

REGRESYON HARİTALAMA (ALAN KULLANIMI REGRESYON MODELİ) YÖNTEMİ İLE KÜTAHYA İLİNDE HAVA KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sevim Burçin CAN^(*), Akif ARI, Özlem ÖZDEN ÜZMEZ, Eftade O. GAGA,
Tuncay DÖĞEROĞLU, Ozan Devrim YAY

Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET

Adrese dayalı hava kalitesi değerlendirmesi, hava kirliliğine kişisel maruz kalma ve sağlık değerlendirmesi çalışmalarında önemlidir. Kirlilik seviyesi belirlenirken sınırlı sayıda ölçüm yapılabildiğinden diğer bölgelerdeki kirliliğin belirlenmesi için çoğunlukla interpolasyon teknikleri kullanılır. Çeşitli çalışmalarda regresyon haritalama (alan kullanımı regresyon modeli) yöntemi kullanıldığında interpolasyon gibi diğer tekniklerden daha doğru sonuçlar alınabileceğine dair yorumlardan bahsedilmiştir.

Bu çalışmada, nüfusu yaklaşık olarak 600,000 kişi olan Kütahya ilinde toplamda 110 noktaya pasif örnekleyici yerleştirilerek, NO₂ (azot dioksit) seviyeleri belirlenmiştir. Örneklemeye çalışmaları 2014 yılında yaz ve kış mevsimlerinde ikişer hafta olmak üzere iki kez gerçekleştirilmiştir.

Model geliştirmede, her noktada bağımlı değişken olan NO₂ seviyesi için; en yakın yola uzaklık, nüfus yoğunluğu, termik santrallere uzaklık, diğer önemli nokta kaynaklara uzaklık, yükseklik gibi bağımsız değişkenler belirlenmiştir. Regresyon haritalamanın amacına uygun olarak başlangıçta belirlenen bağımsız değişkenlerin sayısı etki derecelerine göre azaltılıp kirliliğin en az sayıda değişkenle ilişkilendirilerek mekânsal değerlendirme ve hava kalitesi tahmini yapılmaya çalışılmıştır.

Analizler sonucunda başarılı ve basit modelde bağımsız değişken olarak devlet karayollarının en yakınına olan uzaklık, 200 metrelik bir tampon alan içinde devlet karayollarının toplam uzunluğu ve ortalama araç sayısı ve 200 metrelik tampon alan içindeki toplam nüfusun kullanılabileceği görülmüştür. Model NO₂ derişimindeki değişimi %76 oranında açıklamıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Hava Kalitesi, Azot Dioksit, Alan Kullanımı Regresyon Modeli, Kütahya

ABSTRACT

Address-based air quality assessment is important for studies on personal exposure to air pollutin and health assessment. Since pollution measurements can be carried out at limited

* sburcincan@gmail.com

number of points, various techniques like interpolation are used for determining the pollution levels at other regions. Various studies have shown that regression mapping (land use regression models) can produce more accurate results compared to other techniques like interpolation.

In this study, NO₂ (nitrogen dioxide) levels have been determined at 110 point within the province of Kütahya that has a population of about 600,000. Two-week sampling has been carried out twice, during the summer and winter periods of 2014.

For model development, the independent variables to explain the dependent variable, NO₂, at each point was determined to be; distance to the closest road, population density, distance to power plants, distance to other important point sources, elevation, etc. As is the aim in regression mapping, the number of independent variables has been reduced according to their effects and the air quality estimation has been done by using the minimum possible number of variables.

The analysis results have shown that the use of the distance to the closest motorway, the total motorway length and vehicle count within a 200 meter buffer, and total population within a 200 meter buffer can be used for a successful and simple model so as to explain 76% of the variation in NO₂ concentrations.

KEYWORDS

Air quality, nitrogen dioxide, land use regression model, Kütahya

1. GİRİŞ

Hava kirliliğini izlemenin en önemli nedenlerinden biri, kirliliğe maruz kalan insanlar ve diğer canlıların maruz kalım düzeylerinin belirlenebilmesidir. Hava kalitesi istasyonları, yüksek kurulum ve işletme maliyetleri nedeniyle sınırlı sayıda noktaya kurulabilmektedir. Kişiler kent içinde farklı zamanlarda farklı konumlarda buldukları için, tek noktada gerçekleştirilen ölçümler kişilerin gerçek maruz kalım düzeylerini yansıtmamaktadır. Bu nedenle, pasif örnekleme vb. yöntemlerle kesikli ölçümlere sıklıkla başvurulmaktadır. Ancak, bu yöntemde dahi çalışma alanının tamamı kapsamamaktadır. Bu durumda, noktasal ölçümlerden yola çıkarak alansal kirliliği hesaplamak için interpolasyon ya da alan kullanım regresyon (AKR) modellerine başvurmak ya da hava kalitesi modellerinden yararlanmak gerekmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalarda (Gilliland vd., 2005; Brauer vd., 2003), alan kullanımı regresyon modellerinin interpolasyon yönteminden daha doğru sonuçlar verebildiği görülmektedir. Ancak bu durumda dahi, alan kullanım regresyon modelleri, iç ortamdaki maruz kalım düzeyini hesaba katmadığı için akut (kısa süreli) maruz kalımdan kaynaklı sağlık etkilerinden çok, kronik (uzun süreli) maruz kalımdan kaynaklı sağlık etkilerini incelemekte daha başarılı olmaktadır. Bu çalışmada da NO₂'ye uzun süreli maruz kalımdan kaynaklı sağlık etki değerlendirmesine katkı sunabilecek alan kullanım regresyon modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

AKR model çalışmalarında, bağımlı değişkenler olarak kirliletiçi derişimleri ve bağımsız değişkenler olarak; trafik, topografya ve diğer coğrafi değişkenleri kullanarak, ilgili kirlileticilerin seviyelerinin izlenmesinde çok değişkenli regresyon modelleri oluşturulur

(Gilliland vd., 2005). Kent içi hava kirliliğinin doğru karakterizasyonu için, AKR modelleri geliştirilmiş, NO₂ ve PM_{2.5} dahil olmak üzere trafik kaynaklı kirleticilerin modellenmesinde kullanılmıştır (Briggs vd., 2000; Brauer vd., 2003; Ross vd., 2006, Gilbert vd., 2005). İncelenen AKR model çalışmalarında kullanılan önemli belirleyici değişkenler; çeşitli trafik bileşenleri, nüfus yoğunluğu, alan kullanımı, fiziksel coğrafya ve iklim gibi faktörleri kapsamaktadır. Belirleyici değişkenler için stokastik modeller geliştirilmiş ve bunlar CBS (Coğrafi Bilgiler Sistemi) yardımı ile elde edilmiştir (Hoek vd. 2008).

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, NO₂ seviyelerinin belli sabit noktalarda ölçülmesi ile elde edilen derişim değerlerinden yola çıkarak, herhangi bir noktadaki NO₂ seviyesinin, kirliliği belirlediği düşünülen ve alan kullanımı ile ilişkili değişkenlerle tahmin edilmesini sağlayan sayısal modeller oluşturulmuştur.

Bu çalışmada kullanılan veriler, 2014 yılı içinde Kütahya il sınırları dâhilinde 110 noktada kış ve yaz aylarında olmak üzere 15 günlük periyotlarla gerçekleştirilen pasif örnekleme çalışmaları ve sonrasında yapılan iyon kromatografik analizler sonucu elde edilen NO₂ derişim değerleridir. Hava kalitesini belirleyeceği düşünülen değişkenlerle ilgili bilgiler derlenmiş ve CBS ortamında sayısallaştırılmıştır. Derlenen bilgiler yol tipi, araç sayısı, nüfus yoğunluğu, topografya, endüstriyel kaynakların konumu, vb. değişkenlerle ilgilidir.

Çalışmada kullanılmış olan NO₂ pasif örnekleycileri Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Hava Kalitesi Araştırma Grubundan araştırmacılar tarafından geliştirilmiş, validasyon çalışmaları yapılmış (Özden ve Döğeroğlu, 2006; Özden ve Döğeroğlu, 2008; Özden ve Döğeroğlu, 2012) ve farklı bilimsel çalışmalarda kullanılmıştır (Demirel vd., 2014; Altuğ vd., 2013, Gaga vd., 2012; Gül vd., 2011).

Alan kullanımı regresyon modelinin geliştirilmesinde kullanılacak verilerin sayısallaştırılması, düzenlenmesi ve mekânsal analizi, ArcGIS 10 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. İstatistik analizler için Statgraph yazılımı kullanılmıştır.

2.1. Örnekleme yapılacak noktaların seçilmesi ve örneklemlerin gerçekleştirilmesi

“Kütahya’da Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları: Kaynakların Tespiti, Ölçümler ve Sağlık Riski Analizi” başlıklı TÜBİTAK (112Y305) projesi kapsamında topografya, trafiğe uzaklık, sanayi kaynaklarına uzaklık, nüfus yoğunluğu vb. kriterlere göre farklı özellik taşıyan 110 örnekleme noktası belirlenmiştir. Farklı nitelikteki bu noktalarda yapılan ölçümler, alan kullanım regresyon modeli oluşturmak için de uygun noktalardır.

Örnekleyciler iki hafta süre ile sahada bırakılmış ve sonrasında toplanmıştır. Örnekleme, kış ve yaz mevsiminde olmak üzere iki kere gerçekleştirilmiştir.

2.2. Bağımsız değişkenlere ait verilerin derlenmesi ve CBS analizleri

Modelde bağımsız değişken olabilecek değişkenlerle ilgili bilgiler derlenmiş ve CBS yardımıyla işlenerek yeni veriler üretilmiştir. Derlenen verilere ve işlenmesine dair örnekler şunlardır:

Nüfus yoğunluğu: Nüfus verilerine ve bu verilerin ilişkili olduğu mekânsal alanlara dair, farklı yerleşimler için farklı çözünürlükte ulaşılmıştır. Kütahya merkez ve Tavşanlı merkez için mekânsal çözünürlük mahalle sınırlarıdır. Bu iki yerleşim için mahalle bazında nüfus bilgisi, diğer ilçeler için, ilçe merkezinin toplam nüfusu kullanılmıştır. CBS’de alan hesabı ve veri birleştirme gibi araçlar kullanılarak nüfus yoğunluğu dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Araç yoğunluğuna göre yolların tanımlanması ve ölçüm noktalarının bu yollara uzaklığının belirlenmesi: Kütahya iline ait sayısallaştırılmış yol haritaları oluşturulmuştur. Ulaşılan araç sayım verilerine ve/veya uzman görüşlerine göre bu yolların devlet karayolu, ana yol, tali yol, köy yolu vb. sınıflandırması yapılarak sayısal ortamda bu bilgiler öznitelik olarak atanmıştır. Daha sonra, CBS’de yakınlık (proximity) analizi vb. araçlarla her ölçüm noktasının farklı karakterdeki yollara uzaklıkları, ölçüm noktalarının etrafındaki belli bir tampon bölge içinde kalan toplam yol uzunluğu, araç sayısı vb. hesaplanmıştır.

Önemli nokta kaynaklar ve bunlara olan uzaklık: Çalışma alanındaki önemli nokta kaynaklara ait bazı bilgiler mevcuttur. Bu kaynakların konumları sayısallaştırılmış ve yakınlık analizleri CBS ile gerçekleştirilmiştir.

Topografik veriler (yükseklik): Çalışmada kullanılan yükseklik verileri 30 m x 30 m çözünürlüklü ASTER GDEM Version 2 veri setinden alınmıştır.

Özniteliklerin birleştirilmesi: Tüm bağımsız değişkenlere ait bilgiler derlendikten ve gerekli ön işlemler (çözünürlük ayarlaması, tampon oluşturma, coğrafi projeksiyon düzeltmeleri ve uyumlaştırmalar, vb.) gerçekleştirildikten sonra CBS çakıştırma araçları ile her örnekleme noktasında kirlenici derişimleri ile birlikte bağımsız değişkenlere ait bilgilerin öznitelik olarak saklanması sağlanmıştır.

2.3. İstatistik ve CBS Analizleri

Kirlenici derişimleri ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve stokastik modelin oluşturulmasında kullanılan temel araç, doğrusal çoklu regresyon olmuştur. Regresyon analizinde bağımlı değişkenle (yıllık ortalama NO₂ derişimi) ilişkili olarak denenen bağımsız değişkenler şunlardır:

- En yakın yola uzaklık (Devlet karayolları, ilçeleri bağlayan yollar ve kırsaldaki düşük yoğunluktaki yollar ayrı ayrı incelenmiştir. 200 metre ve 500 metreden daha uzak olan yollar değerlendirme dışı bırakılmıştır)
- Nokta etrafındaki tampon bölge içinde kalan devlet karayollarındaki ortalama araç sayısı (200 metre ve 500 metrelik tamponlar)
- Endüstriyel tesisler ve termik santrallerden en yakın olanına uzaklık
- Yükseklik
- Nokta etrafındaki tampon bölge içindeki toplam nüfus (200 metre ve 500 metrelik tamponlar)
- En yakın yerleşime (köyler hariç) uzaklık

3. BULGULAR

Model oluşturulurken, literatürde de en sık kullanılan doğrusal çoklu regresyonun veri setine uygunluğunu değerlendirmek için analizler yapılmış ve model sonuçlarındaki artıkların (residual) değerleri ve dağılımları doğrusal regresyonun kullanılabilirliğini göstermiştir.

Model oluşturulurken dâhil edilen 19 değişkenin tamamı kullanıldığında dahi tüm değişkenlerin NO₂'deki değişimi açıklayan modelle istatistik olarak anlamlı bir ilişkisi olduğu görülmüş ve NO₂'deki değişkenliğin %78'ini açıklayan başarılı bir model denklemi bulunmuştur. AKR modellerinde amaçlardan biri, aynı performansa sahip ancak daha az sayıda bağımsız değişken içeren bir model oluşturmaktır. Bu nedenle, en yüksek p-değerleri esas alınarak ve değişkenler sırayla çıkarılarak modeller oluşturulmaya devam edilmiştir. Sonuçta, yalnız 4 değişken kullanılarak elde edilen modelin de yaklaşık olarak aynı tahmin performansını sergilediği (NO₂'deki değişkenliğin %76'sını açıklamaktadır) görülmüştür. Buna göre yıllık ortalama NO₂ derişimi tahmininde kullanabilecek en basit model şu şekildedir:

$$NO_2 = 7,2531 - 0,000242645*A + 0,00102201*B - 0,000110314*C + 0,012028*D \quad (1)$$

NO₂: Yıllık ortalama NO₂ derişimi (µg/m³)

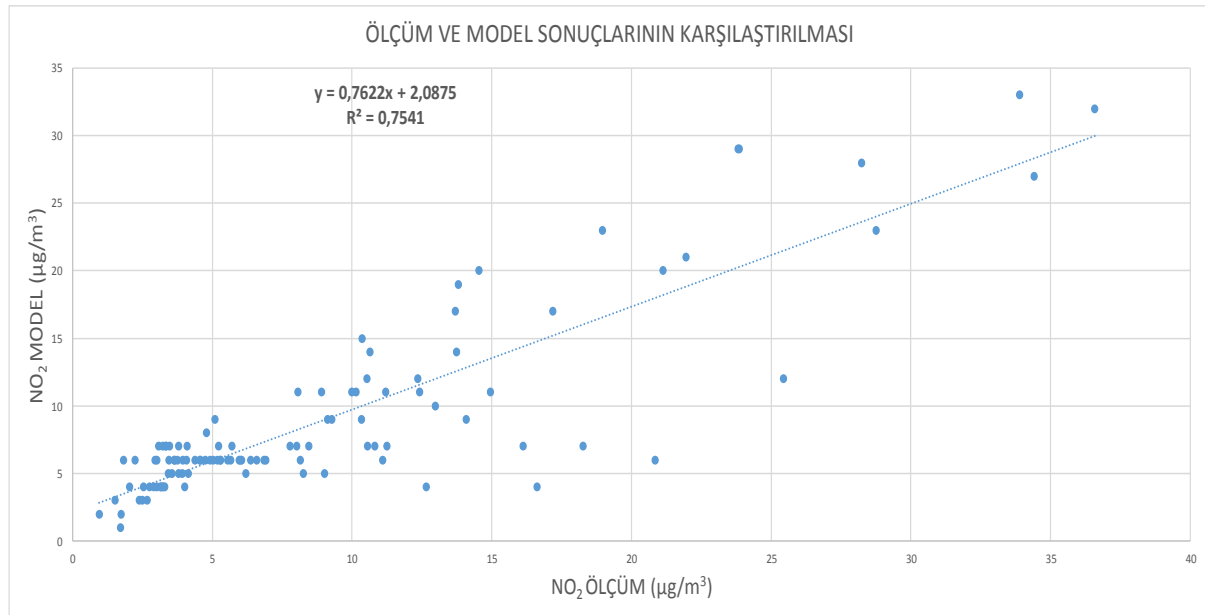
A: En yakın devlet karayoluna uzaklık (m)

B: 200 metrelik bir tampon alan içinde kalan devlet karayollarındaki araç sayısı

C: 200 metrelik bir tampon alan içinde kalan devlet karayollarının yol uzunluğu (m)

D: 200 metrelik bir tampon alan içindeki toplam nüfus

Model ve ölçüm sonuçları karşılaştırması Şekil 1'de grafik olarak ve Şekil 2'de harita üstünde gösterilmiştir.



Şekil 1. Ölçüm ve model sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 2. Ölçüm ve model sonuçlarının karşılaştırılması

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışmanın daha farklı sayıda ve ayrıntıda değişkenle geliştirilmesi, modelin doğru tahmin gücünü arttıracaktır. Önümüzdeki dönemde çalışmaya yeni değişkenler ve yöntemlerle devam edilecektir. Ayrıca model doğruluğunun değerlendirilmesi için bazı yaklaşımlardan yararlanılacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 112Y305 numaralı ve "Kütahya'da Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları: Kaynakların Tespiti, Ölçümler ve Sağlık Riski Analizi" başlıklı TÜBİTAK projesi ve 1306F272 numaralı "Kütahya Hava Kalitesinin ve Partikül Madde Genotoksitesinin Araştırılması" başlıklı Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan bazı verilerin teminini sağlayan Kütahya Belediyesi ve Tavşanlı Belediyesi'ne, örnekleme noktalarına ulaşımında destek veren Kütahya İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü ile Tavşanlı Orman İşletme Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Altuğ, H., Gaga E.O., Döğeroğlu T., Özden Ö., Örnektekin S., Brunekreef B., Meliefste K, Hoek G., Van Doorn W. 2013. Effects of Air Pollution on Lung Function and Symptoms of Asthma, Rhinitis and Eczema in Primary School Children, *Environmental Science and Pollution Research* 20 (9), 6455-6467.

Brauer, M., Hoek, G., Van, V. P., Meliefste, K., Fischer, P., Gehring, U., Heinrich, J., Cyrus J., Bellander, T., Lewne, M., Brunekreef, B., 2003. Estimating Long-Term Average Particulate Air Pollution Concentrations Application of Traffic Indicators and Geographic Information Systems, *Epidemiology* 14, 228–239.

Briggs, D.J., de Hough, C., Gulliver, J., Wills, J., Elliott, P., Kingham, S., Smallbone, K. 2000. A Regression-Based Method For Mapping Traffic-Related Air Pollution Application and Testing in Four Contrasting Urban Environments, *Science of the Total Environment* 253, 151–167.

Demirel, G., Ozden, O., Döğeroğlu, T., Gaga, E.O. 2014. Personal Exposure of Primary School Children to BTEX, NO₂ and Ozone in Eskişehir, Turkey: Relationship with Indoor/Outdoor Concentrations and Risk Assessment, *Science of the Total Environment* 473–474, 537–548.

Gaga, O. E., Döğeroğlu, T., Özden, O., Ari, A., Yay, O. D., Altuğ H., Akyol N., Örnektekin S., Doorn, W. V. 2012. Evaluation of Air Quality by Passive and Active Sampling in an urban city in Turkey: Current Status and Spatial Analysis of Air Pollution Exposure, *Environmental Science and Pollution Research* 19(8), 3579-3596.

Gilbert, N.L., Goldberg, M.S., Beckerman, B., Brook, J.R., Jerrett, M. 2005. Assessing Spatial Variability of Ambient Nitrogen Dioxide in Montreal, Canada, with a Land-Use Regression Model, *J. Air Waste Manage Assoc* 55,1059–1063.

Gilliland, F., Avol, E., Kinney, P., Jerrett, M., Dvonch, T., Lurmann, F., Buckley, T., Breyse, P., Keeler, G., McConnel, I R. 2005. Air Pollution Exposure Assessment for Epidemiologic Studies of Pregnant Women and Children: Lessons Learned From the Centers for Children's Environmental Health and Disease Prevention Research, *Environ Health Perspect* 113, 1447–1454.

Gül, H., Gaga, E.O., Döğeroğlu, T., Ozden O., Ayvaz, O., Ozel, S., Güngör, G. 2011. Respiratory Health Symptoms among Students Exposed to Different Levels of Air Pollution in a Turkish City, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8(4), 1110-1125.

Hoek, G., Beelen, R., Hoogh, K. de., Vienneau, D., Gulliver, J., Fischer, P., Briggs, D., 2008. A Review of Land-Use Regression Models to Assess Spatial Variation of Outdoor Air Pollution, *Atmos. Environ.* 42, 7561–7578.

Ozden, O., Dogeroglu, T. 2006. A Field Evaluation of a Passive Sampler for the Simultaneous Determination of NO₂ and SO₂ in an Urban and Rural Area, *WSEAS Transactions on Environment and Development* 8 (2), 1008-1015.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR

Ozden, O., Dogeroglu, T. 2008. Field Evaluation of a Tailor-Made New Passive Sampler for the Determination of NO₂ Levels in Ambient Air, *Environ Monit Assess* 142, 243-253.

Ozden, O., Dogeroglu, T. 2012. Performance Evaluation of a Tailor-Made Passive Sampler for Monitoring of Tropospheric Ozone, *Environmental Science and Pollution Research* 19(8):3200-3209.

Ross, Z., English, PB., Scalf, R., Gunier, R., Smorodinsky, S., Wall, S., Jerrett, M. 2006. Nitrogen Dioxide Prediction in Southern California Using Land Use Regression Modeling: Potential for Environmental Health Analyses, *J Expos Sci Environ Epidemiol* 16,106–114.