



BAZI METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN KÜTAHYA'DAKİ HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİSİ

Ramazan KÖSE* & Oğuzhan ERBAŞ**

Özet

Ülkedeki hızlı nüfus artışı, çarpık ve hızlı kentleşme, gelişen sanayi ve ilgisizlik nedenleriyle dayanılmaz boyutlara ulaşan çevre sorunları içinde, hava kirliliği önemli bir yer teşkil etmektedir. Hava kirliliğinin oluşumunda; kullanılan yakıt kalitesi, yakma teknikleri, taşıtlar ve endüstriyel kuruluşlar ile kirlenmenin dağılımında etkili olan meteorolojik-topografik şartların etkisi bulunmaktadır. Bu çalışmada; son yıllarda birinci derecede hava kirliliğinin yaşandığı Kütahya il merkezine ait bazı meteorolojik parametreler ile SO₂ ve partikül madde (PM) derişimleri arasındaki istatistiksel ilişkiler araştırılmıştır. Geliştirilen çoklu regresyon denklemlerinde; SO₂ ve PM derişimleri bağımlı değişken olarak, meteorolojik parametreler (sıcaklık, basınç, rüzgar hızı, bulut yoğunluğu, bağıl nem, günlük güneş ışınları kalori toplamı, yağış miktarı) ve bir gün önceki derişimler bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kütahya, Meteorolojik Faktörler, Hava Kirliliği, SO₂, PM

1. GİRİŞ

Gün geçtikçe artan nüfus ve ihtiyaçların temini için yapılan faaliyetlerin, hava kalitesi üzerine olumsuz etki yaptığı bütün bilim çevrelerince kabul edilmektedir. Bir yandan insanlığın sınırsız ihtiyaçlarını karşılamak için teknoloji yaratan beyinler, bir yandan da ihtiyaçlarını karşıladıkları insanların yaşamını tehdit eden ve son yüzyılda dünyamızda toplu ölümlere de neden olan hava kirliliğini azaltma, önleme çabası içine girmişlerdir. Bu durum; hava kirliliğinin ulusal bir problem olmaktan

* Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya
rkose@dumlupinar.edu.tr

** Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya
oerbas@dumlupinar.edu.tr

*** Bu çalışma, 1998/07 no'lu proje olarak DPÜ Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir

çıkıldığını, ülkelerin artık ortak önlemler alması gerektiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bir ülkenin sanayisi veya sebep olduğu hava kirliliğinin, bir başka ülkenin problemi haline dönüşmesi söz konusudur. İngiltere sanayisinin sebep olduğu hava kirliliğinin İskandinav ülkelerinde asit yağmura sebep olması bunun en bariz örneğidir. Hava akımları sayesinde kirletici gazlar bir ülkeden diğerlerine taşınmaktadır. İsviçre'deki SO₂ birikiminin % 88'inin "ithal birikim" olduğu öne sürülmektedir. Bu rakam Norveç için % 84, Avusturya için % 82 iken bir ada devleti olan İngiltere için % 8'e düşmektedir[1,2].

Hava kirlenmesinin ana kaynağı yanma olaylarıdır. Hava kirleticiler bu kaynaklardan atmosfere deşarj edildiklerinde, atmosferin yapısal özelliklerinin kontrolüne girer ve bu suretle yaşanan hava kirliliği problemi yüzey topografyası ve meteorolojik değişkenlerin kontrolünde gelişir. Dolayısıyla hava kirletici emisyonların yer aldığı atmosfer tabakasını tanımak, atmosferde sıcaklık-basınç-nem ilişkileri ile atmosferik kararlılık durumlarını etkileyen faktörleri incelemek; rüzgarlar, basınç ve cephe sistemleri ile duman davranışına yerel meteorolojinin etkilerini belirlemek önem kazanmıştır. Ancak bu şekilde, hava kirliliğini kontrol etmek amacıyla model kurmak, gelecekte alacağı değerleri kestirmek ve böylelikle emisyonlara müdahale edebilen bir kontrol ortamı oluşturmak mümkündür[3-7].

Kirleticilerin atmosferde yatay ve düşey yönde dağılımlarını etkileyen faktörler içinde en önemlisi meteorolojik olaylardır. Hava kirliliği olaylarının meteorolojik faktörlere bağlı olarak açıklanması, yani yöresel hava kirliliği potansiyelinin tespiti ve tahmininde ise, özellikle meteorolojinin dallarından biri olan klimatoloji ilminin esasları ve rasatları önem taşır[8,9]. Kütahya, son yıllarda önemli bir hava kirliliği sorunu ile karşı karşıyadır. Bu sorunun bir kısmı kentin topografik yapısı ve meteoroloji koşulları ile bu koşullara uygun olmayan yapılaşma düzeni gibi değiştirilemeyecek faktörlere, bir kısmı ise; özellikle merkezdeki aşırı trafik ve konutlarda kullanılan yakıt özellikleri ve yakma sistemleri gibi optimize edilebilecek faktörlere bağlıdır.

Bu çalışmada; Kütahya'da hava kirliliğine etki eden faktörlerin tespiti ve azaltılmasına yönelik önlemlerin belirlenmesi amacıyla, 1989-2001 yılları arasında Kütahya il merkezine ait bazı meteorolojik parametreler ile günlük olarak ölçülen SO₂ ve partikül madde derişimleri arasındaki istatistiki ilişkiler araştırılmış ve çoklu regresyon denklemleri geliştirilmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

Modern hayatın getirdiği sorunlardan birisi olan hava kirliliğinin kaynakları genelde; yakma sistemleri, taşıtlar ve endüstriyel kuruluşlardır. Yakma sistemleri ve taşıtlardan kaynaklanan kirlenme; SO_x, NO_x, partikül madde, CO ve yanmamış hidrokarbonlar, endüstriyel kuruluşlardan atmosfere atılan kirleticiler sektöre bağlı olarak değişmektedir. Endüstriden kaynaklanan hava kirliliği, yöresel olarak çok önemli olabilmektedir. Ancak endüstriyel hava kirliliği tesise özgün kirlenme olduğu için, ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir[10].

Kütahya ilinde ilk imar planı 1966 yılında hazırlanmıştır. O tarihte hazırlanan imar planı ihtiyaca cevap verememiş, sonraki 20 yıl içerisinde imar planı yapımı hususunda gereken çabanın gösterilmemesi, aynı dönemde tüm yurttan yoğun bir

şekilde yaşanan köyden kente göç hadisesi ve bunun getirdiği yoğun kaçak yapılaşmanın oluşması sonucunda, plansız bir kentleşme meydana gelmiştir[11]. Kütahya'da imar planı çalışmalarında; cadde tasarımı ve bina yüksekliklerinin, hakim rüzgarın önünü kesmeyecek şekilde yapılması hususu düşünülmendiğinden, oluşan kirliliğin dağılma şansı azalmaktadır. Ayrıca şehir merkezinde, yatay hava hareketlerinin az olması inversiyon hareketlerinin oluşmasına ve havada partiküllerin ve diğer kirleticilerin uzun süre askıda kalmasına neden olmaktadır. Buna; meteorolojik şartları dikkate almayan yakma rejimleri, verimsiz yakma sistemleri, bilinçsiz ve deneyimsiz operatörler, düşük kaliteli yakıtların kullanılması, denetim yetersizliği, yetki karmaşası, binalardaki yalıtım yetersizliği, sıcak suyu kömürden elde etme ve iç mekanları aşırı ısıtma alışkanlığı gibi faktörler de eklenince hava kirliliği ciddi boyutlara erişmektedir.

Bu çalışmada öncelikli olarak; kullanılan yakıt ve yakma sistemleri ile bina özellikleri ve buna bağlı olarak kritik noktaların belirlenmesi amacıyla, 418 adet (resmi ve özel) kaloriferli binada, yönetici ve ateşçilere dönük anket çalışması yapılmıştır. Kritik noktaların belirlenmesinden sonra, Kütahya'da bulunan, 7 kamu binasında (15 adet kazanda) belirli periyotlarda baca gazı emisyon ölçümleri (300 ölçüm) MRU-95/3CD analiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir[12]. Cihaz; bir numune alma borusu, toz ve nem için kullanılan iki özel filtre, ayrı ayrı ölçüm sensörleri, ısıçift (NiCr-Ni) ve ekrandan oluşmaktadır.

Daha sonra, İl Sağlık Müdürlüğüne 1989-2001 yılları arasında yapılmış olan hava kalitesi ölçümleri toplanmış, ölçüm yerleri, sayısı ve ölçülen parametreler belirlenmiş, "Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği"ne göre değerlendirmesi yapılmış ve ölçümlerin bölgeyi temsil edip edemeyeceği incelenmiştir[13,14]. Böylece, 1989-2001 yılları arasında kış sezonunda (Ekim-Nisan), SO₂ ve partikül madde için yaklaşık 40000 dolayında veri değerlendirilmiştir. Ayrıca; hava kirlenmesi oluşumunda kaynaklar kadar önemli olup, insan tarafından kontrolü mümkün olmayan bir etken olan meteorolojik özelliklerin belirlenmesi amacıyla, 62 yıllık meteorolojik verilerin ortalamaları ile 2000 yılı Ağustos ayı ile 2001 yılı Mart ayları arası, günlük ölçülen meteorolojik verilerin değerlendirilmesi yapılmıştır[15].

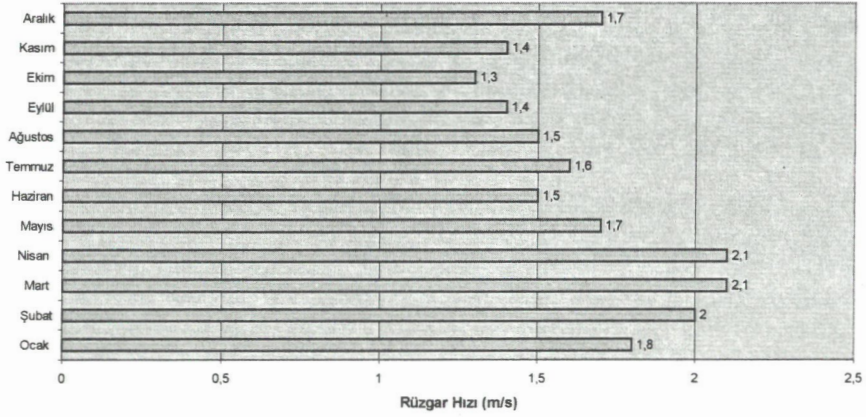
Çalışmada, meteorolojik parametrelerle hava kirletici bileşenlerin ölçüm değerleri arasındaki ilişkilerin araştırılmasında SPSS (İstatistik Paket Programı) kullanılmıştır. Geliştirilen çoklu regresyon denklemlerinde, SO₂ ve PM derişimleri bağımlı değişken olarak, meteorolojik parametreler (sıcaklık, basınç, nem, bulutluluk, yağış, rüzgar hızı, güneşlenme süresi, güneş ışını şiddeti) ile bir gün önceki derişimler bağımsız değişken olarak seçilmiş ve matematiksel modelleri oluşturulmuştur[16,17].

3. BULGULAR

3.1. Kütahya İlinin İklim ve Meteorolojisi

Kütahya, Ege bölgesinin İç Batı Anadolu bölümü içerisinde yer almakta olup Ege, Marmara ve İç Anadolu bölgelerinin birçok coğrafik özelliklerini içermektedir. Kütahya, Ege bölgesi ile İç Anadolu bölgesi arasında geçiş iklimine (yan karasal) sahiptir. Kışları soğuk ve yağışlı, yazları sıcak ve kurak, baharları ise değişken ve bol yağışlıdır. Geçiş iklimi olması nedeniyle, iklim yıldan yıla farklılık arz

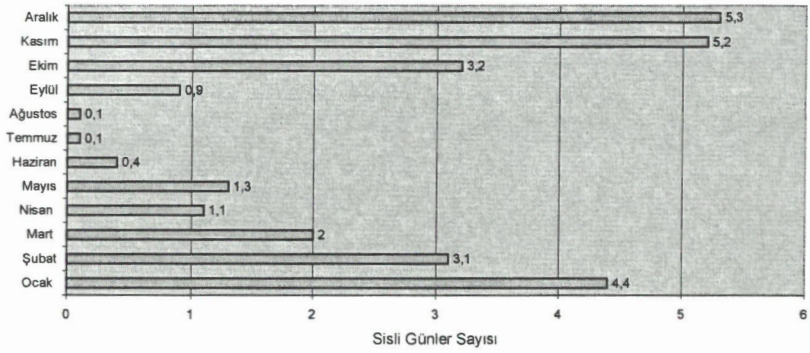
etmektedir. Kütahya ilinde hakim rüzgar kuzeyden (N) esmekte olup, yıllık ortalama rüzgar hızı 1.7 m/s, bugüne kadar yapılan ölçümlere göre maksimum rüzgar hızı ise kuzey-batıdan (NW) esen 27.6 m/s'lik hızdır[15].



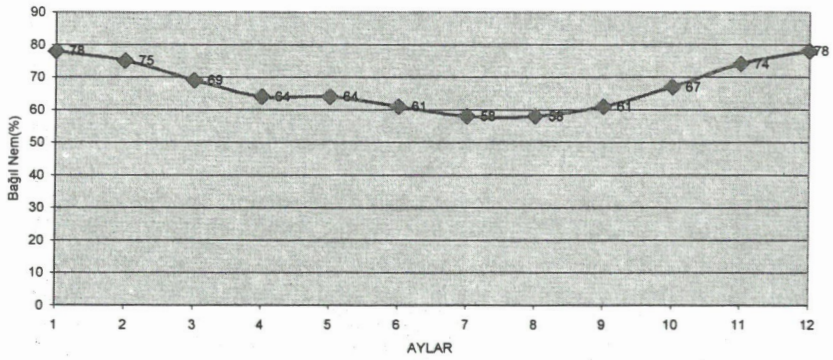
Şekil 1. Kütahya İlinde 57 Yıllık Ortalama Rüzgar Hızının Aylara Göre Değişimi

Bu çalışmada esas alınan periyotlar (Ekim - Nisan) için, rüzgar frekansları esas alınarak hazırlanan rüzgar gülleri incelendiğinde, kuzeybatı rüzgarlarının (karayel) etkili olduğu görülmektedir. İlgili dönemler için ortalama rüzgar hızı değerlerinin verildiği Şekil 1 incelendiğinde, değerlerin 1.3 ile 2.1 m/s arasında değiştiği görülmektedir.

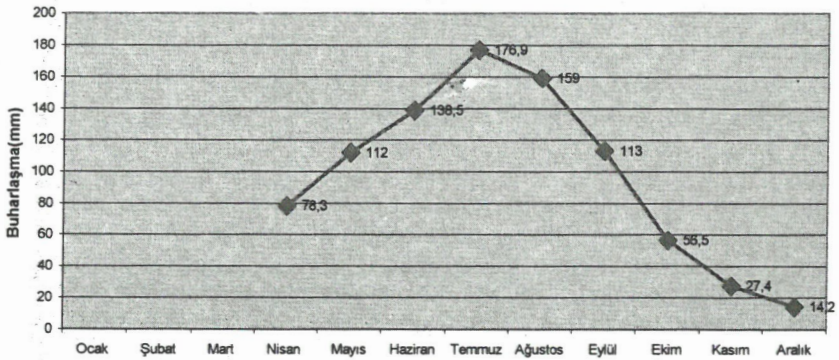
İlin dört mevsimini kapsayan yıllık ortalama sıcaklık değeri 11.2 °C olup, kış aylarında, özellikle sabah saatlerinde yoğun sis görülmekte, ayrıca sürekli olmamakla beraber bazı gecelerde de sis oluşmaktadır. Şekil 2, Kütahya Meteoroloji Müdürlüğü'nden temin edilen verilere göre 62 yıl süresince karşılaşılan ortalama sisli günleri göstermektedir. Benzer şekilde 62 yıllık verilere göre oluşturulan; Şekil 3 ortalama bağıl nemi, Şekil 4 ise maksimum ve minimum sıcaklık değerlerini, Şekil 5'de ortalama buharlaşma miktarlarını vermektedir. Şekil 4 incelendiğinde, Kütahya ilinde ölçülen maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinin sırasıyla 38.8 ve - 28°C olduğu görülmektedir.



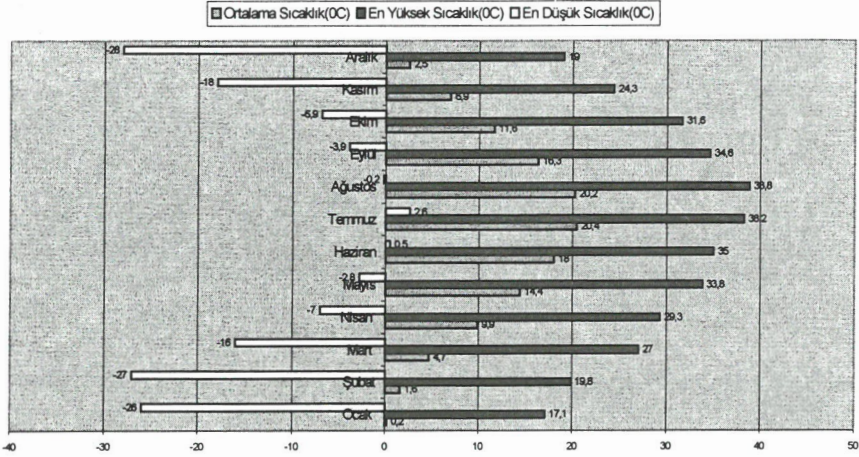
Şekil 2. Kütahya İlinde 62 Yıllık Ortalama Sisli Günler Sayısının Aylara Göre Değişimi



Şekil 3. Kütahya İlinde 62 Yıllık Ortalama Bağıl Nemin Aylara Göre Değişimi



Şekil 4. Kütahya İlinde 27 Yıllık Ortalama Buharlaşma Değerlerinin Aylara Göre Değişimi



Şekil 5. Kütahya İlnde 62 Yıllık Maksimum, Minimum ve Ortalama Sıcaklık Değerlerinin Aylara Göre Değişimi

3.2. Hava Kalitesi Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Kütahya il merkezinde Hava Kalitesi ölçümüne, İl Sağlık Müdürlüğü bünyesinde; 1986 yılında bir istasyonla başlanmış, 1990 yılında iki istasyona, 1992 yılından sonra da altı ölçüm istasyonuna ulaşılmıştır. Bu istasyonlardaki veriler, Kütahya Bölge Hıfzısıhha Enstitüsünde değerlendirilmektedir. Hava kalitesi ölçüm sonuçları, 6 ölçüm istasyonunun matematiksel ortalaması olarak Valilik önündeki dijital panoya günlük olarak işlenmekte ve halkın bilgilendirilmesi sağlanmaktadır[11].

Kütahya ili için, 1989-2001 yılları arası SO₂ ve PM ölçüm sonuçlarının verildiği Çizelge 1 ve 2 incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının özellikle ısıtma sezonunda (Ekim-Nisan) "Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği"nde öngörülen sınır değerlerin bir hayli üzerinde olduğu görülmektedir. Son 13 yıllık dönem içinde, ay bazında en yüksek SO₂ derişim değeri 1993 yılı Ocak ayında 939 µg/m³, partikül madde derişim değeri ise 2000 yılı Kasım ayında 272 µg/m³ olarak ölçülmüştür. Kütahya ilinde 1992-93 yıllarındaki aşırı hava kirliliği, il bazında alınan bazı tedbirlerle azaltılmış, ancak 1997 yılından itibaren tekrar yükselmeye başlamış olup 2001 yılında düşmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, 1999-2000 kış sezonuna oranla, 2000-2001 kış sezonunda, PM miktarında belirgin bir artış olmasıdır. Buna karşılık az miktarda SO₂ miktarında geçen sezona göre Ekim ve Aralık aylarında düşüş vardır. Bunun nedenlerinin başında, kullanılan kömürlere (Seyitömer vb.) gelen kısıtlamalar ile ithal kömür ve Tunçbilek kömürünün yaygınlaşması gelmektedir.

Çizelge 1. İl Merkezinde 1989-2001 Yılları Arası Ortalama SO₂ Kirlilik Düzeyinin Değişimi

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1989	72	46	32	24	21	18	16	11	14	141	268	390
1990	436	278	283	106	79	38	26	30	49	124	224	322
1991	417	365	235	131	62	49	45	33	47	116	414	353
1992	624	535	291	172	56	28	24	38	51	79	384	457
1993	939	358	289	170	67	40	49	40	76	151	352	497
1994	472	295	206	126	50	37	22	32	49	82	234	377
1995	227	318	152	152	61	33	24	20	32	148	306	232
1996	314	206	142	121	40	16	30	21	33	135	327	273
1997	399	386	244	118	59	38	31	40	49	108	256	269
1998	454	321	188	102	45	24	28	37	41	130	230	241
1999	410	279	388	165	41	22	39	34	52	166	318	461
2000	424	385	334	89	54	27	32	29	39	114	345	360
2001	266	257	160	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 2. İl Merkezinde 1989-2001 Yılları Arası Ortalama PM Kirlilik Düzeyinin Değişimi

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1989	105	90	65	56	50	68	38	46	51	108	109	131
1990	132	83	121	62	54	53	35	43	66	98	124	119
1991	131	104	80	49	42	37	36	39	66	90	169	96
1992	176	136	88	67	47	46	51	47	75	91	173	128
1993	252	83	86	64	63	47	38	50	66	94	131	144
1994	150	98	65	44	35	22	20	27	47	65	99	137
1995	75	94	55	51	32	29	22	24	36	77	122	74
1996	86	64	56	46	29	26	24	24	29	88	143	84
1997	137	117	84	53	50	36	29	31	34	59	122	95
1998	135	82	58	50	35	24	26	26	30	68	68	74
1999	70	67	89	63	39	24	30	33	50	100	158	72
2000	127	113	96	66	51	34	32	33	45	107	272	202
2001	146	141	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3. 1999-2001 Yılları Arası Günlük Maksimum Emisyon Miktarları ve Bölgeleri

Yıl	Ay	Mak. SO ₂ µg/m ³	Tarih	Bölge	Mak. PM µg/m ³	Tarih	Bölge
1999	Ocak	957*	02.01.1999	I	230	12.01.1999	I
	Şubat	1181*	25.02.1999	I	263	28.02.1999	I
	Mart	941*	12.03.1999	I	281	08.03.1999	II
	Nisan	619*	07.04.1999	I	346*	07.04.1999	II
	Mayıs	122	10.05.1999	VI	148	19.05.1999	I
	Haziran	84	17.06.1999	I	70	17.06.1999	I
	Temmuz	94	13.07.1999	II	80	29.07.1999	II
	Ağustos	90	10.08.1999	I	98	12.08.1999	I
	Eylül	126	27.09.1999 28.09.1999	II	144	27.09.1999	I
	Ekim	510*	31.10.1999	I	341*	28.10.1999	I
	Kasım	1151*	28.11.1999	I	462*	10.11.1999	I
	Aralık	1666*	02.12.1999	I	590*	19.12.1999	V
2000	Ocak	1744*	29.01.2000	I	394*	29.01.2000	I
	Şubat	1056*	01.02.2000	I	354*	01.02.2000	I
	Mart	922*	08.03.2000	II	289	25.03.2000	II
	Nisan	291	10.04.2000	II	432*	23.04.2000	I
	Mayıs	176	01.05.2000	I	188	19.05.2000	I
	Haziran	84	26.06.2000	II	87	06.06.2000	II
	Temmuz	84	08.07.2000	II	81	04.07.2000	I
	Ağustos	85	25.08.2000	IV	99	29.08.2000	IV
	Eylül	110	01.09.2000	IV	264	01.09.2000	IV
	Ekim	628*	31.10.2000	I	525*	31.10.2000	I
	Kasım	776*	22.11.2000	I	864*	10.11.2000	I
	Aralık	828*	11.12.2000	II	781*	14.12.2000	I
2001	Ocak	570*	11.01.2001	I	408*	08.01.2001	I
	Şubat	603*	09.02.2001	II	499*	09.02.2001	II
	Mart	481*	11.03.2001	II	256	13.03.2001	I

* Kısa Vadeli Sınır Değerleri Aşılmıştır.

1999-2001 yılları arası günlük maksimum emisyon miktarlarının verildiği Çizelge 3 incelendiğinde; Kısa Vadeli ve Uzun Vadeli Sınır değerlerini aşan, kirlilik düzeyi bakımından en kötü durumda olan, ilk iki bölgenin I. Bölge (Valilik binası çevresi) ve II. Bölge (İl Sağlık Müdürlüğü binası çevresi) olduğu görülmektedir. 29 Ocak 2000 tarihinde I. Bölgede SO₂ miktarının 24 saat içerisindeki ortalama derişim miktarı 1744 µg/m³ olarak ölçülmüştür. Bu değer 3. kademe uyarı tedbirlerinin alınmasını gerektirmektedir. Kirliliğin en üst düzeyde yaşandığı her iki bölge de şehir merkezinde olup insanların en yoğun buldukları yerlerdir. Şehirde hava kirliliği en fazla; konutlaşma oranının yüksek, yeşil alan oranının düşük, trafik yoğunluğunun fazla, hava hareketinin düşük olduğu merkez bölgelerde görülmektedir. Şehrin Tavşanlı ve Afyon çıkışında yer alan, nispeten konutlaşma oranının düşük olduğu, hava hareketinin yüksek olduğu bölgelerde ise hava kirliliği azalmaktadır.

4. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bölgelere göre yapılan regresyon analizleri sonucunda elde edilen modeller; Çizelge 4'de, oluşturulan modellerin, 2001 yılı Ocak, Şubat ve Mart aylarına göre sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 5-10'da verilmiştir. Bölgeler için bulunan modellerin sonuçları incelendiğinde; çoğu noktada ölçüm sonuçlarıyla aralarında büyük sapmalar görülmektedir. Bu sapmaların, meteorolojik değerlerin tek bir noktadan (şehir ortalaması olarak) ölçülüyor olmasına ve ölçüm hatalarına bağlı olabileceği sonucuna varılmıştır. Çizelge 11'de bütün bölgelerdeki emisyon değerlerini kapsayan ve şehir ortalamasını (PM, SO₂ miktarını) bulan modeller oluşturulmuştur. Çizelgede verilen modellerde, regresyon katsayıları ($R^2_{SO_2} = 0.911$, $R^2_{PM} = 0.828$) artmıştır. Bu modellere meteorolojik faktörlerle beraber, bütün bölgelerdeki, bir gün önceki derişimler de dahil edilmiş ve regresyon katsayılarının yükseldiği ve sonuçların daha iyi çıktığı görülmüştür. Bunun sebebinin; bölgelerin meteorolojik faktörlerden dolayı birbirlerinden etkilenmesi (rüzgar vb. etkenlerle emisyon taşınımı), girdi olarak kullanılan meteorolojik verilerin tek bir noktadan alınıyor olması (şehir ortalaması olarak) olduğu sonucuna varılmıştır. Oluşturulan modellerin sonuçları ile 2001 yılı Ocak, Şubat, Mart aylarında ölçülen şehir ortalaması emisyon değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 12'de verilmiştir.

Çizelge 4. PM ve SO₂ Miktarlarının Bölgelere Göre Oluşturulan Matematiksel Modelleri

Bölge	Emisyon	Regresyon Eşitlikleri	Regresyon Kats. (R ²)
I	SO ₂	$Y=3750.1-8.25A1-11.62A2-26.9A3+23.8A4+0.17A5-3.6A6-72.878A7$ $+1.751A8-0.586A9+0.16A10+0.464B11+0.0231B12$	0.821
	PM	$Y=-1947.07-13.20A1+20.59A2+6.344A3-22.333A4-1.964A5+2.76A6$ $-87.82A7+2.12A8-0.92A9-0.283A10+0.230A11+0.080A12$	0.625
II	SO ₂	$Y=1411.393+1.393A1-0.508A2-10.767A3-1.716A4-1.934A5-1.005A6$ $-47.153A7-4.791A8-1.138A9+0.493A10+0.571B11-0.135B12$	0.824
	PM	$Y=3846.3-10.949A1-7.294A2-18.65A3+14.281A4+1.655A5-3.824A6$ $-75.242A7-3.191A8-1.177A9+0.547A10+0.181A11-0.0650A12$	0.675
III	SO ₂	$Y=-1027.87-6.698A1-6.562A2-2.561A3+1.693A4-0.521A5+1.441A6$ $-14.506A7-0.745A8-0.643A9+0.386A10+0.835B11-0.328B12$	0.827
	PM	$Y=1820.61-9.361A1+6.481A2+3.916A3-10.972A4+0.72A5-1.891A6$ $-31.99A7+0.548A8-0.251A9+0.01697A10+0.275A11+0.216A12$	0.674
IV	SO ₂	$Y=5763.37-0.68A1+0.7A2-9.01A3-2.18A4-1.18A5-6.01A6-24.76A7$ $-1.364A8-0.633A9+0.231A10+0.463B11-0.03734B12$	0.800
	PM	$Y=2980.2-6.91A1+3.91A2-4.36A3-4.35A4-0.46A5-3.004A6-52.7A7$ $-0.682A8-0.00788A9-0.207A10+0.412A11-0.05811A12$	0.783
V	SO ₂	$Y=1860.31-2.713A1-1.347A2-14.799A3+3.593A4-0.976A5-1.667A6$ $-21.82A7-3.038A8-0.585A9+0.233A10+0.477B11-0.239B12$	0.805
	PM	$Y=1615.13-5.1341A1+5.932A2-9.526A3-4.684A4-0.929A5-1.421A6$ $-49.122A7-3.422A8-0.335A9-0.0258A10+0.0526A11+0.07635A12$	0.760
VI	SO ₂	$Y=3255.004+5.281A1+17.66A2-4.54A3-24.188A4-1.405A5-3.267A6$ $-2.286A7-1.84A8-1.232A9+0.373A10+0.418B11-0.01151B12$	0.835
	PM	$Y=270.16-19.51A1+11.628A2+4.595A3-14.54A4-1.191A5+0.144A6$ $-39.69A7+3.62A8-0.477A9-0.389A10+0.394A11-0.0106A12$	0.649

Y _{so2}	Günlük ortalama derişim (µg/m ³)	Y _{PM}	Günlük ortalama derişim (µg/m ³)
A1	Bulutluluk	A8	Yağış (mm)
A2	Maksimum sıcaklık (°C)	A9	Güneş ışınları şiddeti (cal/cm ² gün)
A3	Minimum sıcaklık (°C)	A10	Güneşlenme süreleri (dakika)
A4	Ortalama sıcaklık (°C)	A11	Bölgede bir gün önceki PM miktarı (µg/m ³)
A5	Bağıl nem %	A12	Bölgede bir gün önceki SO ₂ miktarı (µg/m ³)
A6	Basınç (mbar)	B11	Bölgede bir gün önceki SO ₂ miktarı (µg/m ³)
A7	Rüzgar hızı (m/s)	B12	Bölgede bir gün önceki PM miktarı (µg/m ³)

Çizelge 5. 2001 Ocak Ayı SO₂ Miktarının Oluşturulan Model ve Ölçüm Sonuçları

Tarih	I.Bölge		II.Bölge		III.Bölge		IV. Bölge		V.Bölge		VI.Bölge	
	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm
05.01	363	431	371	376	263	282	213	145	248	240	298	256
06.01	385	470	416	437	309	312	194	250	264	186	276	256
07.01	485	393	446	495	319	346	231	229	261	286	243	243
08.01	471	542	521	465	370	358	250	235	328	420	292	340
09.01	524	275	493	374	309	236	266	209	392	251	340	182
10.01	225	331	349	398	247	227	175	242	174	300	198	184
11.01	524	465	499	570	294	371	304	353	385	453	294	371
12.01	582	462	576	550	392	421	359	315	457	406	364	400
13.01	563	398	527	469	406	285	311	311	382	368	327	286
14.01	406	234	422	391	235	209	253	277	269	271	234	209

Çizelge 6. 2001 Şubat Ayı SO₂ Miktarının Oluşturulan Model ve Ölçüm Sonuçları

Tarih	I.Bölge		II.Bölge		III.Bölge		IV. Bölge		V.Bölge		VI.Bölge	
	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm
05.02	506	466	441	476	280	277	252	210	337	281	253	284
06.02	469	540	431	581	300	343	218	385	267	382	262	320
07.02	510	514	511	529	360	332	290	239	318	357	266	271
08.02	511	363	449	520	400	293	226	223	354	329	236	209
09.02	463	520	508	603	350	289	248	245	360	280	270	339
10.02	508	541	522	541	280	250	254	266	321	356	333	280
11.02	574	415	515	464	220	260	264	297	367	229	276	207
12.02	375	216	408	288	250	165	227	152	224	154	189	126
13.02	242	192	259	262	225	228	167	132	194	170	161	145
14.02	249	207	295	294	213	211	202	154	218	248	248	159

Çizelge 7. 2001 Mart Ayı SO₂ Miktarının Oluşturulan Model ve Ölçüm Sonuçları

Tarih	I.Bölge		II.Bölge		III.Bölge		IV. Bölge		V.Bölge		VI.Bölge	
	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm
05.03	66	167	130	103	221	104	254	167	235	169	129	122
06.03	139	210	200	140	230	218	321	259	156	93	135	120
07.03	99	141	250	158	195	154	260	133	270	273	250	104
08.03	177	201	270	262	300	208	156	154	140	131	360	136
09.03	218	124	80	67	189	124	80	64	130	121	180	171
10.03	302	222	350	322	170	160	144	146	157	99	179	162
11.03	237	234	450	308	160	130	239	227	223	204	236	178
12.03	225	393	300	356	320	210	226	256	289	195	300	272
13.03	361	369	400	481	155	157	275	281	359	180	412	255
14.03	254	246	250	286	190	192	312	136	275	240	189	183

Çizelge 8. 2001 Ocak Ayı PM Miktarının Oluşturulan Model ve Ölçüm Sonuçları

Tarih	I.Bölge		II.Bölge		III.Bölge		IV. Bölge		V.Bölge		VI.Bölge	
	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm
05.01	200	188	282	140	127	174	130	70	160	86	81	68
06.01	237	314	280	200	189	218	114	96	166	142	90	68
07.01	319	279	324	233	202	234	150	127	189	196	137	62
08.01	344	408	384	235	240	331	172	204	230	327	151	162
09.01	286	221	309	289	197	196	161	137	224	147	117	102
10.01	166	357	206	267	137	216	78	139	108	165	50	134
11.01	426	328	457	372	246	303	239	232	297	245	253	174
12.01	360	300	452	350	280	171	248	192	289	271	237	250
13.01	321	235	363	300	196	214	225	155	267	193	209	142
14.01	250	189	246	250	144	145	156	112	176	140	107	74

Çizelge 9. 2001 Şubat Ayı PM Miktarının Oluşturulan Model ve Ölçüm Sonuçları

Tarih	I.Bölge		II.Bölge		III.Bölge		IV. Bölge		V.Bölge		VI.Bölge	
	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm
05.02	232	354	255	350	147	232	121	107	251	209	180	176
06.02	387	445	266	332	179	300	195	135	220	248	212	261
07.02	330	380	393	397	216	166	183	141	214	191	159	188
08.02	289	304	271	350	178	167	178	205	242	176	172	129
09.02	381	427	364	499	213	171	245	207	285	257	202	210
10.02	346	406	345	397	184	144	211	266	265	275	182	158
11.02	310	289	274	234	164	144	214	124	274	210	140	92
12.02	229	117	229	131	154	65	91	86	169	66	104	77
13.02	32	116	111	160	49	99	92	53	111	99	-21	91
14.02	116	113	194	117	88	68	148	43	117	74	65	84

Çizelge 10. 2001 Mart Ayı PM Miktarının Oluşturulan Model ve Ölçüm Sonuçları

Tarih	I.Bölge		II.Bölge		III.Bölge		IV. Bölge		V.Bölge		VI.Bölge	
	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm
05.03	154	67	250	86	100	79	68	60	70	63	109	37
06.03	146	135	368	120	125	102	82	76	56	45	52	51
07.03	60	54	145	51	214	79	123	97	158	144	31	29
08.03	125	108	126	120	65	68	154	60	65	45	43	37
09.03	189	81	30	17	40	34	126	121	239	117	50	37
10.03	150	149	156	154	45	34	54	24	101	45	62	44
11.03	145	141	148	139	69	58	119	85	140	134	147	67
12.03	250	195	253	183	127	90	67	97	100	99	65	50
13.03	369	226	350	199	158	109	239	117	324	115	238	109
14.03	400	130	226	212	361	109	398	130	119	61	190	80

R.KÖSE-O.ERBAŞ / BAZI METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN KÜTAHYA'DAKİ HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİSİ

Çizelge 11. PM ve SO₂ Miktarlarının Şehir Ortalaması İçin Oluşturulan Matematiksel Modelleri

$Y_{SO_2} = 1438.020 - 1.499A1 + 3.179A2 - 7.603A3 - 6.726A4 - 2.175A5 - 1.137A6 - 21.202A7 - 0.546A8 - 0.70A9 + 0.19A10 + 0.03A11 + 0.14A12 + 0.22A13 + 0.10A14 + 0.04A15 - 0.02A16 - 0.07A17$			
$Y_{PM} = 672.34 - 9.437A1 + 13.344A2 - 0.867A3 - 14.778A4 - 0.469A5 - 0.406A6 - 49.974A7 + 0.203A8 - 0.54A9 + 0.12A10 + 0.05A11 + 0.01A12 + 0.19A13 + 0.13A14 - 0.2A15 + 0.04A16 - 0.07A18$			
Y_{SO_2}	Günlük ortalama derişim ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Y_{PM}	Günlük ortalama derişim ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
A1	Bulutluluk	A7	Rüzgar hızı (m/s)
A2	Maksimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	A8	Yağış (mm)
A3	Minimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	A9	Güneş ışınları şiddeti (cal/cm^2 gün)
A4	Ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	A10	Güneşlenme süreleri (dakika)
A5	Bağıl nem %	A11	1. Bölgede bir gün önceki derişim miktarı ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
A6	Basınç (mbar)	A12	2. Bölgede bir gün önceki derişim miktarı ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
			Y_{SO_2} için R ² (Regresyon Katsayısı)
			0.911
			Y_{PM} için R ² (Regresyon Katsayısı)
			0.828

Çizelge 12. 2001 Yılı Ocak, Şubat ve Mart Ayı Emisyon Miktarlarının Şehir Ortalaması İçin Oluşturulan Model ve Ölçüm Sonuçları

Tarih	OCAK				ŞUBAT				MART			
	SO ₂		PM		SO ₂		PM		SO ₂		PM	
	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm	Model	Ölçüm
05	260	288	150	121	309	332	202	238	138	133	51	65
06	290	319	187	173	316	425	245	287	140	173	79	88
07	312	332	224	189	359	374	230	244	176	161	64	76
08	360	393	252	278	356	323	218	222	168	182	96	73
09	370	255	204	182	372	379	286	295	226	112	174	68
10	245	280	125	213	380	372	248	274	169	185	86	75
11	365	431	320	276	366	312	227	182	200	214	116	104
12	436	426	308	256	289	184	154	90	251	280	150	119
13	403	353	233	207	181	188	67	103	250	287	185	146
14	295	265	176	152	242	212	102	83	176	214	141	120

İl Sağlık Müdürlüğünce 6 ayı bölgede, sabit ölçüm istasyonları ile hava kirliliği ölçümleri yapılmaktadır. Fakat, meteorolojik büyüklüklerin ölçümü şehirde sadece bir noktadan yapılmaktadır. 6 ayı bölgede yapılan hava kirliliği ölçüm sonuçlarının, ayrıca aynı bölgelerde, ayrı ayrı kurulacak ölçüm istasyonlarında ölçülecek "meteorolojik büyüklükler" (rüzgar hızı, sıcaklık, nem, basınç vb.) ile de

ilişkilendirilmeleri gerekmektedir. Bu amaçla sürekli kirlilik ve meteorolojik analizler yapabilmek için komple sistemlerin kurulması düşünülmelidir.

Kütahya'da atmosferin, kirleticileri yayma ve dağıtma özelliklerini etkileyen meteorolojik parametreler özellikle ısıtma mevsiminde olumsuz bir yapının oluşmasına sebep olmaktadır. Isıtma mevsiminde, gece yüzey inversiyonları, sakin rüzgar koşulları ve binaların nazım planlarının, hakim rüzgar doğrultusunda olmayışı, zayıf dispersiyon koşullarını yaratarak, yüksek hava kirliliği potansiyelini oluşturmaktadır. Sonuç olarak, atmosferin dispartif gücü son derece zayıftır. Ayrıca, şehrin yeni yerleşim bölgelerinin yer seçiminde yapılacak planlamalarda mutlaka vantilasyon özelliklerinin göz önünde tutulması, şehrin hava kirliliği profili çıkartılarak, farklı kirlilik bölgelerine göre uygun tedbirler alınması gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] R. Köse, *Kütahya İli'nin Hava Kirliliğine Alternatif Çözümler*, SDÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, IX. Mühendislik Sempozyumu, Isparta, 71-75, 1996.
- [2] G. Wolff, *Air Pollution, Energy Technology and the Environment 1*(1995), John Wiley & Sons, New York.
- [3] S. Kaytaoğlu, F. Var ve S. Kara, *Eskişehir'de Hava Kirliliği ve Meteorolojik Klimatolojik Parametrelerle İlişkisi*, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü IV. Ulusal Sempozyumu, s:77, Antalya, 1997.
- [4] A. Müezzinoğlu, *Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları*, Dokuz Eylül Yayınları, s:327, İzmir, 2000.
- [5] N. Tünay and K. Alp, *Hava Kirlenmesi Kontrolü*, İstanbul Ticaret Odası, Yayın No:36, s:172, İstanbul, 1996.
- [6] N. Unlu, A. Ata, and N. Eruslu, *Foundry Air Emission Factors and Modeling*, Environmental Quality and Environmental Engineering in the Middle East Region, p:142-148, 1998
- [7] K. Gür, Y. Burdurlu and M. Bilgiç, *Effects of Some Meteorological Factors on the Air Pollution in Konya (Turkey)*, Proceedings of 1st International Workshop on Environmental Quality and Environmental Engineering in the Middle East Region, s:31-40, Konya,1998.
- [8] F. Var, *Yöresel Hava Kalitesinin Modellenmesi ve Enerji Tasarrufu Öncelikli Önlem Paketlerinin Seçimi ve Uygulanmasında Kullanımı*, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, FBE, s:467, 1996.

- [9] H. Okutan, E. Kalafatoğlu, ve M. Tırıs, *Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü*, TÜBİTAK Yayını, s:273, Gebze-Kocaeli, 1993.
- [10] R. Köse, *Yakma Sistemlerinin Hava Kirliliğine Etkisi*, Kütahya'da Hava Kirliliği Nedenleri ve Çözüm Yolları Konferansı, s: 24-40, Kütahya,1998.
- [11] Anonim, *Kütahya İli Çevre Durum Raporu*, s:291, Kütahya, 1999.
- [12] R. Köse, *Kütahya'da Hava Kirliliğinin Nedenlerinin Araştırılması ve azaltılmasına Yönelik çözümlerin Geliştirilmesi*, DPÜ Araştırma Fonu Sonuç Raporu, Proje No:7, Kütahya, 2001.
- [13] *Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği*, 2 Kasım 1986 tarih ve 19269 sayılı Resmi Gazete, Ankara, 1986.
- [14] Kütahya İl Sağlık Müdürlüğü, *1995-2001 Yılları Arası SO₂ ve Partikül Madde Ölçümleri*, Kütahya, 2001.
- [15] Kütahya Meteoroloji Müdürlüğü, *1940 – 2001 Yılları Arası Meteorolojik Veriler*, Kütahya, 2001.
- [16] K. Özdamar, *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi*, Kaan Kitabevi, s:535, İstanbul, 1999.
- [17] R.V. Hogg and J. Ledolter, *Applied Statistics For Engineers and Physical Scientists*, Macmillan Publishing Company, p:472, 1992.

