



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından ortak finanse edilmektedir

Türkiye’de Şehirlerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi ve Kamuoyu Farkındalığının Artırılması Teknik Destek Projesi - CITYAIR (CAFE Direktifi Uyarınca)

Sözleşme N° TR2017 ESOP MI A3 01/SER/01

Faaliyet 2.3.b Raporu – ŐŐB’nin Ulusal/Yerel Envanterler ve Modeller arasındaki Bağlantı Konusundaki Teknik Kapasitesinin Artırılmasına Yönelik neriler

Aralık 2019



Türkiye’de Şehirlerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi ve Kamuoyu Farkındalığının Artırılması Teknik Destek Projesi - CITYAIR (CAFE Direktifi Uyarınca)

Bu belge Avrupa Birliği’nin sağlamış olduğu mali yardımla hazırlanmıştır. Bu yayının içeriği Agriconsulting Europe S.A. (AES) firmasının sorumluluğundadır ve Avrupa Birliği’nin görüşlerini yansıtmak amacıyla kullanılamaz.



Türkiye’de Şehirlerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi ve Kamuoyu Farkındalığının Artırılması Teknik Destek Projesi - CITYAIR (CAFE Direktifi Uyarınca)

Proje Özet Bilgileri

Proje Adı:	Türkiye’de Şehirlerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi ve Kamuoyu Farkındalığının Artırılması Teknik Destek Projesi - CITYAIR (CAFE Direktifi uyarınca)
Sözleşme Numarası:	TR2017 ESOP MI A3 01/SER/01TR2017
Proje Bütçesi:	3.5 Milyon EUR
Başlangıç Tarihi:	17.12.2018
Bitiş Tarihi:	16.12.2021
Süre:	(36 ay)
Sözleşme Makamı: Proje Yöneticisi: Adres: Telefon: Faks: Sözleşme Yöneticisi: e-posta:	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı , AB Mali Yardım Dairesi Başkanlığı İsmail Raci BAYER Mustafa Kemal Mah. Eskişehir Devlet Yolu 9.km No: 278, Ankara, Türkiye + 90 312 474 03 50-51 + 90 312 474 03 52-53 Erinç Ebinç erinc.ebinckocal@csb.gov.tr
Faydalanıcı: Adres: Faks: Telefon: Proje Yöneticisi / PKB Koordinatörü: Telefon: e-posta:	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) Mustafa Kemal Mahallesi Eskişehir Devlet Yolu (Dumlupınar Bulvarı) 9. Km (Tepe Prime Yanı) No:278 Çankaya-Ankara, Türkiye + 90 312 474 03 37-38 + 90 312 474 03 35 Pervin Doğan + 90 312 586 30 54 pervin.dogan@csb.gov.tr
Yüklenici [Proje Direktörü] / [Proje Yöneticisi]: Adres: Telefon: Faks: e-posta: Proje ofisi adresi: Proje Takım Lideri: Telefon / faks: e-posta:	AESA Ottavio Novelli Avenue de Tervuren 36, 1040-Brüksel, Belçika +32 2 736 22 77 +32 2 736 49 70 O.novelli@aesagroup.eu Mustafa Kemal Mahallesi 2124.Sokak Edige Plaza 15/3-4, Çankaya/Ankara, Türkiye Dr. Hüseyin Özdemir +90 312 219 6804 / +90 312 219 6805 Huseyin.Ozdemir@cityair-tr.eu
	Faaliyet 2.3.b – ÇŞB’nin Ulusal/Yerel Envanterler ve Modeller arasındaki Bağlantı konusundaki Teknik Kapasitesinin Artırılmasına Yönelik Öneriler
Rapor dönemi:	
Hazırlayan:	Prof. Dr. Alper Ünal
Gözden geçiren:	Dr. Hüseyin Özdemir – CityAir Proje Takım Lideri
Sunulduğu tarih:	31.12.2019



İçindekiler

1. Atmosferik Modelleme Çalışmaları için Bilişim Gereklilikleri	4
2. Gelecekte Yapılacak Modelleme Çalışmalarına Örnek olarak Fransa Hava Kalitesi Tahmin İşlemleri.....	9
Tablo 1: Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi’ndeki (NCAR) Cheyenne makine özellikleri.....	5
Tablo 2: Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi’ndeki (NCAR) Cheyenne makine performansı	6
Tablo 3: Maria 1 km test simülasyon sonuçları	6



1. Atmosferik Modelleme Çalışmaları için Bilişim Gereklilikleri

Hava kalitesi modelleri, atmosferdeki tüm kimyasal ve fiziksel süreçleri matematiksel olarak çözerek aşağıdaki süreçleri hesaplarlar.

- Atmosfere salınan emisyonlar
- Atmosferdeki emisyonlarda gerçekleşen kimyasal tepkimeler
- Emisyonların yatay ve dikey düzlemde fiziksel taşınması
- Emisyonların kuru ve ıslak çökme süreçlerinin hesaplanması.

Bu modelleme sistemi emisyon modeli, meteoroloji modeli ve hava kalitesi modelinden oluşmaktadır. Sonuçta ortaya çıkan kısmi diferansiyel denklemlerin çözülmesi için başlangıç ve sınır koşullarının bilinmesi gerekmektedir. Örneğin, İstanbul için yapılacak modelleme çalışmasında aşağıdaki modellerin çalıştırılması gerekmektedir.

- Meteoroloji modeli: Avrupa Model Alanı 36 x 36 km, Türkiye Model Alanı 12 x 12 km, İstanbul Model Alanı 4x4 km
 - 36x36 km: 100x180x34 (sıra x sütun x katman sayısı) = 612.000 hücre
 - 12x12 km: 79x160x34 (sıra x sütun x katman sayısı) = 429.760 hücre
 - 4x4 km: 85x127x34 (sıra x sütun x katman sayısı) = 367.030 hücre

Ortalama 100 parametre çözüldüğünde ve simülasyon saatinde zaman adımı 10 varsayıldığında (zaman adımlarının çoğu 2 dk. sürmektedir), toplam işlem sayısı şu şekildedir¹:

- 36x36 km: 612.000.000 sayım / saat
- 12x12 km: 429.760.000 sayım / saat
- 4x4 km: 367.030.000 sayım / saat

Çalışma 12 aylık bir simülasyon olduğunda (8760 saat), meteoroloji modeli için gerekli hesaplama toplamda 12,341 Trilyondur.

- 36x36 km: 5.361.120.000.000 sayım
- 12x12 km: 3.764.697.600.000 sayım
- 4x4 km: 3.215.182.800.000 sayım

¹ Tek bir hesap için, işlem sayıları hesaplanan parametreye göre değişmektedir



Türkiye’de Şehirlerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi ve Kamuoyu Farkındalığının Artırılması Teknik Destek Projesi - CITYAIR (CAFE Direktifi Uyarınca)

- Hava kalitesi modeli WRF ile aynı konfigürasyona sahiptir. Ortalama 200 parametre çözüldüğünde ve zaman adımı simülasyon saatinde 10 varsayıldığında (zaman adımlarının çoğu 2 dk sürmektedir), toplam işlem sayısı 24,682 Trilyondur.
 - o 36x36 km: 10.722.240.000.000 sayım
 - o 12x12 km: 7.529.395.200.000 sayım
 - o 4x4 km: 6.430.365.600.000 sayım

Sonuç olarak, 1-yıllık bir simülasyon için gerekli toplam işlem sayısı 36 Trilyonu aşmaktadır. Bir il için yapılacak CMAQ çalışması kapsamında en az 3 senaryo simülasyonuna ihtiyaç vardır. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse, toplamda 120 trilyonu aşan bir hesaplamadan bahsediyoruz. Aynı anda birden fazla il için benzer bir çalışma yapılması gerektiğinde, bu sayı katrilyonlara ulaşmaktadır. Böyle bir çalışmanın bilgisayarda işlem süresinin ne kadar olacağı pek çok parametreye bağlıdır. Aşağıda, 1 aylık CMAQ simülasyonunu çalıştırmak 48 çekirdekli 96 gb ram ve 5TB sabit sürücülü Linux makinede 36 saat sürmektedir. WRF, Dumani MCIP ve CMAQ çalışması toplamda 700 saattir.

Alınacak sistem için iyi bir örnek, Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi’ndeki (NCAR) Cheyenne makine olabilir. https://akirakyle.com/WRF_benchmarks/results.html

İlgili videoya şu adresten ulaşılabilir: https://youtu.be/ycNQ_wqsWFc

WRF çalıştırılan bir makinenin toplamda 145,152 çekirdek ve 313 Tb belleğinin olması gerekir.

Cheyenne
<ul style="list-style-type: none">• 4,032 computation nodes<ul style="list-style-type: none">o Dual-socket nodes, 18 cores per socket<ul style="list-style-type: none">▪ 145,152 total processor coreso 2.3-GHz Intel Xeon E5-2697V4 (Broadwell) processors<ul style="list-style-type: none">▪ 16 flops per clocko 5.34 peak petaflops• 313 TB total system memory<ul style="list-style-type: none">o 64 GB/node on 3,168 nodes, DDR4-2400o 128 GB/node on 864 nodes, DDR4-2400• Mellanox EDR InfiniBand high-speed interconnect<ul style="list-style-type: none">o Partial 9D Enhanced Hypercube single-plane interconnect topologyo Bandwidth: 25 GBps bidirectional per linko Latency: MPI ping-pong < 1 µs; hardware link 130 ns



Türkiye’de Şehirlerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi ve Kamuoyu Farkındalığının Artırılması Teknik Destek Projesi - CITYAIR (CAFE Direktifi Uyarınca)

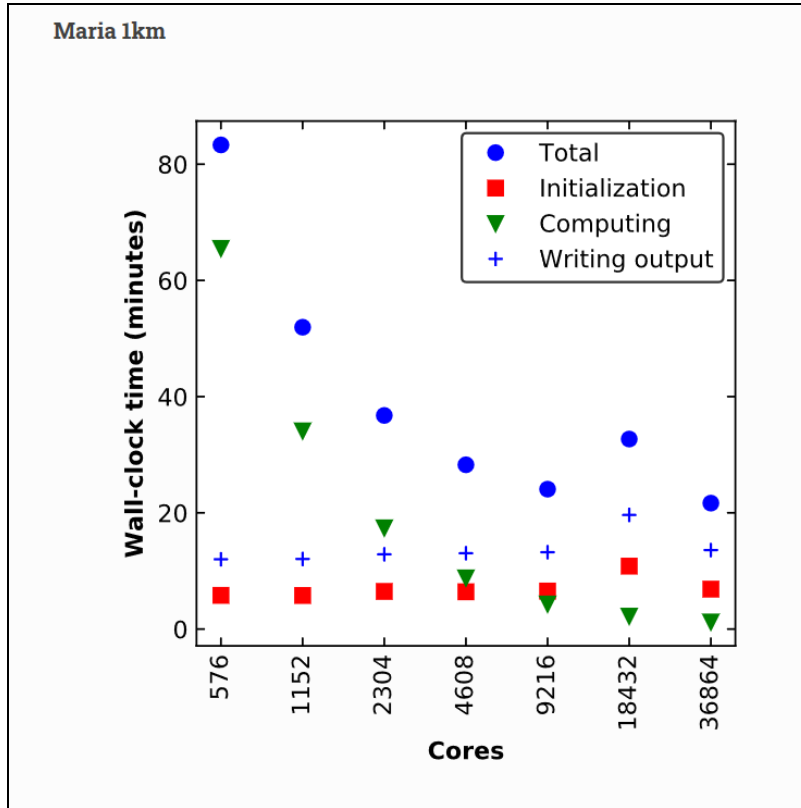
Tablo 1: Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi’ndeki (NCAR) Cheyenne makine özellikleri

Bu makinedeki performans testleri aşağıda sunulmuştur:

case	e _{We}	e _{sn}	total gridpoints	timestep	run hours
conus12km	425	300	127,500	72	3
conus2.5km	1901	1301	2,473,201	15	6
new_conus12km	425	300	127,500	72	6
new_conus2.5km	1901	1301	2,473,201	15	6
maria1km	3665	2894	10,606,510	3	1
maria3km	1396	1384	1,932,064	9	3

Tablo 2: Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi’ndeki (NCAR) Cheyenne makine performansı

Maria 1 km test simülasyon sonuçları aşağıda sunulmuştur:



Tablo 3: Maria 1 km test simülasyon sonuçları



Türkiye’de Şehirlerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi ve Kamuoyu Farkındalığının Artırılması Teknik Destek Projesi - CITYAIR (CAFE Direktifi Uyarınca)

Bu grafiğe göre, 576 çekirdekli makine simülasyonu ortalama 65 dakika sürerken, 1152 çekirdekli makine 38 dakika ve 2304 çekirdekli makine 20 dakika sürmektedir.² 2304 çekirdekten sonra, kazanım oranı azalmaktadır.

Kullanılacak makinenin en az 2300 çekirdek ve çekirdek başına 8gb belleğinin olması tavsiye edilir. Sabit sürücü gereklilikleri de simülasyonları değerlendirerek hesaplanabilir.

Hava kalitesi modelleme camiasında en ileri düzey metodolojiye göre tahmini çalıştırabilmek için aşağıdaki gerekliliği karşılayan Linux yüksek performanslı bilgisayar kümesi kullanılması şiddetle tavsiye edilir:

- modelle ilişkili özel komut dosyaları ve araçları çalıştırabilmek için çeşitli kütüphaneler
- kümenin 7/24 gözetilmesi
- önemli verilerin kaybolmasını önlemek için bir yedekleme sistemi
- önceki tahmin çıktılarının arşivlendiği bir sistem
- kümenin sağlamlığı ve güvenilirliği
- Türkiye genelinde hava kalitesi tahmin çalışmaları için önerilen set-up için yaklaşık 200 cpu.

Veri üretimi ve arşivleme sistemi politikasına göre disk hacmi artırılabilir şekilde ciddi bir depolama kapasitesine (birkaç Tb) ihtiyaç vardır.

Ayrıca, BİT ortamı da şu şekilde olmalıdır:

1) intel/17.1.132

2) intelmpi/5.1.2.150

3) phdf5/1.8.18

4) netcdf/4.4.1

5) cdo/1.7.2

6) nco/4.6.2

7) pnetcdf/1.7.0

8) grib_api/1.18.0

9) xz/5.2.2

² 1 saatlik simülasyon



Türkiye’de Şehirlerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi ve Kamuoyu Farkındalığının Artırılması Teknik Destek Projesi - CITYAIR (CAFE Direktifi Uyarınca)

10) zlib/1.2.8

11) szip/2.1

12) bzip2/1.0.6

13) armadillo/7.500.0

14) gdal/2.1.1

15) geos/3.6.0

16) gmt/5.3.1

17) pcre/8.39

18) curl/7.51.0

19) libxml2/2.9.4

20) proj/4.9.3

21) R/3.3.2

22) blitz/0.10

23) python/2.7.5



2. Gelecekte Yapılacak Modelleme Çalışmalarına Örnek olarak Fransa Hava Kalitesi Tahmin İşlemleri

Bu rapor, daha önce hazırlanan Faaliyet 2.3a Raporunda ifade edilen modelleme araçlarına ilişkin açıklamalar bağlamında ele alınmalıdır. Rapor kapsamında WRF/CMAQ zinciri kullanarak yapılan senaryo modelleme ve IFS/CHIMERE modelleri kullanılarak yapılan tahmin modelleme çalışmaları için simülasyon düzenlemesi ve BİT gereklilikleri açısından açıklamalar sunulmaktadır. Fransa’nın mevcut ulusal hava kalitesi modelleme ve tahmin çerçevesine dayanan uzmanlık kapsamında örnek olarak aşağıda ilave yorumlara yer verilmiştir:

Operasyonel bir tahmin sisteminin yürütülebilmesi için çeşitli süreçlerin oluşturulup hem ulusal hem de yerel ölçekte otomatik olarak başlatılması gerekmektedir:

- i) Simülasyon dönemi için emisyon verilerinin derlenmesi.

Fransa operasyonel tahmin sisteminde (https://www.prevoir.org/en/general_prev.php) yılda bir kez seçilen bir alandaki (10km boylam*5 km enlem) **antropik** emisyonlar için **CAMS’dan (Copernicus Atmosfer İzleme Servisi) bölgesel yıllık** gridlenmiş emisyon veri seti indirilmektedir.

Zamansal profile ilişkin, hava kalitesi modelinde farklı antropik emisyon sektörleri için zamansal profillerden oluşan bir ülke veri tabanı (Türkiye için bu veri tabanının doldurulması gerekir) yer almaktadır. Bir kere doldurduktan sonra bu veri tabanı yakın zamanda gerçekleşen değişiklikleri dikkate almak amacıyla gerekli durumlarda yılda bir güncellenebilir.

Sonrasında, 3 günlük tahmin dönemi için antropik emisyonların günlük temelde hesaplanması amacıyla işlem başlatılır:

- Compute_anthropicemission_process. (antropik emisyon hesaplama işlemi)

Daha sonra, aşağıdaki gerekli işlemler günlük temelde başlatılır ve saatlik çözünürlükte her bir grid hücresi için her bir kirletici için emisyon değeri verilir.

- Compute_biogenicemission_process (biyojenik emisyon hesaplama işlemi) (başka bir veri tabanıyla bağlantı kurulmadan tamamen modelden hesaplanır)
- Compute_seasaltemission_process (deniz tuzu emisyon hesaplama işlemi) (başka bir veri tabanıyla bağlantı kurulmadan tamamen modelden hesaplanır)
- Compute_fireemission_process (yangın emisyonu hesaplama işlemi) (günlük temelde CAMS yangın emisyonu veri tabanıyla bağlantılı olarak uydu gözlemleriyle ilişkili bir şekilde modelden hesaplanır)
- Compute_dustemission_process (toz emisyonu hesaplama işlemi) (başka bir veri tabanıyla bağlantı kurulmadan tamamen modelden hesaplanır)

Türkiye’nin ulusal hava kalitesi tahmini kapsamında, bu sistemle ilgili gerekli tek uyarılama doğru yıllık ve mekansallaştırılmış antropik emisyonlara erişim olması (Türkiye ulusal HK tahmin envanterinden ve/veya hedef şehrin HK tahminine ilişkin yerel envanterden) ve Türkiye için modelin zamansal emisyon profilinin tamamlanmasıdır.

- ii) IFS/ECMWF’den meteoroloji verilerinin derlenmesi.



Türkiye’de Şehirlerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi ve Kamuoyu Farkındalığının Artırılması Teknik Destek Projesi - CITYAIR (CAFE Direktifi Uyarınca)

Aşağıdaki gerekli işlemler günlük temelde başlatılır:

- Get_IFS_data_process (IFS verilerinin alınması ve saklanması). Bu kapsamda ECMWF ve HK tahmin sunucusu arasında bir ver akışı kurulur.
- Preprocessing_meteo_process: projeksiyon, IFS verilerinden model grid enterpolasyonu.

iii) Sınır Koşulu: 40km ->10km->4km çözünürlük: Küresel bölgesel ve/veya yerel ölçekte tahmin.

Aşağıdaki gerekli işlemler günlük temelde başlatılır:

- analyse.sh_ For_each_pollutant: gözlemlenen ve modellenen verinin bir kombinasyonu kullanılarak tüm alanlarda (domain) ön kirletici alanlarının (field) sunulması.
- boundary_condition_process: sınır verilerinin ana alandan alt alana aktarılması.

iv) HK tahmin sunucusunda günlük model hesaplama.

v) Günlük model istatistiksel uyarılama.

Bu işlemle ham tahmin çıktılarına düzeltme yapılmaktadır, bunun için her bir grid noktasında model hatalarından istatistiksel öğrenme yöntemi kullanılır.

i) Günlük harita değerlendirmesi (postprocessing).

Bu işlem sayesinde farklı göstergeler için hava kalitesi haritaları geliştirilebilir ve otomatik bir şekilde belirlenen web sitesine transfer edilebilir.



Bu yayının içeriđi **AESA** Konsorsiyumu'nun sorumluluđundadır ve hiđbir Őekilde Avrupa Birliđi DıŐ İliŐkiler Genel Műdűrlűđű'nűn ve Avrupa Birliđi'nin gűrűŐlerini yansıtılmak amacıyla kullanılmamaz.