



Bakü Hava Kirlenmesinde SO₂'nin Rolü ve Meteorolojik Olaylarla İlişkinin Araştırılması

Şükrü DURSUN^{1*}, İlahe İBRAHİMOVA¹

¹Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, sdursun@selcuk.edu.tr, Tel: 00905365954591, Fax: 00903322410635

(First received 19 August 2013 and in final form 20 December 2014)

Özet

Bu çalışmada, Bakü Şehir Merkezinde havada bulunan ve hava kirliliğini oluşturan başlıca kirleticilerden kükürt dioksit (SO₂) konsantrasyonlarının meteorolojik faktörlerle ilişkisi araştırılmıştır. Tezde Bakü merkezinde bulunan ölçüm istasyonlarından Temmuz, 2012 ve Mart, 2013 tarihleri arasındaki sürede derlenen günlük örneklerle gerçekleştirilmiştir. Örneklerde SO₂ analizleri yapılmış, elde edilen konsantrasyon değerleri ile meteorolojik veriler arasındaki ilişkiler istatistik yöntemlerle araştırılmıştır. Bakü Şehir Merkezinde SO₂ konsantrasyonu ile meteorolojik faktörlerden sıcaklık, nem, basınç, yağış ve rüzgâr arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışma dönemi içinde en yüksek SO₂ değeri 0.035 mg m⁻³ günlük ortalama olarak elde edilmiş, meteorolojik faktörler arasında ayrı ayrı yapılan korelasyon testlerde genellikle ilişkinin negatif yönde olduğu ve en yüksek korelasyon değeri R²=0,61 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hava Kirliliği, Meteorolojik Faktörler, Kükürt Dioksit, İstatistik, Bakü.

Investigation of SO₂ Roles on Air Pollution of Baku and Relation with Meteorological Factors

Abstract

The relationship of meteorological factors with sulfur dioxide (SO₂) levels was investigated in this case study. SO₂ is one of the important air pollutants in Baku City Center. This study was performed with data collected on a daily basis from the measurement stations in Baku during the period of July, 2012 –March, 2013. Analyses of SO₂ samples were obtained and the relationships between the obtained concentration values and meteorological data were investigated with statistical methods. Relation between SO₂ concentrations and the meteorological factors such as temperature, humidity, pressure, wind and rain in Baku city center were investigated. Highest SO₂ value was obtained as 0.035 mg m⁻³ in daily average during the study period. Statistical test between SO₂ and meteorological factors separately showed that correlation volumes were usually negative and the highest correlation value was found as R² = 0.61.

Keywords: Air Pollution, Meteorological Factors, Sulphur Dioxide, Statistic, Baku.

1. Giriş

Yerkürede tüm yaşam faaliyetleri atmosferik havanın özelliklerinden etkilenmektedir. Atmosfer havası insanların, bitkilerin ve hayvanların yaşadığı ortamın yaşamsal önemli bileşenine sahiptir. Bunun için hem ülkemiz, hem de dünya için atmosferik havasının kirlenmesi en önemli çevresel sorunlarından biridir (Stern ve ark, 1984). Atmosfer tabakasının kimyasal yapısının çeşitli gaz, toz ve aerosol gibi kimyasal maddelerin karışmasıyla bozularak, canlılara zarar vermesi ve/veya hatta ölümlere sebep olması “hava kirliliği” olarak tanımlanmaktadır. Hava kirleticisi kaynakların ve hava kirliliğinin seviyesinin belirlenmesi, hava kalitesi kontrol çalışmalarının önemli yer alır (Asgerov ve Hüseyinov, 2004). Bu nedenle hava kirliliğinin olduğu yörelerde kirlilik seviyesinin önceden tahmini önemli bir konudur. Özellikle kirliliğin yoğun olarak yaşandığı kış aylarında, meteorolojik olaylara bağlı olarak hava kirliliğinin önceden bilinmesi, zamanında bazı tedbirlerin alınmasına ve hava kirliliğinden etkisinde en az düzeyde etkiye maruz kalınmasını sağlayacaktır (Ertürk, 1993; Müezzinoğlu, 2000).

Atmosferin kirlenmesinin azaltılması yönünde bazı kapsamlı tedbirler alınmaktadır. Buna örnek olarak teknolojik süreçlerin geliştirilmesi ve sanayi üretimine uygulanması, sanayi tesislerinin ve Termik elektrik santrallerinin (TES), ayrıca çok sayıda atmosferi kirlüten kaynakların giderilmesi ve çevre dostu tesislerinin geliştirilmesini gösterebiliriz. Görülen tedbirlere rağmen atmosfere zararlı maddelerin atıklarının atılmasını tamamen önlemek mümkün değildir. Örneğin; Azerbaycan'da atmosferine atılan 997,000 ton kirleticisi maddenin % 60'ı Bakü'nün payına düşmektedir. Bakü Azerbaycan'ın en kalabalık yerleşim yeri olmakla birlikte sanayinin de en yoğun olduğu şehirlerden biridir. Başta kış ayları olmak üzere meteorolojik şartlara bağlı olmak üzere sıklıkla insan sağlığını tehdit edecek hava kirliliği olayları yaşanmaktadır. Bu yüzden Bakü il merkezindeki hava kirliliğinin bilimsel olarak tespit edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sanayi tesislerinin planlanması, tasarımı ve işletilmesi sırasında atmosfer kirlenmesinde meteorolojik faktörlerin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Buna meteorolojik parametrelerden asılı olarak atmosferin kirlenmesi koşullarının, havanın kirlilik seviyesinin öğrenilmesi ve gaz atıklarının azaltılması tedbirleri dâhildir.

Şehir havasının kirlilik koşullarının ve meteoroloji parametrelerinin incelenmesi için yüzey ve atmosferik gözlemlere ilave olarak son zamanlarda yerin yapay uydularından alınan bilgilerin kullanılmasına büyük yer verilmektedir (Mahmudov, 2011).

Benzer şekilde dünyanın bir çok yerinde hava kirliliği ölçümleri ve kirliliğin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Huang ve ark (2013) tarafından arazi yerleşim planının SO₂ ve NO₂ kirliliği üzerinde etkisi incelenmiştir. Ilık ve soğuk dönemler karşılaştırıldığında soğuk dönemde kirliliğin kritik seviye ulaştığı gözlenmiştir. Bölgede kirlilik modellenmesi yapılmıştır. Luvsan ve ark. (2012) şehirleşme ve endüstrileşme ile birlikte artan hava kirliliğine işaret etmişlerdir. 1996'dan 2009'e kadar hava kirliliği tahminleri üzerinde durmuşlardır. Mevcut verilerin kullanılarak gelecek için hava kirliliği tahmini yapılması üzerine durmuşlardır. Leitte ve ark. (2009) tarafından hava kirliliği ile solunum yolu hastalıkları incelenmiştir. SO₂ ve NO₂ kirliliğinin hastalıklarla ilişkisini göstermişlerdir. Etkinin bronşit hastalarında daha etkili olduğu ortaya konulmuştur. Kan ve ark. (2010) Çin şehirlerinde SO₂ ve ölümler arasındaki kısa süreli etkileşimleri incelemişlerdir. Mevsimsel etkileri ortaya koymuşlar ve ayrıca başta Cl olmak üzere diğer hava kirlleticilerinin bulunmasının bu etkileri arttırdığını ileri sürmüştürler.

Shang ve ark. (2013) Çin'de sistematik yapılan incelemelerinde kısa süreli hava kirliliği etkileri ile ölümler arasındaki ilişkilere bakılmıştır. Villeneuve ve ark. (2012) hava kirliliği kısa süreli etkisini çalışmışlar. Artan süreyle etkinin arttığı ortaya konulmuştur. Beş farklı hava kirleticisi (NO₂, PM_{2.5}, CO, O₃, ve SO₂) incelenmiştir. Organik kirlilik olan bölgelerde Cl konsantrasyonunun artmasının hava kirliliğini etkisini arttırdığını gözlemlemişlerdir. O'Neill ve ark. (2013) Mexico City şehrinde yeni doğan bebeklerde hava kirliliği ve iltihaplı hastalıkların vakalarını incelemişlerdir. Aynı zamanda bu bekler ve anneleri ile hastalık olaylarının oluşum çeşitlerine bakmışlardır. Toksikolojik vakaların hava kirliliğinin artışı ile paralellik gösterdiği gözlenmiştir.

Yu ve ark. (2012) Çin'in Guangzhou şehrinde insanların yaşam ortamlarındaki hava kirliliği ile günlük ölüm oranları arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Cao ve ark. (2012; 2013) yaşam ortamı hava kirliliğinin hastane acil servisleri ve civarındaki etkiler incelenmiştir. Çalışmalarında PM₁₀, SO₂, ve NO₂ kirleticileri incelenmiştir. Chang ve ark. (2012) Tayvan'da hava kirliticilerin akciğer fonksiyonuna etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında 12-16 yaşları arasında 10396 öğrenci incelemeye alınmıştır. Çalışmada birçok ortam faktörü, kirlitici ve sağlık etkileri değerlendirilmiştir. González ve ark. (2011) sahillerde deniz araçlarından kaynaklanan nano boyutlu partiküller üzerinde çalışmışlardır. 2008-2009 yıllarında 2.5 nm çapında daha küçük boyutlu kirliticiler ölçülmüştür. Daha çok taşıt kaynaklı kirliticilerin etkisi incelenmiştir. Çalışmada deniz taşıtları ile birlikte denizden kaynaklanan sıvı zerreciklerin karalara taşınımını ortaya koymuşlardır.

Dursun (1988) çalışmasında Karadeniz bakır işletmeleri ve Samsun Gübres Sanayinden kaynaklanan hava kirliliğinin ölçümlerine yaparak hava kirliticileri ile bazı meteorolojik parametrelerin ilişkisini istatistiksel yöntemler kullanarak araştırmıştır. Bazı meteorolojik parametrelerin kirlitici konsantrasyonu ile pozitif ilişkisi tespit edilirken bazı parametrelerde negatif ilişki gözlenmiştir. Konya'da Söyleyici ve Dursun (2002) hava kirliticiler ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişki SPSS paket programında çoklu korelasyon

incelenmiştir. Özellikle kış mevsimi değerlerinin daha anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Ağayev (2012) tarafında yapılan çalışma göstermiştir ki; Bakü'de ısınma ihtiyacı için tamamen doğalgaz kullanımı sebebiyle kış aylarındaki değerlerin diğer mevsimlere kıyasla yüksekliği dikkati çekmezken, petrol işlenen bölgeler civarında 1.6 mg/m³'e ulaşan değerler bölgeden uzaklaştıkça azalma trendi göstermiştir.

Bu çalışmada Bakü il merkezi atmosferinin solunabilir ortamında SO₂ ölçümleri yapılarıdaki bazı meteorolojik faktörler ile ilişkisinin istatistiksel olarak araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Araştırılan Bölgenin Özellikleri

Bakü Hazar denizinin batısında, Apşeron yarımadasının güneyinde 40°, 23' enlem 49°, 51' boylamlarının kesiştiği noktada yerleşmiştir. Bakü Nerimanov, Nasimi, Nizami, Sabayıl, Hatayi, Yasamal olmak üzere 6 idari bölgeden oluşmaktadır (Şekil 1). Şehrin merkezi bölümü Bakü limanı doğru inen amfiteatro biçimindedir, her iki taraftan denize iniş var. Bu Hazar Denizi'nde en avantajlı ve geniş limandır. O, doğudan Sultan, batıdan ise Hasar ve Şihov burunları ile sınırlıdır. Liman kuzeyden güneye doğru 8 km kadar uzanır. Buna şehrin güney, en düşük bölümü kavuşur. Merkezde ve otoyol boyu yapılar yoğun, şehir çevresinde seyrek. Şehir civarı araziler petrol çıkarma merkezleridir. Burada tren yolu ulaşımı, Makine, inşaat malzemeleri (çimento üretimi, kireç üretimi) tesisleri bulunmaktadır, madensuları (Şih, Suraxanı) bulunmaktadır. Şehir çevresinde çok sayıda çamur volkanları (Keyreki, Lökbatan) ve tuzlu göller vardır. (Büyükşor, Hocahəsən). Şehirde Apşeron tatil bölgesi ve plajlar bulunmaktadır. Şehir merkezi yerleşim alanı deniz seviyesinden 28 metre daha düşüktür seviyededir (Eyyubov, 1973; Eyyubov & Musayev, 1997 ; Budaqov, 1994).

2.2 Bakü'nün Topografik Özellikleri

Bakü Kafkasya'da en büyük sanayi merkezlerinden biridir. Şehrin yüzey şekli düzenli-tepelidir. En alçak yerleri Hazar kıyısı şerit, dünya okyanusu seviyesinden aşağıda bulunmaktadır. Bakü şehrinin yüksek kısmı batıda bulunmaktadır. Badamdar Dağı ve Zığ Tepesi'nde 200 metreden fazla değildir. Şehrin batı bölümü daha dik, bazı yerlerde yamaç yüzey şekline sahiptir. Kuzeybatı bölümde yüzey girintili-çukuntulu olduğu için Bakü, şu anda nispeten yumuşak yüzey şekli kuzeydoğu ve doğu yönünde gelişiyor. Bakü Yaylası batıda Yasamal deresi, kuzeyde Büyükşor çukuru, doğuda ise Emircan, Garaçukur çukurları ve Hövsan ovası ile kapsamaktadır. Bakü amfiteatrosu ise aynı adlı Yaylanın güneye devamını teşkil ediyor.

2.3 Bakü'nün İklim Özellikleri

Bakü'nün ikliminin oluşmasında Apşeron yarımadasının ve onu kapsayan arazinin, denizin, Baş Kafkasya serisinin devamı olan tepeliklerin fiziki-coğrafi ortamı temel rol oynar. Atmosfer süreçlerinin fiziksel-coğrafi ortamla olan etkileşimi sonucunda şehrin iklimi yayı kurak geçen ılımlı-sıcak yarım çöl subtropik ve kuru çöl iklim tipine aittir. Tablo 1'de Bakü İl Merkezine ait bazı meteorolojik parametreler verilmiştir.



Şekil 1. Bakü şehrinin siyasi haritası (Azerbaycan Res. Ekoloji Atlası; Memmedov & Memmedova, 2006; Memmedov , 2002; Memmedov ve ark., 2009)

Tablo 1. Bakü İl Merkezinde bazı meteorolojik parametrelerin uzun yıllar ortalama değerleri (Ulusal Hidro-meteoroloji Büro; Madat-zade, 2013)

Meteorolojik Faktörler	Aylar												yıllık
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Sıcaklık °C ortalama	3.8	4.0	6.2	11.0	17.7	22.6	25.7	25.6	21.6	16.6	10.9	6.5	14.4
En yüksek °C	21	27	31	31	33	39	40	39	35	35	29	27	40
En düşük °C	-13	-8	-7	0	4	8	14	14	7	0	-6	-9	-13
Ortalama en düşük °C	1.9	1.8	3.7	8.2	14.4	19.3	22.6	22.6	19.0	14.0	8.7	4.3	11.7
Yağış, mm	30	22	25	23	12	9	6	8	15	33	38	26	247
Rüzgar hızı, m/s	6.1	6.6	6.9	6.5	6.2	6.5	6.8	6.3	6.2	6.1	5.7	5.6	6.3
Nispi nem, %	78	78	77	69	64	57	58	63	68	74	77	76	70
Bağıl nem, mb	6.6	6.5	7.2	9.4	13.0	16.0	19.4	20.8	17.8	14.0	10.2	7.5	12.4
Su yüzeyinden buharlaşma, mm	26	27	32	58	94	140	155	136	100	65	43	34	910

2.4. Bakü İl Merkezinde Kirliliğin Sebepleri

Bakü il merkezi hava kirliliği bölgenin fiziki-coğrafi özellikler, topografya, iklim koşulları ve kirletici kaynaklara olan mesafeye bağlıdır. Rüzgar vasıtasıyla şehir çevresindeki yarı çöl tipi iklim görülür ve yerden yükselen tozlar hava kirliliğinde önemli yer alır. Hazar Denizi üzerinde atmosferin alt katmanlarında meydana gelen tuzlarla doymuş hava ve su buharı şehir havasına dahil olduğunda nemin yoğunlaşması sonucunda tuz kristallerin şehrin havasının kirlenmesine neden olur. Bu tuzlar sodyum, magnezyum ve kalsiyum klorür, sodyum sülfatlardan oluşur. Ayrıca şehrin havasına karışan tozlar, bitki polenleri, mikroorganizmalar gibi maddeler de havayı kirletir. Bakü şehrinde havanın kirlenmesine yol açan bir takım sanayi

kuruluşlarında faaliyet göstermektedir. Ayrıca petrol-gaz ve ürünleri endüstrisinin, enerji tesislerinin, özellikle de ulaşım araçlarının da atmosferin kirlenmesinde rolü az değil (Şekil 2).

Havanın kirlenmesinin başlıca nedenlerinden olan motorlu taşıt sayısı 400 bine yakındır. Sadece onu söylemek yeterlidir ki, insanın ekonomik faaliyeti ile ilgili tüm bu kaynaklar yılda yaklaşık 16373 bin ton yakıt tüketiyor. Bu kadar yakıttan oluşan büyük miktarda zararlı maddelerin şehrin atmosfer havasına karışarak onun güçlü biçimde kirlenmesini tasavvur etmek o kadar da zor değil.

Devlet İstatistik Kurulu verilerine göre Bakü şehrinde havaya yılda yaklaşık 271 sabit kaynaktan 464,8 bin ton (katı maddeler - 13,9 bin, gaz halinde ve sıvı maddeler 450,8 bin, ayrıca uçucu organik bileşikler 5,1 bin ton, hidrokarbon 427, 9 bin ton) zararlı maddeler atılmıştır. Ayrıca havaya terkinde

kükürt bulunan yakıtın yakılması sırasında oluşan kükürt gazı dahil oluyor ki, bunun da temel kaynağı kalorifer sistemleri, elektrik santralleri, ayrıca Petro-kimya endüstrisidir. Şehrin havasında kirleticiler dağılması ve taşınmasında rüzgarın rolü büyüktür.

Rüzgar hızı ve yönü, rüzgarın geldiği yön esas alınmak üzere "rüzgar gülleri" ile gösterilir. Bu teknik yardımıyla belirli bir merkezde meydana gelen kirlenmenin hangi kaynaktan dolayı meydana geldiği kolayca anlaşılmaktadır.



Şekil 2. Bakü ili sanayi atıkları ile kirlenmesi (Azerbaycan Res. Ekoloji Atlas; Memmedov ve Xelilov, 2004; Memmedov ve ark., 2009)

2.5. Kükürt Dioksit Ölçümünde Kullanılan Metotlar

Atmosferdeki SO₂ gazının analizi için çeşitli metotlar mevcuttur. Araştırma bölgesinde hava kirleticisi olarak yalnız SO₂ bulunmayıp beraberinde birçok gaz ve partükül madde bulunur. Bundan dolayı bir takım hatalar ortaya çıkmaktadır. SO₂'nin analizi için alınan numunenin günün 24 saatini temsil etmesi gerekir. Fakat Bakü'de SO₂ ölçümü için genellikle spektrofotometrik metodu kullanıldığından günün belli saatlerinde örnek alınıp ortalaması bulunmaktadır. Metot havadan kükürt gazının sodyum tetraklormerkurat (TKM) bazlı emici tabakası vasıtasıyla tutulmasına, sonradan kükürt gazının Formaldehid ve pararozanilin veya fuksinle oluşturduğu birleşimin spektrofotometrik yöntemle tayinine esaslanıyor. Analize engel olan NO₂'nin etkisini sulfamin asit ile, ozonun etkisini numuneni fotometriyadan önce bir süre bekletmekle, ağır metal tuzlarının etkisini ise trilon B ve fosfat asit ekleyerek ortadan kaldırıyorlar (Ağayev ve ark., 2004; David ve ark., 2009; Nguyen ve Kim, 2006).

Kükürt dioksitin (SO₂) net konsantrasyonu Pararozanilinin yöntemi ile spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Kükürt gazının konsantrasyonunu tayin etmek için, önceden hazırlanmış stok şişelerin 0,5 L/dakika hızı ile 20 dakika içinde hava emilir. Hava örneği emilen zaman stok şişeler dikey, sorbent katı düşük olmakla sıkıştırılır. Sorbsiya borusunda hava aşağıdan yukarı emilmelidir. Kükürt gazının konsantrasyonu az olduktan hava örneğini 2 L/dak hızı ile de emmek olur. Bu halde konsantrasyon sadece 0,01 - 0,25 mg m⁻³ aralığında ölçülmelidir. Örnek alınan ve kaydedilen zaman ışık ışınlarından korunmalıdır, bunun için siyah kağıttan istifade etmek gerekir. Havanın sıcaklığı 200°C'den yüksek olduğunda, SO₂'nin oksitleşme hızı artıyor.

Örnek alınan gibi borular sıkıca kapatılıp, polietilen poşetlere toplanır ve hermetik halde buzdolabında muhafaza edilir. Buzdolabında örneklerin muhafaza süresi 8 gündür.

Laboratuarda sorbsiya borusunu deneme şişesine yerleştirip, üzerine 6 ml sulfamin asit ilave ediliyor. Lastik "armut" aracılığıyla çözelti sorbsiya borusunun içerisinde bir kaç kez karıştırılıyor ve boru deneme şişesinden çıkartılıyor. Bu işlem sonucunda örnek çözeltiye geçiriliyor. Bu çözeltiden başka deneme şişesine analiz için 5 ml ayırıp, üzerine 0,4 ml Formaldehit ve 1 ml pararozanilin (veya fuksin) çözeltisi ilave edilip, mükemmel karıştırılır ve 30 dakika tutuluyor. Sonra çözeltinin optik yoğunluğu dalga boyu 548 nm, genişliği 10 mm olan küvetde suya oranla ölçülür.

2.6. Meteorolojik Veriler

2.6.1 Kullanılan cihazlar ve ölçü metotları:

1. Sıcaklığı ölçmek için: psikrometrik termometre TM-4; ölçü aralığı -35 °C'den 40 °C'ye kadar TM-4-1; -25 °C'den 50 °C'ye kadar TM-4-2; Düşük dereceli meteorolojik termometre TM-9; Meteorolojik minimum termometre TM-2; meteorolojik maksimum termometre TM-1 kullanılıyor ve yer yüzeyinden 2 metre yüksekte kurulmuş Termometreler kullanılarak tespit edilir. Termometrelerde sıcaklık hassas elementin genişlerken ilerleyip gerilemesi prensibine göre belirlenir. Tüm termometreler dikey vaziyette tutulmalıdır.

2. Nemi ölçmek için: psikometre; meteorolojik saçlı higrometreden istifade ediliyor. Kuru ve ıslak termometrelerin göstercileri esasen "Psikrometrik tablo" dan istifadeye esaslanır.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

3. Basıncı ölçmek için: barometre SR-A (ölçü aralığı 810-1070 hPa) ve SR-B (ölçü aralığı 680-1070 hPa); meteorolojik barograf M-22AH. İstasyonda basıncın ölçülmesi içerisinde havası boşaltılmış ince metal bir kutu yüzeyinin basınç değişmesiyle esneyip şekil değiştirmesi sonucunda tainine esaslanır.

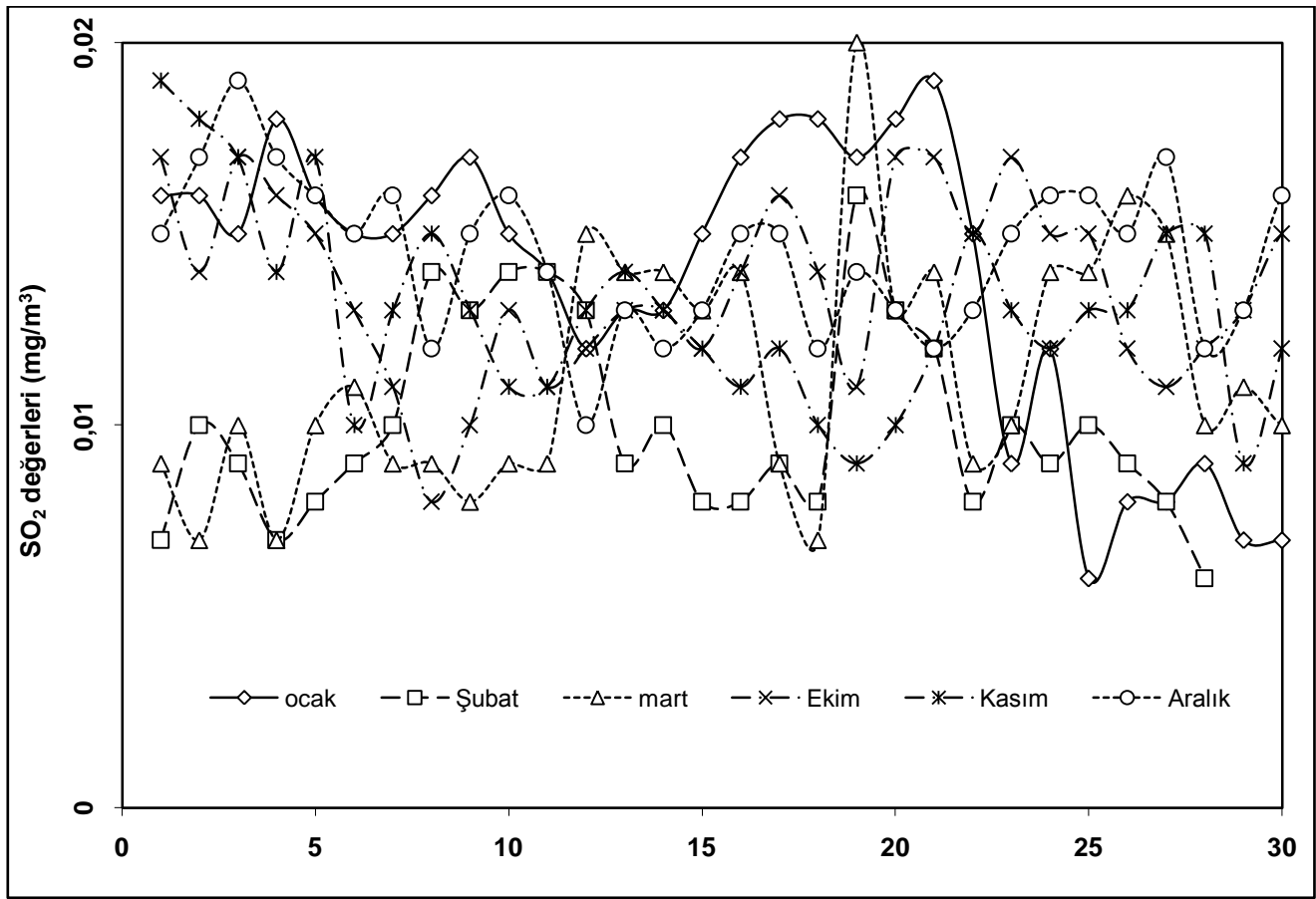
4. Rüzgarın özelliklerini ölçmek için Anemometre M-63 M-1 veya Anemograf cihazı kullanılmaktadır.

5. Yağışların ölçülmesi için: plüviyometre (yağış ölçer) Y-1; plüviyograf. Kovanın alanında kaydedilen suyun aynı kovada biriken bölümünün hacminin hesaplanmasına esasen düşen yağmurun miktarı tayin edilir.

Meteoroloji verileri Milli Hidrometeoroloji Büronun Hidrometeoroloji Şubesi destekleriyle ölçülmüştür.

Aylara göre değerlendirildiğinde SO_2 'nin konsantrasyonun $mg\ m^{-3}$ olarak en yüksek değerleri, on günlük değerler karşılaştırıldığında ilki Aralık (0,053) ayında, ikincisi Temmuz (0,052), Ağustos (0,054), Şubat (0,031) ve Mart (0,048) aylarında, Üçüncü ise Eylül (0,065), Ekim (0,052), Kasım (0,046), Ocak (0,036) aylarında, görülmüştür (Şekil 3). Fakat buna rağmen bu değerler standartları aşmıyor. Dokuz aylık günler üzere ve ortalama değerler aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir (Tablo 2-4).

SO_2 'nin yalnız nem ile yüksek korelasyon ilişkisi Eylül ayı için bulunmuştur. Diğer meteorolojik parametrelerle korelasyon ilişkisi zayıftır. Rüzgarlı havalarda rüzgar yönünden asılı olarak şehrin çeşitli yerlerinde maksimum konsantrasyonlar gözlemleniyor. Bakü Bölgesinin 2012 Temmuz -2013 Mart ayları arasında elde edilen meteorolojik veriler ve korelasyon değerleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir (Tablo 2, 3 ve 4).

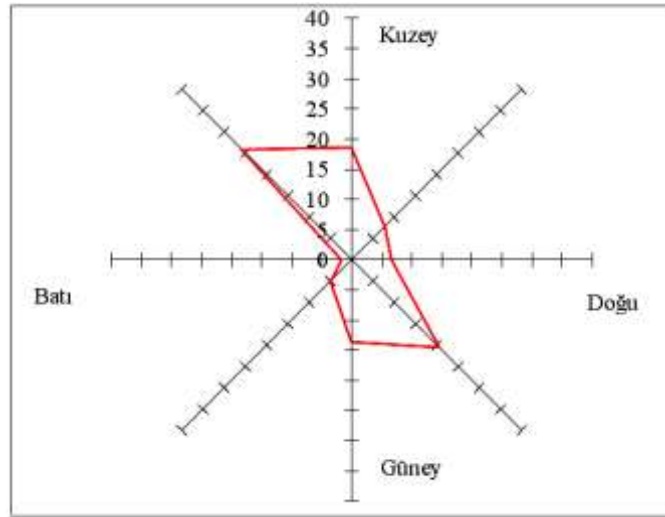


Şekil 3. Bakü il merkezinde 2012 Ekim-Mart 2013 ayları için SO_2 değerleri (mg/m^3)

Bakü il merkezine ait olan "rüzgar gülü" Şekil 4'de verilmiştir. Bakü'nün ortalama rüzgar yönü güneydoğu ve kuzeybatıdır. Bu şehir üzerindeki kirliliği dağıtmak için yeterlidir.

3.1. Meteorolojik Parametreler İle Kirleticiler Arasındaki İstatistiksel İlişki

Bakü il merkezinde elde edilen dokuz aylık kükürt dioksit ölçüm sonuçları ile sıcaklık, nem, rüzgar, basınç ve yağış değerleri arasındaki istatistiksel ilişki araştırılmış ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir.



Şekil 4. Bakü İl Merkezine ait rüzgar gülü

Tablo 2. Bakü il merkezinin aylar üzere ortalama meteorolojik faktörler ile kirlenmeler arasındaki korelasyon değerleri (R^2)

Parametreler Aylar	SO ₂ ve Sck. gece	SO ₂ ve Sck. gün	SO ₂ ve rüzgar	SO ₂ ve yağış	SO ₂ ve basınç	SO ₂ ve nem gece	SO ₂ ve nem gün
Temmuz - 2012	-0,00	-0,01	-0,08	-0,32	0,20	-0,04	0,15
Ağustos - 2012	0,05	0,01	-0,11	0,00	-0,08	-0,17	0,05
Eylül - 2012	0,19	0,02	0,06	-0,12	0,56	0,56	0,61
Ekim - 2012	-0,12	0,14	-0,29	0,05	0,12	0,56	0,18
Kasım - 2012	0,27	0,20	-0,07	-0,02	-0,31	0,18	0,30
Aralık - 2012	0,30	0,35	0,07	-0,17	-0,18	-0,18	-0,32
Ocak - 2013	0,16	0,09	0,09	0,09	0,11	-0,26	0,02
Şubat - 2013	0,14	0,156	-0,23	0,33	-0,03	0,45	0,39
Mart - 2013	0,42	0,44	-0,08	-0,10	-0,44	-0,39	-0,56

Tablo 3. Bakü il merkezinin dokuz aylık ortalama meteorolojik faktörler ile kirlenmeler arasındaki korelasyon değerleri (R^2)

SO ₂ ve meteorolojik faktörler	Korelasyon katsayıları
SO ₂ ve Sıcaklık (gece) arasındaki korelasyon katsayısı	0,02
SO ₂ ve Sıcaklık (gündüz) arasındaki korelasyon katsayısı	0,02
SO ₂ ve rüzgar arasındaki korelasyon katsayısı	-0,02
SO ₂ ve yağış arasındaki korelasyon katsayısı	-0,07
SO ₂ ve basınç arasındaki korelasyon katsayısı	-0,38
SO ₂ ve nem gece arasındaki korelasyon katsayısı	-0,12
SO ₂ ve nem (gündüz) arasındaki korelasyon katsayısı	-0,23

Bakü il merkezinde 9 aylık (2012 Temmuz – 2013 Mart) SO₂ değerlerine baktığımızda Azerbaycan ortalama ve maksimum sınır değerlerin (Tablo 4) aşılmadığını görülmüştür.

Tablo 4. Günlük ortalama SO₂ değerlerinin Azerbaycan ortalama ve maksimum sınır değerleri ve bazı uluslararası standartlar ile karşılaştırılması

Aylar	Aylık ortalama SO ₂ değerleri (mg m ⁻³)	Azerbaycan için Ort. sınır değerleri (mg m ⁻³)	Azerbaycan için Max. sınır değerleri (mg m ⁻³)	US NAAQS (mg m ⁻³)	EC (mg m ⁻³)
Temmuz - 2012	0,015	0,05	0,5	0,08	0,125
Ağustos - 2012	0,014	0,05	0,5	0,08	0,125
Eylül - 2012	0,013	0,05	0,5	0,08	0,125
Ekim - 2012	0,014	0,05	0,5	0,08	0,125
Kasım - 2012	0,013	0,05	0,5	0,08	0,125
Aralık - 2012	0,015	0,05	0,5	0,08	0,125
Ocak - 2013	0,014	0,05	0,5	0,08	0,125
Şubat - 2013	0,010	0,05	0,5	0,08	0,125
Mart - 2013	0,011	0,05	0,5	0,08	0,125

Elde edilen kirlilik değerleriyle ortalama ve maksimum sınır değerlerini kıyasladığımızda sınır değerlerin altında bir kirliliğin olduğunu gözlenmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere ortalama değerler dikkate alındığında hava kirliliğinin sınır değerler altında olduğu görülmektedir. En yüksek değerler Ekim-Mart ayları arasında olmuştur. Bu aylarda çok ciddi olmamakla birlikte sınır değerinin altındadır. Bununla beraber bazı gün ve saatlerde konsantrasyonların rahatsızlık düzeyler çıktığı görülmektedir.

Hava kalitesini olumsuz etkileyen en önemli kaynak evsel ısınma için kullanılan yakıtlar ve taşıt trafiğidir. Bakü'de ulaşım başlı başına bir problem olarak göze çarpmaktadır. Gerek araç sayının çokluğu gerekse şehir merkezindeki yolların yetersizliği Bakü'de önemli hava kirliliği kaynaklarından birisini oluşturmaktadır. Şehir merkezi içindeki yollar ve caddeler dar ve mevcut haliyle yetersizdir. Önemli ölçüde otopark problemi bulunmaktadır. Bu probleminden dolayı pek çok sürücü araçların yol kenarına park etmeleri ve zaten dar ve yetersiz olan yollar üzerinde trafiğin akıcılığını azalmasına sebep olmaktadır.

Şehrin hava kalitesini etkileyen önemli faktörlerden biri de nüfustur. Nüfus diğer kirletici kaynakları da doğrudan ilgilendiren bir faktördür. Nüfusun artmasıyla birlikte konut sayısı da artmaktadır. Bu da daha çok baca ve daha çok emisyon demektir. Ayrıca yine nüfusun artması demek daha çok aracın trafiğe çıkması demektir. Yine bu da daha çok egzoz gazı demektir. Nüfusun artmasıyla birlikte iş alanları da, diğer bir başka deyişle sanayi tesislerini de artmaktadır. Tüm bunlardan da anlaşılacağı üzere nüfus, hava kalitesini etkileyen pek çok faktörün artmasına sebep olmaktadır.

Meteorolojik faktörler hava kalitesini etkileyebilecek özelliktedir. Bunlardan en bazıları sıcaklık, nispi nem, basınç, yağış ve rüzgarlardır. Elde edilen verilere bakıldığında en soğuk ayların ve aynı zamanda kirliliğin de en çok olduğu Aralık, Ocak, Şubat ve Mart ayları olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere sıcaklıkla kirlilik arasında ters bir orantı mevcuttur. Yani sıcaklık azaldıkça kirlilik artmaktadır. Çünkü sıcaklık azaldıkça ısınma amaçlı yakıt tüketimi artmaktadır. Böylece daha çok baca gazı emisyonu salınmaktadır.

Tüm dünyada olduğu gibi Bakü'de de küresel ısınma sonucunda sıcaklığın arttığı fark edilmektedir. Bölgesel ısınmaya etki eden diğer unsur da Bakü'nün doğusunda bulunan Hazar Gölü'dür. Bunlar şehirdeki nem oranını oldukça yükseltmektedirler. Nispi nem ile kirlilik arasında doğru orantı vardır. Yani nem oranı arttıkça kirlilikte artmaktadır. Rüzgar hızı Bakü'de oldukça yüksektir. Yeterli bir kuvvette rüzgar olduğunda kirli hava kitleleri şehrin üzerinden dağılmakta ve olumsuz bir sonuçları azalmaktadır. Rüzgar hızı arttıkça kirlilik değerleri de düşmektedir. Bakü il merkezinde şu anda çok ciddi bir hava kirliliği bulunmamasına rağmen yukarıda yapılan değerlendirmelerin sonucunda gelecekte böyle olmayacağı görülmektedir. Şimdiden gerekli önlemler alınmaz ise gelecekte çok ciddi problemler meydana gelebilecektir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Bakü şehir merkezinde havanın SO₂ kirliliğinin boyutlarının belirlenmesi ve meteorolojik faktörlerle ilişkisi ele alınmıştır. Çalışmada öncelikle Bakü'nün topografik özellikleri ve coğrafi durumu, havanın kirlenmesine tesir

edebilecek meteorolojik faktörler ve kirlilik kaynakları incelenmiştir. Daha sonra kirlilik faktörlerinden atmosferik kükürt dioksit analizleri yapılmıştır. Elde edilen kirlilik değerleri ile bazı meteorolojik faktörler arasında istatistiki ilişki araştırılmıştır. Aylık ortalama değerlerin karşılaştırılmasında SO₂ en yüksek korelasyon değeri Eylül ayında R²=0.61 olarak bulunmuştur. Aylık ortalamalar için yapılan korelasyon analizinde korelasyon katsayılarının R²= -0,00 ile R²=0,61 arasında gerçekleştiği görülmüştür. Böylelikle kirlilik konsantrasyonları ile meteorolojik faktörlerden "sıcaklık, rüzgar, yağış, basınç ve nem" arasında negatif bir ilişki olduğu tespit edilmemiştir.

Hızlı nüfus artışı özellikle köylerden merkeze göç sonucu şehirde nüfusta gözlenen büyük artış sonucunda zorunlu yeni yerleşim alanları açılmıştır. Yeni açılan bu yerleşim yerlerinin seçilerek meteorolojik koşulların göz önünde bulundurulmaması yüzünden eski yerleşim alanları için kirletici etkiye sebep olmaktadır. Bu yüzden yeni kurulacak yerleşim alanları şehrin dışında kalacak şekilde planlanmalıdır.

Hava kirliliğini oluşturan tesislere baca gazı arıtım teknikleri uygulanmalıdır. Sanayide kükürt oranı %3,5 olan fuel-oil'in yerine kükürt oranı %1,5 olan özel kalorifer yakıtının kullanılması yoluna gidilmelidir. Endüstriyel tesisler yapılırken meteorolojik faktörler ve iklim özellikler göz önüne alınarak hava kirlenmesi açısından yer seçimine dikkat edilmelidir. Azerbaycan petrol ve diğer fosil yakıtlar bakımından şanslı ülkelerden olası dolayısıyla ısınma ihtiyacı doğal gaz ile sağlanmaktadır. Bir çok ülkeyle karşılaştırıldığında ısınmanın atmosferik SO₂ kirliliğindeki rolü çok düşüktür. Kirliliğin önemli sebeplerini petrolün islenmesi faaliyetleri ve endüstriyel aktiviteler oluşturmaktadır.

Azerbaycan'daki diğer hava kirliliği kaynaklarına bakıldığı zaman: Caddelerin dar olması ve otopark sayısı yetersiz olduğundan araçların yol kenarında park etmeleri trafiğin akıcılığının kaybetmesine sebep olmakta ve daha çok egzoz gazı salınımına yol açmaktadır. Bunun çözümü için şehir merkezinde çeşitli noktalara otoparklar inşa edilmeli, trafik akış hızını artırmalı ve daha geniş caddeler yapılmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca araçların yol üzerinde park etmeleri engellenerek trafiğin daha akıcı olması sağlanmalıdır. Egzoz gazı muayeneleri daha sık ve düzenli yapılarak havayı kirleten araçlar tespit edilmeli ve gereken önlemler alınmalıdır.

Bakü il merkezinde mevcut tek bir hava kirliliği ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Kirleticilerin ölçüm noktaların ve parametrelerinin artırılması gerekmektedir. Böylece şehrin kirlilik durumu çok daha detaylı bir şekilde ortaya çıkacak ve önlemlerin buna göre alınması sağlanacaktır.

Teşekkür: Bu çalışma Selçuk Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nde İlahe İbrahimova'nın yüksek lisans tezinden türetilmiştir. Yazarlar çalışmaya desteklerinden Selçuk Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür eder.

Kaynaklar

Ağayev T.D., 2012, Şəhərlərin atmosferinin antropogen çirklənməsinin tədqiqi və proqnozlaşdırılması məqsədilə, yerüstü və aerokosmik məlumatların emalı üsullarının işlənilməsi

- hazırlanması (Abşeron yarımadası şəhərləri təmsalında), Bakı, 63-96. Ağayev T.D., Əsədova L.Ə., Quliyeva A.A., 2004. Şəhər atmosferinin kükürd qazı ilə çirklənməsi və onun zərərsizləşdirilməsi yolları, Respublika Elmi prak. konf.-Gəncə, 258-259.
- Asgerov E., Hüseynov E., 2004. Müasir ekologiya, Gence, 92-102.
- Budaqov B., 1994. Azərbaycan Respublikasının ekoloji gerginlik derecesinə görə ekoloji-coğrafi rayonlaşdırılması, Elmi-praktiki konfrans mater., 135-150.
- Cao J, Li W, Tan J, Song W, Xu X, Jiang C, Chen G, Chen R, Ma W, Chen B, Kan H, 2009, Association of ambient air pollution with hospital outpatient and emergency room visits in Shanghai, China, *Science of The Total Environment*, 407, 21, 5531-5536.
- Chang Y-K, Wu C-C, Lee L-T, Lin R-S, Yu Y-H, Chen Y-C, 2012, The short-term effects of air pollution on adolescent lung function in Taiwan, *Chemosphere*, 87, 1, 26-30.
- David West L., Fred Montgomery C., Timothy Armstrong R., 2009. A technique for monitoring SO₂ in combustion exhausts: Use of a non-Nernstian sensing element in combination with an upstream catalytic filter *Sensors and Actuators B: Chemical*, 140, 482-489.
- Dursun S., 1988. Samsun il merkezi ve Tekkeköy civarında SO₂, NH₃ ve Duman ölçümü ve meteorolojik parametrelerle ilişkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, 19 Mayıs Ün Fen Bilim. Samsun.
- Ertürk F., 1993. Hava Kirliliğinin Çevre Üzerindeki Etkileri, Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü, Gebze-Kocaeli, 15-47.
- Eyyubov E.C., 1973. Bakünün iklimi, Bakü, 5-6, 10-46.
- Eyyubov E.C., Musayev Z.F., 1997, Bakü və Abşeron yarımadasının iklimi və insan səhəti, Bakü, 18-31.
- González Y, Rodríguez S, García JCG, Trujillo JC, García R, 2011, Ultrafine particles pollution in urban coastal air due to ship emissions, *Atmospheric Environment*, 45, 28, 4907-4914.
- Hang Thi Nguyen, Ki-Hyun Kim, November 2006, Evaluation of SO₂ pollution levels between four different types of air quality monitoring stations, *Atmospheric Environment*, Volume 40, Issue 36, Pages 7066-7081.
- Huang Y-K, Luvsan M-E, Gombojav E, Ochir C, Bulgan J, Chan C-C, 2013, Land use patterns and SO₂ and NO₂ pollution in Ulaanbaatar, Mongolia Original Research Article, *Environmental Research*, In Press,
- Liette AM, Petrescu C, Franck U, Richter M, Suci O, Ionovici R, Herbarth O, 2009. Uwe Schlink-Respiratory health, effects of ambient air pollution and its modification by air humidity in Drobeta-Turnu Severin, *Science of The Total Environment*, 407, 13, 4004-4011.
- Luvsan M-E, Shie R-H, Purevdorj T, Badarch L, Baldorj B, Chan C-C, 2012, The influence of emission sources and meteorological conditions on SO₂ pollution in Mongolia, *Atmos. Environ.*, 61, 542-549.
- Mahmudov R.N., 2011, Hidrometeoroloji stansiya və məntəqələr üçün təlimat, Stansiyalarda meteoroloji müşahidələr, Bakı, 33-67, 122-128.
- Madat-zade V.M., 2013, *Klimat* Bakü, Leningrad Gidrometeoizdat, Moskova, 20-39.
- Memmedov E., Memmedova İ., 2006, Torpağın ekologiyası, Bakü, 129-132.
- Memmedov Q., Xelilov M., 2004, Ekologiya və etraf mühit, Bakü, 33-40, 96-99.
- Memmedov Q.Ş., 2002, Azərbaycanın torpaq ehtiyatları, Bakü, 18-19.
- Memmedov Q.Ş., Xelilov M.Y., Memmedova S.Z., 2009, Azərbaycan Respublikası Ekoloji Atlas, Bakü Kartoqrafiya Fabriki, 148-149.
- Meng X, Wang C, Cao D, Wong D-M, Kan H, 2013, Short-Term Effect of Ambient Air Pollution on COPD Mortality in Four Chinese Cities, *Atmospheric Environment*, In Press,.
- Müezzinoğlu A., 2000, Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Yayınları, İzmir.
- O'Neill MS, Osornio-Vargas A, Buxton MA, Sánchez BN, Rojas-Bracho L, Castillo-Castrejon M, Mordhukovich IB, Brown DG, Vadillo-Ortega F, 2013, Air pollution, inflammation and preterm birth in Mexico City: Study design and methods, *Science of The Total Environment*, 448, 79-83.
- Paul J. Villeneuve, Julie Y.M. Johnson, Dion Pasichnyk, Justin Lowes, Scott Kirkland, Brian H. Rowe, 15 July 2012, Short-term effects of ambient air pollution on stroke: Who is most vulnerable? *Science of The Total Environment*, Volume 430, Pages 193-201.
- Shang Y, Sun Z, Cao J, Wang X, Zhong L, Bi X, Li H, Liu W, Zhu T, Huang W, 2013, Systematic review of Chinese studies of short-term exposure to air pollution and daily mortality, *Environ.*, 54, 100-111.
- Söyleyici, F.D., Dursun, Ş., 2002 "Konya ili bölgesindeki meteorolojik özelliklerin hava kirliliğine etkisi". 16-18 Ekim 2002 I. Ulusal Çevre Sorunları Sempozyumu, Atatürk Ün. s:296-303, Erzurum
- Stern A.C., Boubel R.W., Turner D.B., Fox D., 1984. *Fundamentals of Air Pollution*, Academic Press, Inc. Orlando, Florida, USA.
- Yu ITS, Zhang YH, Tam WWS, Yan QH, Xu YJ, Xun XJ, Wu W, Ma WJ, Tian LW, Tse LA, Lao XQ, 2012, Effect of ambient air pollution on daily mortality rates in Guangzhou, China, *Atmospheric Environment*, 46, 528-535.