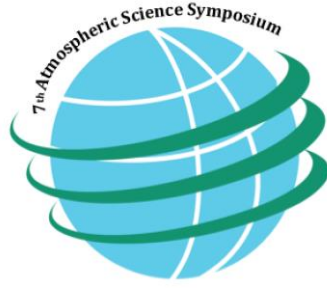


# 7<sup>TH</sup> ATMOSPHERIC SCIENCES SYMPOSIUM

28-30 APRIL 2015  
ISTANBUL



PROCEEDINGS

EDITORS

DOÇ.DR. ALİ DENİZ  
BAHTİYAR EFE  
BİHTER DURNA  
PELİN CANSU ÇAVUŞ

## **Chairs**

Assoc. Prof. Dr. Ali DENİZ, İstanbul Technical University (Chair)

Prof. Dr. Mustafa ÇIKRIKÇI, İstanbul Aydın University (Co-chair)

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin TOROS, İstanbul Technical University (Vice Chair)

Prof. Dr. Osman UÇAN, İstanbul Aydın University (Vice Chair)

## **Honoree Chairs**

Prof. Dr. Mehmet KARACA, Rector, İstanbul Technical University

Dr. Mustafa AYDIN, Head of Trustees, İstanbul Aydın University

Prof. Dr. Zekai ŞEN, Head of Water Foundation

Prof. Dr. Yedigir İZMİRLİ, Rector, İstanbul Aydın University

Prof. Dr. Lütfi AKÇA, Counselor in Ministry of Forestry and Water Affairs

Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK, Counselor in Min. of Environment and Urban Planning

Bilal EKŞİ, General Manager, Directorate General of Civil Aviation

Hamdi TOPÇU, Chairman of the Board, Turkish Airlines

Assoc. Prof. Dr. Temel KOTİL, General Manager, Turkish Airlines

İsmail GÜNEŞ, General Manager, Meteorological Service

Akif ÖZKALDI, General Manager, State Hydraulic Works

Funda OCAK, Deputy General Manager, State Airports Authority

Fırat ÇUKURÇAYIR, Head of the Chamber of Meteorological Engineers

Ramazan ÖZÇELİK, Regional Director, Marmara Clean Air Centre

## **Advisory Board**

Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN, İstanbul Technical University, Turkey

Prof. Dr. Celal Nazım İREM, İstanbul Aydın University, Turkey

Prof. Dr. Hasan SAYGIN, İstanbul Aydın University, Turkey

Prof. Dr. H. Sema TOPÇU, İstanbul Technical University, Turkey

Prof. Dr. İbrahim ÖZKOL, İstanbul Technical University, Turkey

Prof. Dr. Kasım KOÇAK, İstanbul Technical University, Turkey

Prof. Dr. Levent ŞAYLAN, İstanbul Technical University, Turkey

Prof. Dr. M. Orhan KAYA, İstanbul Technical University, Turkey

Prof. Dr. Selahattin İNCECİK, İstanbul Technical University, Turkey

Prof. Dr. Zafer ASLAN, İstanbul Aydın University, Turkey

Prof. Dr. Zahit MECİTOĞLU, İstanbul Technical University, Turkey

Prof. Dr. Zerefşan KAYMAZ, İstanbul Technical University, Turkey

## HAVA KALİTESİ VE METEOROLOJİK MODELLERİN ONLINE ENTEGRASYONU: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Pelin Cansu Çavuş<sup>1</sup>, Hüseyin Toros<sup>1</sup>, Ali Deniz<sup>1</sup>, Selahattin İncecik<sup>1</sup>, Mustafa Arslan<sup>2</sup>, Şükrü Dursun<sup>3</sup>, Ali İhsan Öztürk<sup>4</sup>, Ertuğrul Esmeray<sup>5</sup>

<sup>1</sup> İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.  
cavus@itu.edu.tr, toros@itu.edu.tr, denizali@itu.edu.tr, incecik@itu.edu.tr

<sup>2</sup>YTÜ Eğitim Fakültesi, İlköğretim Bölümü, İstanbul. arslanm@yildiz.edu.tr

<sup>3</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, 42003 Konya, Türkiye.  
sdursun@selcuk.edu.tr

<sup>4</sup> Harran Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Fakültesi, Kimya Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye,  
aihsanozturk@yahoo.com

<sup>5</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük Türkiye,  
eesmeray@karabuk.edu.tr

### Özet

Yeni nesil çevrimiçi entegre Atmosferik Kimyasal Taşınım ve Mezo-ölçek Meteorolojik modellerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Yeni nesil modellerde atmosferik kimya, bulutlar, ışınım, sınır tabaka, emisyonlar, meteoroloji ve iklim gibi farklı atmosferik süreçler arasındaki karşılıklı etkileşimler göz önüne alınarak incelenmektedir. Birleşik modelleme işlemleri sayesinde, sayısal hava tahmini ve kimyasal hava tahmini ile meteorolojik değişkenlerdeki kimyasal ve aerosollerin geri beslemeleri ve atmosferik kirlilik/bileşim ve iklim değişkenliği/değişimi arasındaki çift yönlü etkileşimleri de incelemek mümkün olmaktadır. Türkiye’de ilk defa TÜBİTAK desteğiyle çevrimiçi olarak WRF-CHEM modeli çalıştırılmaya başlanmıştır. Meteoroloji ve kimya modeli sürekli küresel model tahmin verilerini kullanarak operasyonel olarak çalıştırılmakta ve güncel sonuçlar elde edilmektedir. Model sonuçları [www.havakalitesi.itu.edu.tr](http://www.havakalitesi.itu.edu.tr) adresinden yayınlanmaktadır. Web üzerinden hava kalitesi tahmini ile hem araştırmacılar ve hem de kamuoyu bilgilendirilmekte ve ülkemizde hava kalitesi modelleme kültürü oluşturulmasına katkı sağlanmaktadır. Özellikle hava kirliliğinin kritik olduğu bölgelerde hava kirliliğinin tahmini hassas olan kişilerinin bilgilendirilmesi yanında otoritelerin tedbir almasında hususunda da yardımcı olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Atmosfer, modelleme, iklim, hava kirliliği, taşınım

### AIR QUALITY AND ONLINE ENTEGRATION OF METEOROLOGICAL MODELS: EXAMPLE OF TURKEY

#### Abstract

Using of the new generation online integrated Atmospheric Chemical Transport Models and Meso-scale meteorological models is increasing day by day. Atmospheric chemistry models in the new generation, clouds, radiation, boundary layer, emissions, atmospheric processes such as interactions between different meteorological and climate are examined considering. Through unified modeling processes, with numerical weather prediction and chemical weather forecast, chemical aerosols feedback in the meteorological variables and two-way interactions, it is possible to examine. With the support of TUBITAK, WRF-CHEM online model began to run in Turkey first time. Meteorology and chemistry models using continuous with global model forecast data being operated as operational and current results are obtained. Model results are published on the [www.havakalitesi.itu.edu.tr](http://www.havakalitesi.itu.edu.tr) web address. Researchers and the public are informed for air quality with web site and in our country; air quality modeling culture also contributes to the creation. In particular, the estimation of air pollution in areas where air pollution is critical in the issues will help the authorities to take measures in addition to informing the people who are vulnerable.

**Key Words:** Atmosphere, Modelling, Climate, Air Pollution, Transport.

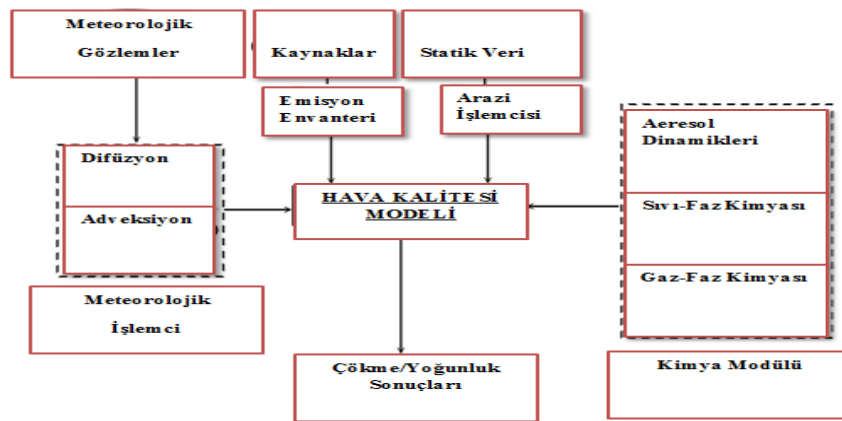
## 1. Giriş

Atmosferin bileşiminde bulunan bütün elemanlar birbirleriyle etkileşim halindedirler. Bulutlar, ışınım, atmosferik sınır tabaka yüksekliği, kirletici emisyonlarını da içeren atmosfer kimyası bu elemanlardan sadece bazılarıdır. Meteorolojik etmenlerle birleşerek kirliliğe sebep olan, kirleticiler çok çeşitlidir. Kirleticiler, kaynaklarına göre ve oluşum şekillerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Kaynaklarına göre kirleticiler, doğal nedenlerle ortaya çıkanlar ve dış etkiler ile ortaya çıkan kirleticiler olarak temelde ikiye ayrılabilirler. Deniz tuzu, doğal yollarla ortaya çıkan kirleticilere örnek olarak verilebilmektedir. Sanayi, ısınma ve taşıt kullanımı sonucu ortaya çıkan SO<sub>2</sub>, CO vb. kirleticiler ise dış etki kaynaklı kirleticilere örnek olarak verilebilmektedirler. Oluşum şekillerine göre ise, birincil ve ikincil kirleticiler olarak iki bölümde incelenmektedirler. Kimyasal reaksiyona uğramadan ortaya çıkan kirleticiler birincil kirleticiler olarak adlandırılmaktadırlar. Güneş ışığı ile kimyasal reaksiyonları gerçekleşen kirleticiler ise ikincil kirleticiler olarak adlandırılmaktadırlar. Hava kirliliğini daha iyi anlamak için kirleticileri ve çevre ile etkileşimlerini iyi analiz etmez gerekmektedir. Bu etkileşimler atmosferdeki hava olaylarını ve atmosfer kimyasını hem etkilemektedirler hem de etkilenmektedirler. Örneğin, atmosferdeki kirleticilerin bulut yoğunlaşma çekirdeği olarak görev alması bu etkileşimlere bir örnektir. Aerosoller, çevre atmosferdeki su moleküllerini emerler yâda absorbe ederler, böylece bulut oluşumu sürecini başlatırlar (Gunturu, 2010). Döngülere bir örnekte ikincil kirletici oranındaki artış ve güneşli gün sayısı verilebilir. İkincil kirleticiler, birincil kirleticilerin gün ışığı ile reaksiyonu sonucu oluşmaktadırlar (EPA, 2004). Bu örneklerinde gösterdiği üzere hava kirliliği bir süreç sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu etkileşimlere etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Şehir ısı adaları, denizsellik etkisi, yüzey yapısı vb. dış etkenler sistemleri ve oluşma mekanizmalarını etkilemektedirler. Bu etkilerden biri olan şehir ısı adaları şehir ve çevresindeki kırsal alanlar arasındaki yüzey ve hava sıcaklık farklılığı olarak tanımlanmaktadır (Landsberg, 1981). Şehirleşmeden en çok etkilenen iklim elemanı sıcaklıktır. Şehirleşme sonucunda sıcaklıklarda belirgin bir artış görülmektedir. Şehir ısı adası, şehirlerin doğal yüzey yapısının değiştirilip asfalt ve çimento ile kaplanması, yeşil alanların ve yüzey neminin azalması, binalardan kaynaklanan kanyon etkisinin bir sonucudur (Chandler 1965; Landsberg 1981). Etkilerden biri olan denizsellik etkisi ise neredeyse tüm meteorolojik elemanları etkilemenin yanında deniz tuzu diye bilinen kirletici salınımı ile kirlilik yoğunluğunu da değiştirmektedir (Crossett, ve ark., 2004). Bu süreçler, kimya ile de yakından ilgilidirler. Özellikle, yoğun hava kirliliğine sebep olan olaylar sonucu meteoroloji ve kimya etkileşimleri artmaktadır. Örneğin, büyük yangınlar ve toz dağılımları sonucu meteoroloji ve kimya etkileşimleri son derece artmaktadır. 2010 yılı yazında Rusya'nın merkezinde görülen beklenmedik sıcak ve kuru hava, yoğun orman ve bataklık yangınları sonucu gözlenmiştir. Bu çok yüksek aerosol konsantrasyonu sebebi ile atmosferik gaz bileşimi değişmiştir, aerosollerin optik ve radyoaktif karakteristikleri sebebi ile atmosfer etkilenmiş bölgesel iklim sistemlerinde geri besleme mekanizması devreye girmiştir (Konovalov., 2011; Chen., 2014; Wong., 2012). Tüm bu süreçler ve oluşumları gelecekteki hava koşullarını ve atmosfer kimyasını tahmin etmek için analiz edilmelidir. Bu analiz hava kirliliği yoğunluğunun sonuçlarının önceden bilinmesi ile birlikte kötü senaryolara karşı alınabilecek önlemlerin hazırlanmasını sağlamaktadır. Hava kirliliği artışının, çevresel ve insan sağlığı yönünden birçok kötü etkisi bulunmaktadır. Analiz esnasında dış etkenlerin etkilerini gözden kaçırmamak en önemli adımlardan biridir. Analiz verileri ve dış etkenlerin etkileri gelecek tahminini güvenli bir şekilde gerçekleştiren atmosferik sayısal ve kimyasal hava tahmini modellerine girdi olarak kullanılmaktadır. Hava kirliliği modelleri, bahsedilen kirletici türlerini ve çevresel etkileşimlerinin içeren yapılarıdır. Atmosfer kimyasını ileriye dönük tahmin etmenin en önemli unsurlarındandır. TÜBİTAK 111Y319 numaralı projede bu modellerden olan ve ülkemizde ilk kez

kullanılan WRF-Chem modeli kullanılmaktadır. Proje dahilinde, WRF-Chem modelinin çevrimiçi entegrasyonu gerçekleştirilmiş ve tüm kullanıcıların hizmetine sunulmuştur.

## 2. Hava Kirliliği Modellemesi

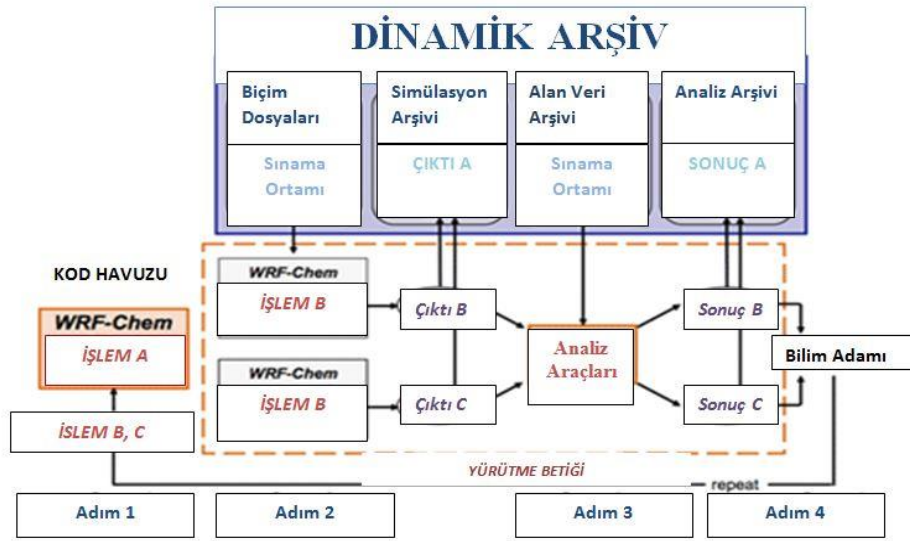
Hava kirliliği sürecini tanımlamak ya da tahmin etmek için kirlilik basamaklarını iyi analiz etmek gerekmektedir. Bu basamakları girdi olarak kullanıp ortaya ileriye dönük kirlilik senaryoları çıkaran tekniğe modelleme tekniği denilmektedir (Şekil 1). Bu kapsamda emisyon modellemesi, taşınım/dağılım modellemesi, kimyasal modelleme, birikim modellemesi, alıcı ortam modellemesi gibi çeşitli model kavramları geliştirilmiştir. Ancak modelleme çalışmalarının en karmaşık ve belki de en önemli olanı hava kalitesi modellemesi olarak isimlendirilen atmosferik modellemedir (Tayanç, 2013). Hava kirliliği modelleme sistemleri hem meteorolojik modelleri hem de kimyasal taşınım modellerini içermektedirler. Meteoroloji-kimya arası etkileşimleri sunan modeller tek parçalı modellere göre daha az sayıdadırlar. Bu etkileşimler daha iyi analiz edilirse ve modelde sunulabilirse bu durum modelin performansında direkt bir artışa sebep olur. Bu proje dâhilinde kullanılan WRF-Chem modeli de atmosferik bir modellemedir. Atmosferik ve kimyasal modeller “çevrimiçi” ya da “çevrimdışı” olarak koşutlandırılmaktadır. Çevrimdışı koşutlandırılan modellerde, ilk basamak meteorolojik simülasyonun sağlanması ve ardından kimyasal modelin devreye girmesidir. Çevrimiçi modelleme ise farklı derecelerde iki modelleme sisteminin bir arada çalışmasını sağlamaktadır. Çevrimdışı modelleme sisteminde kimyasal geri besleme mekanizmaları meteorolojik modellere aktarılamamaktadır. Son yıllardaki teknolojik gelişme ile bu sorunu ortadan kaldıran birleşik çevrimiçi modeller artan bir kullanılma oranına sahiptirler. Dünya genelinde, yeni jenerasyon çevrimiçi birleşik modeller gelişimlerini sürdürmektedirler. Bu modellere örnek olarak, GATOR-MMTD (Jacobson ve ark., 1996, 1997a,b); MM5-MAQSIP (Mathur et al., 1998), MCCM (Grell et al., 2000), Enviro-HIRLAM (Chenevez et al., 2004; Baklanov et al., 2008; Korsholm et al., 2008), WRF-Chem (Grell et al., 2005), GEM-AQ (Kaminski et al., 2007), GEM-MACH (Moran et al., 2010), WRF-CMAQ v5.0 (Mathur et al., 2010) and COSMO-ART (Vogel et al., 2009). Çevrimiçi modellere kapsamlı bir bakış Baklanov ve ark. (2014) tarafından geliştirilmiştir (Franco ve ark., 2013).



Şekil 1. Hava Kirliliği Modelinin Ana Bileşenleri ve Etkileşimleri (Puliafito, 2011).

## 3. WRF-Chem Modeli

WRF-Chem modeli WRF modelinin kimya ile birleştirilmiş halidir. Model, aeresollerin ve diğer gazların emisyonlarını, taşınımalarını, karışmalarını ve kimyasal dönüşümlerini meteorolojik parametrelerle eş zamanlı olarak simüle etmektedir. Model, bölgesel ölçekte hava kalitesi ve bulutluluk-kimya arasındaki ilişkiyi araştırma ve geliştirmesi için kullanılmaktadır(NCAR, 2015). Çevrimiçi birleşik modellerden biri olarak WRF-Chem, aeresollerin direkt ve direkt olmayan etkilerini içermektedir (Şekil 2). WRF-Chem modeline ait bulut yoğunlaşma çekirdeği, bulut parçacığı mikroskobik ve radyasyon şemalarını içeren aeresol modülü birincil ve ikincil aeresollerin direkt olmayan etkileri ile uygulanmaktadır (Gustafson et al., 2007). WRF-Chem modeli farklı hava kirliliği oluşum kaynakları için seçenekler içermektedir. Isınma kaynaklı, ulaşım kaynaklı yada biyojenik hava kirliliği için opsiyonlarını değiştirmek mümkündür.



Şekil 2. WRF-Chem Modeli Ana Mekanizması  
([http://www.pnl.gov/atmospheric/research/aci/amt/amt\\_methodology.stm](http://www.pnl.gov/atmospheric/research/aci/amt/amt_methodology.stm))

Proje çerçevesinde, çalışma ve model alanlarının belirlenmesi için aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır. Marmara Bölgesi merkez olacak şekilde çalışma alanı seçilmiştir. Model çalışmasında seçilen domain alanı yeryüzü yükseklikleriyle birlikte Şekil 3 de gösterilmiştir. Domainlerin konumları ve diğer bazı bilgileri aşağıda “namelist.wps” formatında verilmiştir.

```
&share wrf_core = 'ARW',
max_dom = 2, start_date = '2009-09-06_00:00:00','2009-09-06_00:00:00',
end_date = '2009-09-06_12:00:00','2009-09-06_12:00:00', interval_seconds = 21600 io_form_geogrid = 2, /
&geogrid parent_id = 1, 1, parent_grid_ratio = 1, 3, i_parent_start = 1, 21, j_parent_start = 1, 21, e_we = 60, 61,
e_sn = 60, 61, geog_data_res = '10m','2m', dx = 30000, dy = 30000, map_proj = 'lambert', ref_lat = 41.00,
ref_lon = 29.00, truelat1 = 51.0, truelat2 = 31.0, stand_lon = 29.0, geog_data_path = '/depo/geog' /
&ungrib out_format = 'WPS', prefix = 'FILE', / &metgrid fg_name = 'FILE' io_form_metgrid = 2,
```

Kullanılan başlangıç kodlarının ise açıklamaları aşağıda belirtilen şekildedir.

**&share wrf\_core:** Wrfda kullanılan çekirdektir. Bu çalışmada “ARW” kullanılmıştır

**max\_dom:** Modelde kullanılan maksimum domain sayısıdır. Bu çalışmada 2 domain kullanılmıştır. **start\_date:** Çalıştırılan alanın başlama tarihi 2 domain için de saat dilimi ile birlikte verilmiştir.

## VII. Atmospheric Science Symposium, 28,30 April 2015 İstanbul, www.atmosfer.itu.edu.tr

'2009-09-06\_00:00:00','2009-09-06\_00:00:00', Bu çalışmada başlangıç tarihi, Eylül ayının 9.günü ve 00.00 GMT zaman dilimi olarak alınmıştır.

**end\_date:** Çalıştırılan alanın bitiş tarihi 2 domain için de saat dilimi ile birlikte verilmiştir.

'2009-09-06\_12:00:00','2009-09-06\_12:00:00',

Bu çalışmada bitiş tarihi, Eylül ayının 9.günü ve 00.00 GMT zaman dilimi olarak alınmıştır.

**interval\_seconds:** Gelen verinin saniye türünden aralığıdır. Bu çalışmada 21600 saniye olarak alınmıştır.

**io\_form\_geogrid:** Tarih/tekrar başlama/input ve sınır dosya çıktıların formatıdır. Bu çalışmada 2 olarak seçilmiştir yani dosyaların NetCDF formatında olacağını belirtir.

**&geogrid parent\_id :** İç içe olan domainlerin hangi domaine ait olduğunu belirtir. İlk domain 1 olarak ayarlanır.

Bu çalışmada, 2. domainin ait olduğu dış domain 1. domainidir.

**parent\_grid\_ratio:** En dıştaki domaine göre diğer domainlerin grid oranıdır.

Bu çalışmada 1'e 3 şeklinde alınmıştır. **i\_parent\_start:** Dış domainde, bir iç domainin yerleşeceği x koordinatlarını dış domainin sol alt tarafına göre belirler. **j\_parent\_start:** Dış domainde, bir iç domainin yerleşeceği y koordinatlarını dış domainin sol alt tarafına göre belirler.

**e\_we & e\_sn:** Her domainin tam olarak batı-doğu ve kuzey-güney boyutları verilir. Bu çalışmada her ikisi de 60, 61 olarak alınmıştır. **geog\_data\_res:** Coğrafik verinin dakika türünden çözünürlüğüdür. Bu çalışmada '10m' ve '2m' olarak alınmıştır.

**dx:** x doğrultusundaki grid mesafesidir. Bu çalışmada 30 km alınmıştır.

**dy:** y doğrultusundaki grid mesafesidir. Bu çalışmada 20 km olarak alınmıştır.

**map\_proj:** Modelin çalıştırılacağı harita projeksiyonudur. Bu çalışmada lambert seçilmiştir.

**ref\_lat:** Domainin referans enlemidir. Bu çalışmada 41.00 alınmıştır.

**ref\_lon:** Domainin referans boylamıdır. Bu çalışmada 29.00 alınmıştır.

**truelat1:** Lambert konformal konik projeksiyon için gerçek enlem belirten birinci gerçek enlem değeridir. Bu çalışmada 51.00 alınmıştır.

**truelat2:** Lambert konformal konik projeksiyon için gerçek enlem belirten ikinci gerçek enlem değeridir. Bu çalışmada 31.0 alınmıştır.

**stand\_lon:** Konik ve düzlem projeksiyonlar olarak y eksenini paralel olan boylam belirten bir gerçek değeridir. Bu çalışmada 29.0 alınmıştır.

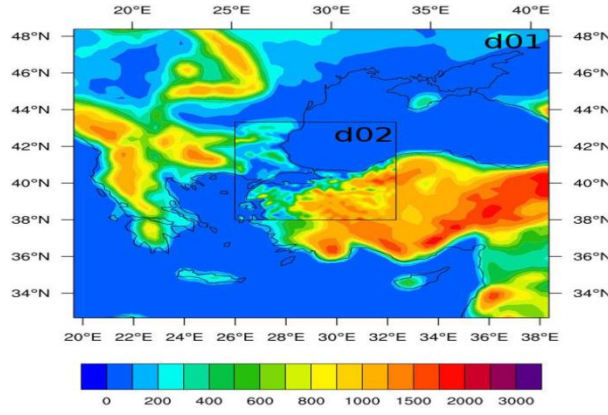
**geog\_data\_path:** '/depo/geog' Coğrafi verinin bilgisayar üzerinde nerde saklı olduğunu belirten adresidir. / &ungrib

**out\_format:** 'WPS', Ara dosya formatı WPS/MM5/SI olabilir.

**prefix:** 'FILE', Ara dosya isimlerine ön ek olarak FILE yazılabilir. / &metgrid

**fg\_name:** 'FILE' ara dosyalar oluşturulurken kullanılan ön ek

**io\_form\_metgrid:** 2, 2 değeri oluşacak dosyanın NetCDF formatında oluşacağını belirtir.



**Şekil 3.** WRF-Chem Modeli için Seçilen Çalışma Alanı.

Model fiziği değiştirilerek çevresel faktörlerin etkilerini çıktılara yansıtmak mümkündür. Örneğin, İstanbul bölgesi için koşturulan WRF-Chem modelinde denizsellik etkisinin ve şehir ısı adası etkisinin etkilerini görmek mümkündür. Proje içerisindeki iş paketleri ile bu etkiler gözlenmiştir. Model fiziğindeki parametreler değişiklikleri aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Opsiyon 1: RADM2 kimyasal mekanizması kullanarak kimyasal prosesleri modele dâhil eder. Aerosol içermez.

Opsiyon 301: GOCART ve RACM-KPP bir arada kullanılır, yalnızca 18 değişken içerir, opsiyonel olarak dmsemis\_opt=1 olarak kullanılır.

Opsiyon 303: RADM2 kimya ve GOCART aerosol birlikte kullanılır. Basit aerosol yaklaşımıdır. Opsiyonel olarak dmsemis\_opt=1, seas\_opt=1 ve dust\_opt=1 olarak kullanılır.

RADM2: 1990 yılında Stackwell ve arkadaşları tarafından Regional Acid Deposition Model versiyon 2 için geliştirilmiş atmosferik kimyasal mekanizmadır. Kimyasal detaylar, kimyasal öngörüler ve bilgisayar çıktılarını içerir. Atmosferik modellerde kirletici konsantrasyonlarını tahmin etmekte kullanılır.

RADM2 mekanizması, inorganik kirletici türlerini, 14 sabit türü, 4 reaktif ara ürünü, oksijen, nitrojen ve suyu içerir. Atmosferik organik kimya, 26 sabit tür ve 16 peroksi radikal ile temsil edilir. RADM2, organik kimyayı tepkime toplu moleküler yaklaşımı ile ele alır.

RACM: (Regional Atmospheric Chemistry Mechanism) Bölgesel Atmosferik Kimya Mekanizması'dır.

GOCART emisyon verileri RACM-KPP gaz fazı kimyasal düzeni ile çalışmaktadır. KPP nin kullanılmasının anlamı kimyasal reaksiyonların kolaylıkla eklenebilmesi ve geliştirilebilir olmasıdır.

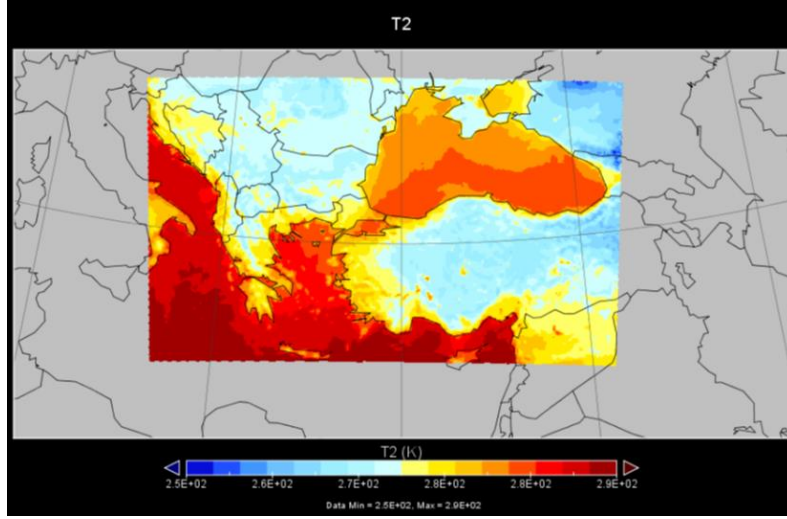
Aerosol bileşenlerin kütlelerini öngörebilir (sülfat, toz, deniz tuzu, organik karbon, siyah karbon gibi). Numerik olarak oldukça etkilidir. Karışık gaz fazları kimyasını belirlemek mümkündür. Dezavantajları da; aerosol boyut bilgisi, ikinci organik aerosoller, direkt radyasyon etkisi ve bulut proseslerinin olmamasıdır.

#### 4. WRF-Chem Modeli Çıktıları

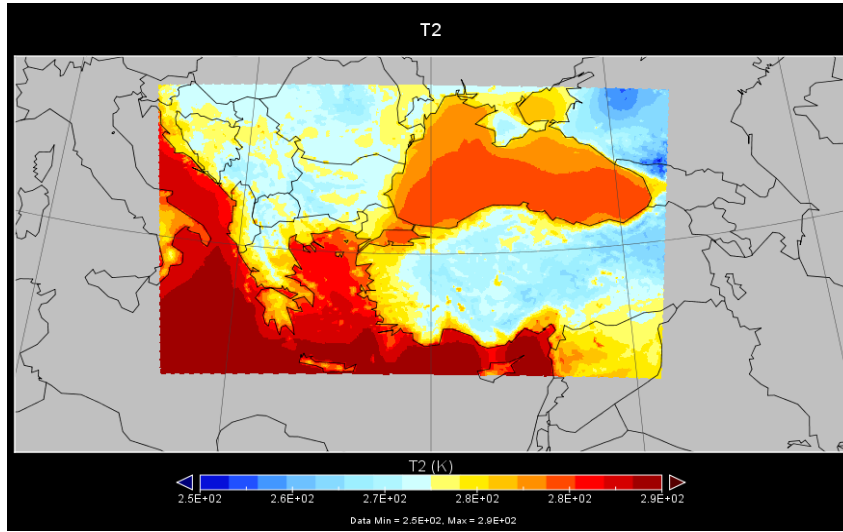
Proje dâhilinde WRF-Chem modeli ile üretilen haritalar, yağış, sıcaklık, yükseklik, bulutluluk, skew-T diyagramları, PM10, PM10 Gocart, PM2.5, dust 5, O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, HONO, HNO<sub>3</sub>, HNO<sub>4</sub>,



VOC ve PAN kirleticilerinin genel dağılım haritalarıdır. WRF-CHEM sonuçları netCDF veri formatında elde edilmektedir. Verileri görselleştirmek için GrADS, NCL, Panoply, IDV gibi birçok yazılım kullanılabilir. WRF-CHEM modeli küresel emisyon değerleri ile elde edilen sonuçların çok küçük değerler içerdiği görülmektedir. Bu yüzden ilgili birimler tarafından emisyon envanterinin çıkarılarak araştırmacılara sunulması ile model çıktılarında daha gerçek değerler elde edilmiştir.

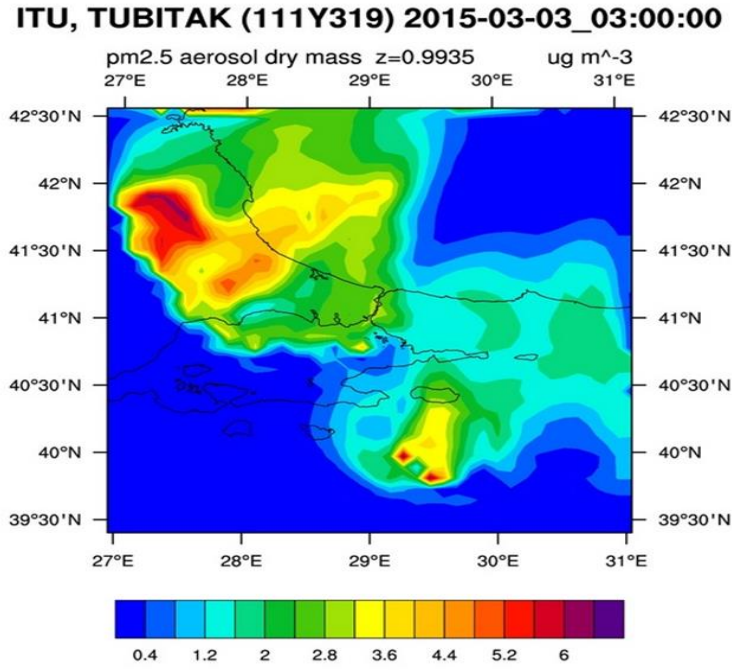


Şekil 4. Kimyasız Sıcaklık Haritası.



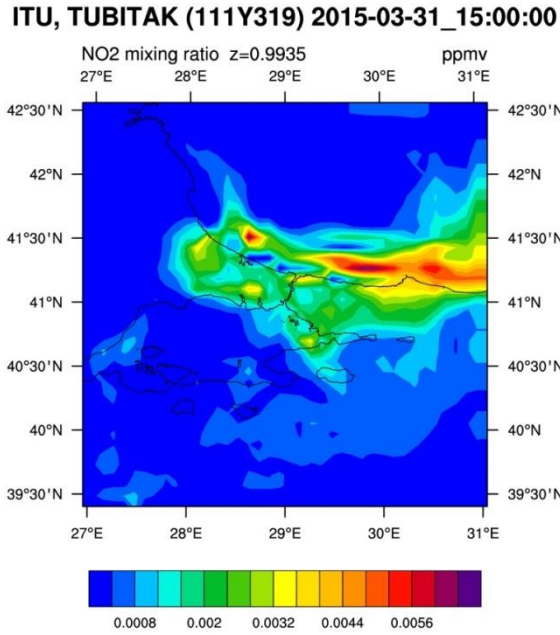
Şekil 5. Opsiyon 301 ile Kimyasal Sıcaklık Haritası.

Şekil 4 ve Şekil 5, 17.12.2013 tarihine ait iki farklı seçenek ile çalıştırılan model çıktılarında sıcaklık değerleri göstermektedir. Model aynı tarih için, WRF ile kimyasız ve WRF-Chem 301 veri seçeneği ile çalıştırılmıştır ve sıcaklık değişimleri kıyaslanmıştır. Çıktılara bakıldığında kimyasız modeldeki sıcaklığın diğer seçeneğe kıyasla daha düşük olduğu söylenebilmektedir. Opsiyon 301 ile çalıştırılan WRF-Chem modelinde kimyasız çalıştırılan modele göre sıcaklık değerleri oldukça yüksektir. Özellikle deniz yüzeylerine bakıldığında, Karadeniz ve Marmara'daki renk değişiminden sıcaklık artışı çok net fark edilebilmektedir. Türkiye üzerine baktığımızda da aerosol etkisinde olan modellerin daha yüksek sıcaklığa sahip olduğunu görülmektedir.



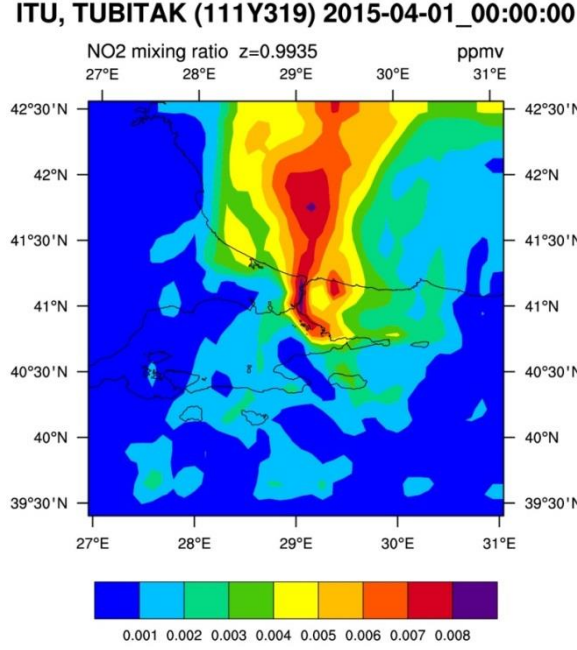
**Şekil 6.** WRF-Chem PM<sub>2.5</sub> Çıktısı(Marmara Bölgesi)

“www.havakalitesi.itu.edu.tr” adresinden ulaşılabilen haritalardan biri olan PM<sub>2.5</sub> Şekil 6’ da gösterilmiştir. 03.03.2015 tarihli yoğunluk haritasında PM<sub>2.5</sub> kaynaklı kirlilik yoğunluğu dağılımı net bir şekilde görülmektedir. Kıyı kesimlerden uzaklaştıkça PM<sub>2.5</sub> yoğunluğunun arttığı ve Kırklareli ili civarında maksimuma ulaştığı gözlenmektedir.



**Şekil 7.** WRF-Chem NO<sub>2</sub> Çıktısı(Marmara Bölgesi).

Şekil 7, 31.13.2015 tarihine ait NO<sub>2</sub> yoğunluk haritasını göstermektedir. Denizsellik etkisi bu çıktıda net bir şekilde görülmektedir. NO<sub>2</sub> dağılımının kıyı bölgelerdeki artışı göze çarpmaktadır.



Şekil 8. WRF-Chem NO<sub>2</sub> Çıktısı(Marmara Bölgesi).

Şekil 8 ise 04.01.2015 tarihli NO<sub>2</sub> çıktısını göstermektedir. Karadeniz üzerindeki kirlilik oranındaki artış net bir şekilde model çıktısından gözlenmektedir. İki gün kıyaslandığında yoğunluktaki değişim fark edilir oranda değişmektedir. WRF-Chem modeli ile oluşturulan çıktılar ile kirlenici yoğunluklarındaki değişim gösterilmektedir.

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

WRF-Chem modeli ile birlikte ülkemizde ilk kez yapılan hava kalitesi modellemesi, hava kalitesi için büyük bir adımdır. Projede WRF modeli yanında kimya ile çevrimiçi olarak birleştirilmiş hali WRF-Chem modelinin kullanılması ile hava kirliliği tahmini çok daha doğru sonuçlar ile karşımıza çıkmaktadır. Kimyasal verilerin meteorolojik verilerle harmanlanması sayesinde kirlilik dağılımı hakkında bilgi edinilebilmektedir. Hava kirliliği yoğunluğunun artacağı zaman dilimlerini önceden bilmek birçok hassas insan için ciddi bir korunma yöntemidir. Proje dâhilinde çevrimiçi entegrasyonun kullanımı geliştirilerek model sonuçlarına kullanıcıların ulaşımı çok kolay bir hal almıştır. Bu çıktıları, halkın sağlığı için kullanılabilir hale getirmek projenin başlıca amaçlarından birisi olmuştur. Bu bağlamda, başta yerel yöneticiler olmak üzere karar vericilerin hava kalitesi hakkında farkındalık kazanması ve WRF-Chem model çıktılarını iyi bir uzman yardımıyla kullanmaları Türkiye hava kalitesi değerlendirilmeleri açısından çok önemli bir adım olacaktır.

## Teşekkür

Katkılarından dolayı TUBITAK (111Y319), hava kalitesi verilerini kullandığımız Çevre ve Şehircilik Bakanlığına ve Çınar Çevre Laboratuvarı'na teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Baklanov, A., Schlünzen, K.H., Suppan, P., Baldasano, J., Brunner, D., Aksoyoglu, S., Carmichael, G., Douros, J., Flemming, J., Forkel, R., Galmarini, S., Gauss, M., Grell, G., Hirtl, M., Joffre, S., Jorba, O., Kaas, E., Kaasik, M., Kallos, G., Kong, X., Korsholm, U., Kurganskiy, A., Kushta, J., Lohmann, U., Mahura, A., Manders-Groot, A., Maurizi, A., Moussiopoulos, N., Rao, S.T., Sokhi, R.S., Savage, N., Seigneur, C., Solomos, S., Sørensen, B., Tsegas, G., Vignati, E., Vogel, B., Zhang, Y., 2014. Online coupled regional meteorology-chemistry models in Europe: current status and prospects. *Atmos. Chem. Phys.* 14, 317e398.
- Baklanov, A., Korsholm, U., Mahura, A., Petersen, C., Gross, A., 2008. ENVIRO-HIRLAM: on-line coupled modelling of urban meteorology and air pollution. *Adv. Sci. Res.* 2, 41e46. <http://dx.doi.org/10.5194/asr-2-41-2008>.
- Chandler, T.J. 1965. The climate of London. London: Hutchinson, 292 pp. Progress in Physical Geography first published on July 27, 2009.
- Chen, S., Zhao, C., Qian, Y., Leung, L.R., Huang, J., Huang, Z., Bi, J., Zhang, W., Shi, J., Yang, L., Li, D., Li, J., 2014. Regional modeling of dust mass balance and radiative forcing over East Asia using WRF-Chem. *Aeolian Res.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.aeolia.2014.02.001>.
- Chenevez, J., Baklanov, A., Sørensen, J.H., 2004. Pollutant transport schemes integrated in a numerical weather prediction model: model description and verification results. *Meteorol. Appl.* 11, 265e275.
- Crossett, K. M., T. J. Culliton, P. C. Wiley, and T. R. Goodspeed. 2004. Population Trends along the Coastal United States: 1980– 2008. Coastal Trends Report Series, National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, Md.
- Grell, G.A., Emeis, S., Stockwell, W.R., Schoenemeyer, T., Forkel, R., Michaelakes, J., Knoche, R., Seidl, W., 2000. Application of a multiscale, coupled MM5/Chemistry model to the complex terrain of the VOTALP valley campaign'. *Atmos. Environ.* 34, 1435e1453.
- Gunturu, B.U., 2010. Aerosol-Cloud Interactions: A New Perspective in Precipitation Enhancement, Massachusetts Institute of Technology.
- Gustafson Jr., W.I., Chapman, E.G., Ghan, S.J., Fast, J.D., 2007. Impact on modeled cloud characteristics due to simplified treatment of uniform cloud condensation nuclei during NEAQS 2004. *Geophys. Res. Lett.* 34, L19809. <http://dx.doi.org/10.1029/2007GL030021>.
- Jacobson, M.Z., 1997a. Development and application of a new air pollution modeling system. Part II: aerosol module structure and design. *Atmos. Environ. A* 31, 131e144.
- Jacobson, M.Z., 1997b. Development and application of a new air pollution modeling system. Part III: aerosol-phase simulations. *Atmos. Environ. A* 31, 587e608.
- Kaminski, J.W., Neary, L., Lupu, A., McConnell, J.C., Struzewska, J., Zdunek, M., Loboeki, L., 2007. High resolution air quality simulations with MC2-AQ and GEM-AQ. *Nato Chal. M.* XVII, 714e720.

VII. Atmospheric Science Symposium, 28,30 April 2015 İstanbul, [www.atmosfer.itu.edu.tr](http://www.atmosfer.itu.edu.tr)

- Kong, X., ve ark., Analysis of meteorologychemistry interactions during air pollution episodes using online coupled models within AQMEII phase-2, *Atmospheric Environment* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.020>.
- Konovalov, I.B., Beekmann, M., Kuznetsova, I.N., Yurova, A., Zvyagintsev, A.M., 2011. Atmospheric impacts of the 2010 Russian wildfires: integrating modelling and measurements of an extreme air pollution episode in the Moscow region. *Atmos.*
- Korsholm, U.S., Baklanov, A., Gross, A., Mahura, A., Sass, B.H., Kaas, E., 2008. Online coupled chemical weather forecasting based on HIRLAM e overview and prospective of Enviro-HIRLAM. *HIRLAM Newsl.* 54, 151e168. Available at: <http://hirlam.org/index.php?option¼comdocman&task¼docdownload&gid¼148&Itemid¼70> (last accessed 11.02.11.).
- Landsberg, H.E., 1981 *The urban climate*, International Geophysics Series, Vol. 28. Academic Press, New York. 1981, Pp. 275.
- Mathur, R., Xiu, A., Coats, C., Alapaty, K., Shankar, U., Hanna, A., September, 1998. Development of an air quality modeling system with integrated meteorology, chemistry, and emissions. In: *Proc. Measurement of Toxic and Related Air Pollutants*. AWMA, Cary, NC.
- Mathur, R., Pleim, J., Wong, D., Otte, T., Gilliam, R., Roselle, S., Young, J., Binkowski, F., Xiu, A., 2010. The WRF-CMAQ integrated on-line modeling system: development, testing, and initial applications. In: *Air Pollution Modeling and Its Application*, vol. XX. Springer, pp. 155e159.
- Moran, M.D., M\_enard, S., Talbot, D., Huang, P., Makar, P.A., Gong, W., Landry, H., Gravel, S., Gong, S., Crevier, L.-P., Kallaur, A., Sassi, M., 2010. Particulate-matter forecasting with GEM- MACH15, a new Canadian air-quality forecast model. In: Steyn, D.G., Rao, S.T. (Eds.), *Air Pollution Modelling and Its Application*, vol. XX. Springer, Dordrecht, pp. 289e292.
- Tayanç, M., 2013. Türkiye’de Hava Kalitesi Modellemesi. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi* 2(2013)112 – 122.
- U.S. EPA, 2004. Photochemical smog.
- Vogel, B., Vogel, H., Bœaumer, D., Bangert, M., Lundgren, K., Rinke, R., Stanelle, T., 2009. The comprehensive model system COSMO-ART e radiative impact of aerosol on the state of the atmosphere on the regional scale. *Atmos. Chem. Phys.* 9, 8661e8680. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-9-8661-2009>.
- Wong, D.C., Pleim, J., Mathur, R., Binkowski, F., Otte, T., Gilliam, R., Pouliot, G., Xiu, A., Young, J.O., Kang, D., 2012. WRF-CMAQ two-way coupled system with aerosol feedback: software development and preliminary results. *Geosci. Model Dev.* 5, 299e312. <http://dx.doi.org/10.5194/gmd-5-299-2012>.