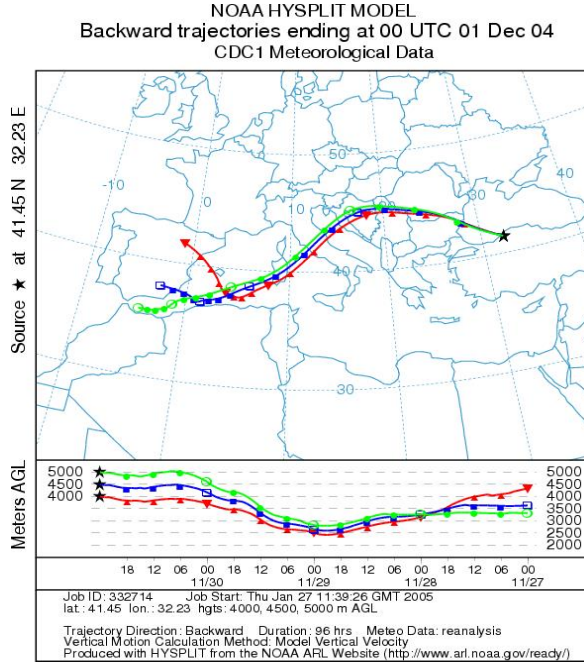
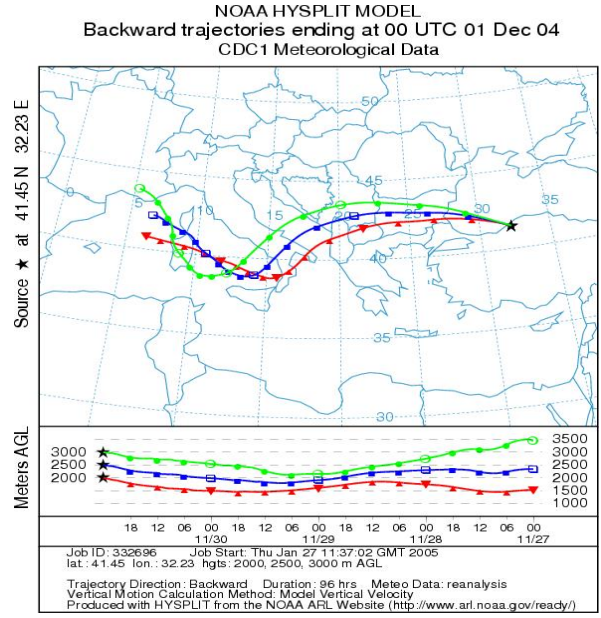
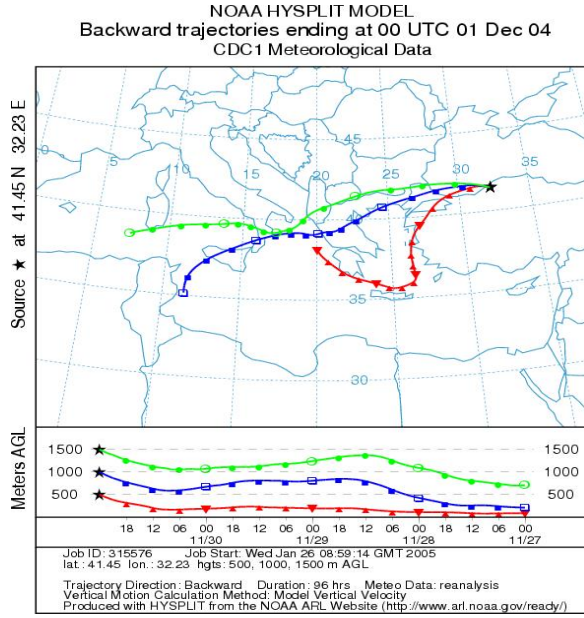
8.3 HYSPLIT Model

HYSPLIT Modeli ile Kirlilik Dağılım ve İleri Yörünge Belirleme (Forward Trajectory) çalışmaları operasyonel olarak sürdürülmekte ve sonuçlar günlük olarak kontrol edilmektedir.

Model günde 3 defa (00 GMT, 06 GMT ve 18 GMT) çalışmaktadır.

Çalışma saatleri :

00 GMT için 12:30,
06 GMT için 20:00,
18 GMT için 07:30



Şekil 44. HYSPLIT model çıktıları.

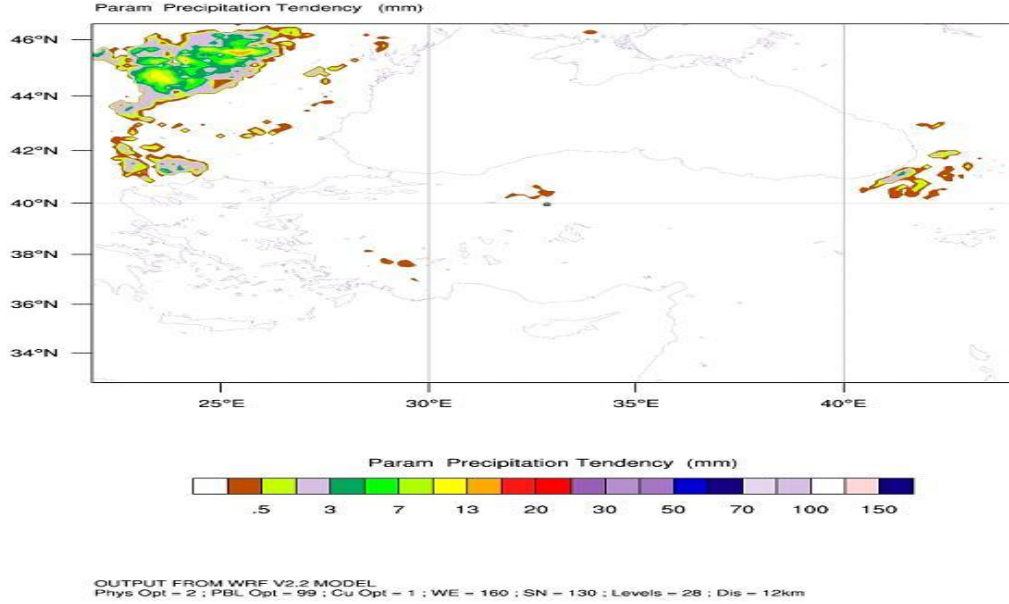
9 Kısa Süreli Tahmin ve Veri Asimilasyonu Amaçlı Kullanılan Modeller

9.1 WRF Modeli

WRF Sayısal Model ve WRF-3DVAR veri asimilasyonu kodları çalıştırılmakta ve sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmaktadır. Veri asimilasyonunda gözlem dataları olarak METAR SİNOPTİK TEMP ve SHİP rasatları kullanılmakta ve gözlem datalarının daha fazla olmasına çalışılmaktadır.

REAL-TIME WRF

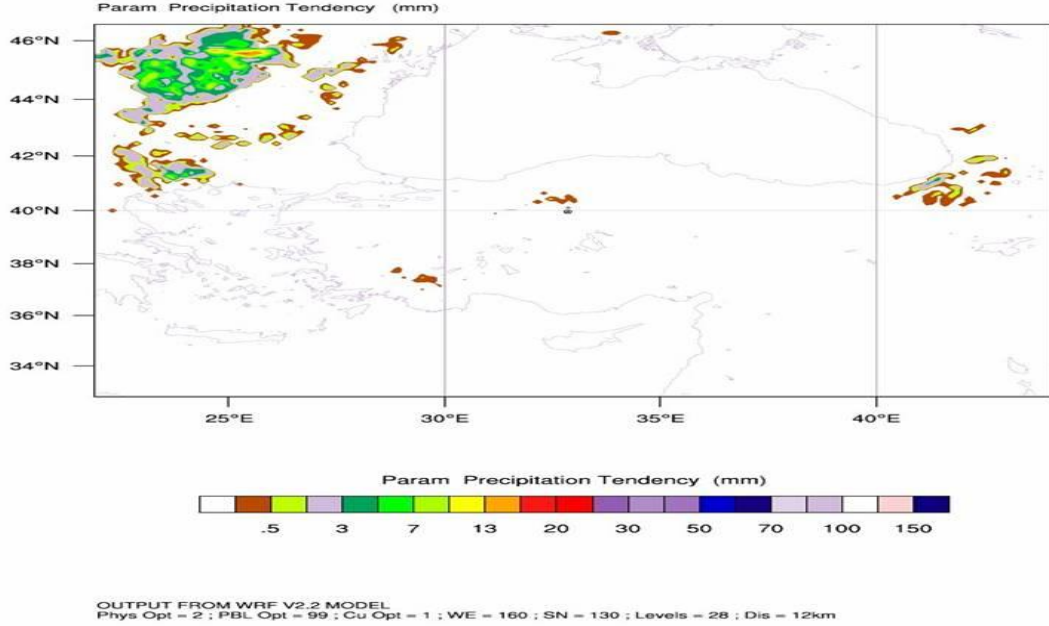
Init: 2008-06-27_00:00:00
Valid: 2008-06-27_18:00:00



Şekil 45. WRF modeli asimilasyonsuz yağış (mm) çıktısı

REAL-TIME WRF

Init: 2008-06-27_00:00:00
Valid: 2008-06-27_18:00:00



Şekil 46. WRF-3DVAR modeli yağış (mm) çıktısı.