



LIFE-THIRD COUNTRIES (LIFE-TCY)

LIFE06-TCY/TR/000283

İSTANBUL'DA KENTSEL HAVA KALİTESİ YÖNETİMİ İÇİN CBS TABANLI KARAR DESTEK SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

TEKNİK OLMAYAN RAPOR

**NİSAN 2009
İSTANBUL**



**İSTANBUL'DA ŞEHİR HAVA KALİTESİ YÖNETİMİ İÇİN
CBS TABANLI KARAR DESTEK SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**



FAYDALANICI	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
ORGANİZASYON TÜRÜ	Yerel Yönetim
PARTNER	Dokuz Eylül Üniversitesi
PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ	Doç.Dr. Tolga ELBİR
TOPLAM BÜTÇE	314.535 €
LIFE KATKISI	160.295 €
FİNANS YILI	2006
SÜRE	01.02.2007 – 31.01.2009
KOMİSYON REFERANSI	LIFE06-TCY/TR/000283
PROJE WEB SİTESİ	http://www.ibb.gov.tr/airqualistanbul

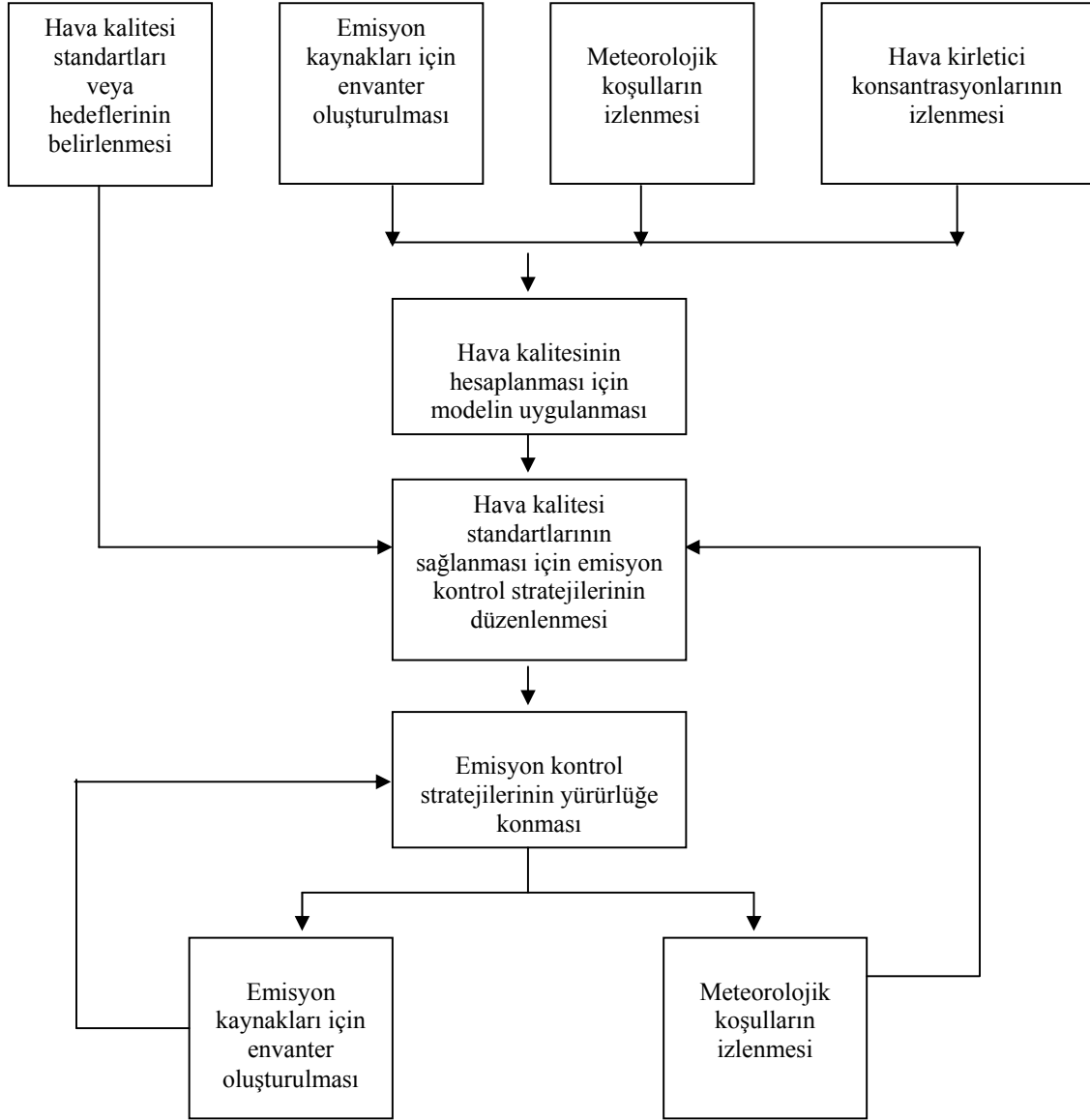
1. Giriş

Kentlerdeki hava kirliliğinin kontrolü, su veya toprak kirliliğinin kontrolüne göre çok daha zor bir problemdir. Doğal ve antropojenik kaynaklardan emisyonların sürekli olarak atmosfere verilmesi, kirleticilerin atmosferik dispersiyonu ve uzun mesafeler boyunca taşınımı hava kalitesi yönetimini problemlili kılan başlıca faktörlerdir.

Kentsel hava kalitesi yönetimi için kapsam sağlamak amacıyla yasal bir çerçeveye ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok olası model varken, WHO tarafından örnek bir model sunulmuştur (WHO, 2000). Hedef ve politikaların geliştirilmesi bu modelin ilk adımındır. Hedef ve politikalar geliştirildikten sonra diğer adım strateji veya plan geliştirmektir. Hava kalitesi yönetim stratejisinin geliştirilmesi için, emisyon envanterinin oluşturulmasını da kapsayan gerekli aşamalar Şekil 1'de verilmektedir. Hem meteorolojik koşullar hem de hava kirleticilerin konsantrasyonları da, hava kalitesi tahmininde kullanılan modeller için ve model çıktılarının validasyonu için gerekli olmaları nedeniyle izlenmektedirler. Hava kalitesi standartları ve model çıktıları veya ölçümler hava kalitesi standartlarını sağlamayı amaçlayan emisyon kontrol tedbirlerinin düzenlenmesinde dikkate alınmaktadır. Bu taktiklerin yürürlüğe konması ve eğer standartlar sağlanırsa devamlı olarak uygulanması gerekmektedir. Eğer makul bir süre sonra standartlar sağlanamazsa emisyon kontrol tedbirlerinin revize edilmesi gerekmektedir.

Hava kalitesi yönetim sisteminin kalbi olan coğrafi bilgi sistemi (CBS), karar vericilerin geçmişte asla olamayacak hızlı bir şekilde konumsal bilgilerin izlenmesi ve analizine izin veren bir yönetim destek aracıdır.

Günümüzde, kentsel hava kalitesi yönetimi için bilgisayar tabanlı karar destek sistemleri dünyadaki birçok büyük şehirde başarı ile uygulanmaktadır. Karar destek sistemlerinin uygulanması, büyük şehirlerde hava kalitesi planlamasının iyileştirilmesi için bir fırsattır. Bu karar destek sistemleri, genellikle hava kalitesinin izlenmesi, emisyon envanterleri, hava kalitesinin modellenmesi, hava kirliliği haritaları, geçmiş ve mevcut hava kalitesi seviyeleri hakkında çeşitli kontrol stratejilerinin etkilerinin değerlendirilmesini kapsar. Karar destek sistemlerinin temel fikri, hava kalitesi planlamasına yardımcı olmak üzere profesyonel bir araç olarak politika oluşturucular için karar verme prosesini iyileştirmektir.



Şekil 1. Hava kalitesi yönetim stratejisinin geliştirilme aşamaları (WHO, 2000)

Kentsel hava kalitesi yönetimi için kullanılan karar destek sistemleri Türkiye’de pek yaygın değildir. Türkiye’deki mevcut çalışmalar sıklıkla düşük konumsal çözünürlüğe sahip olup, CBS ve idari veritabanının tüm avantajlarından faydalanmamaktadırlar. Türkiye’deki İstanbul gibi büyük şehirler kendi karar destek sistemlerini geliştirmeli veya Avrupa’da geliştirilen sistemler gibi bir sisteme kendi verilerini adapte etmelidirler.

Bu proje İstanbul'da hava kalitesinin belirlenmesine ve şehir hava kalitesi yönetimi için geliştirilen bir CBS tabanlı karar verme sisteminin kullanılmasına odaklanmaktadır. Kapsamlı bir emisyon envanterinin hazırlanması ve hava kalitesi modellenmesi bu projenin ana temalarıdır.

2. Projenin Özeti

“İstanbul'da Hava Kalitesi Yönetimi için CBS Tabanlı Bir Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi” projesi, LIFE Üçüncü Ülkeler Programı çerçevesinde 1 Şubat 2007 – 31 Ocak 2009 döneminde gerçekleştirilmiştir. Proje, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin (İBB) faydalanıcı ve Dokuz Eylül Üniversitesi'nin (DEÜ) partner olarak görev aldığı bir işbirliği ile yürütülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de ilk olarak bir büyükşehirde hava kalitesi yönetimi için bilgisayar destekli bir karar sistemi geliştirmektir. Çalışmanın ana hedefleri şehirdeki en önemli kirlilik kaynaklarına ulaşarak detaylı bir emisyon envanteri hazırlamak, profesyonel bir hava kalitesi dağılım modeli kullanarak şehirde CBS tabanlı hava kirliliği haritaları oluşturmak ve son olarak kentteki hava kalitesini iyileştirmek için düzeltici eylemleri planlamaktır.

Proje aşağıdaki aşamaları içermektedir;

Aşama 1 (Organizasyon): Kordinasyonu sağlamak amacıyla ortaklar arasında başlangıç toplantıları düzenlenmiştir. Proje kamuoyuna tanıtılmıştır. Proje ofisleri kurulmuştur.

Aşama 2 (Veri Toplama): Emisyon envanterinin hazırlanması ve hava kalitesi modelleme çalışmaları için gerekli olan tüm veriler toplanmıştır. Bunlar ağırlıklı olarak kirlenici kaynak bilgileri (endüstri, evsel ısınma ve trafik), dış hava kalitesi gözlemleri, meteorolojik ve topografik verilerdir.

Aşama 3 (Eğitim): Benzer hava kalitesi yönetim sistemlerini kullanmakta olan önemli Avrupa kentlerine teknik geziler düzenlenmiştir. Bu gezilerde diğer büyük Avrupa kentlerinin kendi karar destek sistemlerini nasıl yönettiklerinin ve İstanbul'un modeline uyarlanmanın nasıl yapılabileceğinin tartışılması amaçlanmıştır.

Aşama 4 (Teknik Çalışmalar): Kentteki farklı hava kirliliği kaynaklarını gösteren geniş kapsamlı bir emisyon envanteri hazırlanmıştır. Emisyonların bölgenin meteorolojik koşulları altında neden olacağı dış hava kalitesi seviyelerinin belirlenmesi için bir dağılım modeli kullanılmıştır. Kirliliğin azaltılması için senaryolar değerlendirilmiştir.

Aşama 5 (Yönetim): Bu aşama, İstanbul için yeni hava kalitesi yönetimi politikalarının uygulanmasını ve proje sonuç raporunun Avrupa Birliği'ne gönderilmesini içerir.

3. Elde Edilen Sonuçlar

Aşama 1 (Organizasyon)

- ✓ İstanbul'da ve İzmir'de proje ofisleri kurulmuştur. Bu ofisler İBB Çevre Koruma Müdürlüğü ve DEÜ Çevre Mühendisliği Bölümü binaları içerisinde bulunmaktadır. Bu ofislerin kurulmasını takiben, AB Komisyonu yetkilileri, proje ortakları ve projeyi kamuoyuna tanıtmak için diğer organizasyonlar ile toplantılar düzenlenmiştir.
- ✓ Hem kağıt ortamında hem de elektronik olarak proje broşürleri hazırlanmıştır. Broşürlerden iki bin kopya bastırılmış ve ilgili kurumlara dağıtılmıştır.
- ✓ Proje web sitesi <http://www.ibb.gov.tr/airqualistanbul> adresinde hazırlanmıştır. Web sitesi içeriğinde hava kirliliği hakkında genel bilgi, proje metodolojisi, projenin amacı, beklenen sonuçları ve yasal mevzuatlara bağlantı bulunmaktadır.

Aşama 2 (Veri Toplama)

Emisyon envanterinin hazırlanması için;

- ✓ 1025 endüstri tesisinden veri (isim, adres, kapasite, üretim bilgileri, enerji ihtiyacı, çalışma saatleri, çalışan sayısı, baca bilgileri) toplanmıştır.

- ✓ Evsel ısınma ile ilgili veriler (nüfus ve binalardaki kömür ya da doğal gaz gibi yakıtlara ilişkin tüketim bilgileri) toplanmıştır.
- ✓ Trafik verileri (araç sayıları, çeşitleri, şehir karayolu ağı bilgileri) toplanmıştır.
- ✓ Dijital topografik veriler İBB Bilgi Teknolojileri Daire Başkanlığı Coğrafi Bilgi Sistemi Müdürlüğü'nden sağlanmıştır.
- ✓ Saatlik meteorolojik veriler (rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık, nem, vb...) Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden ve İBB AKOM'dan sağlanmıştır.

Aşama 3 (Eğitim)

- ✓ Kent hava kalitesi yönetimi için kendi karar destek sistemlerini başarıyla uygulamakta olan dört önemli büyükşehir (Stockholm, Paris, Marsilya ve St. Petersburg) ziyaret edilmiştir. Bu şehirler, Avrupa'da birçok önemli idari kurumlarla uzun süreli kurulan iletişimler sonucunda seçilmiştir. Üç seçkin organizasyondan olumlu yanıt alındıktan sonra seyahatler düzenlenmiştir. Bu seyahatler sırasında; İstanbul için geliştirilecek hava kalitesi yönetimi sistemini uygun bir zemin üzerinde kurabilmek için seminerler, sunumlar, gösterimler, toplantılar ve münazaralar düzenlenmiştir.

Aşama 4 (Teknik Çalışmalar)

Emisyon Envanteri

- ✓ Emisyon faktörleri CORINAIR (CITEPA, 1992)'dan ve ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (USEPA) kaynak emisyon faktörleri kataloğundan alınmıştır (USEPA, 1995). Farklı kirletici kaynak aktiviteleri için kullanılan emisyon faktörleri Tablo1-3'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Endüstriyel emisyonları hesaplamak için kullanılan emisyon faktörleri

Yakıt Türü	PM	SO ₂	NO _x	VOC	CO
	kg/m ^{3 a)} - kg/ton ^{b)}	g/GJ			
Linyit	3.4*A ^{b)}	20000*(S/H)*(1-r)	150	30	16
Fuel oil	1.12*S+0.37 ^{a)}	490*S	140	15	15
Motorin	1.12*S+0.37 ^{a)}	490*S	100	15	12
LPG	0.07 ^{b)}	-	88	2.5	13
Odun	4.4 ^{b)}	-	200	400	1504
Biyokütle	bulunmuyor	-	280	4	30
Doğal gaz	-	-	100	5	13

A: kül içeriği (%), S: kükürt içeriği (%), H: ısı değer (MJ/kg)

Tablo 2. Emisyon hesaplamalarında kullanılan kabuller

Yakıt Türü	Isıl Değer (MJ/kg)	Sulfür (%)	Kül (%)	Yoğunluk (t/m ³)
Fuel oil	41.0	3.0	-	0.96
Linyit	12.1	1.5	21.5	-
LPG	45.4	-	-	0.55
Odun	16.0	-	-	-
Biyokütle	9.5	-	-	-
Doğal gaz	41.5	-	-	-

Tablo 3. Evsel ısınma emisyonlarının hesaplanması için kullanılan emisyon faktörleri

	PM	SO ₂	NO _x	VOC	CO
Linyit (kg/ton)	4.89	10.89	1.33	5.86	55.69
Fuel oil (kg/ton)	0.15	5.74	2.79	0.64	1.89
Odun (kg/ton)	8.62	0.25	0.92	11.47	65.72
Doğal gaz (kg/m ³)	0.02	0.02	1.85	0.34	1.01

A: kül içeriği (%), S: kükürt içeriği (%), H: ısı değer (MJ/kg)

- ✓ Önemli kirlilik kaynaklarından kaynaklanan hava kirletici emisyonları belirleyebilmek için; 1-saatlik zamansal ve 1-km mekansal çözünürlüklü, İstanbul büyükşehir alanının merkezinde yer aldığı 85 km X 170 km'lik bir alanda bölgesel emisyon envanteri hazırlanmıştır.

- ✓ Sistematik bir şekilde emisyon kaynakları genel olarak nokta, çizgi ve alan kaynaklar olarak kategorize edilmiş, bu kategoriler sırasıyla endüstriyel tesisler, araçlar ve evsel ısınma kaynakları olarak değerlendirilmiştir. Bu kaynaklardan salınan beş ana kirletici; partikül madde (PM₁₀), kükürt dioksit (SO₂), karbon monoksit (CO), metan içermeyen uçucu organik bileşikler (NMVOCs) ve azot oksitler (NO_x) olarak belirlenmiştir. Endüstrilerden kaynaklı emisyon verileri, araçların yakıt kullanımı ve evsel ısınma aktiviteleri ile ilgili emisyon faktörleriyle belirlenen emisyon envanteri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Çalışılan bölgedeki toplam ve sektörel emisyonlar,, t/y

	Emisyonlar (t/y)				
	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	NMVOC	CO
Endüstri	7,630	58,468	9,394	117	1,714
Evsel Isınma	13,631	10,983	7,014	18,351	123,510
Trafik	5,200	1,016	138,000	38,500	270,000
TOPLAM	26,461	70,467	154,408	56,968	395,224

Hava Kalitesi Modellemesi

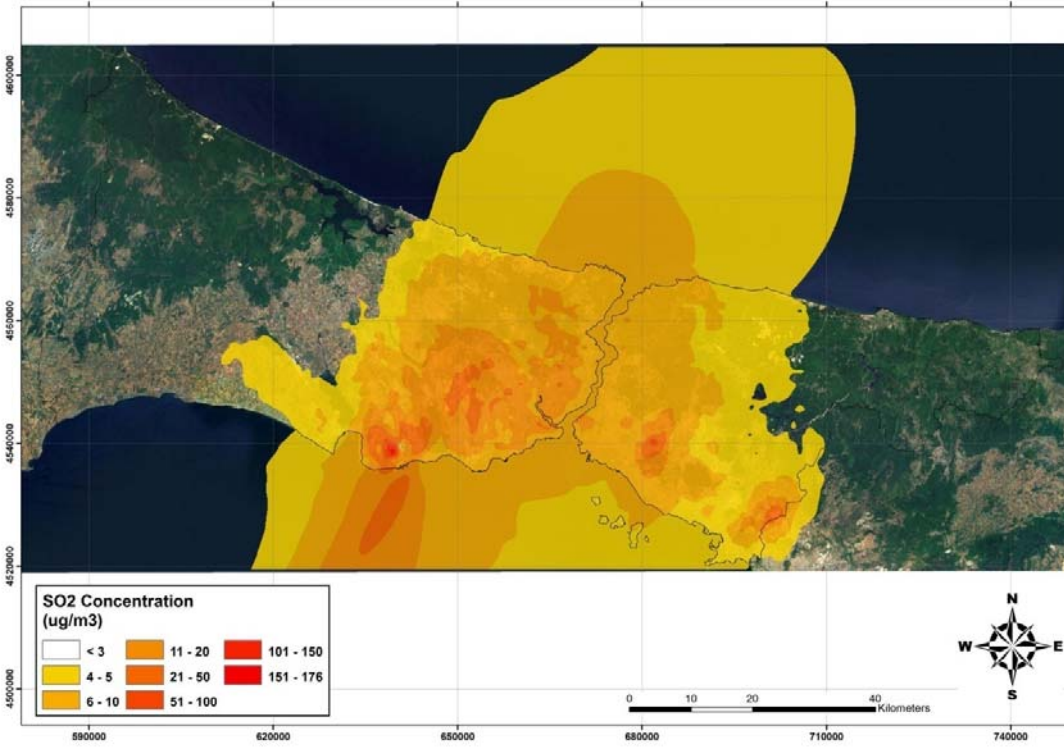
- ✓ Kirletici kaynaklardan çıkan maddelerin dağılımını hesaplamak için, bu sistemde Gaussian dağılım esasına dayanan California Puff Model (CALPUFF) (Scire et al., 2000) dağılım modeli kullanılmıştır. CALPUFF, bir Lagrangian puff modelidir ve kirletici taşınımı, ıslak-kuru çökeltme prosesleriyle kirleticilerin uzaklaştırılması ve kirleticilerin kimyasal reaksiyonlarla dönüşümü sırasında geçici ve mekansal olarak çeşitlilik gösteren meteorolojik koşulların etkilerinin simülasyonunu yapabilen çok tabakalı, bir dağılım modelidir.
- ✓ Projede meteorolojik girdilerin sağlanması için, MM5 meteorolojik model kullanılmıştır. MM5 (beşinci- jenerasyon NCAR/Penn State Mesoscale Model'nin kısaltması), hava tahminleri ve iklim projeleri oluşturmak için kullanılan bölgesel ölçekli bir modeldir.

MM5 ile yapılan meteorolojik modelleme çalışmaları, 2007 yılı içerisinde İstanbul'da meydana gelen hava kirliliği olaylarını gösteren farklı periyotlar için yapılmıştır.

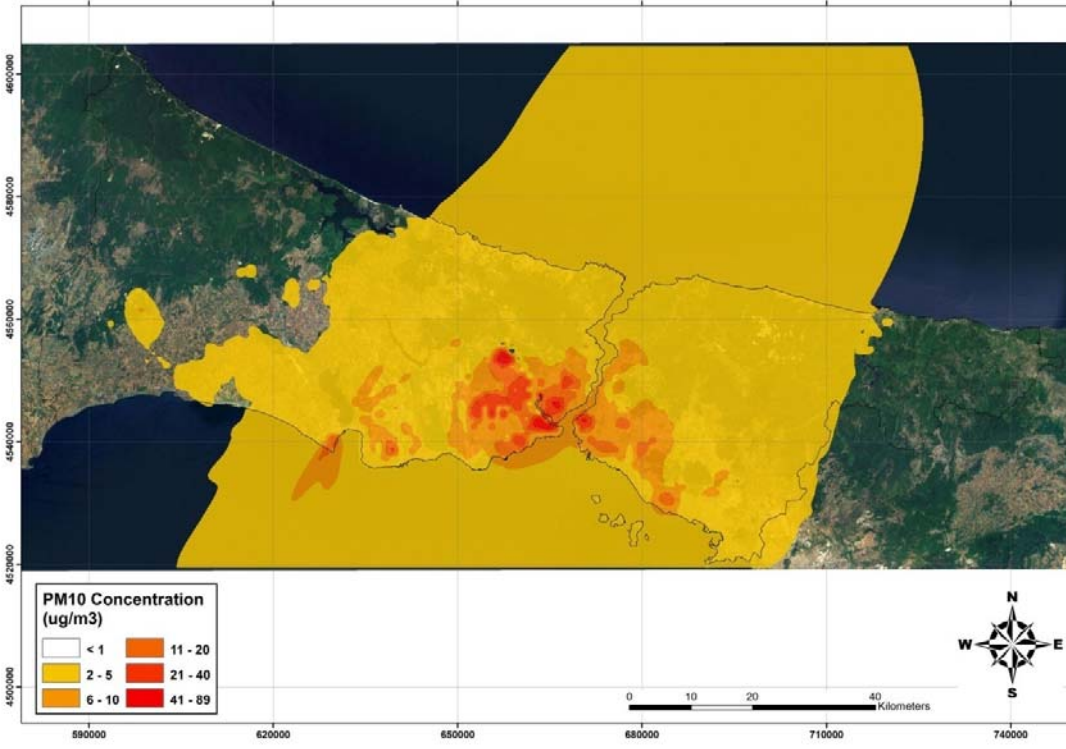
✓ İstanbul'daki hava kalitesini detaylı olarak gösterebilmek için haritalar hazırlanmıştır ve bu haritalar aşağıdaki periyotlarda ele alınmıştır

- Yıllık
- Kış sezonu
- Yaz sezonu
- Episodlar (2 ya da 3 gün için devam eden yüksek kirlilik durumları)

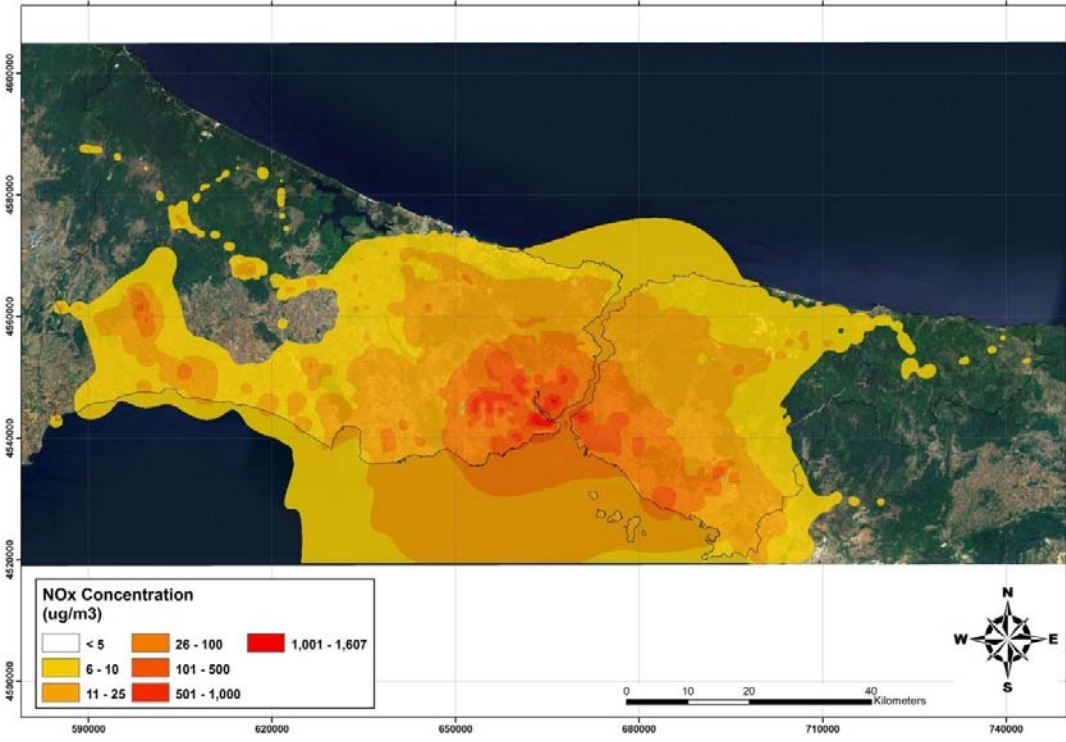
Bu haritaların bir kısmı aşağıdaki şekillerle örneklendirilmiştir:



Şekil2. Yıllık ortalama SO₂ konsantrasyonları (tüm kaynaklar), µg/m³



Şekil 3. Yıllık ortalama PM_{10} konsantrasyonları, $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Şekil4. Yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları (tüm kaynaklar), $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Model Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

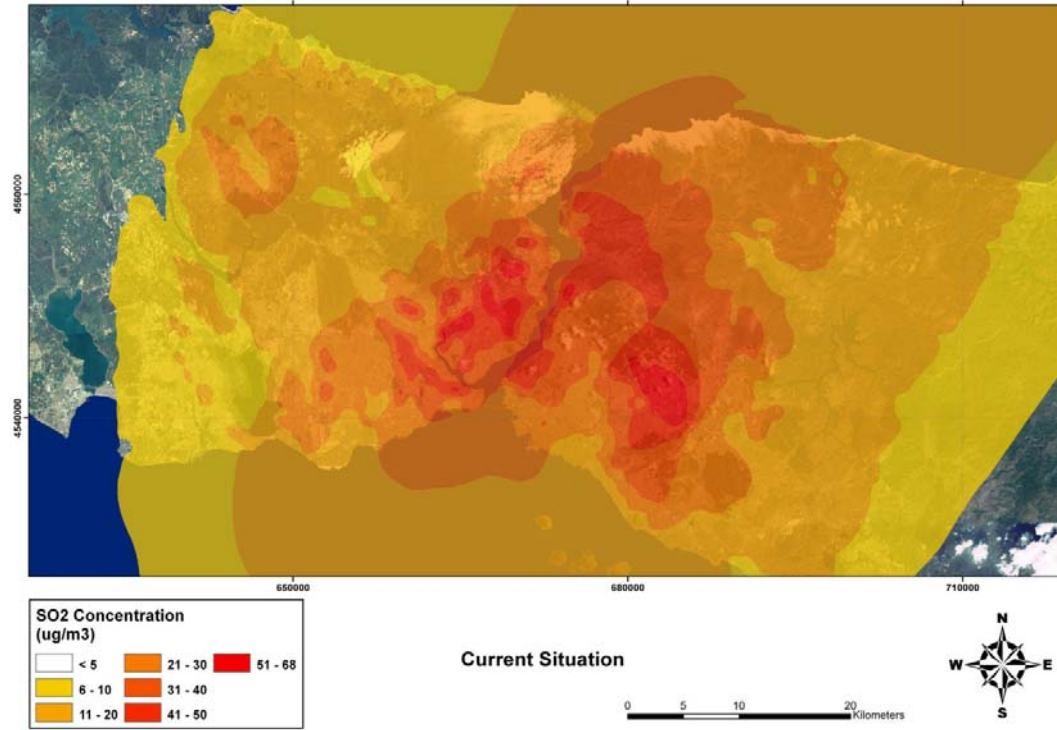
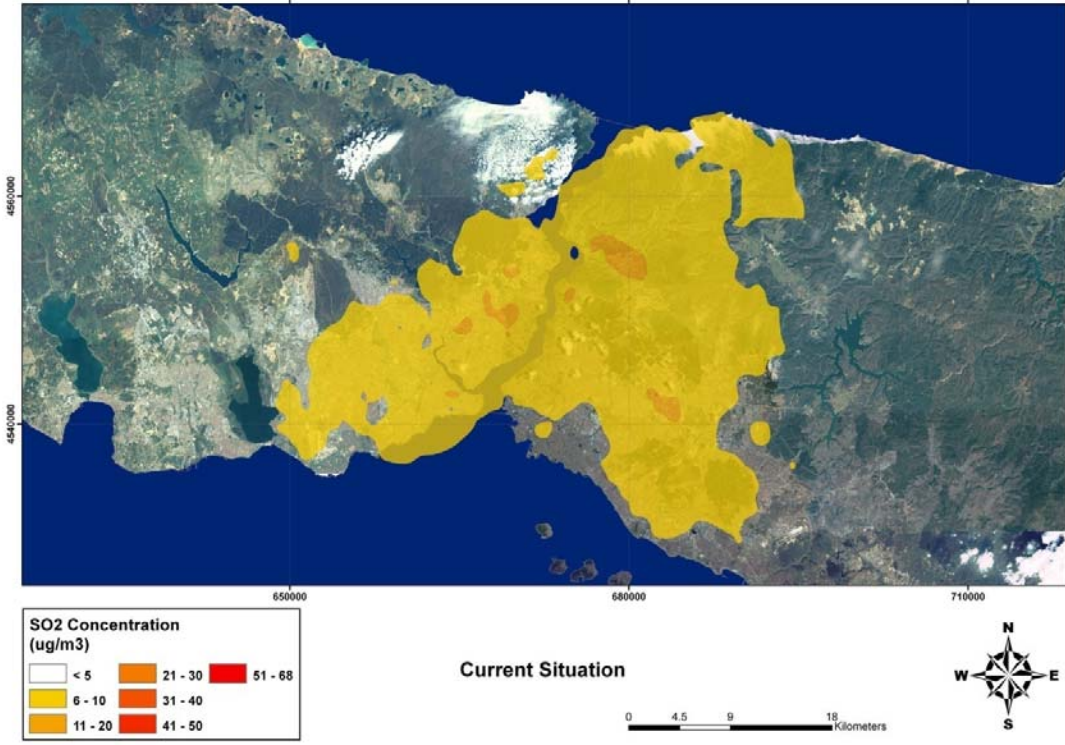
- ✓ Model tahminlerinin temsil edilebilirlik seviyesi gözlenen hava kalitesi değerleriyle karşılaştırılarak hesaplanmıştır. Bunun için, model tahminleri 10 hava kalitesi izleme istasyonundan elde edilen konsantrasyonlarla mukayese edilerek değerlendirilmiştir.
- ✓ Pek çok klasik istatistiksel yöntem (Standart sapma, minimum, maksimum, ortalama gibi) model performans değerlendirmesi için kullanılmıştır.
- ✓ Tahmin edilen ve ölçülen konsantrasyonların ortalamasının karşılaştırılması, PM₁₀ dışında diğer tüm kirletici tahminlerinin uyumunun yüksek olduğunu göstermektedir. PM₁₀ konsantrasyonu tahmini için toplam doğruluk %37 iken, NO_x, CO ve SO₂ konsantrasyonu tahminlerinin (d) toplamdaki doğruluğu ise sırasıyla %44, %57 ve %58 dir. Her bir ölçüm istasyonu ayrı olarak değerlendirildiğinde Ümraniye, Aksaray ve Üsküdar istasyonlarındaki tahminlerin doğruluğunun NO_x için %76, CO için %75, SO₂ için %67 ve PM₁₀ için %50 lik toplam doğruluk değerleriyle daha iyi olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Sarıyer İstasyonunda PM₁₀ ve SO₂ için doğruluk %39, CO için %41 olarak bulunmuştur. Tahminlerin belirsizliğinin iki farklı kaynaktan (emisyon hesaplamaları ve dağılım modeli) oluşabileceği not edilmelidir.

Model İçin Senaryolar

- ✓ Bu çalışmada son adım olarak, geliştirilen karar destek sisteminin kullanımını göstermek üzere İstanbul kentinin karar vericilerine örnek olabilecek çeşitli senaryolar geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem seçilen bir periyotta hava kirliliğindeki önemli değişikliklere neden olabilecek bir durumun sonucunun tahminine imkan sağlamaktadır. Bu durumu simüle etmek için 3 senaryo geliştirilmiştir.
- ✓ Birinci senaryodaki ana tema, İstanbul'da yerleşim bölgelerinde kullanılan yakıt değişimine ilişkin olarak doğal gaz tüketiminin azalmasıdır. Türkiye doğalgazını Rusya, Azerbaycan ve İran gibi komşu ülkelerden ithal etmektedir. Türkiye şimdiye kadar çoğu kez doğal gaz kriziyle karşı karşıya kalmıştır. Bu senaryonun amacı bir doğal gaz krizi

olması durumunda konutlarda kullanılan yakıt tipinin değişmesidir. Senaryoda kış sezonunda evlerde doğalgaz yerine %1 kükürt içerikli kömür kullanıldığı varsayılmaktadır. Senaryo sonuçları, kış sezonu boyunca şehrin hemen tüm bölgelerinde mevsimlik SO₂ konsantrasyonlarının arttığını göstermektedir (Resim 5). Maksimum konsantrasyon 20 µg/m³'ten 70 µg/m³'e çıkmaktadır. Bunun anlamı senaryodaki gibi bir durum gerçekleşirse konsantrasyonlar mevcut durumdan yaklaşık olarak 4 kat daha yüksek olmaktadır.

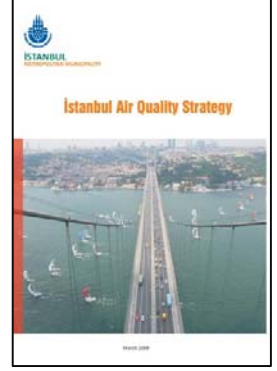
- ✓ İkinci senaryo Gaziosmanpaşa bölgesindeki taş ve kum ocaklarının faaliyetlerinin durdurulmasıdır. Bu tesisler yüksek PM₁₀ konsantrasyonuna neden olmaktadır. Bu senaryonun amacı bu faaliyetin mevcut İstanbul hava kalitesine etkisini görmektir. İkinci senaryo sonucu, Gaziosmanpaşa ve Büyükçekmece bölgelerinde (taş ocaklarının yakınında) bu tesislerinin faaliyetlerinin durdurulmasından sonra yüksek olan yıllık ortalama PM₁₀ konsantrasyonlarının (60-90 µg/m³) ortadan kalktığı görülmektedir.
- ✓ Üçüncü senaryo ise daha basittir. Çalışma alanındaki bütün tesisler çalışmalarına aynı şekilde devam ederken sadece yüksek SO₂ emisyonları olan bir büyük enerji tesisinin yakıtını fuel oil-6'dan doğalgaza çevirdiği kabul edilmektedir. Bu senaryonun amacı bu enerji tesisinin mevcut İstanbul şehir hava kalitesine etkisini belirlemektir. Üçüncü senaryonun modellenmesinden sonra enerji tesisinin yakınındaki bölgelerde günlük SO₂ konsantrasyonları azalmıştır. 22 Aralık 2007 tarihinde bölgede maksimum günlük SO₂ konsantrasyonu 1200 µg/m³ bulunmuş iken, enerji tesisinin yakıt değişimi yaptığı kabulünden (fuel oil-6 yerine doğalgaz) sonra bölgedeki konsantrasyonlar 100-500 µg/m³ arasında görülmüştür.



Şekil 5. Senaryo için kış mevsiminde SO₂ konsantrasyonlarının mevsimsel ortalaması (µg m⁻³)

Aşama 5 (Yönetim)

- ✓ Bu çalışma kapsamında Türkiye’de ilk defa büyük bir şehirde hava kalitesi yönetimi için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre İstanbul Büyükşehir Belediyesi gelecekte hava kalitesini daha da iyileştirmek için “İstanbul Hava Kalitesi Stratejisi” başlıklı bir eylem planı hazırlamıştır.



- ✓ İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı ilgili planlama bölümleriyle işbirliği halinde karar destek sistemini kullanmaya başlamıştır. Sistem yeni sanayi tesislerinin ruhsatlarının verilmeden önce olası etkilerinin belirlenmesinde kullanılabilecektir.

4. SONUÇLAR

- ✓ Bu tarz sistemler Avrupa’da orta ve büyük ölçekli şehirlerde kullanımda olmakla birlikte şehir hava kalitesi yönetimine uygun karar destek sistemleri Türkiye’de pek yaygın değildir. Bununla birlikte Türkiye’deki mevcut çalışmalar genellikle düşük mekansal çözünürlüklü olup, CBS ve idari veritabanının bütün avantajlarından faydalanmamaktadırlar.
- ✓ Sistemde CALPUFF modeli için gerekli olan meteorolojik verinin üretilmesinde CALMET meteorolojik programı kullanılmıştır. Kapsamlı bir emisyon envanterinin hazırlanması, hava kalitesi modellemesi, CBS kullanılarak hava kalitesi haritalaması ve hava kirliliği azaltımı için senaryo analizi bu sistemin bileşenleri olarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin ana bileşeni hava kalitesi modelidir ve bir Langrangian puff dağılım modeli olan CALPUFF hava kalitesi tahminleri için kullanılan başlıca modeldir İstanbul’da şehir hava kalitesi yönetimi için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

- ✓ Bu çalışmada geliştirilen karar destek sistemi çalışılan alanda herhangi bir yerde ve zamanda hava kalitesini belirlemek için gerekli yazılımlara kolaylıkla ulaşılmasını sağlamaktadır. Sistem hava kalitesi değişimine sebep olabilecek bir durumun sonuçları hakkında makul bir çalışma süresi içerisinde bir fikir sahibi olmayı sağlayacak bir araç olarak da geliştirilmiştir.