



Isparta İlindeki Atmosferde Bulunan Kükürt dioksit (SO₂) ve Partikül Madde (PM) Konsantrasyonunun Çoklu Doğrusal Regresyon Yöntemi İle Modellenmesi

Ali GÜNGÖR*¹, H. Cahit SEVİNDİR

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 32200, Isparta

(Alınış Tarihi: 10.08.2012, Kabul Tarihi:23.04.2013)

Anahtar Kelimeler

Hava Kirliliği,
İstatiksel Modelleme,
Meteorolojik Faktörler,
Korelasyon,
SO₂,
PM.

Özet:2007-2012 yıllarına ait beş kış dönemi (Ekim-Mart) için gözlemlenen, meteoroloji ve hava kalitesi günlük verileri kullanılarak çoklu doğrusal regresyon modelde stepwise selection yöntemi ile SO₂ ve PM için toplam altı adet model denklemi elde edilmiştir. Elde edilen model denklemleri kullanılarak 2011-2012 kış dönemi için SO₂ ve PM tahminleri yapılmıştır. Kullanılan model denklemlerinin tahmin performansları ortalama hata kareni kareni, uyum indeksi ve korelasyon katsayısı yardımıyla belirlenmiştir. Ayrıca, model performanslarını belirleme ve bağımsız parametrelerin seçiminde kullanılan, kirlenici ve meteoroloji değişkenleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan çapraz korelasyon değerlendirmesi yapılmıştır. İstatistiksel değerlendirmelere göre 2011-2012 kış dönemi için SO₂ model denklemlerinin performans değerlerine baktığımızda ortalama hata kareni kareni düşük olması beklenirken uyum indeksi ve korelasyon katsayısı yüksek olması beklenir. Bu değerler incelendiğinde ortalama hata kareni kareni 58,5, uyum indeksi 0,90, korelasyon katsayısı ise 0,84 civarında çıkmaktadır. Bu dönemdeki SO₂ değerleri için en iyi tahmin üçüncü model denklemi ile gerçekleştirilmiştir. 2011-2012 kış dönemi için partikül maddemodellerine ait performans değerleri incelendiğinde ortalama hata kareni kareni 112, uyum indeksi 0,89, korelasyon katsayısı ise 0,70 civarında çıkmaktadır. Bu dönemdeki PM değerleri için en iyi tahmin birinci ve üçüncü model denklemleriyle gerçekleştirilmiştir.

Modeling The Atmosphere of Sulfur Dioxide (SO₂) and Particulate Matter (PM) Concentration at the Isparta Province by using Multi-Linear Regression

Keywords

Air Pollution,
Statistical Models,
Meteorological Factors,
Correlation,
SO₂,
PM.

Abstract:In this study, totally six model equation are obtained for SO₂ and PM by stepwise selection model in the multiple linear regression model by using daily data of meteorology and air quality observed for five years belonging to 2007-2012 winter periods (October-March). For the winter season 2011-2012, SO₂ and PM predictions are made by separately using the obtained models. The prediction performances of the models are stated with the help of average error square root, fit index and correlation coefficient. Besides, cross correlation assessment which frequently used in stating model performances and selecting independent parameters which defines the relationship between pollutants and meteorological variables is made. When we look at the performance values belonging to SO₂ models including 2011-2012 winter period statistic assessments, it is expected that square root mean error to be low, fit index and correlation coefficient to be high. When these values are analyzed, it is seen that values for square root mean error is 58,5, fit index is 0,90 and correlation coefficient 0,84. The best estimation for SO₂ values in this period is achieved by using the third model equation. When we survey performance values belonging to PM models in 2011-2012 winter periods, it is seen that values for square root mean error is about 112, fit index is 0,89 and correlation coefficient is 0,70. The best estimation for PM models in this period is achieved by using the first and third pattern model equations.

1. Giriş

21. yüzyılda dünya nüfusunun hızla artmasına paralel olarak, artan enerji kullanımı, endüstrinin gelişimi ve şehirleşmeyle ortaya çıkan hava kirliliği dünyamızı tehdit etmektedir. Hava Kirliliği; Atmosferde toz, duman, gaz, koku ve saf olmayan su buharı şeklinde bulunabilecek kirleticilerin, insanlar ve canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyecek ve/veya maddi zararlar meydana getirecek miktarlara yükselmesi olarak nitelenmektedir. Hava kirliliği problemlerinin azaltılabilmesi için öncelikle kirletici kaynakların sebep olduğu kirliliğin değerlendirilmesi, denetim altına alınması ve oluşturulacak kontrol stratejilerinin belirlenmesi hava kalitesi modelleri yardımıyla mümkün olabilmektedir. Bu modeller atmosfer olaylarını, hava kirleticilerinin atmosferdeki fiziksel ve kimyasal reaksiyonlarını, bozunumlarını ve konsantrasyonlarının hesaplanabilmektedir.

Hava kalitesi modelleme çeşitlerinden biri olan istatistiksel modelleme ülkemizde ve dünyanın diğer ülkelerinde kısa vade de hava kalitesi tahminlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan bir yöntemdir (Onat, 2004).

Isparta ili son yıllarda önemli bir hava kirliliği sorunu ile karşı karşıyadır. Bu sorunun önemli bir kısmını konutlar, sanayi kuruluşları gibi sabit emisyon kaynaklarından atmosfere bırakılan kirleticilerin ve bunların taşınımında etkili olan meteorolojik olaylar oluşturmaktadır.

Bu çalışmada; Çoklu doğrusal regresyon modelleme yaklaşımı ile Isparta İli merkezinde hava kalitesi standartlarını aşmayacak şekilde kirletici kaynaklarından yayılan emisyonları en aza indirmek ve kontrol altına almak, kirletici kaynaklarından salınan kirleticilerin ne şekilde dağılacakını saptayarak, plan veya proje aşamasında olan tesislerin kurulacakları noktada ne gibi bir hava kalitesi bozulmasına sebep olacağını belirleyerek alınması gereken çevresel tedbirlerin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. Literatür Çalışmaları

İstatistiksel modelleme çeşitlerinden biri olan çoklu regresyon analizi birçok araştırmacı tarafından kullanılmış olup, iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bununla ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Malatya il merkezinde 1996 kış dönemine ait SO₂ ve PM düzeyleri meteorolojik koşullarla etkisi incelenmiştir. Verilerin analizinde çoklu regresyon analizi uygulanmış olup SO₂ ve PM bağımlı değişken sıcaklık, basınç, rüzgâr hızı, yağış bağımsız değişken değişkenler olarak alınmıştır.

Rüzgâr hızı dışındaki tüm açıklayıcı değişkenler SO₂ düzeyleri anlamlı ilişkilidir. Partikül madde düzeyleri yağış miktarı ve rüzgâr hızının etkileri kısıtlı kalırken

hava basıncı, bağıl nem ve sıcaklık değişkenleri ile anlamlı ölçüde etkilediği saptanmıştır (Eğri, 1997).

Trabzon şehrinde hava kirleticilerden SO₂ ve PM ile meteorolojik parametrelerden sıcaklık, rüzgâr hızı ve bağıl nem arasındaki ilişkiyi SPSS programı kullanarak analiz etmişlerdir. Gözlenen çoklu lineer regresyon analizi sonuçlarına göre Trabzon İlinde bazı aylarda meteorolojik faktörlere bağlı olarak SO₂ seviyesi arasında zayıf bir ilişki olduğu saptanmıştır. Kasım 1994 ve Şubat 1995'de diğer bütün periyotlara göre daha yüksek rüzgâr hızı olmasına rağmen, rüzgâr hızı ile SO₂ arasında kuvvetli bir ilişki gözlenmemiştir (Çuhadaroğlu, vd., 1996).

Manisa bölgesinde 1995-1998 yılları arasında kış döneminde 4 hava kirliliği ölçüm istasyonundan alınan veriler ile meteorolojik parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir istasyon için o istasyona ait PM ve SO₂ değerleri bağımlı değişken, o istasyonda ölçülen bir gün önceki PM ve SO₂ değeri ve bir gün önceki meteorolojik veriler bağımsız değişkenler olarak alınarak çoklu tahmin modelleri oluşturulmuştur. 1998-1999 yılı ölçülen hava kirliliği verileri ile bu modeller yardımıyla elde edilen tahmini hava kirliliği verileri arasındaki tutarlılıklar incelenmiştir. PM ve SO₂ için geliştirilen hava kirliliği tahmin modellerinde, bir önceki günün PM ve SO₂ değeri rüzgâr ve sıcaklık açıklayıcı değişkenler olarak saptanmıştır (Eser, vd., 1999).

Kırıkkale'de 1996-2002 döneminde yıllık kirletici konsantrasyonları hava kalitesinin korunması yönetmeliğine göre incelenmiş ve meteorolojik şartlara bağlı değişimi regresyon analiziyle araştırılmıştır. Sonuç değerlerine göre SO₂ ile sıcaklık arasında ters orantı, SO₂ ile basınç, rüzgâr ve nispi nem arasında doğru orantı bulunmuştur. Bulunan bu değerlere göre Kırıkkale'de kış şartlarına bağımlı kükürt dioksit kirliliği olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bu durum şehrin topografyasının ve bina yerleşimlerinin rüzgârı engellemesi ve esen rüzgârın kentte meydana getirdiği "Türbülans" ile kirleticilerin dağılmayarak ortamda kalması şeklinde yorumlanmıştır (Akay, vd., 2003).

Samsun İlinde 1995-2004 yıllarında SO₂ ve PM konsantrasyonları ile meteorolojik parametrelerin aylık ve yıllık ortalamaları kullanılarak, aralarındaki ilişki incelenmiştir. Meteorolojik parametrelerin SO₂ ve PM konsantrasyonlarının değişime katkısını belirlemek amacıyla temel bileşen çözümlemesi ve çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. İstatistiksel analizler için Minitab 14.0 yazılım programı kullanılmıştır.

Bu çalışmada hava kirliliğinin esas nedeninin özellikle evsel ısınma amaçlı yakılan katı ve sıvı yakıtlar olduğu ve rüzgâr hızı, nispi nem, sıcaklık, yağış gibi meteorolojik parametrelerin mevcut hava

kirliliğinin değişiminde etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Beyazıt, vd., 2004).

Ankara şehir merkezinde bulunan Sıhhiye istasyonuna ait veriler ulusal sınır değerler göz önüne alınarak değerlendirilmiş ve Dünya Sağlık Örgütü'nün önerdiği hava kalitesi kriterleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada, Kasım 2001 ve Nisan 2002 dönemine ait değerler kullanılmıştır. Hava kirliliğine neden olan elemanlar ile sıcaklık, rüzgâr hızı ve nemlilik gibi iklim elemanları arasındaki ilişki SPSS programı kullanılarak analiz edilmiştir. Çoklu regresyon analizi ile elde edilen sonuçlara göre özellikle mart ayında SO₂, PM₁₀, NO, NO₂, CO ile iklim elemanları arasında orta düzeyde ilişki olduğu belirlenmiştir (Çiçek, vd., 2004).

Erzurum İli merkezinde yapılan bir çalışmada SO₂ ve PM konsantrasyonlarına bazı meteorolojik parametrelerin etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada 1995-2002 kış sezonunda günlük ortalama toplam askıda partikül madde ve kükürtdioksit'in meteorolojik parametrelerle ilişkisi çoklu regresyon analizi kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Analizdeki gözlem sonuçlarına göre yüksek PM ve SO₂ konsantrasyonları düşük sıcaklığa, düşük rüzgâr hızına, yüksek basınç sistemine, az yağışa ve yüksek bağıl neme bağlı olduğu bulunmuştur. Sonuçlar Erzurum'da ki meteorolojik parametrelerle SO₂ ve PM arasındaki ilişkiyi açıklayan istatistiksel analizler, iyi bir tahminin yapıldığını göstermektedir (Turalioğlu F.S, 2005).

Zonguldak il Merkezinde 1998-2002 yılları arasında 4 kış dönemi (Ekim-Mart) meteoroloji ve hava kalitesi verileri kullanılarak, SO₂ ve PM konsantrasyonu için istatistiksel model geliştirme ve uygulama çalışmaları yapılmıştır. Toplam 3 değişik model kullanılarak 1998-1999 ve 1999-2000 yıllarına ait SO₂, PM ve meteorolojik parametreler yardımıyla 6 adet tahmin denklemi üretilmiştir. Bu denklemler ayrı ayrı kullanılarak 2000-2001 ve 2001-2002 kış sezonları için SO₂ ve PM tahminleri yapılmıştır. Bu yıllar için ölçülen hava kirliliği verileri ile tahmin edilen veriler arasındaki tutarlılıklar incelenmiştir (Aydın, 2006).

3. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın materyalinde kullanılan hava kalitesi parametrelerinin (SO₂, PM₁₀) ölçüm değerleri Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünden, meteorolojik veriler ise Meteoroloji Müdürlüğünden temin edilmiştir.

Bu çalışmada çoklu regresyon analizleri için ise SPSS V.17,0 paket programı kullanılmıştır.

Model performanslarını belirleme ve bağımsız parametrelerin seçiminde sıklıkla kullanılan, kirliletiçi ve meteoroloji değişkenleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan 2007-2012 kış dönemi için çapraz korelasyon değerlendirmesi yapılmıştır.

2007-2012 yıllarına ait beş kış dönemi (Ekim-Mart) için gözlemlenen, meteoroloji ve hava kalitesi günlük verileri ile stepwise-selection metodu kullanılarak çoklu doğrusal regresyon modelleri kurulmuştur. Modellenin anlamlı olup-olmadığı hakkında t testi ile F testi uygulanmıştır. Kükürt dioksit ve partikül madde için kurulan bu modellerin, model performanslarını uyum indeksi (IA), belirlilik katsayısı (R²), ortalama hata karenin karekökü (RMSE) değerlendirilerek en ideal model seçilip 2011-2012 kış döneminin tahmininde kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır.

3.1. Kullanılan Model Çalışması

3.1.1. Çoklu doğrusal regresyon modeli

Birden çok açıklayıcı değişkenli modeller çoklu regresyon modeli olarak adlandırılmaktadır. Çoklu doğrusal modelinde H₀ hipotezi tüm regresyon katsayılarının sıfıra eşit olduğu (H₀=b₀=b₁.....=b_n=0) şeklinde kurulurken H₀ hipotezi en az bir b_i'nin sıfırdan farklı olduğu şeklinde kurulur (Kalaycı, 2008).

Modele girecek değişkenlerin seçiminde stepwise selection metodu uygulanmıştır. Her değişken modele sırayla eklenir ve model değerlendirilir. Eğer eklenen model katkı sağlıyorsa, modelde bu değişken kalır. Modeldeki diğer değişkenlerin tümü, modele katkı yapıp yapmadıkları değerlendirmek için test edilir. Eğer önemli derecede katkı sağlamıyorsa modelden çıkarılır Böylece en az sayıda değişken yardımıyla model açıklanmış olur (Kalaycı, 2008).

Belirlilik katsayısı (R²) ; Bağımlı değişkenin yüzde kaçının modele dâhil edilen bağımsız değişkenler tarafından açıklandığını gösterir. Yalnız çoklu regresyon modelinde dikkat edilmesi gereken nokta; belirlilik katsayısı modele dâhil edilen değişken sayısı arttıkça artar. Böyle durumlarda düzeltilmiş belirlilik katsayısına bakılmalıdır (Kalaycı, 2008).

3.1.2. Kullanılan İstatistik Paket Programı

Bu çalışmada çoklu regresyon analizleri için ise SPSS paket programı kullanılmıştır. Bu programın kullanım kolaylığı, menü yönetimli olması, içerdiği istatistiksel analiz modüllerinin sıklıkla güncelleştirilmesi ve bulunabilirlik özelliği gibi avantajları vardır (Özdamar,1999).

3.1.3. Zaman Serisi Analizi

Zamanla değişen gözlemlerin geçmişteki değerleri kullanılarak gelecekte dalaacağı değerleri tahmin edebilmek için kullanılan yöntemlere zaman serisi analizi denir. İki temel amacı vardır; Birinci amacı değişkenin gelecekte alacağı değerleri tahmin etmek,

ikinci amacı ise zamana bağımlı yapıyı ortaya çıkarmaktır (Kalaycı,2008).

3.1.4. Çapraz Korelasyon Analizi

2007-2012 kış dönemi için kirletici (Bağımlı değişken) ve meteorolojik parametreler (Bağımsız değişken) arasındaki ilişkinin derecesi ve yönünü tanımlayan çapraz korelasyon değerlendirmesi yapılmıştır.

3.1.5. Model Metodolojisi

Hava kirliliğinde, göz önüne alınan kirleticileri ve bu kirleticilerin konsantrasyonlarını kontrol eden ve ilgili fonksiyonu veren değişkenleri belirlemek önemlidir. Konsantrasyon(C) ile bağımsız değişkenler arasındaki genel ilişki şöyle açıklanabilir (Shi ve Harrison,1997).

$$C = F(x_0, \dots, x_k) \quad (1)$$

Burada x_i(i =1,...,k)tüm bağımsız parametreleri temsil etmektedir. Birçok araştırmacı F fonksiyonu için güç prensibi modelini önermiştir (Shi ve Harrison, 1997).

Güç-prensibi modelini (1) denklemine uygularsak;

$$C = e^{B_0} x_1^{B_1} \dots x_k^{B_k} \quad (2)$$

Burada k bağımsız parametrelerin sayısını göstermektedir. Her iki tarafın doğal logaritması (ln) alınırsa (3) denklemi şöyle olur;

$$\ln(C) = B_0 + B_1 \ln(x_1) + \dots + B_k \ln(x_k) \quad (3)$$

Burada B₁ kesim noktasını, B_k-B₂ kısmi eğim katsayılarını göstermektedir. Bu çalışmada üç tip model kullanılmıştır. Bu modellerle ilgili metodolojiler aşağıda özetlenmiştir.

a. Model 1; bağımsız parametrelerle kirletici arasındaki ilişkiyi veren ve güç prensibi uygulanmayan yaklaşım. Bu yaklaşımda kirletici ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki çoklu doğrusal regresyon denklemi ile açıklanmaktadır. Bu denklem;

$$Y = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + \dots + B_n x_n \quad (4)$$

b. Model 2; bağımsız parametrelerle kirletici arasındaki ilişkiyi veren ve güç prensibi uygulayan yaklaşım. Bu yaklaşımda kirletici ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki şöyle açıklanmaktadır;

$$\ln(Y) = \ln B_0 + B_1 \ln(x_1) + B_2 \ln(x_2) \dots + B_n \ln(x_n) \quad (5)$$

c. Model 3; (5)'de yapılan dönüşüm sonucunda tüm parametrelerin doğal logaritması alınmıştır ve tüm parametrelerin bu şekilde değişeceği kabul edilmiştir. Oysa bu parametreler üstel, polinom gibi yapıların biriyle de değişebilir ve ortaya çıkacak matematiksel ifadenin her bir terimi doğal logaritmalı olmayıp birbirinden farklı da olabilir. Model 3'ün nihai yapısı ancak her bir değişkenin kirletici ile arasında yapılacak öncü regresyon sonucu ortaya çıkarılabilmektedir (Yıldırım, vd., 2003).

$$Y = B_0 + B_1 x_1^3 + B_2 \ln(x_2) + B_3 x_3 + \dots + B_n \log(x_n) \quad (6)$$

3.1.6. Model Performansının Belirlenmesi

Model çıktılarının performanslarını belirleyebilmek için korelasyon katsayısının yanı sıra bir çok araştırmacı tarafından sıkça kullanılan ortalama kare hatanın karekökü (RMSE) ve uyum indeksi (IA) gibi iki istatistiksel değerlendirme operatörü de kullanılmıştır (Perez, vd., 2001).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^{n_i} (o_i - p_i)^2} \quad (7)$$

$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n_i} (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^{n_i} [|o_i| + |p_i|]^2} \quad (8)$$

Bu denklemlerde o_i ve p_i ölçülen ve tahmin edilen değerleri, n_i veri sayısını temsil etmektedir. Parametrelerin tek tek istatistiksel olarak anlamlılığı için t testi ve modelin bir bütün olarak anlamlılığı için F testi uygulanmıştır.

4. Araştırma Bulguları Ve Tartışma

4.1. Isparta İlinin Hava Kalitesi Verileri

İstanbul yolu üzerinde bulunan 2 nolu istasyondan alınan 2007-2012 kış dönemine (Ekim-Mart) ait SO₂ ve PM günlük değerleri kullanılmıştır (Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2012).

4.2. Isparta İlinin Meteorolojik Verileri

Toplam dört kış dönemi için; basınç, güneşlenme süresi, nem, rüzgâr hızı, sıcaklık, toplam yağış ölçümleri modellemede meteorolojik veriler olarak kullanılmıştır. 2007-2012 kış dönemine (Ekim-Mart) ait meteoroloji parametrelerinin günlük değerleri kullanılmıştır. (Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2012).

4.3. Modelin uygulanışı

Modelde kullanılan değişkenlerin rastgele olduğu saptanmış olup, eksik gözlemler, gözlem kaybı yaşanmaması için zamanla değişen gözlemlerin geçmişteki değerleri kullanılarak gelecekteki değerleri tahmin edebilmek zaman serisi analizi kullanılmıştır. Modelde kullanılan bağımsız değişkenler; Basınç, nem, rüzgâr hızı, sıcaklık, güneşlenme süresi, toplam yağış; Bağımlı değişkenler, kükürt dioksit ve partikül maddedir. Bağımsız parametrelerin seçiminde sıkça kullanılan, kirletici ve meteoroloji değişkenleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan 2007-2012 kış dönemi için çapraz korelasyon değerlendirilmesi yapılmış olup, Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Bu çizelge incelendiğinde; 2007-2008 kış dönemi için SO₂ ile basınç ve güneşlenme süresi arasında pozitif ilişki, SO₂ ile diğer meteorolojik parametreler; Nem, rüzgâr hızı, sıcaklık ve toplam yağış arasında negatif bir ilişki bulunmuştur. SO₂ ile sıcaklık arasında yüksek negatif ilişki (-0,99) gözlenmiştir.

Aynı dönem için PM ile basınç ve güneşlenme süresi arasında pozitif, diğer meteorolojik parametreler; Nem, rüzgâr hızı, sıcaklık ve toplam yağış arasında negatif ilişki bulunmuştur. PM ile sıcaklık arasında yüksek negatif ilişki (-0,97) gözlenmiştir.

2008-2009 kış dönemi için SO₂ ile basınç arasında pozitif, diğerleri ile negatif ilişki bulunmuştur. SO₂ ile basınç arasında yüksek pozitif ilişki (0,85) bulunurken; Rüzgâr hızı arasında yüksek negatif ilişki (-0,77) bulunmuştur. Aynı dönem için PM ile basınç, nem, toplam yağış arasında pozitif; rüzgâr hızı, sıcaklık ve güneşlenme süresi arasında negatif ilişki bulunmuştur. En düşük pozitif ilişki PM ile toplam yağış arasında (0,09) gözlenmiştir.

2009-2010 kış dönemi için SO₂ ile nem ve rüzgâr hızı arasında pozitif; Basınç, sıcaklık, güneşlenme süresi ve toplam yağış arasında negatif ilişki bulunmuştur. SO₂ ile sıcaklık arasında yüksek negatif ilişki (-0,70) gözlenmiştir. Aynı dönem için PM ile basınç, nem ve toplam yağış arasında pozitif; Rüzgâr hızı, sıcaklık ve güneşlenme süresi arasında negatif ilişki bulunmuştur.

2010-2011 kış dönemi için SO₂ ile nem ve rüzgâr hızı arasında pozitif; Basınç, sıcaklık, güneşlenme süresi ve toplam yağış arasında negatif ilişki bulunmuştur. SO₂ ile sıcaklık arasında yüksek negatif ilişki (-0,70) gözlenmiştir. Aynı dönem için PM ile nem ve rüzgâr hızı arasında pozitif; Basınç, sıcaklık, güneşlenme süresi ve toplam yağış arasında negatif ilişki bulunmuştur.

2011-2012 kış dönemi için SO₂ ile basınç, nem ve güneşlenme süresi arasında pozitif; Rüzgâr hızı, sıcaklık ve toplam yağış arasında negatif ilişki

bulunmuştur. Aynı dönem için PM ile basınç ve güneşlenme süresi arasında pozitif; diğer meteorolojik parametreler ile arasında negatif ilişki bulunmuştur.

Genel olarak bakıldığında sıcaklık ile kirletici parametreler (SO₂ ve PM) arasında negatif bir ilişki bulunmaktadır. Bu çalışmada birbiriyle yüksek oranda ilişkili olan hava kalite değişkenlerinin de bağımsız parametre olarak kullanılması öngörülmüştür. SO₂ tahmini içinde PM değerleri, meteorolojik parametrelerle birlikte bağımsız parametre olarak kullanılmıştır. Aynı şekilde PM tahmini için SO₂ değerleri, meteorolojik parametrelerle birlikte bağımsız parametre olarak kullanılmıştır. Her 5 dönem için PM ile SO₂ değerleri arasındaki korelasyon katsayılarına bakıldığında genel olarak yüksek pozitif bir ilişki bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Kirletici parametreler ile meteorolojik parametrelerin 2007-2012 kış dönemine ait çapraz korelasyonu.

Yıllar	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Korelasyon Katsayıları	Doğrusal İlişki	İlişki Düzeyi
2007-2008	SO ₂	P	0,54	Pozitif	Orta
		n	-0,41	Negatif	Zayıf
		GS	0,34	Pozitif	Zayıf
		RH	-0,39	Negatif	Zayıf
		T	-0,99	Negatif	Çok Yüksek
		TY	0,23	Pozitif	Çok Zayıf
		SO ₂	*	*	*
	PM	P	0,61	Pozitif	Orta
		n	-0,27	Negatif	Zayıf
		GS	0,32	Pozitif	Zayıf
		RH	-0,46	Negatif	Zayıf
		T	-0,97	Negatif	Çok Yüksek
		TY	-0,17	Negatif	Çok Zayıf
		SO ₂	0,98	Pozitif	Çok Yüksek
2008-2009	SO ₂	P	0,85	Pozitif	Yüksek
		n	-0,19	Negatif	Çok Zayıf
		GS	-0,07	Negatif	Çok Zayıf
		RH	-0,77	Negatif	Yüksek
		T	-0,26	Negatif	Zayıf
		TY	-0,13	Negatif	Çok Zayıf
		SO ₂	*	*	*
	PM	P	0,53	Pozitif	Orta
		n	-0,17	Negatif	Çok Zayıf
		GS	-0,36	Negatif	Zayıf
		RH	-0,27	Negatif	Zayıf
		T	-0,52	Negatif	Orta
		TY	0,09	Pozitif	Çok Zayıf
		SO ₂	0,96	Pozitif	Çok Yüksek
PM	*	*	*		

Yıl	Değişken	Katsayı	İstatistik	Durum	
					Değer
2009-2010	SO ₂	P	-0,20	Negatif	Orta
		n	0,32	Pozitif	Zayıf
		GS	-0,29	Negatif	Zayıf
		RH	0,38	Pozitif	Zayıf
		T	-0,70	Negatif	Çok Yüksek
		TY	-0,44	Negatif	Çok Zayıf
		SO ₂	*	*	*
	PM	0,94	Pozitif	Çok Yüksek	
	PM	P	0,13	Pozitif	Çok Zayıf
		n	0,63	Pozitif	Orta
		GS	-0,58	Negatif	Orta
		RH	-0,49	Negatif	Zayıf
		T	-0,51	Negatif	Orta
		TY	0,41	Pozitif	Zayıf
SO ₂		0,94	Pozitif	Çok Yüksek	
PM	*	*	*		
2010-2011	SO ₂	P	-0,20	Negatif	Çok Zayıf
		n	0,32	Pozitif	Zayıf
		GS	-0,36	Negatif	Zayıf
		RH	0,38	Pozitif	Zayıf
		T	-0,70	Negatif	Yüksek
		TY	-0,44	Negatif	Zayıf
		SO ₂	*	*	*
	PM	0,94	Pozitif	Çok Yüksek	
	PM	P	-0,16	Negatif	Çok Zayıf
		n	0,39	Pozitif	Zayıf
		GS	-0,51	Negatif	Orta
		RH	0,48	Pozitif	Zayıf
		T	-0,55	Negatif	Orta
		TY	-0,26	Negatif	Zayıf
SO ₂		0,94	Pozitif	Çok Yüksek	
PM	*	*	*		
2011-2012	SO ₂	P	0,39	Pozitif	Zayıf
		n	0,20	Pozitif	Çok Zayıf
		GS	0,48	Pozitif	Zayıf
		RH	-0,39	Negatif	Zayıf
		T	-0,45	Negatif	Zayıf
		TY	-0,23	Negatif	Çok Zayıf
		SO ₂	*	*	*
	PM	0,48	Pozitif	Zayıf	
	PM	P	0,10	Pozitif	Çok Zayıf
		n	0,16	Pozitif	Çok Zayıf
		GS	0,12	Pozitif	Çok Zayıf
		RH	-0,56	Negatif	Orta
		T	-0,45	Negatif	Zayıf
		TY	-0,20	Negatif	Çok Zayıf
SO ₂		0,48	Pozitif	Zayıf	
PM	*	*	*		

4.4. Modelleme Sonuçları

2007-2012 kış dönemi verileri kullanarak 3 değişik model yapısı ile bağımlı değişkenleri SO₂ ve PM olan 6 adet model elde edilmiştir. Bu modeller Çizelge 4,2'de çoklu regresyonda kullanılan düzeltilmiş R² değerleri ile verilmiştir. Modele eklenen her değişken modelle ilgili olsun olmasın R² değerini artıracağı için çoklu regresyonda düzeltilmiş R² istatistiği tercih edilir.

Bu modeller ayrı ayrı kullanılarak 2011-2012 kış dönemi için SO₂ ve PM tahminleri yapılmıştır. Model performanslarını değerlendirmek amacıyla tahmin edilen modellere ait ortalama hata karenin karekökü (RMSE), uyum indeksi (IA) ve korelasyon (R²) değerleri karşılaştırılmıştır.

Modelde meteorolojik değişkenlerin yanı sıra kirletici değişkenlerde (SO₂ ve PM), iyi bir model tahmini oluşturmak için, bağımsız değişken olarak yer alırlar.

Çizelge 4.2. PM ve SO₂ tahminlerinde kullanılan model denklemleri

	R ²	Bağımlı Değişken - SO ₂
1. Model	0,505	SO ₂ = - 2376,3 + 0,3 PM + 2,7 P - 3,2 T - 0,5 N
2. Model	0,395	lnSO ₂ = - 210,8 + 0,4 lnPM - 0,2 lnT + 31,3 lnP
3. Model	0,491	SO ₂ = - 2044,3 + 0,3 PM - 17 lnT + 2,3 P + 4,6E-14P ⁵ - 4,6E-9 N ⁵ - 1,6 GS
	R ²	Bağımlı Değişken - PM
1. Model	0,459	PM = - 2995,7 + 0,8 SO ₂ - 9,7 RH + 1,5 N + 3,3 P - 1,6 TY
2. Model	0,426	lnPM = - 178 + 0,4 lnSO ₂ - 0,4 lnRH + 26,4 lnP + 0,4 lnN
3. Model	0,494	PM = - 2331,6 + 0,7 SO ₂ - 125,3 lnRH + 38,3 RH - 0,01 T ³ + 2,7 P

Ekonometrik açıdan t istatistiklerimize baktığımızda, stepwise yöntemi kullandığımız için bütün modellerimizin bağımsız değişkenleri %95 güven düzeyinde anlamlıdır. Modellerin F test istatistiğine baktığımızda ise %95 güven düzeyinde bağımsız değişkenler birlikte anlamlı yani sıfırdan farklıdır.

4.4.1. 2011-2012 Kış Dönemi için SO₂ Modelleme Sonuçları

1. modelde; Düzeltmiş R² değerinden hareketle, bağımlı değişkendeki değişimin yaklaşık % 50'si modele dâhil ettiğimiz değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Geriye kalan % 50'lik kısım ise hata terimi vasıtasıyla modele dâhil etmediğimiz değişkenler tarafından açıklanır. PM'de meydana gelen 1 birimlik bir artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂'de ortalama 0,3 birimlik bir artış yaratacaktır. Aynı şekilde basıncıdaki 1 br'lik bir artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂'nin ortalama 3 birim dolayında artacağı anlamına gelir. Sıcaklıkta ve nemde meydana gelen 1br'lik artış ise diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂'de ortalama 3 ve 0,5 birimlik bir azalış yaratacaktır. Modeldeki değişkenler sıfır olursa yaklaşık - 2376 birimlik bir SO₂ olacaktır. Yani kükürt dioksit salınımı olmayacaktır.

2. modelde; Bağımlı değişkenin yaklaşık % 40'ı modele dâhil olan bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaktadır. PM ve basıncıta meydana gelen % 1'lik bir değişme diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂'yi ortalama % 0,4 ve % 31 kadar arttırmaktadır. Sıcaklıktaki %1'lik bir değişme ise diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂'yi % 0,2 azaltmaktadır.

3. modelde; Bağımlı değişkenin yaklaşık % 50'si bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaktadır.

PM'deki 1 birimlik artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂'yi 0,3 birim arttırmaktadır. Güneşlenme süresindeki 1 birimlik artış ise diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂'yi 1,6 birim azaltmaktadır. Sıcaklık değişkeni modelde logaritmik olarak yer aldığı için, sıcaklıkta meydana gelecek % 1'lik bir artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂'yi yaklaşık % 0,17 arttırmaktadır. Basınç değişkeni modelde beşinci dereceden kuvvetiyle birlikte yer alır ve SO₂ üzerinde arttırıcı bir etkisi vardır. Diğer değişkenler sabit tutulduğunda yaklaşık değişim $2,3 + 5 * (4,6 E-14) P = 2,3 + 2,3 E-13 (P)$ olarak tahmin edilmiştir. Basınç değişkeninin SO₂ üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı nokta $2,3 / 2,3 E - 13 = 1 E+13$ alçak bir basınç seviyesidir.

SO₂ modellerine ait performans değerleri ise Çizelge 4.3'de verilmiştir. Bu çizelgeye baktığımızda; ortalama hata karenin karekökü (RMSE)'nin düşük olması beklenirken uyum indeksi (IA) ve R²'nin yüksek olması beklenir.

Bu değerler incelendiğinde RMSE değeri 46 civarında, IA değeri 0,80 civarında, R² değeri ise 0,46 civarında olmaktadır. Bu dönemdeki SO₂ değerleri için en iyi tahmin 2. model ile gerçekleştirilmiştir. Her 3 model için ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki Şekil 4.1'de verilmiştir. Bu şekilde de görüldüğü üzere tahmin için kullanılan modellerin tahmin değerleri arasında belirgin bir fark görülmemektedir.

4.4.2. 2011-2012 Kış Dönemi için PM modelleme sonuçları

1. modelde; Düzeltilmiş R² değerinden hareketle, bağımlı değişkendirdeki değişimin yaklaşık % 45'i modele dâhil ettiğimiz değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Geriye kalan % 55'lik kısım ise hata terimi vasıtasıyla modele dâhil etmediğimiz değişkenler tarafından açıklanır. SO₂, nem ve basınçta meydana gelen 1 birimlik bir artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda PM'de ortalama 0,8, 1,5 ve 3,3 birimlik bir artış yaratacaktır. Rüzgâr hızı ve toplam yağıştaki 1 birimlik artış ise diğer değişkenler sabit tutulduğunda PM 9,7 ve 1,6 birim azaltmaktadır.

2. modelde; Bağımlı değişkenin yaklaşık % 42'si modele dâhil olan bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaktadır. SO₂, basınç ve nemdeki % 1'lik bir artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda PM % 0,4, % 26,4 ve % 0,4 arttırmaktadır. Rüzgâr hızındaki % 1'lik bir artış ise diğer değişkenler sabit tutulduğunda PM % 0,4 azaltmaktadır.

3. modelde; Bağımlı değişkenin yaklaşık % 50'si bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaktadır. SO₂ ve basınçtaki 1 birimlik bir artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda PM 0,7 ve 2,7 birimlik arttırmaktadır. Rüzgâr hızı modelde doğal

logaritması ile birlikte yer almaktadır ve PM üzerinde azaltıcı bir etkisi vardır. Diğer değişkenler sabit tutulduğunda yaklaşık değişim $38,3 - \ln (125,3) RH=38,3- 2,57903 E+54 (RH)$ olarak tahmin edilmiştir. Rüzgâr değişkeninin PM üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı nokta $38,3 / 2,57903 E +54 = 1,48505 E - 53$ düşük bir rüzgâr hızı seviyesidir.

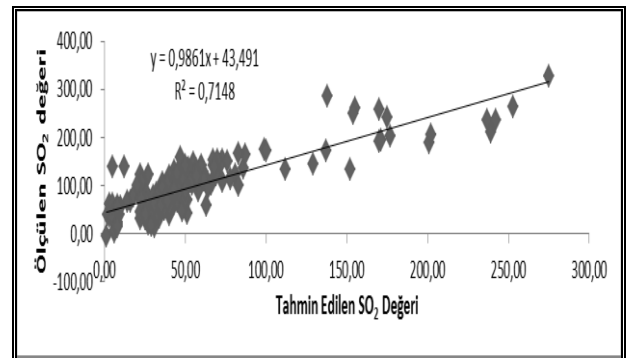
PM modellerine ait performans değerleri ise Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Bu değerler incelendiğinde RMSE değeri 116 civarında, IA değeri 0,66 civarında, R² değeri ise 0,46 civarında olmaktadır. Bu dönemdeki PM değerleri için en iyi tahmin 3. Model ile gerçekleştirilmiştir. Her 3 model için ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki Şekil 4.2'de verilmiştir. Bu şekilde de görüldüğü üzere tahmin için kullanılan modellerin tahmin değerleri arasında belirgin bir fark görülmemektedir.

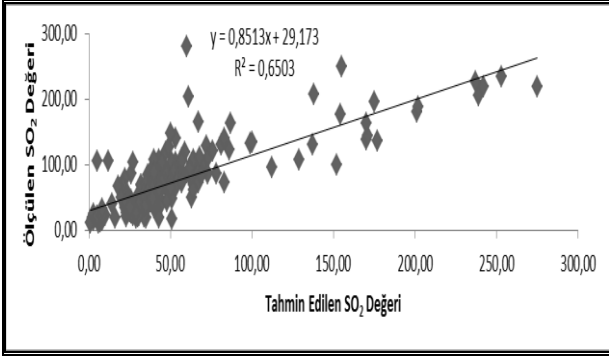
Çizelge 4.3. Model performansı.

	2011-2012 Kış Dönemi Model Sonuçları					
	SO ₂			PM		
	1. Model	2. Model	3. Model	1. Model	2. Model	3. Model
RMSE	53,1	38,8	46,2	118	124,43	105,38
IA	0,75	0,85	0,82	0,65	0,60	0,75
R ²	0,5	0,39	0,49	0,459	0,426	0,494
RMSE: Ortalama Hata Karenin Karekökü, IA: Uyum İndeksi, R²: Belirlilik katsayısı						

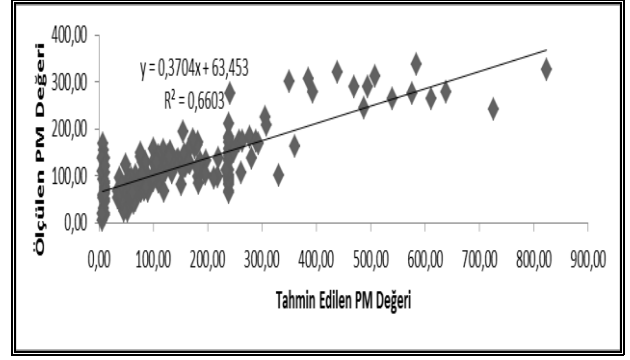
a. Model 1 denklemi



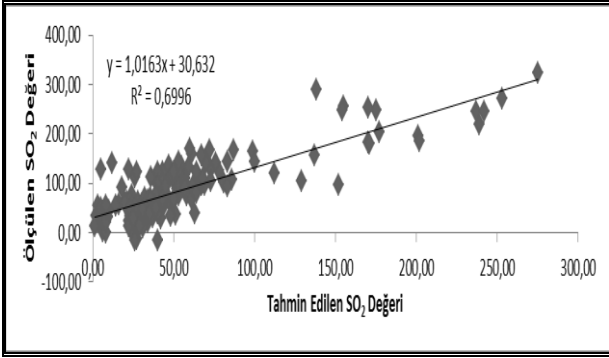
b. Model 2 denklemleri



c. Model 3 Denklemi

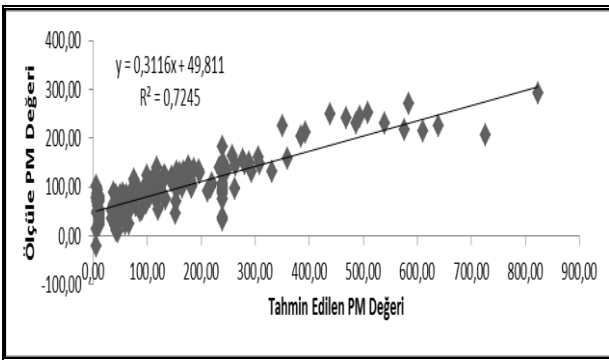


a. Model 3 Denklemi

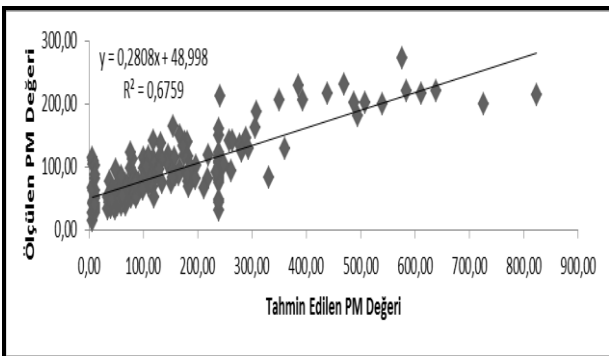


Şekil 4.1. 2011-2012 Kış dönemi SO₂ konsantrasyonunun model 1, model 2, model 3 denklemleriyle tahmini saçılma diyagramı (birimler: µg/m³)

a. Model 1 denklemleri



b. Model 2 Denklemi



Şekil 4.2. 2011 - 2012 Kış dönemi PM konsantrasyonunun model 1, model 2, model 3 denklemleriyle tahmini saçılma diyagramı (birimler: µg/m³).

4.5. İkinci Model Çalışması

2007-2012 kış dönemi hava kalitesi ile meteorolojik parametre verileri kullanarak oluşturulan 3 adet SO₂, 3 adet PM için toplam 6 adet modelde R² değeri düşük çıkmıştır. Bu nedenle 2011-2012 kış dönemi için elde edilen SO₂, PM tahmini değerlerin ve gerçekleşen değerlerin grafiksel gösterimi incelenerek SO₂ için ilk 100 değeri, PM için ilk 300 değer için lineer ilişkiyi iyi ifade ettiği tespit edilmiştir. Daha önce hesaplanan denklemler belirtilen gözlem değerleriyle yeniden hesaplanmıştır.

2007-2012 kış dönemi hava kalitesi ile meteorolojik parametre verileri kullanarak 3 değişik model yapısı ile bu modeller çoklu regresyonda elde edilen düzeltilmiş R² değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir. Modele eklenen her değişken modelle ilgili olsun olmasın R² değerini artıracığından düzeltilmiş R² istatistiği modelle alakası olmayan değişkenlerin etkisini elemine eder.

Çizelge 4.4. İkinci çalışmada PM ve SO₂ tahminlerinde kullanılan model denklemleri.

	R ²	Bağımlı Değişken-SO ₂
1. Model	0,901	SO ₂ = 47,242 + 0,397PM + 0,026P - 5,041T + 0,118N
2. Model	0,610	lnSO ₂ = 213,194 - 0,508lnT + 0,693lnPM - 31,05lnP
3. Model	0,836	SO ₂ = 451,6 + 0,41PM - 23,3lnT - 0,43P + 7,5E-15P⁵ + 3,5E-9N⁵ + 0,79GS
	R ²	Bağımlı Değişken-PM
1. Model	0,694	PM = - 917,3 + 1,12SO ₂ - 1,11 RH + 0,925N + 0,955 P - 1,53TY
2. Model	0,501	lnPM = - 104,6 + 0,49lnSO ₂ - 0,33lnRH + 15,78lnP - 0,58lnN
3. Model	0,701	PM = - 519,5 + 1,048SO ₂ - 91,141lnRH + 34,793RH - 0,02T³ + 0,572P
P: Basınç (mbar), N: Nem (%), RH: Rüzgâr Hızı (m/san), T: Sıcaklık(°C),GS:Güneşlenme Süresi (saat), TY: Toplam Yağış (mm)		

Çizelge 4.5’de 1. çalışmadaSO₂ ve PM tahminlerinde kullanılan düzeltilmiş R² ile 2. çalışmada SO₂ ve PM tahminlerinde kullanılan düzeltilmiş R²karşılaştırılmıştır. Daha önce oluşturulan modellerdeki değişkenler dâhil edilerek, söz konusu verilerle yeniden yapılan hesaplamalar sonucunda, elde edilen bazı modellerde daha önceden var olan değişkenlerin etkinliğini kaybettiği tespit edilmiştir(Koyu renktekiler anlamlılıklarını kaybediyorlar);

a)SO₂ tahmini için oluşturulan 3. modelde P, P⁵, N⁵, GS değişkenlerinin katsayılarının, % 95 güven düzeyinde sıfırdan farklı olup olmadığına dair yapılan t testleri sonucu bu katsayıların sıfırdan farklı olmadığı anlaşılmıştır.

b)PM tahmini için oluşturulan 1. modelde RH, P, 2. modelde ln N, 3. modelde T³, P değişkenlerinin katsayılarının, % 95 güven düzeyinde sıfırdan farklı olup olmadığına dair yapılan t testleri sonucu bu katsayıların sıfırdan farklı olmadığı anlaşılmıştır.

Çizelge 4.5. 1. çalışmadaSO₂ ve PM tahminlerinde kullanılan düzeltilmiş R² ile 2.. çalışmada SO₂ ve PM tahminlerinde kullanılan düzeltilmiş R²karşılaştırılması.

Denklem (SO ₂)	1. çalışmada düzeltilmiş R ²	2.çalışmada düzeltilmiş R ²
1.Model	0.505	0.901
2.Model	0.395	0.610
3.Model	0.491	0.836
Denklem (PM)	1. çalışmada düzeltilmiş R ²	2.çalışmada düzeltilmiş R ²
1.Model	0.459	0.694
2.Model	0.426	0.501
3. Model	0.494	0.701

Daha önce oluşturulan modellerdeki değişkenler dâhil edilerek, söz konusu verilerle yeniden yapılan

hesaplamalar sonucunda, elde edilen modellerin daha yüksek R²değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. İkinci modellerin hesaplanmasında kullanılan verilerin daha düşük standart sapma ve dolayısıyla daha düşük range aralığına sahip olması R²değerlerini daha da yükseltmiştir.

Bu modeller ayrı ayrı kullanılarak 2011-2012 kış dönemi için SO₂ ve PM tahminleri yapılmıştır. Model performanslarını değerlendirmek amacıyla tahmin edilen modellere ait ortalama hata karenin karekökü (RMSE), uyum indeksi (IA) ve R² değerleri Çizelge 4.6’da karşılaştırılmıştır.

4.5.1. 2011-2012 Kış Dönemi için SO₂ Modelleme Sonuçları

1. modelde; Düzeltilmiş R² değerinden hareketle, bağımlı değişkendeki değişimin % 90’ı modele dâhil ettiğimiz değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Geriye kalan % 10’luk kısım ise hata terimi vasıtasıyla modele dâhil etmediğimiz değişkenler tarafından açıklanır. PM’de meydana gelen 1 birimlik bir artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂’de ortalama 0,397 birimlik bir artış yaratacaktır. Aynı şekilde basınçtaki 1 br’lik bir artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂’nin ortalama 0,026 birim dolayında artacağı anlamına gelir. Sıcaklıkta meydana gelen 1br’lik artış ise diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂’de ortalama 5 birimlik bir azalış yaratacaktır. Modeldeki değişkenler sıfır olursa yaklaşık 47,242 birimlik bir SO₂ olacaktır.

2. modelde; Bağımlı değişkenin % 61’i modele dâhil olan bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaktadır. PM de meydana gelen % 1’lik bir değişme diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂’yi ortalama % 0,7 kadar arttırmaktadır. Sıcaklıktaki ve basınçtaki % 1’lik bir değişme ise diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂’yi % 0,5 ve %31 azaltmaktadır.

3. modelde; Bağımlı değişkenin yaklaşık % 84’ü bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaktadır. PM’deki 1 birimlik artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂’yi 0,4 birim arttırmaktadır. Sıcaklık değişkeni modelde logaritmik olarak yer aldığı için, sıcaklıkta meydana gelecek % 1’lik bir artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda SO₂’yi yaklaşık % 23 kadar arttırmaktadır. Güneşlenme süresi, basınç ve nem değişkenleri yeni modelde etkinliğini kaybetmiştir. Dolayısı ile bu değişkenler modelden çıkartılmıştır.

SO₂ modellerine ait performans değerleri ise Çizelge 4.6’daverilmiştir. Bu çizelgeye baktığımızda; Ortalama hata karenin karekökü (RMSE)’nün düşük olması beklenirken uyum indeksi (IA) ve R²’nin yüksek olması beklenir.

Bu değerler incelendiğinde RMSE değeri 58,5, IA 0,90, R² değeri ise 0,84 civarında hesaplanan 3.model, bu dönemdeki SO₂ değerleri için en iyi tahmini oluşturmaktadır. Aslına bakılırsa 3.model 1. modelden bir değişken çıkartılarak indirgenmiş hali olmasına rağmen RMSE değeri 1. modelinkinden daha azdır. Her 3 model için ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki Şekil 4.3'de verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü üzere tahmin için kullanılan modellerin tahmin değerleri arasında belirgin bir fark görülmemektedir.

4.5.2. 2011-2012 Kış Dönemi için PM Modelleme Sonuçları

1. modele dâhil edilen bağımsız değişkenler, bağımlı değişkendeki değişimin yaklaşık % 70'ini açıklamaktadır. Geriye kalan % 40'luk kısım ise hata terimi vasıtasıyla modele dâhil etmediğimiz değişkenler tarafından açıklanır. SO₂ ve nemde meydana gelen 1 birimlik bir artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda PM'de ortalama 1,12 ve 0,93 birimlik bir artış yaratacaktır. Toplam yağıştaki 1 birimlik artış ise diğer değişkenler sabit tutulduğunda PM'yi 1,5 birim azaltmaktadır. Rüzgâr hızı ve basıncın katsayılarının yapılan t testleri sonucu sıfırdan farklı olmadığı anlaşıldığından modele bir etkisi yoktur.

2. modele dâhil edilen bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık % 50'sini açıklamaktadır. SO₂ ve basınçtaki % 1'lik bir artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda PM'yi % 0,5 ve % 15,7 artırmaktadır. Rüzgâr hızındaki % 1'lik bir artış ise diğer değişkenler sabit tutulduğunda PM'yi % 33 azaltmaktadır. Nemin katsayısının yapılan t testleri sonucu sıfırdan farklı olmadığı anlaşıldığından modele bir etkisi yoktur.

3.modelde bağımlı değişkenin yaklaşık % 70'i bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Daha önce modelde olan sıcaklık ve basıncın katsayılarının yapılan t testleri sonucu sıfırdan farklı olmadığı anlaşıldığından modele bir etkisi yoktur.

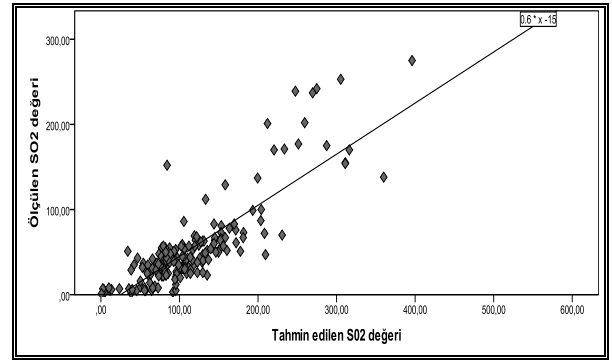
SO₂ ve rüzgâr hızındaki 1 birimlik artış diğer değişkenler sabit tutulduğunda PM'yi 1,048 ve 34,8 birimlik arttırmaktadır. Rüzgâr hızı modelde doğal logaritması ile birlikte yer almaktadır ve PM üzerinde az da olsa azaltıcı bir etkisi vardır. Fakat rüzgâr hızının PM'yi arttırıcı etkisinin yanında çok düşük kalmaktadır.

PM modellerine ait performans değerleri ise Çizelge 4.6'dadır. Bu değerler incelendiğinde RMSE değeri 112 civarında, IA değeri 0,89 civarında, R² değeri ise 0,70 civarında olmaktadır. Bu dönemdeki PM değerleri için en iyi tahmin 1. ve 3. modeller ile gerçekleştirilmiştir. Her 3 model için ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki Şekil 4.4'de verilmiştir.

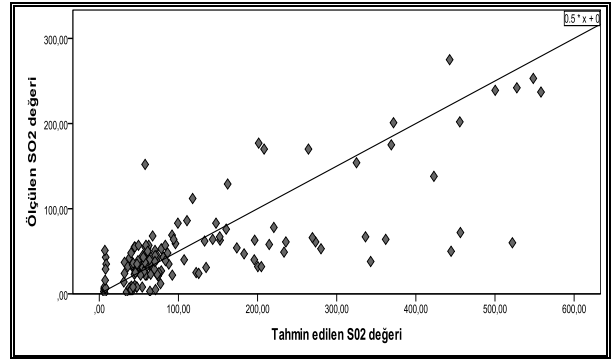
Çizelge 4.6. İkinci çalışmada elde edilen model performansları

	2011 - 2012 Kış Dönemi					
	SO ₂			PM		
	1. Model	2. Model	3. Model	1. Model	2. Model	3. Model
RMSE	70,6	104,4	58,5	122,7	103,2	112,8
IA	0,88	0,79	0,90	0,81	0,89	0,85
R ²	0,901	0,610	0,836	0,69	0,50	0,70

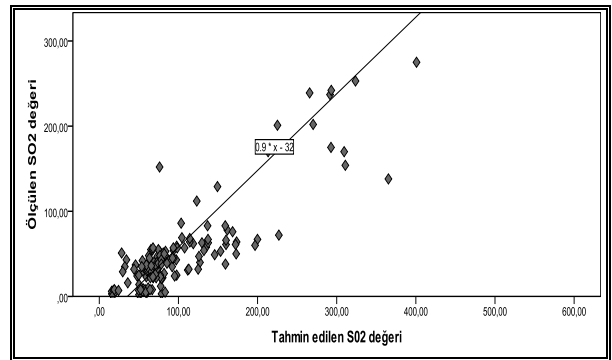
a. Model 1 Denklemi



b. Model 2 Denklemi

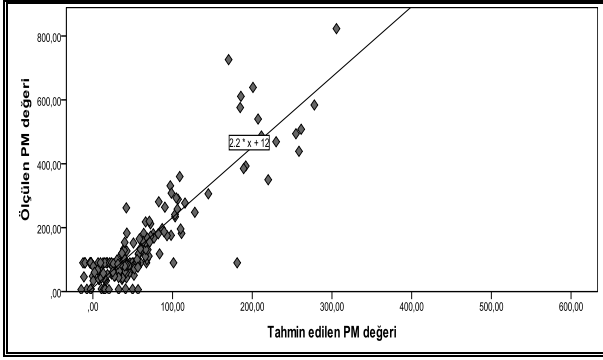


c. Model 3 Denklemi

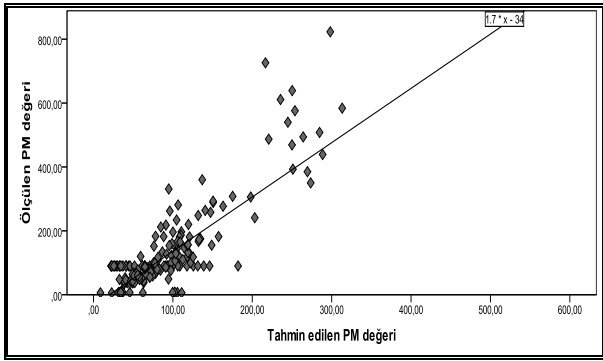


Şekil 4.3. İkinci çalışmada 2011-2012 Kış dönemi SO₂ konsantrasyonunun model 1, model 2, model 3 denklemleriyle tahmini saçılma diyagramı (birimler: µg/m³).

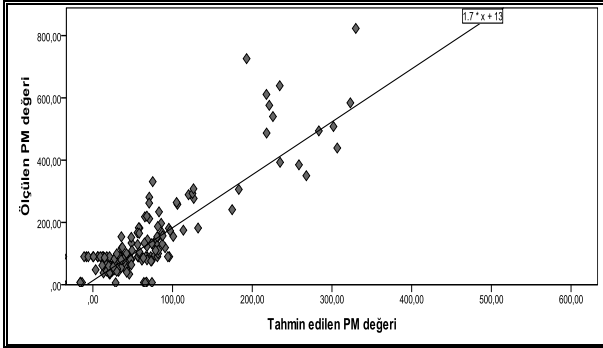
a. Model 1 Denklemi



b. Model 2 Denklemi



c. Model 3 Denklemi



Şekil 4.7. İkinci çalışmada 2011 – 2012 Kış dönemi PM konsantrasyonunun model 1, model 2, model 3 denklemleriyle tahmini saçılma diyagramı (birimler: µg/m³)

5. Sonuç Ve Öneriler

Birinci çalışmada, 2007-2012 kış dönemi verileri kullanarak oluşturulan modellerde R² değeri düşük çıkmıştır. Bu nedenle ikinci çalışmada aynı veriler kullanarak SO₂ için 0-100 µg/m³ aralığı, PM 0-300 µg/m³ aralığında lineer ilişkiyi iyi ifade ettiğinden önce hesaplanan denklemler belirtilen gözlem değeriyle hesaplanarak birinci çalışmada elde edilen model performansları ile ikinci çalışmada elde edilen model performansları Çizelge 5.1'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1. Birinci çalışma ile ikinci çalışmada elde edilen model performanslarının karşılaştırılması.

	2011-2012 Kış Dönemi Model Sonuçları					
	1. Çalışmada oluşturulan modellerin performansı					
	SO ₂			PM		
	1. Model	2. Model	3. Model	1. Model	2. Model	3. Model
RMSE	53,1	38,8	46,2	118	124,43	105,38
IA	0,75	0,85	0,82	0,65	0,60	0,75
R ²	0,5	0,39	0,49	0,459	0,426	0,494
2. Çalışmada oluşturulan modellerin performansı						
RMSE	70,6	104,4	58,5	122,7	103,2	112,8
IA	0,88	0,79	0,90	0,81	0,89	0,85
R ²	0,901	0,610	0,836	0,694	0,50	0,70
RMSE: Ortalama Hata Karenin Karekökü, IA: Uyum İndeksi, R ² : Belirlilik katsayısı						

Sonuç olarak birinci çalışmadaki modellerin ortalama hata karenin karekökü göreceli olarak daha iyi olsa bile uyum indeksi ve R²'ler 0-1 aralığında mutlak ifade edilebilmesi açısından ikinci çalışma ile oluşturulan modellerin daha iyi tahmin yapmaya elverişli olduğu söylenebilir. Daha önce oluşturulan modellerdeki değişkenler dâhil edilerek, söz konusu verilerle yeniden yapılan hesaplamalar sonucunda, elde edilen modellerin daha yüksek R² değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. İki çalışmada elde edilen modellerin ortalama hata karenin karekökü ve uyum indeksi karşılaştırıldığında; SO₂ için hesaplanan 2. model hariç diğer bütün modellerde uyum indeksinin daha yüksek/daha iyi olduğu gözlenmektedir.

Çoklu regresyon analizi modelinin, ürettiği sonuçlar ve bu modele ait varsayımlar üzerindeki incelemeler yapılarak, modelin geçerliliği kontrol edilmiştir. Model tarafından üretilen RMSE değeri 58,5, IA değeri 0,90 civarında, R² değeri ise 0,84 civarındadır. İkinci çalışmada 2011-2012 kış dönemi SO₂ değerleri için en iyi tahmin 3. modeldir.

PM için hesaplanan RMSE değerleri ikinci modelde daha düşük/daha iyi olduğu gözlenmektedir. Bu değerler incelendiğinde RMSE değeri 112 civarında, IA değeri 0,89 civarında, R² değeri ise 0,70 civarında olmaktadır. İkinci çalışmada 2011-2012 kış dönemi PM değerleri için en iyi tahmin 1. ve 3. modeller ile gerçekleştirilmiştir.

Modelleme sonuçları değerlendirildiğinde kirletici parametreler SO₂ ve PM ile sıcaklık arasında negatif bir ilişki bulunmuştur. Buda kirleticilerin daha çok ısınma kaynaklı olduğu ve mevsimsel olarak değiştiği anlamı çıkmaktadır.

Yapılan iki çalışmada da model performansının düşük olduğu zaman periyodu Ocak ve Şubat ayları olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni bu aylarda kış mevsiminin sert geçmesine bağlı olarak ısınmadan

kaynaklanan hava kirliliği seviyesinin yüksek değerlere ulaşması olarak yorumlanabilir.

Hava kalitesi ölçüm istasyonu (1018 m) ile meteoroloji istasyonu (995 m) arasında olan kot ve topografik farklar (1018-995=23m) meteoroloji istasyonunda ölçülen bağımsız parametrelerin hava kalitesi ölçüm istasyonundaki hava kalite parametrelerini yeterince temsil etmediği, ayrıca bu alanda inversiyonun olduğu ve kirleticilerin bu alanda yoğun birikmesi nedeniyle model oluşturma ve uygulamasında kullanılan bağımsız parametrelerin yeterince açıklayıcı olmadığı düşünülmektedir.

İyi bir modelleme tahmini için hava kirliliğine sebep olan kirleticilerin kaynağı, miktarı, meteorolojik parametrelerin hava kirleticileriyle etkileşimleri ve bu etkileşimde şehrin topografyası ve yapılaşmanın fonksiyonu gibi faktörleri göz önünde bulundurarak farklı model türleri (Yapay Sinir Ağı, Bulanık Sinir Ağı) elverişli sonuçlar üretecek modeller kurulabilir.

Kaynaklar

Akay, M.E., 2003. Kırıkkale'de Hava Kirliliğinin Meteorolojik Parametrelerle İlişkinin Araştırılması, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü VI. Ulusal Sempozyumu, 17-18 Ekim, Kırıkkale Üniversitesi, İzmir, 13-19.

Altıntaş, A.K., 1992. Konya'da Isınma Mevsimindeki Hava Kirliliğinin Meteorolojik Faktörlerle Değerlendirilmesi, Konya Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (7) 1-2.

Annad, W.J., and Hudson A.M., 1981. Meteorological Effects On Smoke and Sulphur Dioxide Concentrations in the Manchester Area, Atmospheric Environment, p., 799-806.

Arya, S.P., 1999. Air Pollution Meteorology and Dispersion, Oxford University Press, 425, A.B.D.

Ay, F., Balta, M., Çolak, M., Semercioğlu, H., 2010. Hava Kirliliği ve Modellenmesi, Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 55 S., Sakarya. Erişim Tarihi: 11.09.2012. <http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/noktasal-kaynakli-emisyonlari-dispersiyon-modeli.pdf>

Aydın Ö., 2006. Havadaki Kükürt dioksit ve Partikül Madde Konsantrasyonunun İstatiksel Yöntemler ile Modellenmesi; Zonguldak Örneği, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 78s., Zonguldak.

Baubel, R.W., Turner, B., Fox D.L., 1994. Fundamentals of Air Pollution, Academic Press, p., 574, San Diego, A.B.D.

Bayat, B., 2011. Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim Dergisi, Mayıs 2011, Sayı 135, 55-60.

Beyazıt, N., Düzovalı G., Akdemir A. ve Ergün O. vd., 2004. Samsun Şehir Merkezinde Ölçülen Kükürt dioksit ve Duman Konsantrasyonlarının Meteorolojik Parametrelerle İlişkilerinin Değerlendirilmesi, 1. Ulusal Çevre Kongresi, Cumhuriyet Üniversitesi, 5-7 Aralık Sivas, 339-353.

Colls, J., 1997. Air Pollution; An Introduction, Chapman and Hall, London, UK, p., 325.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2007. Çevresel kirlilik İzleme Rehberi, <http://www.cygm.gov.tr/cygm/files/yayinlar/kitap/izleme-rehberi.pdf> (Erişim Tarihi: 21.09.2012)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2005. Çevre Kanunu, <http://www.cbs.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=sayfa&Tur>. (Erişim Tarihi: 21.09.2012)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 1996. Hava Kalitesi Değerlendirilmesi ve Yönetimi Hakkında 96/62/EC Konsey Yönergesi <http://www.cbs.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=sayfa&Tur>. (Erişim Tarihi: 21.09.2012)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 1986. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği 02.12.1986 tarih ve 19269 sayılı Resmi Gazete.. <http://www.cbs.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=sayfa&Tur>. (Erişim Tarihi: 21.09.2012)

Çiçek, İ., Türkoğlu, N., Gürgen G., 2004. Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi Cilt 14 Sayı 2, 1-18

Çuhadaroğlu, B., Demirci, E., 1996. Influence of Some Meteorological Factors on Air Pollution in Trabzon City, Energy and Buildings, 179-184.

Demir, A., Debik E., 2012. Hava Kirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, <http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web.usercoursematerials>. (Erişim Tarihi: 24.08.2012)

Demirarslan O., Çetin Ş., Ayberk S., 2008. Çevre Sorunları Sempozyumu, 14-17 Mayıs, Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, 323-334.

Elbir, T., Müezzinoğlu, Bayram, A., 2000. Evaluation Of Some Air Pollution Indicators In Turkey, Environment International Volume 26, 5-10.

Eğri, M., 1997. Turgut Özal Tıp Merkezi Dergisi, 4(3): 265-269.

Eser, E., Dinç, G., Özcan, C. Ve Tartan, M., 1999. Rutin Hava Kirliliği ve Meteorolojik Verileri İle Bir Gün

- sonraki Hava Kirliliğinin Tahmini üzerine Bir Deneme, Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Ulusal Sempozyum, 27-29 Eylül, Celal Bayar Üniversitesi, İzmir, 105-113.
- Güney, E., 2004. Çevre Sorunları, Nobel Yayın Dağıtım 301s., Ankara.
- Gürkan, A., 2012. Kişisel Görüşme. Isparta İl Emniyet Müdürlüğü.
- İncecik, 1994. Hava Kirliliği, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, 1.Baskı 94s., İstanbul.
- Kalaycı, Ş., 2008. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri 259-266s., Ankara.
- Karpuzcu, M., 1991.Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, Kubbealtı Akademisi Kültür ve Sanat Vakfı Yayınları, 318s., İstanbul.
- Köksal B.A., 2002 İstatistik Analiz Metotları, Çağlayan Kitabevi, 6. Baskı 420s., İstanbul.
- Köse R., Erbaş O., Özgür A., 2006. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (1-2), 161-170.
- Lyonsand, S., 1990. Principles of Air Pollution Meteorology, p., 224, CRC, Pres.
- Mayer, H., 1999. Air Pollution in Cities Atmospheric Environmet, 33, 4029-4037.
- Milli Eğitim Bakanlığı, 2006. M.E.G.E.P., Çevre Koruma,S.14-33., Ankara, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf. (Erişim Tarihi: 23/08/2012)
- Müezzinoğlu A., 1987. Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları ,293s., İzmir.
- National Research Concl, 1991. Rethinking the Ozone Problem in Urban and Regronel Air Pollution, National Ack, Pres, p. 25, Washington.
- Onat, B., 2004. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 27-29 Eylül, İstanbul Üniversitesi, Ankara, 535-549.
- Özdamar, K., 1999. SPSS ile Biyoistatistik, Kaan Kitabevi, 3.Baskı, 400s, Eskişehir.
- Özdemir, M.A., Poyraz, Z., 2002. Elazığ Şehir Merkezinde Hava Kirliliğini Doğuran Nedenler ve Kirlilik Parametrelerinin Zaman İçindeki Değişimine Coğrafi Bir Yaklaşım, Doğu Coğrafya Dergisi, 7, (8) 165-182.
- Perez, P., 2001. Prediction of Sulfur Dioxide Concentration At a Near Downtown, Atmospheric Environmet, 35, 4929-4935.
- Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı, 2012. Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü <http://www.rshm.saglik.gov.tr/documents/hava.pdf> (Erişim Tarihi:21.09.2012)
- Sakarya Üniversitesi, 2009. Hava Kirliliği ve Modellemesi, <http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/hava.pdf>. (Erişim Tarihi: 10.10.2012)
- Scorer, R.S., 2002. Air Pollution Meteorology, s. 526, Horwood,.
- Shi, J.P., Harrison R.M., 1997. Regression Modelling of Houtly NO_x and NO₂Concentration in Urban in London, Atmospheric Environmet, Volume 31, No:24, 4081-4094.
- Tırıs, M., Kalfatoğlu, E. Okutan,H., 1993. Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü, Marmara Araştırma Merkezi Matbaası, 256s., Gebze-Kocaeli.
- Turalioğlu, F.S., Nuhoglu, A., Bayraktar, H., 2005. Impacts of some Meteorological Parameters on SO₂and TSP Concentration in Erzurum, Environmental Engineering Department, 59, 1633-1642.
- Tonta, Y., 2008. Faktör Analizi, Hacettepe Üniversitesi, <http://www.yunus.hacettepe.edu.tr/tonta/spring2008>. (Erişim Tarihi: 11.10.2012)
- Yıldırım, Y., Uzun, N., 2000. Isıtma Amaçlı Yakma Sistemlerinde Yanma Olayının İncelenmesi, Zonguldak Örneği, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü V. Ulusal Sempozyumu, 19-21 Haziran, Fırat Üniversitesi, Elazığ, s., 13-20.
- Yıldırım Y., Bayramoğlu M., Hasiloğlu, S., 2003. Modelling of NO₂ Concentrations Near a Major Road in The UK Using Regression Approach, in Proceedings of the 4 th International Conference in urba Quality, Prague, 1-4.
- Yüksek, A.G., 2007. Hava Kirliliği Tahminin Çoklu Regresyon Analizi ve Yapay Sinir Ağları Yönteminin Karşılaştırılması, Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 263s., Sivas.
- Zannetti, P., 1990. Air Pollution Modelling The Ories, Computational Methodsand Available Software, 444 pp., New York, A.B.D.

Semboller

B	Bulutluluk
C	Konsantrasyon
Cd	Kadmiyum
CFC	Kloroflorokarbon
Cl	Klor
CO ₂	Karbondioksit
CH ₄	Metan
C ₆ H ₆	Benzen
GS	Güneşlenme Süresi
HC	Hidrokarbonlar
HF	Hidrojen Florür
Hg	Cıva
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
H ₂ SO ₄	Sülfürik Asit
H ₀	Hipotez
IA	Uyum İndeksi
mbar	Milibar
m ³	Metreküp
N	Azot
n	Nem
n _i	Veri(gözlem) sayısı
NO ₂	Azotdioksit
o _i	Ölçülen Değer
P	Basınç
PM	Partikül Madde
p	Değişken Sayısı
p _i	Tahmin edilen değer
RH	Rüzgâr Hızı
RMSE	Ortalama Hata Karenin Karekökü
R ²	Belirlilik Katsayısı
r	Korelasyon Katsayısı
SO ₂	Kükürt dioksit
T	Sıcaklık
TY	Toplam Yağış
UV	Ultraviyole
µg	Mikrogram
Y _j (T)	Meteorolojik Parametre
Y _i	Değişken Serisi
Y _i	Bağımlı Değişken
\bar{Y}	Bağımlı Değişkenlerin Ortalamaları
Zn	Çinko
X _i	Bağımsız Değişken
X _(T)	Kirletici Parametre Serisi
\bar{X}	Bağımsız Değişkenlerin Ortalamaları
WHO	Dünya Sağlık Teşkilatı
%	Yüzde
β	Regresyon katsayısı
α	Sabit sayı
ϵ	Hata Terimi