

ESKİŞEHİR İÇİN HAVA KİRLİLİĞİ ENVANTERİNİN HAZIRLANMASI VE CBS KULLANILARAK KİRLİLİK HARİTALARININ OLUŞTURULMASI

Hicran ÇINAR¹ (*), Tuncay DÖĞEROĞLU¹ (**), Ozan D. YAY¹,
Metin ALTAN², Berna YAZICI³, Can AYDAY², Serap KARA¹

¹Çevre Mühendisliği Bölümü, Müh.-Mim. Fakültesi, Anadolu Üniversitesi, İki Eylül Kampüsü, ESKİŞEHİR

²Uydu ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, İki Eylül Kampüsü, ESKİŞEHİR

³İstatistik Bölümü, Fen Fakültesi, Anadolu Üniversitesi, Yunusemre Kampüsü, ESKİŞEHİR

ÖZET

Bu çalışmada, Eskişehir merkez ilçe yerleşim bölgesi için, evsel ısınma, trafik ve endüstriyel yakıt kullanımından kaynaklanan emisyonların hava kirliliğine katkısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Emisyon envanterine esas olan çalışma alanı için mahalle bazında nüfus, ısıtma sistemi ve ısınma amaçlı yakıt tüketim özellikleri ile çalışma alanı için trafiğe kayıtlı araç sayıları, şehir içindeki ana arterlerdeki trafik akım yoğunluğu bilgileri ve sanayi tesislerinin yakıt tüketim miktarları ile ilgili veriler toplanmıştır. Toplanan bu veriler, özellikle yanmadan kaynaklanan kirletici bileşenlere (PM, SO₂, CO, VOC, NO_x) ait emisyon faktörleri ile birlikte değerlendirilerek, ilgili nokta, çizgi ve alan kaynaklar için kütle emisyon hızı değerleri hesaplanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak kirlilik haritaları oluşturulmuştur.

Bu çalışmada dikkate alınan kaynaklardan atmosfere atılan kirleticilerin yıllık toplam miktarlarının 405 ton.yıl⁻¹ (VOC) ile 9147 ton.yıl⁻¹ (CO); kişi başına miktarlarının 0,8 kg.kişi⁻¹.yıl⁻¹ (VOC) ile 18,12 kg.kişi⁻¹.yıl⁻¹ (CO) ve birim alan başına tanımlanan miktarlarının ise 3,29 ton.km⁻².yıl⁻¹ (VOC) ile 74,3 ton.km⁻².yıl⁻¹ (CO) arasında değiştiği görülmüştür.

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the contribution of residential heating, traffic and industrial fuel consumption to the air pollution in the urban Eskişehir. Being related to the inventory studies, data about population, residential fuel consumption, heating system characteristics for every district and data about registered counts of vehicles, traffic counts on the main roads of urban traffic and industrial fuel consumption rates for the study area were acquired. By using these data together with the suitable emission factors for pollutants, particularly evolved by fuel combustion (PM, SO₂, CO, VOC, NO_x), emission mass flow rates were calculated for the investigated point, line and area sources. Pollution maps of the residential/industrial areas have been generated by using GIS.

The annual amounts of the pollutants emitted from the relevant sources varied between a range of 405 tons.year⁻¹ (VOC's) and 9 147 tons.year⁻¹ (CO). Additionally, the results have been interpreted in terms of per capita and per area basis. In this case, the data ranged from 0.8 kg.capita⁻¹.year⁻¹ (VOC's) to 18.12 kg.capita⁻¹.year⁻¹ (CO), and from 3.29 tons.km⁻².year⁻¹ (VOC's) to 74.3 tons.km⁻².year⁻¹ (CO).

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Hava kirliliği, emisyon envanteri, emisyon faktörü, CBS, haritalandırma

*hcinar@anadolu.edu.tr , ** tdoverog@anadolu.edu.tr

GİRİŞ

Çoğunluğu fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan birincil hava kirleticileri (partikül maddeler (PM), kükürt dioksit (SO_2), karbon monoksit (CO), uçucu organik bileşikler (VOC) ve azot oksitler (NO_x)), özellikle kış aylarında, meteorolojik faktörlerin de etkisiyle ve topoğrafik koşullara bağlı olmak üzere, kentlerde ciddi hava kalitesi problemlerine yol açmaktadır. Hızlı nüfus artışına paralel olarak artan ısınma amaçlı enerji tüketimi, ulaşım araçlarının yaygınlaşması veya sanayide demode olmuş teknolojik sistemlerin kullanılması sözkonusu hava kirliliği sorununun kaynağını oluşturmaktadır.

Hava kirliliği probleminin çözülmesi ve hava kalitesinin korunması için alınacak önlemler, öncelikle mevcut durumun belirlenmesi ve farklı kaynakların probleme katkısının yöresel bazda tespit edilmesine bağlıdır. Envanter hazırlama yoluyla hava kalitesinin belirlenmesi, yeterli ve güvenilir verinin toplanmasının mümkün olduğu durumlarda, kirlilik kaynaklarının ayrı ayrı değerlendirilmesine olanak sağlaması ve ucuz bir yöntem olması açısından sık başvurulan bir yöntemdir.

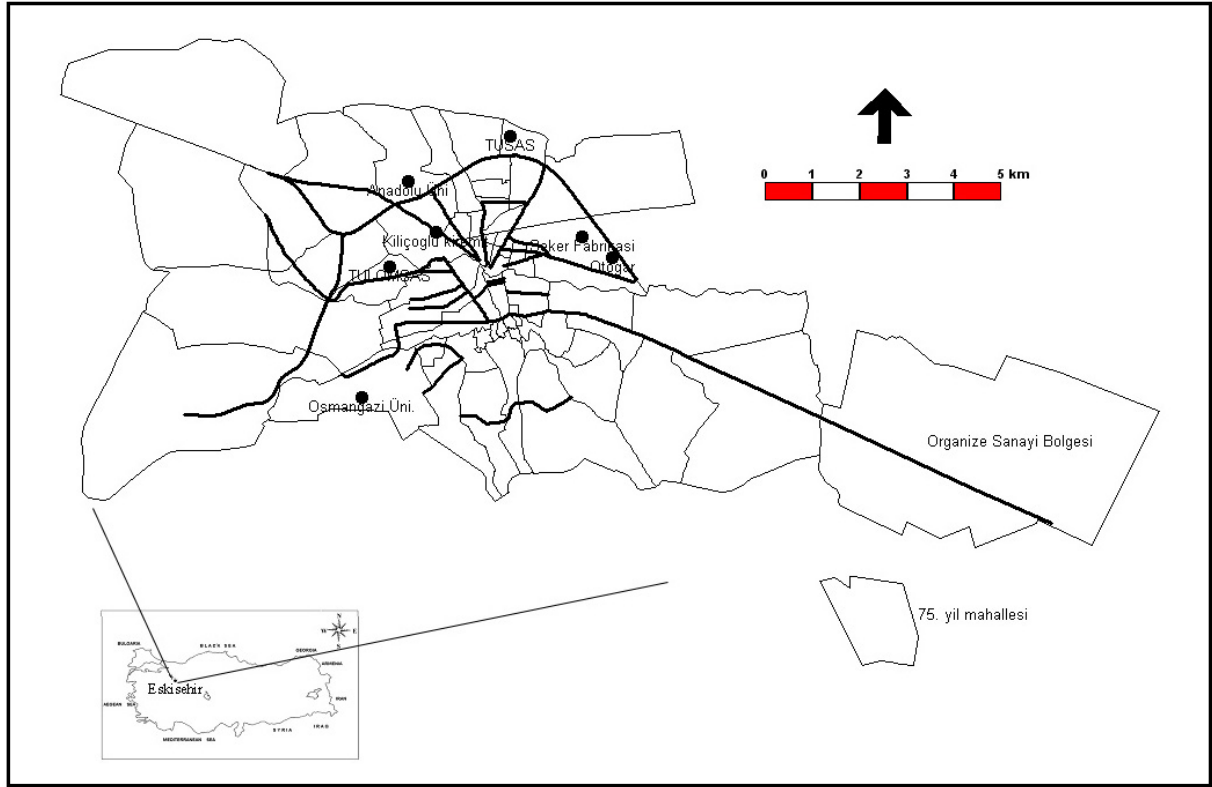
Bilindiği gibi, uluslararası, bölgesel ve yerel ölçeklerde hazırlanmış çok sayıda emisyon envanteri çalışması bulunmaktadır. Uluslararası büyük organizasyonlarca (CEC-CORINAIR, ECE-EMEP, OECD-IPCC vd.) farklı alanlar için hazırlanmış emisyon envanterlerinin yanısıra bazı ülkelerdeki kent ve bölgesel ölçekli uygulamalar (De Leeuw et al., 2002; Tsilingiridis et al., 2002; Khatami et al., 1998; Azad and Kitada, 1998) da bulunmaktadır.

Emisyon envanteri hazırlanması konusunda, ülkemizde, sınırlı sayıda da olsa, bazı envanter çalışmaları bulunmaktadır. Bunların arasında EUROTRAC/GENEMIS projesi kapsamında ulusal ölçekte gerçekleştirilen çalışma (Elbir vd., 2000), Ege Bölgesi'ni içine alan bölgesel ölçekli envanter çalışması (Elbir vd., 2001) ve yöresel ölçekte Ankara (Atımtay vd., 1995) ve İzmir (Elbir, 1997) için gerçekleştirilmiş çalışmaları saymak mümkündür. Eskişehir kenti için de evsel ısınma kaynaklı hava kirliliği (Öztürk, 2001) ve VOC'lar (Atasoy, 2001) ile ilgili hazırlanmış emisyon envanteri çalışmaları bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında da, Eskişehir Merkez İlçe'ye bağlı Büyükşehir, Odunpazarı ve Tepebaşı Belediyeleri sınırlarındaki 65 mahalleyi (101 km^2) ve Organize Sanayi Bölgesi'ni (22 km^2) kapsayan 123 km^2 'lik çalışma alanındaki bazı antropojenik kaynaklardan (evsel ısınma ve endüstriyel yakıt tüketimi ile trafikten) yayılan yanma kaynaklı hava kirleticileri için emisyon envanteri hazırlanmıştır.

MATERYAL VE METOD

Envanter çalışmasına konu olan çalışma alanı (Şekil 1) ve bu alan içinde dikkate alınan hava kirletici kaynaklar, alan kaynaklar (konutlar ve organize sanayi bölgesi), çizgi kaynaklar (şehir içindeki ana kara ulaşımı yolları) ve nokta kaynaklar (şehir içinde kalan ve dağınık halde bulunan sanayi ve sanayi dışı kuruluşlar) olmak üzere üç kategoride incelenmiştir. Bu kaynaklardan havaya salınan kirletici emisyonlarının hesaplanması için gerekli veriler, 2002 yılı baz alınarak elde edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

Nüfus Bilgileri

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi'nden alınan mahalle bazındaki 1997-2000 yılı resmi nüfus sayım değerleri ve İller Bankası Yöntemi birlikte kullanılarak 2002 yılı için nüfus projeksiyonu yapılmıştır. Çalışma alanı için 2002 yılı toplam nüfusu 504724 kişi olarak bulunmuş ve emisyon hesaplamalarında bu değer kullanılmıştır. Alanda nüfus yoğunluğunun 429 kişi.km^{-2} (Zincirlikuyu) ile $39222 \text{ kişi.km}^{-2}$ (Mamure) arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Evsel Isınma Kaynaklı Emisyonlar

Eskişehir ilinde evsel ısınma amaçlı olarak kömür ve 1997 yılından bu yana doğalgaz kullanılmaktadır. Konutlarda fuel-oil, LPG gibi yakıtların kullanımı ihmal edilebilecek kadar az olduğundan diğer yakıt türleri hesaplamalara dahil edilmemiştir.

ESGAZ (Eskişehir Şehiriçi Doğalgaz Dağıtım A.Ş.)'dan alınan verilere göre, ısınma amaçlı olarak çalışma alanındaki 65 mahalleden 16'sında yalnız kömür, 8'inde yalnız doğalgaz ve 41'inde de kömür ve doğalgaz birlikte kullanılmaktadır.

Çalışma alanındaki toplam 175280 konuttan 95542'si (%54'ü) doğalgaz ile ısınmaktadır. Doğalgaz kullanılan konutların 39202'si (%41) bireysel ısıtma sistemi ve 56340'ı (%59) kazanlı sistem kullanmaktadır. Yine ESGAZ'ın verilerine göre, 2002 yılında Eskişehir merkez ilçede evsel ısınma amaçlı toplam 105667582 m^3 doğalgaz kullanılmıştır. Mahalle bazında doğalgaz kullanım oranlarından da söz konusu çalışma alanında toplam 242002 kişinin (nüfusun %48'i) doğalgaz ile ısındığı hesaplanmıştır.

Eskişehir'de doğalgaz dışında, evsel ısınma amaçlı olarak antrasit cinsi olan Sibiryaya ve Güney Afrika kökenli ithal kömür ve Soma linyiti olmak üzere iki cins kömür kullanılmaktadır.

Çalışma alanında yakılan katı yakıtların tüketim düzeyleri hakkında 2002 yılına ait güvenilir resmi kayıtlar bulunamadığından, Mahrukatçılar Derneği ve ESGAZ'dan alınan 2000 yılı yakıt tüketim verileri kullanılarak, o yıl için kişi başına düşen yıllık ısınma ihtiyacı enerji eşdeğeri hesaplanmış ve bu değer 2002 yılı için de geçerli olduğu kabul edilmiştir. 2002 yılı için kömür kullanımından kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında bu değer esas alınmıştır. Kömür kullanan mahallelerdeki ısıtma sistemlerinin dağılımı ile ilgili veriler Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, Nazım Plan ve Stratejik Planlama Merkezi'nde 2000 yılı numarataj çalışması kapsamında yapılmış anket sonuçlarından elde edilmiştir.

Evsel ısınma amaçlı tüketilen yakıt miktarı ile ilişkili emisyonların hesaplanmasında kullanılacak emisyon faktörlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan literatür araştırmaları sonucunda, konu ile ilgili çalışmaların sonuçlarının yöresel bazda yakıt ve yakıcı özellikleri ile yakma şekline bağlı olarak büyük farklılıklar gösterdiği anlaşılmıştır. Ancak, emisyon faktörlerinin oluşturulması konusunda ülkemizde sınırlı sayıda çalışma (Durmaz vd., 1994) bulunmaktadır. Sobalı sistemler için, 1993 yılında, NATO-TU-AIRPOLLUT projesi kapsamında (Durmaz vd., 1994) üretilmiş olan emisyon faktörlerinin kullanılmasının, Türkiye'nin gerçek koşullarını temsil etmesi açısından uygun olacağı düşünülmüştür. Ancak, Durmaz ve arkadaşlarının (1994) doğalgaz kullanılan kazanlı sistemler için üretmiş olduğu CO ve HC emisyon faktörleri ile EPA ve CORINAIR emisyon faktörü değerleri arasında büyük farklılık bulunmaktadır. Bu durum, muhtemelen, Ankara'da doğalgaz kullanılmaya başlandığı dönemde kömür ve fuel oil kazanlarının uygun olmayan şekilde doğalgaz kazanlarına dönüştürülmesi nedeniyle meydana gelen oldukça verimsiz yanmanın sonuçlarını yansıtmaktadır. Bu nedenle de yalnızca kömür ve doğalgazın sobalarda yakılması durumu için Durmaz ve arkadaşlarının (1994) çalışmasındaki emisyon faktörü değerleri kullanılmış, kazanlı yakma sistemleri için ise EPA (1998) emisyon faktörü değerleri esas alınmıştır. Bu çalışma kapsamında, evsel ısınma amaçlı yakıt kullanımından kaynaklanan hava kirlletici emisyonlarının hesaplamalarında kullanılan emisyon faktörleri Tablo 1'de, toplu olarak gösterilmiştir.

Sanayi Tesislerinde Yakıt Yakılması

Sanayi tesislerinden atmosfere verilen kirlletici miktarlarının hesaplanmasında, yalnızca yakıt kullanımına bağlı kirlilik dikkate alınmış, doğrudan üretim işlemlerinden kaynaklanan kirlilik ile ilgili bir hesaplama bu çalışma kapsamına dahil edilmemiştir. Ülkemizin doğalgaz kullanan ilk sanayi bölgesi olan Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi (EOSB)'nde (bölgenin hemen hemen tamamında doğalgaz kullanılmakta, diğer yakıtların kullanımı ihmal edilebilecek düzeyde bulunmaktadır) yeralan her bir sanayi kuruluşunun doğalgaz tüketim miktarları Eskişehir Sanayi Odası'ndan temin edilmiştir. Bu verilere göre, 2002 yılında EOSB'de toplam 182944914 m³ doğalgaz tüketilmiştir. Sanayiden kaynaklanan emisyonların hesabında, EPA (1998) emisyon faktörleri (Tablo 2) kullanılmıştır.

Trafik Kaynaklı Emisyonlar

Çizgisel kaynaklar için yapılan emisyon envanteri çalışmasında sadece motorlu karayolu taşıtlarından kaynaklanan hava kirliliği incelenmiş ve bunun için iki farklı yaklaşım birlikte kullanılmıştır.

Birinci yaklaşımda araç sayılarına ve farklı araç türleri için belirlenen yıllık katedilen toplam mesafe değerlerine göre çalışma alanının tümü için genel trafik kaynaklı emisyon hızları hesaplanmıştır.

Tablo 1. Evsel ısınma amaçlı yakıt kullanımı ile ilgili emisyon faktörleri (EPA, 1998 ve Durmaz vd., 1994)

Yakıt türü Yakma Sistemi Kirlenici	Doğalgaz		İthal Kömür		Soma Linyiti	
	Sobalar (g.m ⁻³)	Kazanlar (g.m ⁻³)	Sobalar (kg.ton ⁻¹)	Kazanlar (kg.ton ⁻¹)	Sobalar (kg.ton ⁻¹)	Kazanlar (kg.ton ⁻¹)
PM*	0,138	0,122	2	5	3	40
SO ₂	0,017	0,01	4	25,93	12	24,37
CO	3,650	0,641	38	0,3	25	137,5***
VOC**	0,645	0,125	0,2	4	0,5	0,015
NO _x	1,58	1,507	2,3	1,5	2,1	2,9

* Kazanlı sistemler için PM emisyonlarının hesaplanmasında, doğalgaz için toplam (filtre edilebilir+yoğuşabilir) partikül madde, kömürler için ise uygun veriler bulunmadığından yalnızca filtre edilebilir partikül madde emisyon faktörleri kullanılmıştır. ** Kazanlı sistemler için VOC emisyonlarının hesaplanmasında, doğalgaz için CH₄+VOC, ithal kömür için CH₄ ve Soma linyiti için TNMOC değerleri alınmıştır. *** Soma linyiti için CO emisyon faktörü değeri bulunmadığından bitümlü-yarı bitümlü kömürler için verilen değer kullanılmıştır.

Tablo 2. Sanayi tesislerindeki doğalgaz tüketimi için kullanılan emisyon faktörleri (EPA,1998)

Yakma Tesisi Isıl Kapasitesi, (MW)	PM* (g.m ⁻³)	SO _x (g.m ⁻³)	CO (g.m ⁻³)	VOC (g.m ⁻³)	NO _x (g.m ⁻³)
< 29	0,122	0,01	1,344	0,125	3,04
> 29	0,122	0,01	1,344	0,125	1,6

* PM emisyonlarının hesaplanmasında, doğalgaz için toplam (filtre edilebilir+yoğuşabilir) partikül madde emisyon faktörleri kullanılmıştır.

Eskişehir Emniyet Müdürlüğü, Trafik Şube Müdürlüğü'nden alınan verilere göre 2002 yılı Aralık ayı sonu itibariyle Eskişehir İli'nde, 112869'u il merkezinde ve 13516'sı ilçelerde olmak üzere toplam 126385 araç mevcuttur. Bu durumda, resmi kayıtlara göre, Eskişehir İli'ndeki araçların % 89,3'ü merkez ilçede bulunmaktadır. Ticari taksiler ve taksi dolmuşlar dışındaki her araç türünün il merkezindeki sayısı, bu orandan yola çıkılarak bulunmuştur. Ticari taksi ve taksi dolmuş sayıları Eskişehir Ulaştırma Ana Planından (2003) elde edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan çalışma alanı için toplam araç sayıları Tablo 3'de gösterilmektedir.

Bir aracın günlük katettiği mesafe, o aracın türüne ve kullanım amacına göre farklılık gösterir. Birinci yaklaşım ile emisyonların hesaplanması için gerekli günlük katedilen mesafe değerleri, Eskişehir için hazırlanan ulaştırma ana planından yararlanılarak ve araç kullanıcıları ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Resmi araçların hafta sonları ve resmi tatillerde trafikte olmadıkları düşünülerek, bu araçlar için yıllık katedilen mesafeler 250 gün.yıl⁻¹ üzerinden hesaplanmıştır. Diğer araçların yılın 365 günü trafikte olduğu düşünülmüştür.

İkinci yaklaşımda ise Eskişehir için hazırlanan Ulaştırma Ana Planı (2003) kapsamında kent merkezinde belirlenen 22 ana arterde ve 8 sayım istasyonunda, hafta içi sabah ve akşam doruk saatlerde yapılan araç sayımlarının sonuçları kullanılarak, çalışma alanındaki trafiğin önemli kısmını üzerinde taşıyan ana caddeler (Şekil 1) için emisyon hızları hesaplanmıştır. Bu yaklaşımda, gün içindeki trafiğin %13'ünü temsil eden trafik yoğunluğunun doruk seviyede olduğu 18:00-19:00 saatlerindeki sayım sonuçları yardımıyla günlük araç sayıları bulunmuş, 365 gün.yıl⁻¹ üzerinden yıllık araç sayısına geçilmiştir. İkinci aşamada ise CBS programı (Geomedia Professional 4.0) kullanılarak hesaplanan cadde uzunluklarından bu caddeler üzerinde yıllık katedilen mesafe değerleri belirlenmiştir.

Tablo 3. Eskişehir merkez ilçe için karayolu ulaşımında kullanılan motorlu araç sayıları*

Araç Türü	Resmi	Hususi	Ticari	Toplam
Otomobil	571	61731	168 Taksi + 487 Taksi Dolmuş	62957
Minibüs	218	862	424	1504
Otobüs	327	13	806	1146
Kamyonet	452	9723	911	11086
Kamyon	795	1800	4737	7332

* 2002 yılı itibariyle geçerli değerlerdir.

Tablo 4. Trafik kaynaklı hava kirliliği için emisyon faktörleri (CORINAIR)

Araç Özellikleri				Emisyon Faktörü, g.km ⁻¹					
Araç Türü	Yakıt Türü	Araç Ağırlığı (ton)	Ort. Hız (km.s ⁻¹)	PM	SO ₂ ^{***}	CO	VOC	NO _x	Yakıt Tüketimi
Otomobil	Benzin	< 3,5	50	0,029*	0,111	1,688	0,135	0,314	55,74
	LPG	< 2,5	50	0,029**	0,006	1,135	0,163	0,313	46,37
	Dizel	< 2,5	50	0,043	0,664	0,282	0,057	0,579	47,48
Minibüs	Dizel	< 3,5	40	0,07	0,964	0,393	0,13	1,138	68,86
Otobüs	Dizel	> 3,5	40	0,52	3,904	3,783	0,359	13,169	278,9
Kamyonet	Dizel	< 3,5	40	0,07	0,964	0,393	0,13	1,138	68,86
Kamyon	Dizel	3,5 - 7,5	40	0,335	1,212	2,876	1,576	2,93	86,58
		7,5 - 16	40	0,66	2,449	2,876	1,576	6,055	174,9

* PM için CORINAIR'da emisyon faktörü değeri bulunmadığından Atımtay ve arkadaşları (1995)'in çalışmasında kullanılan emisyon faktörü değeri esas alınmıştır. ** LPG ile çalışan araçlar için spesifik bir PM emisyon değerine rastlanmadığı için benzinli araçlar için verilen PM emisyon faktörü değeri esas alınmıştır. *** SO₂ emisyon faktörleri yakıttaki kükürtün tamamının SO₂'ye dönüştüğü varsayımıyla (2*(%S)*Yakıt Tüketimi (g.km⁻¹) stokiyometrik formülünden) hesaplanmıştır.

İki yaklaşımda da, yıllık katedilen mesafe değerleri emisyon faktörleri ile çarpılarak trafik kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, araçların tükettikleri yakıt cinsi ile ağırlıklarına göre sınıflandırıldığı ve araç hızının fonksiyonu şeklinde verilen CORINAIR veri tabanı emisyon faktörleri (Tablo 4) kullanılmıştır. Emisyon faktörlerinin hesaplanması için gerekli hız değerleri araç kullanıcıları ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiş, şehir içi trafiğinde otomobiller için 50 km.saat⁻¹ ve dizelli araçlar için 40 km.saat⁻¹ ortalama hız kabul edilmiştir. Yine emisyon faktörlerinin belirlenebilmesi için, yapılan görüşmeler sonucunda otomobillerin önemli kısmının EURO 1 direktiflerine uygun ve 1992 yılı sonrası üretilmiş olduğu ve silindir hacimlerinin 1400-2000 cm³ aralığında olduğu belirlenmiştir.

İlgili kişi ve kurumlardan alınan bilgiler ışığında, çalışma alanındaki hususi otomobillerin %80'inin benzin ve %20'sinin LPG kullandığı, ticari taksilerin ve taksi dolmuşların ise %80'inin LPG, %20'sinin motorin kullandığı varsayılmıştır. Kamyonların da %60'ının 3,5-7,5 ton ve %40'ının 7,5-16 ton ağırlıklarında olduğu varsayılmıştır.

Nokta Kaynaklar

Kent merkezinde ve yerleşim bölgesi sınırları içinde bulunan bazı büyük sanayi kuruluşları (Eskişehir Şeker Fabrikası, Kılıçoğlu Kiremit, TULOMSAŞ, TUSAŞ) ve sanayi dışı kuruluşların (Eskişehir Otogarı, Osmangazi Üniversitesi ve A.Ü. Yunus Emre Kampusu) yaydıkları hava kirlleticilerinin emisyon hızları da Atasoy'un çalışmasında (2001) verilen 1999 yılı doğalgaz tüketim değerlerinin 2002 yılı verileri ile hemen hemen benzer olduğu dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Haritalandırma

Birinci yaklaşım kullanılarak hesaplanan trafik kaynaklı emisyonlar, Eskişehir Ulaştırma Ana Planı (2003) kapsamında gerçekleştirilen ve mahallelerarası yapılan günlük yolculuk sayılarını veren anketin sonuçlarına göre mahallelere dağıtılmıştır. Buna göre, 64 mahalle için hesaplanan km^2 başına düşen evsel ısınma ve trafikten kaynaklanan emisyon hızı değerleri Goldensoftware Surfer 7.0 kullanılarak eş potansiyel eğrileri oluşturulmuş, oluşturulan kirlilik haritaları envanter sonuçlarının yorumlanmasında kullanılmıştır. Şehirden uzaklığı nedeniyle enterpolasyon sonuçlarında büyük oranda sapmaya neden olacağından 75. yıl mahallesinin emisyon değerleri eş potansiyel eğrilerinin oluşturulmasında kullanılmamıştır.

SONUÇLAR

Evsel ısınma amaçlı kömür kullanımından kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında gerekli olan kişi başına yıllık ısınma enerjisi ihtiyacı 2000 yılı için $4760722 \text{ kcal.kişi}^{-1}.\text{yıl}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 2002 yılı için evsel ısınma amaçlı doğalgaz tüketim miktarının 2000 yılı verileriyle kıyaslandığında çok fazla değişmediği ve ayrıca, 1998-2000 yılları arasında kömür kullanılan mahallelerde ısınma ihtiyacının %63-82 oranında ithal kömür ile karşılandığı gözönüne alındığında, 2002 yılı için bu değer %75 alınarak kömür tüketimi 144 000 ton ithal kömür ve 69 000 ton linyiti olarak bulunmuştur.

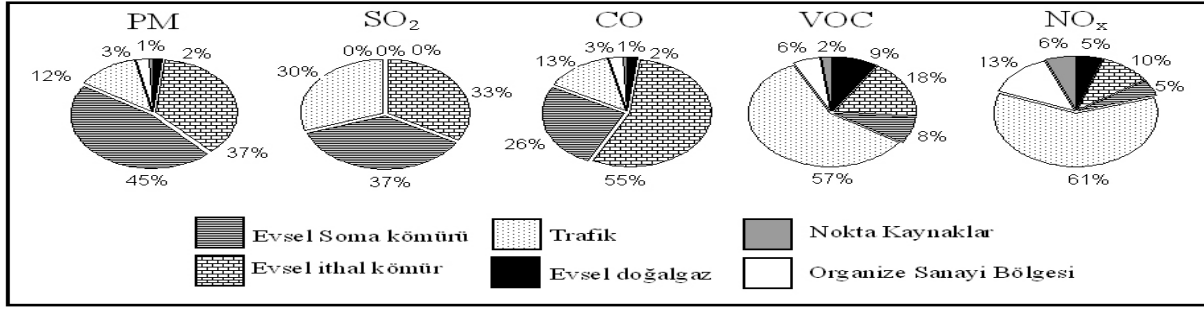
Evsel ısınma ve sanayi tesislerinde yakıt kullanımı ile nokta kaynak olarak gösterilen kent merkezindeki sanayi ve sanayi dışı kuruluşlarda yanmadan kaynaklanan toplam emisyonlar Tablo 5’de, trafik kaynaklı emisyonlar ise Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 5. Alan ve nokta kaynaklar için hesaplanan emisyon hızı değerleri (ton.yıl^{-1})

Kirletici Kaynak	Kirletici	PM	SO ₂	CO	VOC	NO _x
Evsel Toplam		741	1721	7601	139	636
	Doğalgaz	14	1	198	36	162
	İthal kömür	322	820	5067	71	323
	Soma linyiti	406	900	2337	32	150
Organize Sanayi Bölgesi		22,3	1,8	245,9	22,9	400,8
Nokta Kaynaklar		7,8	0,6	85,6	8,0	193,6

Tablo 6. Çizgi kaynaklar için hesaplanan emisyon hızı değerleri (ton.yıl^{-1})

	1. Yaklaşım					2. Yaklaşım				
	PM	SO ₂	CO	VOC	NO _x	PM	SO ₂	CO	VOC	NO _x
Otomobil	10	34	556	51	114	3	9	160	14	32
Minibüs	2	29	12	4	35	2	27	11	4	32
Otobüs	47	356	345	33	1201	6	46	45	4	156
Kamyonet	14	193	78	26	227	1	16	7	2	19
Kamyon	36	132	223	122	324	8	29	48	26	70
TOPLAM	110	744	1214	235	1901	20	127	270	51	308



Şekil 2. Kirletici emisyonların kaynaklara göre dağılımı

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kirletici emisyonların kaynaklara göre dağılımının verildiği Şekil 2'den de görüldüğü üzere, evsel ısınmada kullanılan ithal kömür ve Soma linyiti tüketimi PM, SO₂ ve CO emisyonlarının meydana gelmesinde önemli paya sahiptir. Trafik ise en çok VOC ve NO_x emisyonlarının oluşumunda ön plana çıkmaktadır. Şekil 2'de dikkat çekici olan bir diğer husus da tüm kirleticiler için sanayi kaynaklı ve evsel ısınma amaçlı doğalgaz kullanımından kaynaklanan emisyonların oranlarının diğer kaynaklara göre önemli ölçüde az oluşudur. Burada, doğalgazın, temiz yakıt olma özelliği bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Kirlilik dağılımının yakıt tüketimi ile ilişkilendirilmesi amacı ile, Şekil 3 ve 4'de sırasıyla evsel ısınma amaçlı kömür ve doğalgaz tüketimlerinin çalışma alanı içindeki dağılımları verilmiştir. Şekil 5 ve 6 ise sırasıyla nüfus ve trafik yoğunluğu dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 7-11'de sırasıyla PM, SO₂, CO, VOC ve NO_x kirleticileri için ton.km⁻².yıl⁻¹ cinsinden hesaplanmış emisyon yoğunluğu değerlerinin çalışma alanındaki coğrafi dağılımı verilmektedir. Bütün haritaların ortak özelliği kirletici emisyonlarının şehrin nüfus ve trafik yoğunluğunun fazla olduğu noktalarında yoğunlaştığına işaret etmeleridir.

Toplam emisyon hızları ile birim alan ve kişi başına tanımlanan kirletici emisyon yoğunluk değerleri dikkate alınarak hazırlanan kirlilik haritaları incelendiğinde, her bir kirleticinin toplam çalışma alanı içindeki lokal dağılımının yorumlanması için; nüfus ve nüfus yoğunluğu bilgilerinin yanısıra, toplam, kişi başına ve birim alan başına yakıt tüketimi ve yolculuk bilgilerinin (Bkz.Tablo 7) de birlikte kullanılmasının gerekli olduğu açıktır.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Evsel ısınma, endüstride yakıt tüketimi ve trafikten kaynaklanan hava kirleticilerinin dikkate alındığı envanter çalışmalarının literatürdeki sonuçlarına bakıldığında, kirleticilerin kaynaklarına bağlı dağılımında doğal olarak farklılıklar bulunmaktadır. Bölgenin coğrafi konumu, ısınma ihtiyacı düzeyi, endüstriyel gelişmişlik seviyesi, özellikle enerji yoğun tesislerin çokluğu, evsel ısınma ve endüstride kullanılan yakıt türleri, bu farklılığın ortaya çıkmasında önemli rol oynayan faktörlerdir.

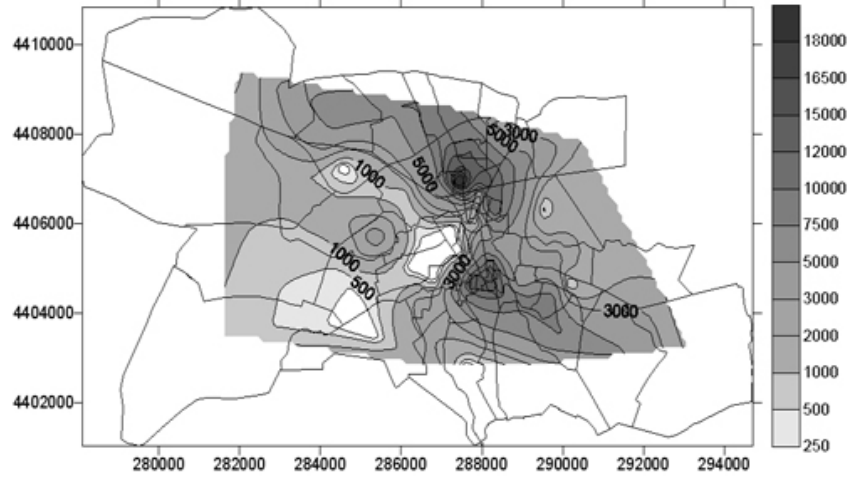
Tablo 7. Çalışma alanı içinde yıllık kirletici emisyonlarının lokal bazda ekstrem değerleri

Kirletici		Ton kirletici.yıl ⁻¹		Ton kirletici.km ⁻² .yıl ⁻¹		Kg kirletici.kişi ⁻¹ .yıl ⁻¹	
		Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
PM	Emisyon	0,47	68,6	1,21	92,21	0,24	3,08
	Mahalle Adı	İhsaniye	Emek	Zincirlikuyu	Mamure	Akarbaşı	Güllük
	Etkili Parametre Değeri	1146 ⁽¹⁾ 12 ⁽²⁾	26805 ⁽¹⁾ 21814 ⁽²⁾	429 ⁽⁴⁾ 313,9 ⁽⁵⁾	39222 ⁽⁴⁾ 676,3 ⁽⁵⁾	0 ⁽⁷⁾	814 ⁽⁷⁾
SO ₂	Emisyon	2,45	188,93	3,09	195,3	1,01	11,94
	Mahalle Adı	İhsaniye	Emek	Zincirlikuyu	Güllük	Kırmızıtoprak	Akcami
	Etkili Parametre Değeri	1146 ⁽¹⁾ 12 ⁽²⁾	26805 ⁽¹⁾ 21814 ⁽²⁾	429 ⁽⁴⁾ 313,9 ⁽⁵⁾	26369 ⁽⁴⁾ 21459 ⁽⁵⁾	11,71 ⁽⁷⁾	717,3 ⁽⁷⁾
CO	Emisyon	5,2	790,5	3,2	772	2,72	35,58
	Mahalle Adı	İhsaniye	Emek	Zincirlikuyu	Güllük	Kırmızıtoprak	Akcami
	Etkili Parametre Değeri	1146 ⁽¹⁾ 12 ⁽²⁾	26805 ⁽¹⁾ 21814 ⁽²⁾	429 ⁽⁴⁾ 313,9 ⁽⁵⁾	26369 ⁽⁴⁾ 21459 ⁽⁵⁾	11,71 ⁽⁷⁾	717,3 ⁽⁷⁾
VOC	Emisyon	0,46	17,17	0,32	40,5	0,34	2,42
	Mahalle Adı	Şarkıye	Emek	Zincirlikuyu	İstiklal	Cunudiye	Akcami
	Etkili Parametre Değeri	1116 ⁽¹⁾ 539 ⁽³⁾	26805 ⁽¹⁾ 23234 ⁽³⁾	429 ⁽⁴⁾ 422 ⁽⁶⁾	21156 ⁽⁴⁾ 104881 ⁽⁶⁾	0,32 ⁽⁸⁾	6,02 ⁽⁸⁾
NO _x	Emisyon	3,50	117,45	1,94	316	2,48	19,01
	Mahalle Adı	Hayriye	Vişnelik	Zincirlikuyu	İstiklal	Fatih	Akcami
	Etkili Parametre Değeri	1299 ⁽¹⁾ 676 ⁽³⁾	20785 ⁽¹⁾ 35970 ⁽³⁾	429 ⁽⁴⁾ 422 ⁽⁶⁾	21156 ⁽⁴⁾ 104881 ⁽⁶⁾	0,23 ⁽⁸⁾	6,02 ⁽⁸⁾

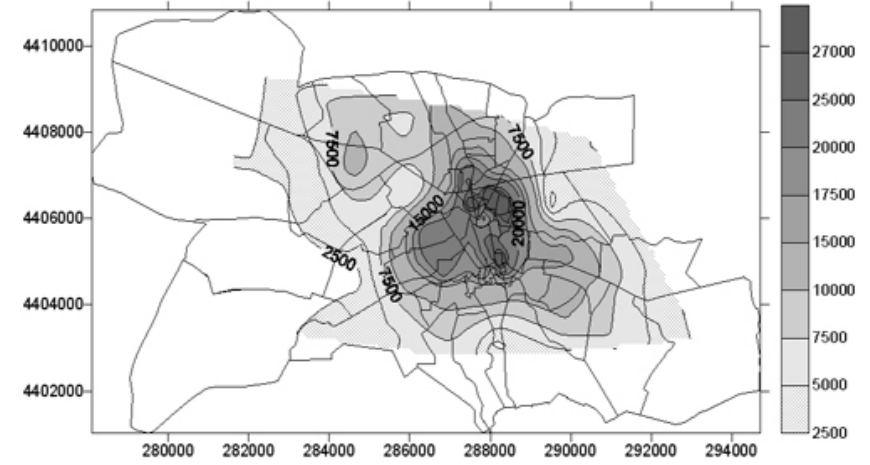
Emisyon miktarlarını etkileyen faktörler, birimleri ve minimum-maksimum aralıkları: ⁽¹⁾ Nüfus, kişi (861-26805), ⁽²⁾ Kömür tüketimi, ton.yıl⁻¹ (0-21814), ⁽³⁾ Yolculuk sayısı, yolculuk.gün⁻¹ (539-35970), ⁽⁴⁾ Nüfus Yoğunluğu, kişi.km⁻² (429-39222), ⁽⁵⁾ Kömür tüketimi, kg.km⁻².yıl⁻¹ (0-21459), ⁽⁶⁾ Yolculuk sayısı, yolculuk.km².gün⁻¹ (422-104881), ⁽⁷⁾ Kömür tüketimi, kg.kişi⁻¹.yıl⁻¹ (0-814), ⁽⁸⁾ Yolculuk sayısı, (0,23-6,02) yolculuk. kişi⁻¹.gün⁻¹

Bilindiği gibi, bazı çalışmalarda, trafikten kaynaklanan SO₂ kirliliğinin katkısının önemsiz olduğu ilk yaklaşımıyla SO₂ bileşeni hesaplamalara dahil edilmemektedir. Bu bileşenin dikkate alındığı çalışmalarda (De Leeuw et al., 2002) trafikten kaynaklanan SO₂'nin toplam SO₂ emisyonlarına %45'e varan oranlarda katkıda bulunabildiği görülmüştür. Bu çalışmada da trafik kaynaklı SO₂'nin toplam SO₂ emisyonlarına %30 oranında katkıda bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, endüstride ağırlıklı olarak doğalgaz, evsel ısınmada ise %54 oranında doğalgazın kullanılıyor olması ve bu kaynaklardan gelen SO₂ düzeylerinin çok yüksek olmaması nedeniyle, trafik kaynaklı SO₂'nin toplam dağılım içinde ihmal edilemeyecek düzeyde görünmesine yol açmıştır.

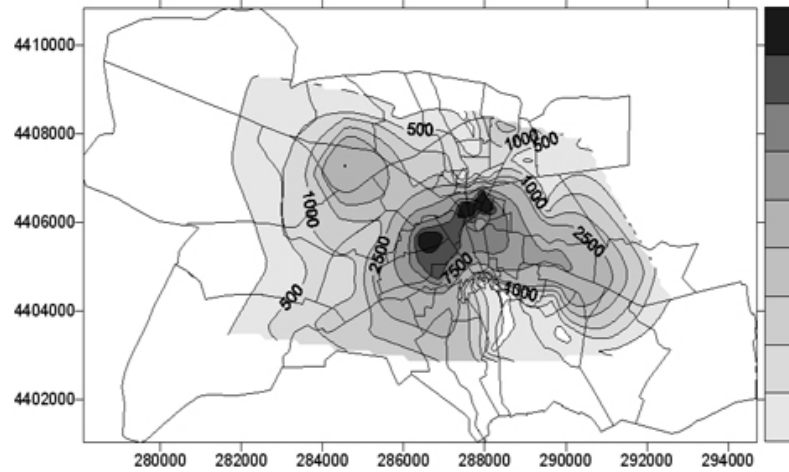
Çalışmanın devamında verilerin CBS tabanında oluşturulan 1x1 km²'lik gridlere ayrılan 20x30 km²'lik çalışma alanı içinde kirlilik dağılım haritalarının oluşturulması ve arazi durumu, topoğrafik özellikler, nüfus yoğunluğu, trafik durumu gibi veriler ile ilişkilendirilerek değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, bazı meteorolojik veriler yardımıyla hesaplanan atmosferik karışma yüksekliği değerleri kullanılarak kirleticiler için tahmini atmosferik derişim değerlerinin hesaplanması ve bu değerlerin ölçüm verileriyle karşılaştırılması planlanmaktadır.



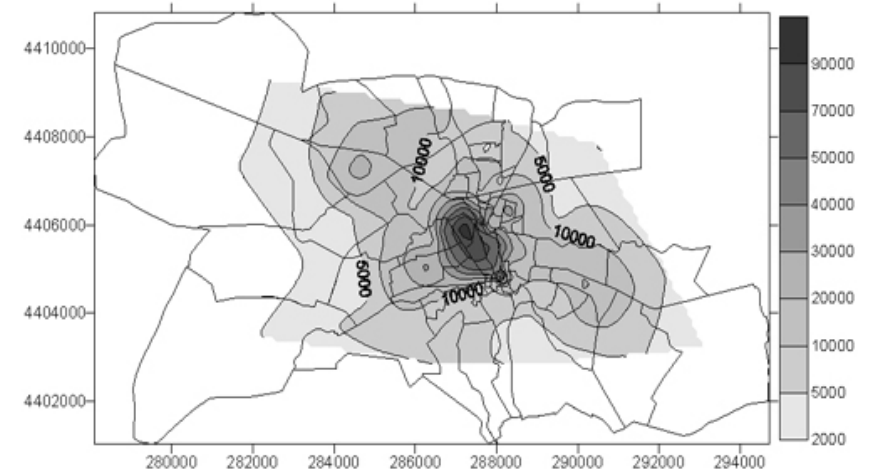
Şekil 3. Çalışma alanındaki kömür kullanımının dağılımı
(ton kömür.km⁻².yıl⁻¹)



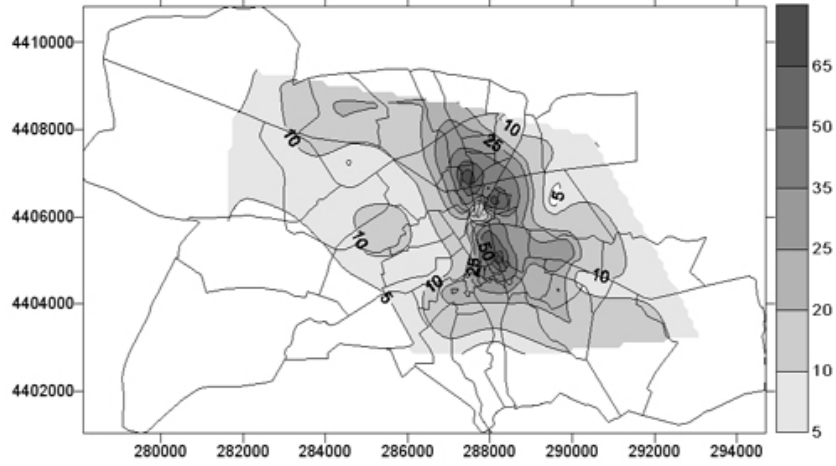
Şekil 5. Çalışma alanındaki nüfus dağılımı (kişi.km⁻²)



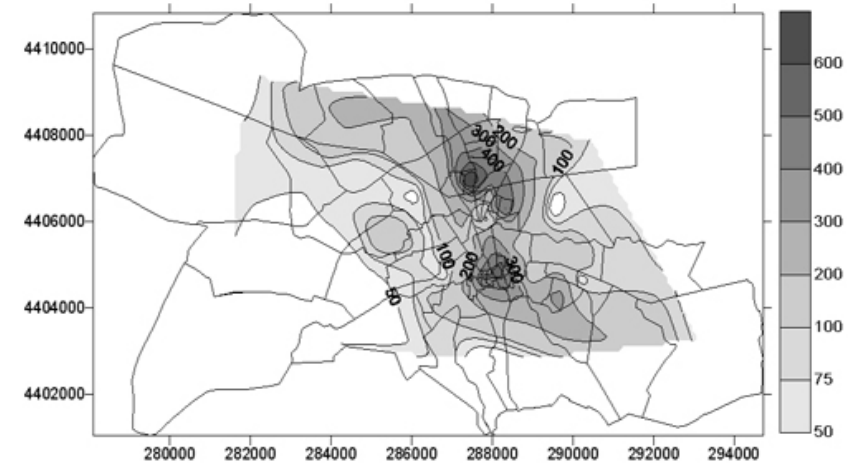
Şekil 4. Çalışma alanındaki doğalgaz kullanımının dağılımı
(10³ m³ doğalgaz.km⁻².yıl⁻¹)



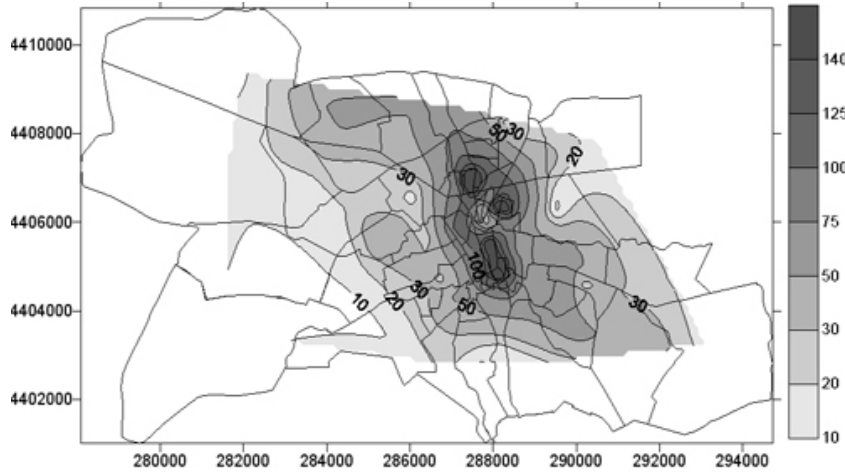
Şekil 6. Çalışma alanındaki günlük yolculukların dağılımı
(yolculuk.km⁻².gün⁻¹)



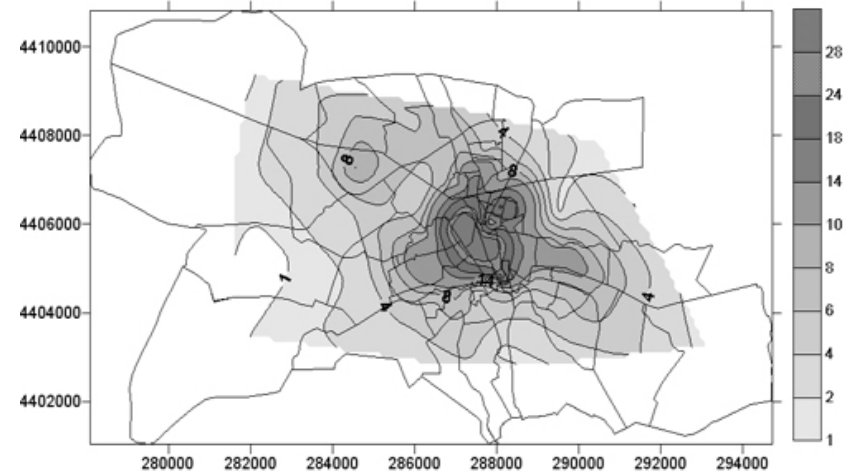
Şekil 7. Çalışma alanındaki PM emisyonlarının dağılımı
(ton.km².yıl⁻¹)



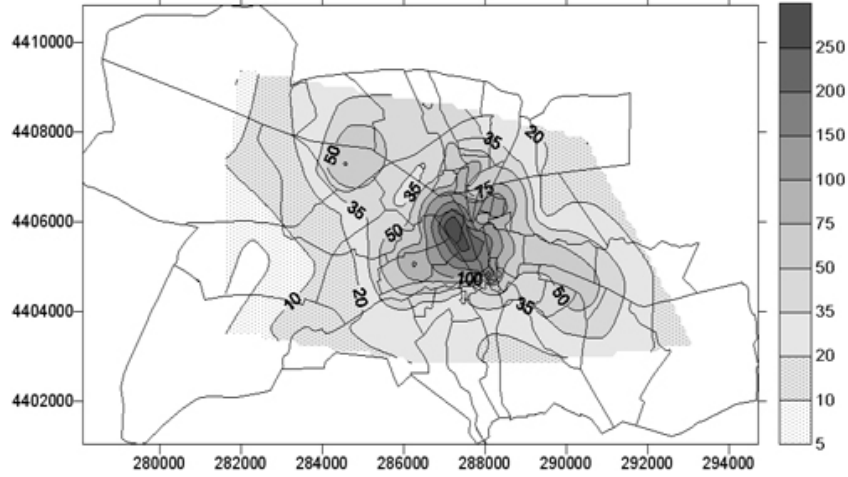
Şekil 9. Çalışma alanındaki CO emisyonlarının dağılımı
(ton.km².yıl⁻¹)



Şekil 8. Çalışma alanındaki SO₂ emisyonlarının dağılımı
(ton.km².yıl⁻¹)



Şekil 10. Çalışma alanındaki VOC emisyonlarının dağılımı
(ton.km².yıl)



Şekil 11. Çalışma alanındaki NO_x emisyonlarının dağılımı (ton.km⁻².yıl⁻¹)

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 020237 No'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında ele alınan araştırma çalışmalarının bir kısmını içermektedir. Söz konusu projenin finansal desteğini sağlayan Anadolu Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Atasoy, E., Eskişehir'de uçucu organik bileşiklerin (VOC) emisyon potansiyelinin belirlenmesi, yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 2001.

Atımtay, A., Güllü, E., Yetiş, Ü., Ankara hava kirliliği envanter çalışması, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü III. Ulusal Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, 376-387, 1995.

Azad, A.K., Kitada, T., Characteristics of the air pollution in the city of Dhaka, Bangladesh in winter, *Atmospheric Environment*, 32(11), 1991-2005, 1998.

De Leeuw, F.A.A.M., Van Zantvoort, E.D.G., Sluyder, R.J.C.F., Van Pul, W.A.J., Urban air quality assessment model: UAQAM, *Environmental Modelling and Assessment*, 7, 243-258, 2002.

Durmaz, A., Ercan, Y. ve Boran, A., Ankara şehrinde ısıtma tesislerinden kaynaklanan emisyonların envanteri ve yakıt tahsis politikalarının ısıtma maliyeti ve emisyonlarına etkisi, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü II. Ulusal Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Eskişehir, 17-36, 1994.

Durmaz, A., Ercan, Y., Sivrioğlu, M., Türkbaş, S., Özbay, M., Gülgeç, M., Ankara'da kullanılan ısıtma sistemlerinin ısı verimleri ve emisyon faktörleri, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü II. Ulusal Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Eskişehir, 353-371, 1994.

Elbir, T., Preparation of emission inventories for use in determination of air quality at different scales, Ms. Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University, İzmir, 1997.

Elbir, T., Müezzinoğlu, A., Bayram, A., Evaluation of some air pollution indicators in Turkey, *Environment International*, 26, 5-10, 2000.

Elbir, T., Müezzinoğlu, A., Bayram, A., Seyfioğlu, R., Demircioğlu, H., Ege Bölgesi hava kirletici emisyon envanteri, *DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 3, Sayı 2, 21-27, 2001.

EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guide Book, 3rd Edition, http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR3/en/tab_content_RLR. European Environmental Agency (EEA), son ziyaret edilme tarihi:30 Mayıs 2003.

EPA, Compilation of Air Pollution Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume 1, <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01>, son ziyaret edilme tarihi: 30 Mayıs 2003.

Eskişehir Ulaştırma Ana Planı Mevcut Durum Değerlendirme Raporu, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, 2003.

Khatami, A., Ponche,J.L., Jabry, E., Mirabel,Ph., The air quality management of the region of Great Casablanca (Morocco). Part 1: Atmospheric emission inventory for the year 1992, *The Science of the Total Environment*, 209, 201-216, 1998.

Öztürk, P., Eskişehir’de konutsal ısıtma sistemleri, enerji kullanımı ve emisyon kaynaklarının mahalleler bazında dağılımlarının haritalandırılması, yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 2001.

Tsiliniridis, G., Zachariadis, T., Samaras, Z., Spatial and temporal characteristics of air pollutant emissions in Thessaloniki, Greece: investigation of emission abatement measures, *The Science of the Total Environment*, 300, 99-113, 2002.