

**ŞEHİR MERKEZİ VE İL ÖLÇEKLERİNDE
HAVA KALİTESİ TAHMİNİ İÇİN
ALAN KULLANIMI REGRESYON MODELLERİ
GELİŞTİRİLMESİ: KÜTAHYA ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

Sevim Burçin CAN

Eskişehir, 2017

ŞEHİR MERKEZİ VE İL ÖLÇEKLERİNDE HAVA KALİTESİ TAHMİNİ İÇİN

ALAN KULLANIMI REGRESYON MODELLERİ GELİŞTİRİLMESİ:

KÜTAHYA ÖRNEĞİ

Sevim Burçin CAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Y. Doç. Dr. Hicran ALTUĞ

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Haziran 2017

Bu tez çalışması, 1306F272 no'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi ve 112Y305 no'lu TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenmiştir

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Sevim Burçin Can'ın 'Şehir Merkezi ve İl Ölçeklerinde Hava Kalitesi Tahmini İçin Alan Kullanımı Regresyon Modelleri Geliştirilmesi: Kütahya Örneği' başlıklı Tezi, 25.05.2017 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Unvanı-Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı): Yrd. Doç. Dr. Hicran ALTUĞ

.....

Üye :Prof. Dr. Gürdal TUNCEL.....

Üye :Prof. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU.....

Üye :Yrd. Doç. Dr. Mihriban CİVAN

Üye :Yrd. Doç. Dr. Uğur AVDAN.....

.....

Enstitü Müdürü

ÖZET

ŞEHİR MERKEZİ VE İL ÖLÇEKLERİNDE HAVA KALİTESİ TAHMİNİ İÇİN ALAN KULLANIMI REGRESYON MODELLERİ GELİŞTİRİLMESİ: KÜTAHYA ÖRNEĞİ

Sevim Burçin CAN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran, 2017
Danışman: Y. Doç. Dr. Hicran ALTUĞ

Hava kirliliği çalışmalarında adrese dayalı hava kalitesi değerlendirmeleri oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Kirlilik seviyesi belirlenirken sınırlı sayıda ölçüm yapılabildiğinden diğer bölgelerdeki kirliliğin belirlenmesi için interpolasyon, AKR modelleme (Alan Kullanımı Regresyon modeli) gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda AKR yöntemine ağırlık verildiği ve başarılı sonuçlar alınabildiği görülmüştür.

Bu çalışmada, Kütahya ilinde gerçekleştirilen 1306F272 no'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve 112Y305 no'lu TÜBİTAK projeleri kapsamında, proje çalışanları tarafından 2014 yılı yaz ve kış mevsimlerinde 106 noktada yapılan NO₂ (azot dioksit) pasif örnekleme verileri ile 3 adet istasyon verisi kullanılmıştır. Model geliştirmede, her noktada bağımlı değişken olan NO₂ seviyesi için; örnekleme noktalarının yollara olan en yakın mesafeleri, termik santrallere olan en yakın mesafeleri, diğer önemli nokta kaynaklara olan en yakın mesafeleri, nüfus yoğunluğu, yükseklik gibi bağımsız değişkenler belirlenmiştir. AKR modelleme yönteminin 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 kurulan modelde bağımsız değişken olarak yüksekliğin, örnekleme noktalarının devlet karayollarına ve termik santrallere olan en yakın mesafelerinin, 500 metre tampon bölge içinde kalan ana yolların uzunluklarının toplamının ve 200 metre tampon bölge içindeki toplam nüfusun kullanılabileceği görülmüştür. Yıllık ortalama olarak kurulan model, NO₂ derişimlerinin belirlenen bağımsız değişkenlerle olan ilişkilerini %72 oranında açıklamıştır.

Anahtar sözcükler: Hava kalitesi, Azot dioksit, Alan Kullanımı Regresyon Modeli, Kütahya

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF LAND USE REGRESSION MODELS FOR AIR QUALITY ESTIMATION IN CITY CENTER AND PROVINCE SCALE: KUTAHYA SAMPLE

Sevim Burçin CAN

Department of Environmental Engineering
Anadolu University, Graduate School of Sciences, Jun, 2017
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hicran ALTUĞ

Address-based air quality assessment have a very important place in air pollution studies. Since pollution measurements can be carried out at limited number of points, various techniques like interpolation, LUR (Land Use Regression) modelling methods are used to determine the pollution levels at other regions. Recently studies have shown that LUR modelling very preferable and it can produce more accurate results.

NO₂ data used in this study taken from other projects (No.1306F272 Anadolu University Scientific Research Project and No.112Y305 TÜBİTAK project). These data were determined at 106 point within the province of Kütahya. Two-week sampling has been carried out twice during the summer and winter in 2014. Additionally 3 governmental station data were added to the these data set for his working. 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 LUR modelling method, the number of independent variables were 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 elevation, the distance to the closest state highway and steam power plants, the total main road length within a 500 meter buffer, and total population within a 200 meter buffer can be used for a successful. According to result of the model established with annual average NO₂ concentrations, the relationship of model NO₂ concentrations with determined independent variables by 72%.

Keywords: Air quality, Nitrogen dioxide, Land Use Regression Model, Kütahya

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde pek çok kişinin emeği vardır. Onlar olmadan bu çalışmanın gerçekleşmesi olası değildi.

Titizliği ve sabrıyla her zaman yol gösterici olan değerli danışmanım Y. Doç. Dr. Hicran ALTUĞ'a,

Coğrafi Bilgi Sistemleri ve çeşitli istatistik analizler konusunda öğrendiklerimin önemli bir kısmını borçlu olduğum değerli hocam Y. Doç. Dr. Ozan Devrim YAY'a,

Tez savunma jürimde yer alarak, çalışmamda önemli katkıları bulunan değerli hocalarım Prof. Dr. Gürdal TUNCEL'e, Prof. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU'na, Y. Doç. Dr. Mihriban CİVAN'a ve Y. Doç. Dr. Uğur AVDAN'a,

Uzun çalışma saatlerinde her zaman destekleri ve arkadaşlıklarıyla yanımda olan Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Hava Kalitesi Yönetimi Grubu'ndan Doç. Dr. Eftade GAGA'ya, Y. Doç. Dr. Özlem ÖZDEN ÜZMEZ'e, Araş. Gör. Akif ARI'ya, Narin POLAT'a, Gülzade KÜÇÜKAÇIL'a ve Emre CAN'a,

Anadolu Üniversitesi'ne (BAP, 1306F272 nolu proje), Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK 112Y305 nolu proje) çalışmamı destekledikleri için,

Bu çalışmanın en zorlu günlerinde yanımda bulunup bana destek olan aileme,

Çalışma süresince manevi desteklerini esirgemeyen kadim dostlarım Pelin ERTÜRK'e, Sevde HATİPOĞLU'na, Nazlı CANDEMİR'e ve Selin ÜREY'e

İsmini sayfa kısıtlılığı nedeniyle burada anamadığım tüm dostlarıma ve sevdiklerime,

Büyük teşekkür borçluyum.

Sevim Burçin Can

Haziran 2017
Eskişehir

19.06.2017

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Sevim Burçin CAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
GİRİŞ.....	1
1. GENEL BİLGİ.....	3
1.1. Hava Kirliliği ve NO ₂	3
1.1.1. Azot oksitler (NO _x)	3
1.1.1.1. Azot oksitlerin atmosferdeki reaksiyonları	4
1.1.1.2. Azot oksitlerin etkileri	8
1.2. Hava Kalitesi.....	8
1.3. Hava Kalitesi Tahmini ve Sağlık Etkileri ile İlişkisi	10

1.4. Hava Kalitesi Modelleme Çalışmaları.....	11
1.4.1. AKR modelleri.....	12
1.4.1.1. Hava kalitesi modellemesi ve AKR istatistik analizleri.....	14
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. Çalışma Alanı.....	21
3.1.1. Hava kalitesi açısından Kütahya'daki mevcut durum	24
3.2. Örneklem Noktaları ve Örneklem Analizleri.....	25
3.3. Bağımsız Değişkenlere Ait Verilerin Derlenmesi ve CBS Analizleri.....	26
3.4. Modelin Oluşturulması	31
3.5. AKR Model Oluşturmadaki İstatistik Analizler	32
3.6. Validasyon (Doğrulama) Yöntemleri	33
4. BULGULAR.....	35
4.1. NO ₂ Kirleticiler Derişimleri	35
4.2. CBS Analizleri	42
4.2.1. Çalışma alanına ait yükseklik verileri	42
4.2.2. Nüfus ve yerleşim bölgeleri	42
4.2.3. Araç yoğunluğuna göre yolların ve uzunluklarının tanımlanması; ölçüm noktalarının bu yollara uzaklığının belirlenmesi.....	49
4.2.4. Önemli nokta kaynaklar ve bunlara olan mesafelerin belirlenmesi...	53

4.2.5. Bağımlı ve bağımsız değişken verilerinin birleştirilmesi	55
4.3. AKR Modelinin Kurulması ve İstatistik Analizler	57
4.4. Model Sonuçları.....	58
4.5. Model Sonuçlarının İstatistik Analizi.....	63
4.6. Modelin Validasyon Çalışmaları.....	68
5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKÇA.....	79
EKLER	88
ÖZGEÇMİŞ	102

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Atmosferde NO, NO ₂ ve HNO ₃ arasında oluşan temel reaksiyonlar	5
Şekil 1.2. Regresyon ve interpolasyon yöntemlerinin grafiksel gösterimleri.....	14
Şekil 1.3. Regresyon denklemi	15
Şekil 3.1. Türkiye Haritası üzerinde Kütahya ilinin Gösterimi	22
Şekil 3.2. Çalışma alanı içerisindeki örnekleme noktaları	27
Şekil 3.3. Kütahya ili mahalle sınırları haritası	28
Şekil 3.4. Çalışmanın iş-akım şeması	34
Şekil 4.1. Kütahya 2014 yılı yaz aylarına ait NO ₂ derişim değerleri	36
Şekil 4.3. Kütahya 2014 yılına ait yıllık ortalama NO ₂ derişim değerleri.....	37
Şekil 4.2. Kütahya 2014 yılı kış aylarına ait NO ₂ derişim değerleri	37
Şekil 4.4. Kütahya ili 2014 yılı NO ₂ yaz derişim değerlerinin harita üzerinde gösterimi.	39
Şekil 4.5. Kütahya ili 2014 yılı NO ₂ kış derişim değerlerinin harita üzerinde gösterimi.	40
Şekil 4.6. Kütahya ili 2014 yılı NO ₂ yıllık ortalama derişim değerlerinin harita üzerinde gösterimi.	41
Şekil 4.7. Kütahya iline ait yükseklik verileri	44
Şekil 4.8. Kütahya merkez, Tavşanlı ve diğer ilçe sınırlarına ait nüfus verileri	45
Şekil 4.9. Örnekleme noktaları etrafında oluşturulan 500 ve 200 m’lik tampon alanların gösterildiği haritadan bir kesit.	46

Şekil 4.10. Örnekleme noktalarını çevreleyen 200 metrelik tampon bölge içinde kalan toplam ve ortalama nüfus haritasından bir kesit.....	47
Şekil 4.11. Örnekleme noktalarını çevreleyen 500 metrelik tampon bölge içinde kalan toplam ve ortalama nüfus haritasından bir kesit.....	48
Şekil 4.12. Kütahya-yol haritası	50
Şekil 4.13. Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü Devlet Yolları hacim haritası.....	51
Şekil 4.14. 500 ve 200 m’lik tampon alanlar içinde kalan yolların haritasından bir kesit	52
Şekil 4.15. Kirlenici nokta kaynakların ölçüm noktalarına göre konumunu gösteren harita	54
Şekil 4.16. NO ₂ -Yıllık ortalama ölçüm ve model sonuçlarının grafik gösterimi	60
Şekil 4.17. NO ₂ -Yıllık ortalama ölçüm ve model sonuçlarının karşılaştırılmasının harita gösterimi	61
Şekil 4.18. 11 nokta NO ₂ -yıllık ortalama ölçüm ve model sonuçlarının karşılaştırılmasının grafik gösterimi	71
Şekil 4.19. 22 nokta NO ₂ -yıllık ortalama ölçüm ve model sonuçlarının karşılaştırılmasının grafik gösterimi	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan veri setine ait istatistik bilgiler	36
Çizelge 4.2. Yıllık ortalama NO ₂ verileri ile kurulan model sonuçları	59
Çizelge 4.3. Yıllık ortalama NO ₂ verileri ile kurulan modelde en güçlü korelasyona sahip olan bağımsız değişkenlerin istatistik analizi	59
Çizelge 4.4. Yıllık ortalama NO ₂ ölçümleri ile kurulan modelin varyans analizi	59
Çizelge 4.5. Bağımlı ve tüm bağımsız değişkenlerin kendi aralarında korelasyon analizler (multicollinearity).....	66
Çizelge 4.6. Yıllık ortalama NO ₂ verilerinin %90'nı ile kurulan model sonuçları	70
Çizelge 4.7. Yıllık ortalama NO ₂ verilerinin %90'nı ile kurulan modelde en güçlü korelasyona sahip olan bağımsız değişkenlerin istatistik analizi	70
Çizelge 4.8. Yıllık ortalama NO ₂ verilerinin %90'nı ile kurulan modelin varyans analizi	70
Çizelge 4.9. Yıllık ortalama NO ₂ verilerinin %80'i ile kurulan model sonuçları	73
Çizelge 4.10. Yıllık ortalama NO ₂ verilerinin %80'i ile kurulan modelde en güçlü korelasyona sahip olan bağımsız değişkenlerin istatistik analizi ...	73
Çizelge 4.11. Yıllık ortalama NO ₂ ölçümlerinin '80'İ ile kurulan modelin varyans analizi	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler:

α	: Sabit Katsayı
β	: Regresyon Katsayısı
ε	: Tesadüfi Hata Terimi
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	: Birim Metreküp Başına Düşen Mikrogram Cinsindeki Miktar
σ	: Varyans Değeri
A	: Difüzyon Yolunun Kesit Alanı (cm^2)
C_0	: Örneklenen Ortamdaki Kirletici Bileşen Derişimi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
CO	: Karbon Monoksit
D	: Kirletici Bileşenin Difüzyon Katsayısı (cm^2/s)
L	: Difüzyon Yolunun Toplam Uzunluğu (cm)
NO	: Azot Oksit
NO _x	: Azot Oksitlerin Geneli
NO ₂	: Azot Dioksit
O ₃	: Ozon
PM	: Partikül Maddeler
PM ₁₀	: Aerodinamik Çapı $\leq 10 \mu\text{m}$ Olan Partiküler Maddeler
PM _{2,5}	: Aerodinamik Çapı $\leq 2,5 \mu\text{m}$ Olan Partiküler Maddeler
p-value	: Regresyon Analizinde Güven Aralığı
R ²	: Determinasyon (Belirtme) Katsayısı
SO _x	: Kükürt Oksitlerin Geneli
SO ₂	: Kükürt Dioksit
t	: Örnekleme Süresi (s)
Q	: Adsorplanan Bileşen Miktarı (μg)

Kısaltmalar:

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ArcGIS	: Ölçeklendirilebilen Entegre Coğrafi Bilgi Sistemleri Yazılımı
ASTER GDEM	: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model (Gelişmiş Uzay Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresi – Küresel Dijital Yükseklik Modeli)
AQI	: Air Quality Index (Hava Kalitesi İndeksi)
CAA	: Clean Air Act (Temiz Hava Kanunu)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
EC	: European Commission (Avrupa Komisyonu)
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
EÜAŞ	: Elektrik Üretim A.Ş.
HKDYY	: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
HKİ	: Hava Kalitesi İndeksi
IC	: Ion Chromatography (İyon Kromatografisi)
LUR	: Land-Use Regression (Alan-Kullanım Regresyon)
NAAQS	: National Ambient Air Quality Standards (Ulusal Açık Ortam Hava Kalitesi Standartlarının)
NMHC	: Metan içermeyen Hidrokarbonlar
ROC	: Reaktif Organik Karbon
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UOB	: Uçucu Organik Bileşikler

GİRİŞ

Hava kirliliğinin önlenmesi ve kontrolü alanında, uzun yıllar boyunca, NO₂ (azot dioksit), SO₂ (Kükürt dioksit), O₃ (Ozon) ve PM (partikül maddeler) gibi konvansiyonel kirleticilerin neden olduğu hava kirliliğinin belirlenebilmesi ve önlenmesi ile ilgili sayısız çalışmalar yapılmıştır. Bahsi geçen kirletici bileşenlerin, özellikle insan sağlığı üzerindeki önemli etkilerinden dolayı, atmosferdeki seviyelerinin belirlenmesi oldukça önem kazanmaktadır. Günümüzde, daha çok gelişmiş ülkelerde, bu çalışmalar hava kalitesi izleme çalışmaları ile birleşerek ve de gelişen teknoloji ile alternatif yöntemlerin kullanımı sayesinde kısmen de olsa hava kirliliğine neden olan kirletici kaynaklarının düzeylerinin belirlenerek kontrol altında tutulmaları sağlanmaktadır.

Hava kirliliğini izlemenin en önemli nedenlerinden biri, kirlilikten etkilenen 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 bulundukları için, tek ya da yalnızca birkaç noktada gerçekleştirilen ölçümler kişilerin gerçek maruz kalım düzeylerini yansıtmamaktadır. Bu nedenle, pasif örnekleme gibi yöntemlerle kesikli ölçümlere sıklıkla başvurulmaktadır. Ancak, bu yöntemde dâhi çalışma alanının tamamı kapsanamamaktadır. Bu durumda, noktasal ölçümlerden yola çıkarak alansal kirliliği hesaplamak için interpolasyon ya da AKR (Alan-Kullanım Regresyon) modellerine başvurmak ya da hava kalitesi modellerinden yararlanmak gerekmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalarda (Gilliland ve ark., 2005; Brauer ve ark., 2003), AKR modelleme yönteminin interpolasyon yöntemine nazaran daha doğru sonuçlar elde edilebildiği görülmektedir.

Çalışmanın Amacı:

Bu tez çalışmasında, 2014 yılında Kütahya il sınırlarına ait hava kalitesinin belirlendiği bilimsel çalışmalar kapsamında (112Y305 no'lu “Kütahya'da Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları: Kaynakların Tespiti, Ölçümler Ve Sağlık Riski Analizi” başlıklı TÜBİTAK Projesi ve 1306F272 no'lu “Kütahya Hava Kalitesinin ve Partikül Madde Genetoksitesinin Araştırılması” başlıklı Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma

Projesi) elde edilen NO₂ pasif örnekleme verilerinden faydalanarak ve bölgeye ait alan kullanım verileri ile AKR modellemesinin yapılması amaçlanmıştır.

Bu kapsam da çalışmanın amacının ayrıntıları şu şekildedir;

- NO₂ bağımlı değişkeni ile bağımlı olmayan ve hava kalitesine etki eden değişkenlerin (yol tipi (ana yollar, tali yollar, çevre yolu, vb.) topografya, nüfus, endüstriyel kaynakların konumu, mahalle tabanlı yakıt tüketimi vb.) CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ortamında sayısallaştırılıp istatistiksel veri analizlerinde kullanılmak üzere derlenmesi.
- Bağımlı olmayan değişkenlere ait düzenlenen verilerin, belirlenen istatistik programında, bağımlı değişkenler olan hava kirleticilerinin kirlilik seviyelerini etkileme derecelerine göre en az sayıya indirilmesini amaçlayan çalışmaların yapılması ve AKR modelinin geliştirilmesi.
- Literatür araştırmalarında edinilen validasyon yöntemleri ile model performansının test edilmesi ve bu kapsamda ölçüm yapılamayan bölgeler için de tahmini kirletici derişim verilerinin elde edilebilmesi.

Çalışmanın Önemi:

- Bugüne kadar yapılan hava kalitesi çalışmalarında, kirletici ölçümleri sadece imkânlar dâhilindeki belirli noktalarda yapılabilmektedir dolayısı ile kirletici ölçümleri çalışma alanının her yerini kapsamamaktadır. Bu çalışmada geliştirilmesi amaçlanan AKR modeli ile örnekleme yapılamayan bölgeler için de kirlilik seviyelerinin tahmin edilebilecek olunması
- Belirli bir bölgede mevcut bulunan kirletici seviyelerinin alan kullanım parametrelerinden ne derece etkilendiğinin belirlenebilmesi ve bu doğrultuda kirletici seviyelerinin azaltılması için çözümler hakkında fikir verecek olması

Yapılan literatür araştırmalarında AKR çalışmaları çoğunlukla Kuzey Amerika ve Avrupa Ülkelerinde gerçekleştirilmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Türkiye’de hava kalitesi çalışmalarında AKR model geliştirme yöntemine daha önce rastlanılmamış olması ve çalışma alanının hava kirliliği konusunda önem arz eden bölgeler olması, bu çalışmanın önemini arttırmaktadır.

1. GENEL BİLGİ

1.1. Hava Kirliliği ve NO₂

Dünya çapında meydana gelen hızlı nüfus artışı ve büyüyen sanayiler birçok çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu çevre sorunlarında en önemlilerinden biri de hava kirliliğidir. Hava kirliliği, havanın doğal bileşenlerinin çeşitli nedenlerle bozulmasıyla meydana gelerek, insan sağlığına, doğadaki diğer canlıların hayatına, ekolojik dengeye ve eşyalara zarar vermektedir.

EPA (Environmental Protection Agency; Amerika Çevre Koruma Ajansı) hava kirliliğini ‘kirletici maddelerin insan sağlığına veya refahına zarar verecek veya başka zararlı çevresel etkiler oluşturacak şekilde havada bulunması’ şeklinde ifade etmiştir. (Cavkaytar ve ark, 2013, s.105). Bahsedilen bu zararlı etkiler; kirletici yayan bir kaynak, kirleticilerin taşınımı ve alıcı bir ortamın eş zamanlı olarak bulunması ile meydana gelir. Atmosfere salınan kirleticilerin özellikleri ve etki dereceleri; kaynağın şiddetine, çeşidine ve bulunduğu konuma bağlıdır. Kirleticilerin taşınımı da iklim, meteorolojik ve topografik koşullara bağlıdır. İşbu faktörler, kirleticilerin kaynaktan insanları, hayvanları, materyalleri ve bitkileri içeren alıcı ortamlara ulaşmasında etkilidir (Schnelle ve ark, 2002, s.14).

1.1.1. Azot oksitler (NO_x)

Bu çalışmanın esas amacı olan AKR Modelleme işleminde bağımlı değişken olarak analiz edilmek üzere NO₂ kirletici bileşeni seçilmiştir. NO₂ kirletici bileşenin seçilme nedeni yapılan literatür araştırmaları ile birlikte AKR modelleme sonuçlarında en başarılı performansı göstermiş olmasıdır. Seçilen bu kirletici bileşen, Amerikan Çevre Koruma Örgütü (EPA)’nın Temiz Hava Kanunu (CAA) kapsamında Ulusal Açık Ortam Hava Kalitesi Standartlarının (NAAQS) oluşturulması ve hava kirliliğinin tespiti için belirlediği, “kritik hava kirleticileri” olarak adlandırılan 6 temel kirletici (O₃, CO, NO_x, SO₂, Pb ve partikül maddeler) arasında yer almaktadır.

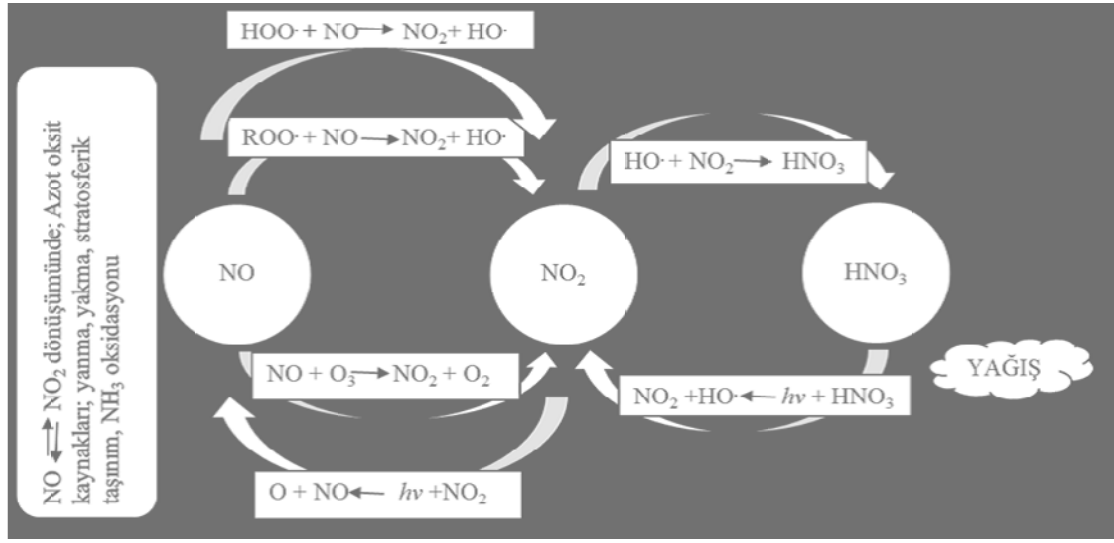
Azot oksitler (NO_x) özellikle kent ortamlarında yaygın olarak bulunan geleneksel hava kirleticiler grubunda bulunan gazlardır. Bu gazlardan en zararlı olanı NO₂’dir. NO₂’nin oluşumunda önemli bir rol oynadığından dolayı, NO da oldukça önem taşımaktadır.

NO_x kirletici bileşenleri, yanma sürecinde yüksek sıcaklık bölgesinde oluşan NO ile bunun daha ileri oksitlenme ürünü olan NO₂ gazlarının toplamından oluşur. NO_x gazları NO₂ eşdeğeri ile tanımlanır. Yanma kaynaklı olan bu gazlardan asıl zehirli olanı NO₂' dir. NO daha çok NO₂ hammaddesi olduğu için önem taşır. Her iki gaz da doğal azot çevriminin birer parçasıdır. Atmosferdeki yarılanma ömürleri düşük olup, normalde atmosferde 1 ppb'den daha az konsantrasyonda olmaları beklenir. Diğer yandan kentsel atmosferde bu konsantrasyonlar 40-80 ppb hatta 300-1400 ppb değerlere kadar yükselebilmektedir veyağun fotokimyasal sis olaylarının meydana geldiği ortamlarda 300 ppb seviyelerini gözlemlemek mümkündür(Müezzinoğlu, 2000,s.24).

Azot oksitlerin motorlu taşıtlar ve termik santraller olarak iki önemli kaynağı bulunmaktadır. Diğer endüstri tesisleri, ticari ve evsel ısıtma için yakıt tüketimi diğer NO_x kaynakları arasındadır. Özellikle kentsel bölgelerde taşıt sayısındaki artışa bağlı olarak NO_xkonsantrasyonları da artmaktadır. Kentsel bölgelerde NO_xemisyollarının oluşumunda ulaşım en önemli kaynak olarak görölmektedir. Gelişmekte olan ölkelerde genel olarak SO₂ ve partiköl madde azalma gösterse bile artan taşıt sayısı ve sanayileşme nedeniyle NO_x emisyonları artış göstermektedir.Azot oksitler asit yağmurlarına katkılarının yanı sıra ikincil formdaki inorganik partiköllerin ve fotokimyasal sisin oluşumunda da başlıca etkenlerden sayılırlar (Han ve Naeher, 2006,s.107).

1.1.1.1. Azot oksitlerin atmosferdeki reaksiyonları

Atmosferde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucu azot oksitler; nitrik asit (HNO₃), inorganik nitrat tuzları (NO₃) ve peroksit asetil nitrat (PAN) formuna dönüşmektedirler. Atmosferde reaktif halde bulunan oksitlenmiş azot bileşiklerinin (NO, NO₂ ve HNO₃ gibi) atmosferik konsantrasyonları; güneş ışığı, sıcaklık ve kirletici emisyonlarına bağlıdır. Bu üç oksitlenmiş azot bileşiklerinin arasındaki döngü Şekil 1.1' de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Atmosferde NO, NO₂ ve HNO₃ arasında oluşan temel reaksiyonlar

Kaynak: Manahan, 2000

Azot oksitin atmosfere salınan ilk hali NO olmasına rağmen, troposferde NO çok hızlı bir şekilde NO₂'ye dönüşmektedir ve atmosferik oksijen ile 1.1 nolu reaksiyona göre oksitlenmektedir (Manahan, 2000,s.21).



Bu tepkime düşük NO konsantrasyonlarında yavaş gerçekleşmektedir ve NO>1 ppm konsantrasyonlarında daha fazla önem kazanmaktadır.NO'nun konsantrasyon değeri 1 ppm'in altında olduğu durumda ise, NO₂'ye oksitlenmesi iki farklı yolla gerçekleşebilmektedir.

NO₂ atmosferde reaktif olan oksitlenmiş azot bileşiğidir ve güneş ışığında fotolizsonucu ozon oluşumunu sağlar. Oluşan ozon atmosferde bulunan NO ile tepkimeye girerek NO₂ oluşumunumeydana getirir. Denklem 1.2, 1.3, 1.4'de bu tepkimeler yer almaktadır



NO' nun NO₂' ye oksitlendiği diğer bir reaksiyonda da organik bileşikler bulunmaktadır. Atmosferdeki organik bileşikler; UOB (uçucu organik bileşikler), ROC (reaktif organik karbon) ve NMHC (metan içermeyen hidrokarbonlar) sınıfları halindedir. Kentsel bölgelerde azot oksitler, özellikle ROC kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Bu bileşikler ve uygun atmosferik koşulların bulunduğu durumlarda fotokimyasal duman (photochemical smog) oluşumu gerçekleşmektedir. Duman oluşumunu sağlayan reaksiyonlar, serbest radikallerin oluşumuna neden olan fotolitik reaksiyonlar ile başlamaktadır ve 1.5-1.6 no'lu reaksiyonlar şeklinde gerçekleşmektedir (<http-1>).



OH oluşumuna aldehytlerin fotolizi de neden olmaktadır. Motorlu taşıtların egzozları ve ROC türlerinin OH ile gerçekleştirdiği reaksiyonlar atmosferdeki aldehyt oluşum kaynaklarıdır. OH, atmosferin alt katmanlarındaki en önemli oksitleyici faktördür. Tüm organik bileşiklerle reaksiyona girerek 1.7. ve 1.8 no'lu reaksiyonlar gereği H₂O ve organik radikaller oluşturmaktadır (Özden, 2005,s.10).



RO₂, NO' yu oksitleyerek NO₂'ye dönüştürmektedir (Bkz. 1.9 no'lu reaksiyon).



NO₂ birçok süreçle atmosferden uzaklaştırılabilir. Kuru çökelme ve OH radikalleri ile HNO₃'e oksitlenir. HNO₃, suda yüksek çözünürlüğe sahiptir ve yağış şeklinde atmosferden uzaklaşır. OH radikalleri ile gündüz ve gece saatlerinde oluşturduğu HNO₃ bileşiği 1.10-1.13 no'lu reaksiyonlarda verilmiştir (Colls, 2002,s.35).

Gündüz;



Gece;



HNO_3 yüzeyde hızlı bir şekilde birikmektedir, bazılarla (NH_3 , partikül kireç) tepkimeye girerek partikül nitrati oluşturur (Manahan, 2000,s.23).

Karbonlu bileşiklerin troposferde fotokimyasal reaksiyonları sonucunda PAN oluşmaktadır. Reaksiyon 1.14- 1.16' no'lu eşitliklerde verilmiştir (Colls, 2002,s.30).



PAN'nın sudaki çözünürlüğü çok az olduğundan çökelme prosesleriyle uzaklaştırılmaz böylece termal bozunma ile NO_2 ' ye dönüşmektedir. Reaksiyon 1.17' de verilmiştir (Colls, 2002,s.30).



Yukarıdaki bozunma prosesi 1 saat süresince 295 K' de bazı aylarda 250 K' de gerçekleşmektedir. (Colls, 2002,s.30).

1.1.1.2. Azot oksitlerin etkileri

Azot oksitler içerisinde NO_2 zehirli bir gazdır. NO_2 yüksek konsantrasyonlarda ciğerlerde ödem ve kanamalara neden olur (Müezzinoğlu, 2000,s.41).

Azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO_2) yüksek konsantrasyonlarda (>50 ppm) toksik ve öldürücü etkiye sahiptirler, ancak atmosferdeki konsantrasyonları bu seviyenin çok altında olduğundan, daha çok solunum sistemleri ve akciğer üzerinde olumsuz etkileri vardır. Atmosferde bulunan konsantrasyon seviyelerinde azot dioksitin kronik pulmoner fibrosise yol açtığı belirlenmiştir (Tırıs, 1993,s.30). Nitrik asit metal yüzeylerin korozyonuna neden olur. NO_2 maruz kalımının, uzun süreli düşük konsantrasyonlarda çocuklarda bronşit hastalığının artmasına sebep olduğu görülmüştür (Masters, 1991,s.284).

Azot oksitler atmosferde hidroksil radikalleri (OH) ile reaksiyona girerek nitrik asit (HNO_3) oluşturarak asit yağmurlarına neden olur (Masters, 1991). Asit yağmurlarının en zararlı etkilerinden biri doğal su kaynaklarının (göller) asidifikasyonu ve bunun neticesinde sucul canlıların ölmesidir. Suyun pH' ı 5,5'in altına düştüğü takdirde, birçok balık türünde üreme sekteye uğrar. Ayrıca, pH düşmesiyle birlikte balıkların gıdasını oluşturan plankton ve dip faunada azalmalar gözlenmiştir (Tırıs, 1993,s.45).

1.2. Hava Kalitesi

Hava kirliliğinin neden olduğu zararları meydana getiren havadaki kirleticiler bileşenlerin derecesi hava kalitesi olarak ifade edilmiştir. Hava kirliliği genel olarak ısınma, sanayi ve motorlu taşıtlardan meydana gelmektedir ve hava kirliliğinin oluşturduğu bahsi geçen zararları önlemek ve kontrol altına alabilmek adına hava kalitesinin izlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Şehir içi bölgelerde hava kalitesi seviyesinin belirlenmesi için uzun süreli ve kapsamlı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bacadan ve egzozdan atılan kirleticilerin atmosferde dağılımını, topografik ve meteorolojik faktörler etkiler.

Kirletici türleri ise bölgedeki kaynak tiplerine göre değişmektedir. Bu durumdan dolayı ölçüm değerleri, bölgenin hava kalitesi seviyesini temsil edici yer ve ölçüm ağı içinde diğer istasyonlardan elde edilen verilerle karşılaştırabilir olması gerekir. Ölçüm yerlerinden elde edilen değerlerin bölgelerarası farkı da yansıtabilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla yoğun, az yoğun ve yoğun olmayan kirlenmeye maruz kalan bölgeler, önceden tek tek belirlenmelidir. Ölçümlerle, nokta(sanayi), alan (konutlar) ve mobil (taşıtlar) kaynaklarının her birinin veya tümünün bölgenin hava kalitesi seviyesi üzerine etkisi tespit edilmelidir. Bu tür çalışmalarda, bölgede mevcut kirlenme kaynaklarının yanında, şehir içi bölgede kirletici kaynaklarının hava kalitesi üzerine etkisi belirlenebilmesi için şehir dışından taşınan background kirletici derişimlerinin de tespit edilebilmesi gereklidir.

Bir bölgenin hava kalitesi tespit edilirken; özellikle halkın, bitkilerin, ağaçların, hayvanların, taşıtların, yapıların ve malzemelerin hava kirlenmesine maruz kaldığı yerler seçilmelidir. Ölçüm istasyonları 1 saat, 8 saat, 24 saat ve yıllık periyotlar için yeterli sayıda veri (en az %50 oranında) üretebilmelidir. Hava kalitesi ölçüm çalışmalarda, topografik ve meteorolojik faktörlerin bölgenin hava kalitesi seviyesi üzerine etkileri de belirlenmelidir. Hava kalitesi ölçüm istasyonu yeri, harita üzerine işlenmelidir.

Hava Kalitesi ölçümleri teknik olarak literatürde belirlenmiş olan ölçüm kriterlerine uygun olarak ölçüm istasyonları ve ölçüm noktaları şeklinde yapılmaktadır. Esas olarak havada bulunan kirletici bileşenlerin mevcut derişim değerlerinin ölçülesi amaçlanır. Bunun için bilenen yöntemler; aktif örnekleme, pasif örnekleme, otomatik analizörler ve uzaktan algılayıcılardır. Örneklemenin yapıldığı numuneler daha sonra laboratuvar ortamında analiz edilerek sayısal veriler haline getirilir. Elde edilen bu sayısal veriler aynı zamanda hava kalitesi modelleme çalışmalarında kullanılır.

Hava kalitesi kontrolü alanında günümüze kadar sayısız çalışma yapılarak kısmen de olsa kirletici bileşenlerin dereceleri belirlenebilmiş ve kontrol altına alınabilmıştır. Ayrıca hava kalitesi kontrolü ulusal ve uluslararası olmak üzere birçok kurumsal yapılar tarafından denetlenmekte ve takip edilmektedir. Ülkemizde de bu hava kalitesi kontrolü ‘Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği’ kapsamında kirletici bileşenlerin üst sınır değerlerinin belirlenmesi ile sağlanmaktadır.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanmış olan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) genel olarak ülke mevzuatının Avrupa Birliği (AB) mevzuatı ile uyumunu sağlamak amacıyla hazırlanmıştır ve çoğunlukla Avrupa Birliği tarafından kabul edilmiş olan (EC, 1999) hedef değerleri içermektedir. Bu yönetmelikte, gelecekte Türkiye hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik olarak, önemli hava kirleticiler için limit değerler, hedef değerler, uzun vadeli hedef değerler, değerlendirme, bilgilendirme ve uyarı eşikleri belirlenmiştir (Yay, 2006, s. 4).

1.3. Hava Kalitesi Tahmini ve Sağlık Etkileri ile İlişkisi

İnsan vücudunun hava kirleticilerine maruz kalımı soluma, sindirim ve cilt tarafından absorplanma gibi farklı yollarla gerçekleşmekte ve bu maruz kalım sonucunda olumsuz sağlık etkileri ortaya çıkmaktadır. Hava kirliliğine maruz kalım en çok soluma yolu ile gerçekleşmektedir. “Maruz kalım” ya da “Maruziyet” kavramını tanım olarak, “alıcı için toksik olduğu bilinen ya da şüphelenilen bir ajan madde ile bir alıcının sınırı arasındaki temas” olarak ifade etmek mümkündür.

Hava kirleticilerinin sağlık etkilerinin belirlenmesinde “toplam maruz kalım” ın değerlendirilmesi önerilmektedir. Toplam maruz kalım, kirleticiler maddelerin dış ortam ve farklı iç ortam (ev, iş, ulaşım araçlarının içi vb.) derişimleri ile bu ortamlarda geçirilen süreleri dikkate almaktadır. Maruz kalım değerlendirmesi, hava kirleticilerinin sağlık etkilerinin değerlendirilmesinde ve toplum sağlığı açısından alınması gereken önlemlerin belirlendiği risk yönetimi uygulamalarında çok önemlidir. Günümüzde, bu amaç doğrultusunda uygulanmakta olan ve aralarında niteliksel değerlendirmeleri de içeren bir dizi maruz kalım değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler doğruluk, hassasiyet, maliyet ve uygulanabilirlik gibi farklı ölçüler açısından oldukça fazla değişkenlik göstermektedir. Hava kirleticilerinin sağlık etkilerinin değerlendirilmesinde en sık kullanılan maruz kalım değerlendirme yöntemleri; sabit istasyonlarda yapılan açık ortam hava kalitesi ölçümleri, hava kirleticilerinin derişimlerinin modelleme yöntemi ile tahmin edilmesi ve bu modeller ile kişisel maruz kalım derecelerinin tahmin edilmesidir.

1.4. Hava Kalitesi Modelleme Çalışmaları

Hava kalitesine etki eden atmosferik bileşenlerin belirli bir noktadaki derişimini belirleyebilmenin en güvenli yolu geliştirilmiş standart yöntemlerle ölçümünün yapılmasıdır. Ancak standart ölçüm yöntemlerinin maliyet ve emek gereksinimleriyle birlikte ölçülecek olan atmosferik bileşenlerin bulundukları ortamda tepkimelerini devam ettiriyor olmaları nedeniyle ölçümler sınırlı sayıda noktalarda yapılabilmektedir. Bu durumda seçilecek olan ölçüm noktalarını, çalışma alanının özelliklerini oldukça iyi yansıtabilecek ve maliyet, meteoroloji ve fiziksel uygunluk gibi belirli kriterlere uygun yerlerden seçmek gerekmektedir. Yine de, atmosferik bileşenlerin mekânsal (spatial) dağılımını ayrıntılı olarak ölçüm yoluyla belirlemek her koşulda mümkün olmamaktadır. Pasif örnekleyiciler ile yapılan analiz, mekânsal dağılımı belirlemek için ekonomik çözümler arasında yer alsa da, bu yöntemle ayrıntılı zamansal değişimler gözlenememektedir. Bu durumda, hava kalitesi belirleme ve yönetiminde devreye giren etkin araçlardan biri modelleme yaklaşımı olmaktadır.

Hava kalitesinin belirlenmesine yönelik modeller, matematiksel ve sayısal teknikleri kullanarak, fiziksel ve kimyasal prosesleri simule eder. Bu kimyasal ve fiziksel süreçte önemli olan nokta, atmosferde bulunan hava kirleticilerinin nasıl bir tepkime verdiği ve kirletici yayılımının incelenmesidir. Meteorolojik veriler ve kaynak girişleri üzerinde emisyon oranları ve yükseklik gibi bilgiler temelinde, bu modeller, doğrudan atmosfere verilen birincil kirleticilerin karakteristiğini belirlemek için geliştirilmiştir (Ay, ve ark., 2009).

Hava kalitesini belirleyen etkenlerin çok sayıda ve karmaşık mekanizmalar halinde olmasına rağmen, bugüne kadar bu alanda yapılan çalışmalar sayesinde bu mekanizmalardan önemli sayılabilecekler ile ilgi birçok bulgular elde edilerek hava kalitesine etki eden atmosferik fiziksel ve kimyasal mekanizmaların önemli bir bölümü belirlenebilmiştir. Belirlenmiş olan fiziksel ve kimyasal mekanizmalar ile birlikte günümüzdeki bilgisayar gibi teknolojik gelişmelerle gerçek ölçüm sonuçlarına yakın sayılabilecek birçok hava kalitesi modelleme çalışması yapılmıştır. Sözü edilen fiziksel ve kimyasal mekanizmaların belirsizlerinden dolayı hiçbir modelin %100 doğruluğunu beklemek pek mümkün olmasa da bu belirsizliklerin giderilesi konusunda yeni bulgular aranmaya ve modellerin içerdiği mekanizmalar güncellenmeye devam etmektedir.

1.4.1. AKR modelleri

Açık ortam hava kirliliğine uzun süreli maruz kalmanın sağlık üzerindeki etkileri, son zamanlarda yapılan sağlık etki değerlendirmelerinde önemli rol oynamaktadır. Ancak örnekleme noktalarının yetersizliği ve küçük ölçekli mekânsal değişkenler gibi durumlar uzun süreli açık ortam hava kirliliğine maruz kalma değerlendirmelerini zorlaştırmaktadır. Kent içi açık ortam hava kirliliğinin ve bu kirliliğe maruz kalma derecesinin belirlenebilmesi için Proximity modeller, jeostatistik modeller, dağılım (dispersiyon) modelleri, interpolasyon modelleri ve AKR modelleri gibi güncel hava kalitesi modelleme çalışmalarına başvurulmaktadır.

Proximity modellerde yoğunlukla trafik aktivitelerinden kaynaklı kirlilik ile bu kirliliğin hastalık ya da ölüm riski arasındaki istatistiksel ilişkiyi değerlendirmede kullanılır ve dikkate alınan esas parametre emisyon kaynaklarına olan yakınlık mesafesidir. Ancak proximity modellerde kirleticilerin dağılımını ve foto kimyasal aktivitelerini etkileyen parametreler dikkate alınmaz ve zamansal aktivitelerin değişimi ihmal edildiğinden çok da başarılı sayılmazlar, ayrıca bu modellerde trafikteki yoğunluk ve çeşitlilik yeterince belirlenememektedir (Jerret ve ark., 2005, s. 198).

Jeoistatistik modeller belirli zaman aralıklarındaki kirletici derişimi hakkında tahminde bulunmayı sağlar. Jeostatistik modellemede çalışma alanındaki kirletici seviyesi tahmini; belirli bir çalışma gurubundaki risk değerlendirme, sosyoekonomik ve nüfus verileri ile bağlantılı olarak yapılır. Ancak jeostatistik modeller yalnızca mevcut ölçüm periyodları ile sınırlıdır ve gelişmiş bir donanım, mekânsal istatistik yazılım ve belirli bir uzmanlık gerektirdiğinden maliyet değeri fazladır (Jerret ve ark., 2005, s. 199).

Dağılım modelleri, atmosferdeki kimyasal, fiziksel ve sıvı dinamik süreçlerin temeline dayanmaktadır. Dağılım modellerinde, kirlilik kaynaklarının karakteristik özelliklerine, kirleticilerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine, topografi ve meteorolojik bilgilere göre emisyon modellemesi yapılır ve atmosferdeki mevcut gaz ve partikül halindeki kirleticilerin form dönüşümleri hakkındaki bilgiler kullanılarak yer seviyesindeki kirletici derişimlerinin tahmini yapılır (Holmes ve Morawska, 2006, s. 5906; Kukkonen ve ark., 2012, s. 2). Gauss tabanlı dağılım modelleri başlangıçta hava kalitesi araçları olarak geliştirilmiştir ve aynı zamanda çevresel epidemiyolojik çalışmalarda uzun süreli maruz kalma modelleri olarak da kullanılmaktadır (Bellander ve ark., 2001; Wu ve ark., 2011). Dağılım modellerinde diğer modellerden farklı

olarak, atmosferik kirleticilerin dinamik hareketliliğini yansıtabilmek için sonradan birleştirilmiş kimyasal ve meteorolojik modüller mevcuttur. Ancak dağılım modellerinde; CBS, bilgisayar ortamında veri işleme, matematiksel ve istatistik modelleme aşamaları için diğer modelleme çalışmalarına göre daha fazla işgücü ihtiyacı vardır (Jerret ve ark., 2005, s. 198).

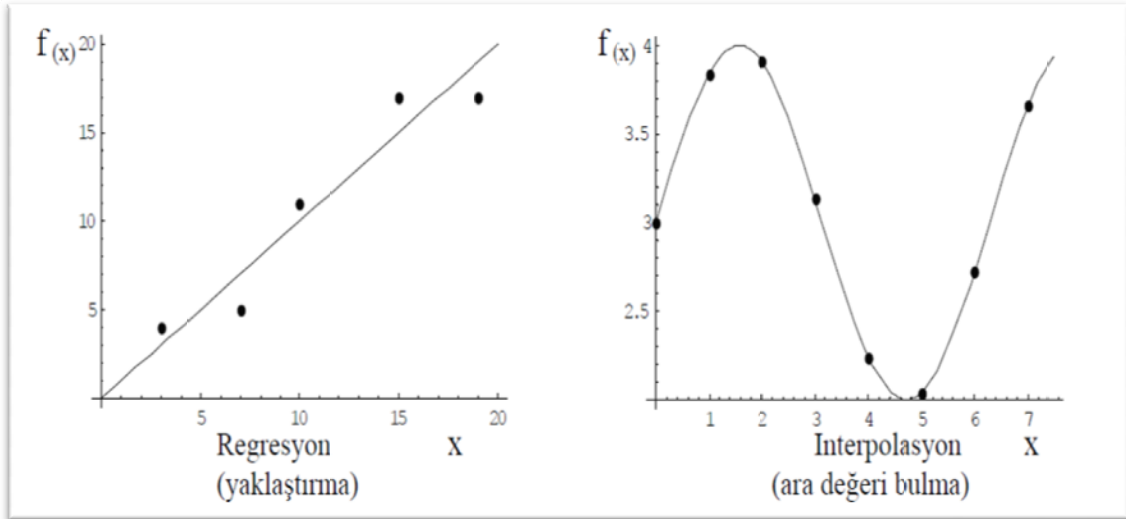
AKR yöntemi ilk kez Briggs vd. (1997) tarafından geliştirilmiştir. AKR yönteminde en küçük kareler yöntemi ile örnekleme sonuçları, CBS ortamında işlenmiş ve kirliliğe etkisi olduğu düşünülen örneklemin yapıldığı noktalara ait mekânsal veriler ilişkilendirilerek tahmini bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model, ölçüm yapılamayan noktalarda kirlilik derişimi ve bu kirliliğe maruz kalım hakkında tahmini bilgiler edinmeyi sağlar. AKR modeli sınırlı sayıda örnekleme noktası ile çalışılabileceğinden maliyetinin düşük olması, rutin olarak gerçekleştirilen ölçümleri izlemeyi kolaylaştırması ve uygun coğrafik tahminleri elde edebilmesi nedeniyle epidemiyolojik çalışmalarda kullanımı giderek artmaktadır (Hoek ve ark., 2008, s. 7564).

AKR modelleri ve Dağılım modelleri arasında karşılaştırma yapan pek çok çalışma bulunmaktadır (Beelen ve ark., 2010; Cyrus ve ark., 2005; Dijkema ve ark., 2011; Gulliver ve ark., 2011; Marshall ve ark., 2008; Sellier ve ark., 2014). Bu çalışmalar birçok farklı modeller, farklı mekânsal çözünürlükler, farklı kirleticiler ve farklı çalışma alanları gibi faktörler nedeniyle birbiriyle çok fazla örtüşmeyen bireysel çalışmaları içermektedir. Çevresel epidemiyolojik çalışmalarda kullanılan her iki modelleme yönteminin adrese dayalı hava kirliliği ve bu kirliliğe maruz kalmanın derecelendirilmesi konularında karşılaştırılabilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (De Hoogh ve ark., 2014, s. 390). Ancak de Hoogh ve ark (2014), NO₂ kirletici derişimi için yapmış oldukları modelleme çalışmasında, ana yola olan mesafe ve trafik yoğunluğu gibi küçük ölçekli değişkenlerin NO₂ kirletici derişimine olan etkilerinin tahmini konusunda AKR yönteminin daha etkili sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada Kütahya ili sınırları içerisindeki NO₂ kirletici bileşenlerinin derişim ve maruz kalım derecelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. NO₂ kirletici bileşeni trafik kaynaklı bir kirletici bileşen olduğundan hava kalitesi modellemesi için AKR yönteminin tercih edilmesinin daha başarılı sonuçlar vereceği düşünülmüştür.

1.4.1.1. Hava kalitesi modellemesi ve AKR istatistik analizleri

Hava kalitesi modelleme çalışmalarındaki örnekleme ve laboratuvar analizleri sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel analizlerinin yapılmasıdır. İstatistik analizler ile model kurularak söz konusu alanlar için kirlilik tahmininde bulunulur. Bunun için kullanılan interpolasyon ve regresyon olmak üzere iki temel istatistik yöntemi mevcuttur.

Regresyon analiz tekniğinde iki (basit regresyon) veya daha fazla değişken (çoklu regresyon) arasındaki ilişkiyi açıklamak için matematiksel bir model kullanılır ve bu model regresyon modeli olarak adlandırılır. Regresyon modelinde verilerin genel eğiliminin, her bir veri üzerinden geçmeyen ancak veri değerlerine en yakın olacak şekilde belirlenen tek bir eğri ile gösterilmesidir. İnterpolasyon analizi ise bahsi geçen verilerin her bir noktasından geçecek şekilde bir doğru uydurarak bilinmeyen noktalar için de bir değer bulabilmektir. Şekil 1.2’de regresyon ve interpolasyon analizlerinin grafiksel gösterimleri verilmiştir.



Şekil 1.2. Regresyon ve interpolasyon yöntemlerinin grafiksel gösterimleri

Kaynak: <http-2>

AKR modeli, bağımlı değişkenler olarak kirlenici derişimleri ve bağımsız değişkenler olarak; trafik, topografya ve diğer coğrafi değişkenleri kullanarak, ilgili kirlenicilerin seviyelerinin izlenmesinde çok değişkenli bir regresyon modeli olarak kullanılır (Gilliland ve ark., 2005, s. 1449). Hata oranı yüksek olan değerlerde regresyon yöntemi, hata oranı küçük olan değerlerde ise interpolasyon yöntemi kullanılmaktadır.

Deneysel verilerde önemli hatalar olabileceğinden interpolasyon uygun değildir ve ara değerleri tahmin etmek için kullanıldığında tatmin edici sonuçlar vermez ve deneysel veriler en küçük kareler yöntemi yani regresyon ile gösterimi daha iyi sonuçlar verir. Gilliland ve ark. (2005)'nin çalışmalarında; kirlilik seviyelerinin AKR modelinden elde edilen parametre değerlerinin kullanımıyla bireysel tek bir ev gibi herhangi bir konum için tahmin edilebileceğinden ve konuma özgü değişkenlerin eklenmesiyle bu yöntem; küçük alan değişkenlerini, interpolasyonun diğer yöntemlerine göre daha etkili biçimde tespit edebileceğinden bahsetmişlerdir.

Bir regresyon modeli oluşturulurken genelde en-küçük kareler ve en büyük olabilirlik (-maximum likelihood) teknikleri olarak bilinen iki yaklaşımdan birisi kullanılır. Eğer hata teriminin normal dağılım göstermesi şeklinde bir varsayım varsa en büyük olabilirlik, hata teriminin dağılışı ile ilgili herhangi bir varsayım söz konusu değilse en-küçük kareler tekniği kullanılarak parametreler tahmin edilir.

Regresyon analizi iki değişken arasındaki korelasyonun matematiksel ifadesini tespit etmek için yapılan analizdir. Bu matematiksel ifadeye de regresyon denklemi adı verilir. Şekil 1.3.'de regresyon denklemi açıklanmıştır (http-2).

Regresyon denklemi genel ifadesi: $Y' = a + bX$

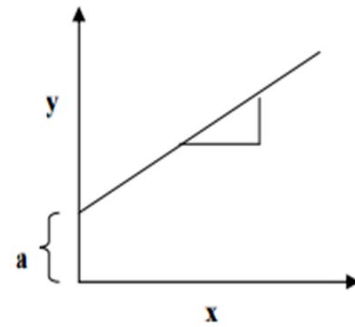
X: seçilen bağımsız değişkenin değeri

Y': seçilmiş X değerine için tahmin edilen Y değeri

a: doğrunun Y eksenini kestiği noktanın değeri

b: doğrunun eğimi

a ve b: regresyon katsayıları



Şekil 1.3. Regresyon denklemi

Kaynak: http-2

Bağımlı değişken (y), regresyon modelinde açıklanan ya da tahmin edilen değişkendir. Bu değişkenin bağımsız değişken ile ilişkili olduğu varsayılır. Bağımsız değişken (x), regresyon modelinde açıklayıcı değişken olup; bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılır.

Basit regresyon modeli;

$$Y=\alpha+\beta X+\varepsilon \quad (1.18)$$

Şeklinde bir bağımlı ve bir de bağımsız değişken içeren bir modeldir. Burada

Y; bağımlı (sonuç) değişken olup belli bir hataya sahip olduğu varsayılır.

X; bağımsız (neden) değişkeni olup hatasız ölçüldüğü varsayılır.

α ; sabit olup $X=0$ olduğunda Y'nin aldığı değerdir.

β ise regresyon katsayısı olup, X'in kendi birimi cinsinden 1 birim değişmesine karşılık Y'de kendi birimi cinsinden meydana gelecek değişme miktarını ifade eder.

ε ; tesadüfi hata terimi olup ortalaması sıfır varyansı σ^2 olan normal dağılış gösterdiği varsayılır. Bu varsayım parametre tahminleri için değil katsayıların önem kontrolleri için gereklidir (http-2).

Çok Değişkenli Regresyon Modeli;

Bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişkenin yer aldığı regresyon modellerine çok değişkenli regresyon analizi adı verilir (http-2). Çok değişkenli regresyon analizinde bağımsız değişkenler eş zamanlı olarak (aynı anda) bağımlı değişkendeki değişimi açıklamaya çalışmaktadır.

Çoklu regresyon katsayısı R, bir bağımlı değişkendeki değişim ile eşzamanlı(aynı anda) ele alınan birden fazla bağımsız değişkendeki değişim arasındaki ilişkinin derecesini göstermektedir. Daha basit bir şekilde ifade edecek olursak, bağımlı değişken ile birlikte ele alınan bir grup bağımsız değişkendeki değişimin ilişkisinin (korelasyonunun) bir göstergesidir (http-2).

Yapılan literatür çalışmalarının çoğundan elde edilen bulgular sonucunda, NO₂ kirletici derişimi için kurulan AKR modellerinde kullanılan bağımsız değişkenler; karayolu tipi, trafik yoğunluğu, yükseklik ve arazi örtüsü olmak üzere 4 ana sınıfa ayrılmıştır. Bu dört ana sınıftan en önemlisi trafik yoğunluğu olarak belirlenmiştir.

Belirleyici bağımsız değişkenler için stokastik modeller geliştirilmiş ve bunlar CBS ile elde edilmiştir (Hoek ve ark. 2008).

Özetle, literatür araştırmalarında da anlaşıldığı üzere, son yıllarda yapılan hava kirliliğine uzun süreli maruz kalmanın sağlık etkileri çalışmalarında AKR'nin çoğunlukla tercih edilen ve zamanla geliştirilmeye açık olan bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Alan kullanım çeşitliliği konusunda, topografi ve meteorolojik etkenler, nüfus, özellikle trafiğin olduğu alanlarda; anayola en yakın mesafe, trafik yoğunluğu, yol uzunluğu gibi bağımsız değişkenlerin havadaki kirlletici derişimi gibi bağımlı değişkenlere olan etkilerinin incelenmesi hava kalitesi çalışmalarında önemli yer tutmaktadır. Bahsedilen bu bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait verilerin, belirlenen tampon (buffer) sınırlar içerisinde, CBS ortamında işlenerek aralarında doğrusal bir korelasyon olduğu ve belirli istatistik programları aracılığıyla AKR yöntemi kullanılarak bu doğrusal korelasyonun modellenmesinin başarılı bir şekilde sağlanabildiği görülmüştür. Ayrıca AKR modelinin bir avantajı da kurulan model ile maddi ve fiziki zorluklardan dolayı ölçüm yapılamayan noktalar için de derişim tahminlerinde bulunabilmesinin mümkün olmasıdır. Bu durum örnekleme nokta sayılarını azaltmaya da yardımcı olur.

Bu tez çalışmasında bağımlı değişken NO₂ kirlletici bileşeninin havadaki derişimi olacağından ve NO₂ kirlletici bileşeni çoğunlukla trafik kaynaklı olduğundan literatürde belirtilen bağımsız değişkenler ve bunlardan yola çıkarak kendi tahminlerimizle türettiğimiz bağımsız değişkenlere ait verilerin CBS ortamında işlenmesiyle ve son aşama olarak bu verilerin istatistik programlar yardımıyla regresyon analizleri yapılarak bir AKR modelinin kurulması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Dış ortamlarda hava kirliliğine maruz kalmanın sağlığa olan etkileri ile ilgili çalışmalar, son yıllarda yapılan sağlık etki değerlendirmelerinde önemli rol oynamaktadır. Epidemiyolojik çalışmaların büyük bir kısmı, günümüzde açık ortamlardaki hava kirliliğinin, halk sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olduğunu göstermektedir (Brunekreef ve Holtage, 2002; Pope ve Dockery, 2006). 1993 yılında ABD’nde altı şehirde yapılan bir prospektif topluluk çalışması, sigara gibi diğer bireysel risk faktörleri için yapılan dikkatli kontrollerden sonra uzun süreli hava kirliliğine maruz kalma ile hastalıklardan kaynaklı ölüm oranının artışı arasında ilişki olduğu belgelenmiştir (Dockery ve ark., 1993). Bu çalışmada en kirli şehirdeki ölüm oranının, en az kirli şehirdeki ölüm oranına göre %26 daha fazla olduğu bildirilmiştir. Daha sonra gerçekleştirilen birçok çalışma da hava kirliliğine uzun süreli maruz kalma ile kardiyovasküler ve solunum yolu hastalıklarından kaynaklı ölüm arasında ilişki olduğu bulunmuştur (Pope ve Dockery, 2006).

Hava kirliliğine uzun-süreli maruz kalmanın etkilerinin incelendiği epidemiyolojik çalışmalar için yapılan maruz kalma değerlendirmesi, küçük-ölçekli mekânsal değişimler nedeniyle bir sorun olmaya devam etmektedir. Kentsel hava kirliliğinin değerlendirilmesindeki güncel yaklaşımlar, maruz kalma göstergesi değişkenlerinin kullanımı; interpolasyon yöntemleri, dispersiyon modelleri ve AKR modellerini içermektedir. AKR modellerinin kullanımı son yıllarda artış göstermiştir (Hoek ve ark. 2008, s. 7565). AKR modelleri genel olarak hava kirliliğine maruz kalmanın ve kentsel alanlarda yaşayan bireyler üzerindeki sağlık etkilerinin karakterize edilmesi için kullanılmıştır. Dış ortamlardaki hava kirliliğine maruz kalma derecelerinin yanlış sınıflandırılmasını minimize etmek için hava kirliliğinin sağlık etkilerini belirleyen epidemiyolojik çalışmalar, daha önce gözlem yapılmamış bölgelerde tam maruz kalım değerlendirmelerinin yapılmasını gerektirir (Ryan ve ark., 2008, s. 142).

Gelişmiş ülkelerde PM₁₀, NO₂ ve Ozon hava kirlleticileri sağlığı tehdit edecek derecede yüksek seviyelerdedir (Brunekreef ve Holgate, 2002, s. 1233). İncelenen çalışmalarda AKR modeli; NO₂, NO_x, PM_{2.5} bileşenlerinin yıllık ortalama derişim değerlerinin tespitinde, PM_{2.5} ve UOB (Uçucu Organik Bileşikler)’in farklı ortamlarda seviyelerini tespit etmek amacıyla Avrupa ve Kuzey Amerika şehirlerinde başarıyla

uygulanmıştır. Kentsel alanlarda bu yöntemin kullanımı Kriging ve Dispersiyon modelleri gibi jeo-istatistik yöntemler kadar ya da daha yüksek doğrulukta sonuçlar üretmiştir (Hoek ve ark. 2008, s. 7566).

Bugüne kadar yapılan ilgili çalışmalarda kent içi hava kirliliği karakterize edilmiştir. Ancak kirleticilerin kaynaklarından salındıktan sonra, mekânsal değişkenler tarafından hızlı bozulmaya uğramaları dikkat edilmesi gereken bir konu olmuştur (Briggs ve ark., 1997,2000). Sık kullanılan bir yöntem, noktasal olarak elde edilen kirletici derişimlerinden yola çıkarak, interpolasyon yoluyla dağılım haritaları oluşturmaktır. Ancak, kirletici derişimlerindeki küçük ölçekli değişimler, trafik kaynaklarının mekânsal dağılımı ve örnekleyicilerin yerleştirildikleri noktaların yoğunluğu gibi nedenlerle, uygulanan interpolasyon tekniklerinin kullanılması kent içi hava kirliliğinin karakterize edilmesinde pek de tanımlayıcı olmamıştır (Brauer ve ark., 2003). Ayrıca yakınlık modelleri, bir kategorik maruz kalma gösteriminin kullanılması (örneğin; ikamet < 100m = maruz kalma, ikamet > 100m = maruz kalmama) ve izotropik dağılım varsayımı nedeniyle kent içi hava kirliliğinin yanlış karakterize edilmesi ihtimaline sahiptir (Jerrett ve ark., 2005, s. 189). Kent içi hava kirliliğinin doğru karakterizasyonu için, AKR modelleri geliştirilmiş ve NO₂, UOB ve PM_{2.5} dâhil olmak üzere trafik kaynaklı kirleticilerin modellenmesinde kullanılmıştır (Briggs ve ark., 1997, 2000; Brauer ve ark., 2003; Ross ve ark., 2006, Gilbert ve ark., 2005).

Yapılan literatür çalışmalarının çoğundan elde edilen bulgular sonucunda, kullanılan değişkenler; karayolu tipi, trafik yoğunluğu, yükseklik ve arazi örtüsü olmak üzere 4 ana sınıfa ayrılmıştır. Bu dört ana sınıftan en önemlisi trafik yoğunluğu olarak belirlenmiştir. Jerret ve ark. (2005)'na göre, determinasyon (belirleyicilik) katsayısı (R^2) değeri 0.54-0.81 değer aralığında bulunan NO₂-AKR modelleri kent içi hava kirliliğine maruz kalma değişkenliğini istenen düzeyde açıklar. Örnekleme noktalarının sayısı kent içi hava kirliliğine maruz kalma tahminlerinde önemlidir, ancak incelenen çalışmalarda model doğruluğunun örnekleme noktalarının sayısı ile ilişkili olmadığı görülmüştür ve bu durum, örnekleme noktalarının yerlerinin örnekleme noktalarının sayılarından daha önemli olduğunu düşündürmüştür (Jerrett ve ark., 2005). İncelenen çalışmalardan elde edilen birincil sonuç, AKR modellerinin, kent içi hava kirliliğine maruz kalma değişkenliğinin karakterize edilmesinde trafik ve coğrafi bilgi uyumu için önemli bir araç olmasıdır (Jerrett ve ark., 2005).

İlk AKR çalışmalarında geliştirilen modeller yalnızca tek bir yerleşim için kullanılmıştır. Sürmekte olan çalışmalarda bir amaç, geliştirilen modelin benzer nitelikteki başka yerleşimlerde de uygulanabilir olmasıdır. Bazı çalışmalarda AKR modellerinin gelişmesi ile rüzgar yönü, emisyon verileri gibi ek değişkenlerin modele dâhil edilmesinin, modellerin başka bölgelerde de uygulanabilirliğinin artmasını sağlayabileceği görülmüştür. Her durumda, kent içi hava kirliliğine kişisel maruz kalma derecesinin izlenebilmesi için AKR modellerine güçlü bir şekilde ihtiyaç vardır (Hoek ve ark., 2008).

NO₂ için ve diğer kirletici bileşenler için daha önce diğer ülkelerde yapılan AKR modelleme çalışmaları Ek-1 ve Ek-2’de yer almaktadır.

Türkiye’deki hava kirliliğine neden olan bileşenlerin derişim değerlerini ve olumsuz sağlık etkileri yaratan bu hava kirliliğine kişisel maruz kalma derecesini belirlemek amacıyla bazı mekânsal değerlendirmeler yapılmıştır (Gaga ve ark., 2012; Tecer, 2013; Tecer ve Tagil, 2013; Tecer ve Tagil, 2014; Sertel ve ark. 2007). Ancak literatürde tanımlı olduğu şekliyle NO₂ kirletici derişim seviyelerinin belirlenmesi konusunda bir AKR modelleme çalışmasına rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmanın özgün bir çalışma olacağından bahsetmek mümkündür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

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

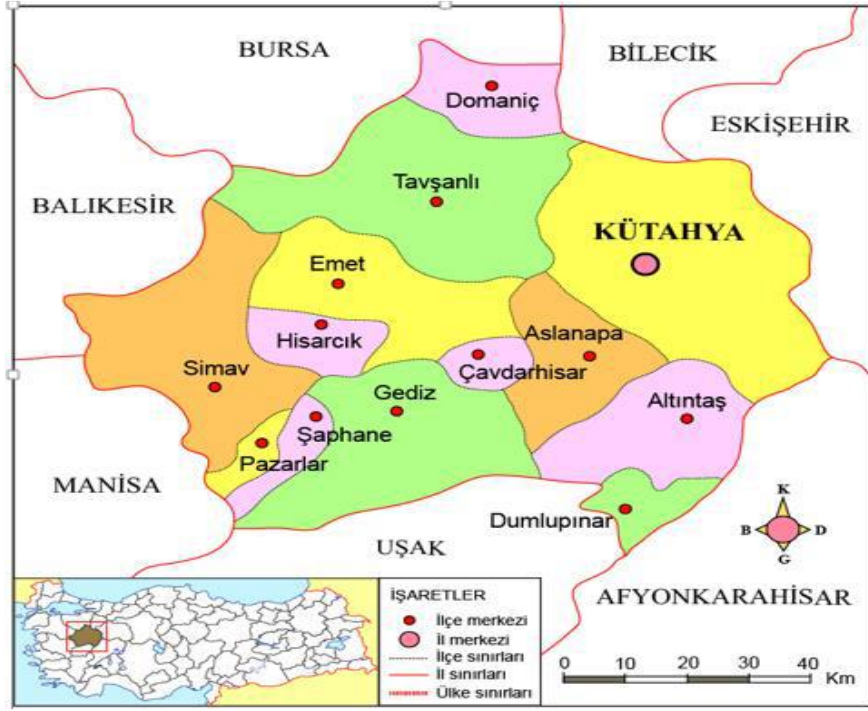
AKR model kurulumunda kullanılacak olan verilerden bağımlı değişken olarak, pasif örnekleyiciler ile ölçölen, NO₂ kirletici derişim değerlerinin sečilmesine karar verilmiştir. Dięer yandan hava kalitesini belirleyeceği düşünölen bağımsız değişkenlerle ilgili bilgiler derlenmiş ve CBS ortamında sayısallaştırılmıştır. Derlenen bilgiler yol tipi, araç sayısı, nüfus, topografya, endüstriyel kaynakların konumu, vb. değişkenlerle ilgilidir.

AKR modelinin geliştirilmesinde kullanılacak verilerin sayısallaştırılması, düzenlenmesi ve mekânsal analizi, *ArcGIS 10* yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. İstatistik analizler için *Statgraphics* yazılımı kullanılmıştır.

3.1. Çalışma Alanı

Coğrafi Konum:

Çalışma alanı Kütahya il sınırları olarak belirlenmiştir (Bkz. Şekil 3.1). Kütahya, Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu Bölümü'nde yer almaktadır ve İç Anadolu Bölgesi ile denize kıyısı olan Ege Bölgesi arasında geçiş alanıdır. Coğrafi olarak Kütahya ili, 38° 70' ve 39° 80' kuzey enlemleri ile 29° 00' ve 30° 30' doğu boylamları arasındadır. Kütahya, 11.875 km²'lik yüzölçümüyle Türkiye topraklarının yaklaşık % 1,5'nu kaplamaktadır. Kütahya'nın kuzeyinde Bursa, kuzeydoğusunda Bilecik, doğusunda Eskişehir ve Afyon, güneyinde Uşak, batısında Manisa ve Balıkesir illeri bulunmaktadır. Kütahya ili nüfusu, 2014 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre 571.554 kişi olarak belirlenmiştir (KÇŞİM, 2015,s.16).



Şekil 3.1. Türkiye Haritası üzerinde Kütahya ilinin Gösterimi
Kaynak: http-3

Topografik yapı ve kentsel yerleşim:

Kütahya ili deniz seviyesinden ortalama 930m yüksekliktedir ve şehir merkezi kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı bir havzada yer almaktadır. Bölgede yıl içinde etkili olan aksiyon merkezlerinin durumları ve diğer iklimik etkenler ile topografik etkenler; kirletici emisyonların taşınması, miktarları ve özellikle kent havasında kalma süreleri açısından olumsuz koşullar meydana getirmektedir. Bu nedenlerle, kış sezonunda ısınma kaynaklı emisyonlar ve yıl boyunca faaliyetlerini sürdüren sanayi kuruluşlarından kaynaklanan emisyonlar şehirdeki hava kirliliğini kritik boyutlara getirmektedir (Doorn ve ark, 2005,s.631).

İklim:

Kütahya, İç Anadolu'nun soğuk iklimi ile Marmara ve Ege'nin ılık iklimi arasında bir geçiş özelliği gösterir. Üç bölgenin özelliklerini taşır. Son 30 yılda yapılan günlük rasatlara göre çok şiddetli rüzgâr esmez. Kışın hâkim rüzgâr güneyden, yazın hâkim olan rüzgâr kuzeyden eser.

Yıllık yağış miktarı ortalama 600-1100 mm'dir. Kar kalınlığı 50 cm'yi geçmez. En soğuk aylar ocak ve şubat ve en sıcak aylar temmuz ve ağustostur. Genel olarak yazın sıcaklık + 20°C'yi geçmez. Sıcaklık -27,4°C ile +36,8°C arasında seyreder. Ovalar ılık, yayla ve dağlar soğuktur. Fakat İç Anadolu'da hâkim olan step ikliminin dışında kalır. +30°C'nin üstünde sıcak günler bir ayı geçmez. Sıfırın altında gün sayısı 100 güne yakındır (http-4).

Basınç ve Rüzgârlar:

Kütahya çevresinde ortalama hava basıncı, 904,7 milibardır. En yüksek hava basıncı 928,4 milibar, en düşük hava basıncı 873 milibardır. Kütahya, yaz aylarında bir alçak basınç merkezi olduğu için, özellikle kuzey sektörlü rüzgârlara açıktır. Kütahya'da hâkim rüzgâr yönü kuzeydir. Yıldız adlı kuzey rüzgârı, her yıl ortalama 2.944 kez eser ve bunu kuzeybatıdan esen karayel izler. Daha sonra güneybatıdan esen lodos rüzgârı görülür. İlde ortalama rüzgâr hızı 1,7 m/sn.dir. Ölçülen en yüksek rüzgâr hızı, kuzeybatıdan esen karayele ait olup 27,6 m/sn.değerindedir (KÇŞİM, 2015,s.18).

Kütahya'da özellikle kışın rüzgârların ters yönde estiği, şehrin yerleştiği ve dağlar arasında kalan vadi nedeniyle gece soğuyan havanın yamaçlardan tabana doğru hareket ettiği ve sıcak havayı yukarı doğru inversiyon seviyesine kadar ittiği bir olay görülmektedir. Bu olayın gece boyunca soğuk hava tabakasının artmasına, şehrin üzerini kaplamasına neden olduğu ve ertesi gün yavaş yavaş ısınarak kaybolduğu belirtilmiştir. Özellikle kış aylarında bu kirli ve sisli görünümündeki tabaka çıplak gözle rahatlıkla görülebilmektedir (KÇŞİM, 2014,s.20).

Bitki Örtüsü:

Bitki örtüsü bakımından Kütahya ve çevresi İç Anadolu, Ege ve Marmara bölgelerinin özelliğini taşır. Bölgenin hâkim bitki topluluğu kara ikliminin bitkileri olmasına rağmen, vadi içlerinde, Karadeniz'in nemli tesirlerine açık kesimlerinde, bilhassa dağlık bölgelerinin kuzey meyillerinde deniz bitki topluluğu, Ege ve Marmara yoluyla Akdeniz tesirinin görüldüğü kesimlerde Akdeniz bitki örtüsü yer alır.

İl topraklarının yarısı orman ve fundalıklarla, % 12'si çayır ve meralarla, % 35'i ekili alanlarla kaplıdır. Ormanlar çok yüksek platolardadır. Ormanlarda karaçam, ardıç ve meşe ağaçları çoğunluktadır (http-4).

3.1.1. Hava kalitesi açısından Kütahya'daki mevcut durum

Kütahya il merkezinde 1 adet, Seyitömer ve Tunçbilek termik santrallerinde ikişer adet olmak üzere 5 adet hava kalitesi izleme istasyonları bulunmaktadır. İl merkezinde bulunan izleme merkezi Çevre ve Şehircilik Bakanlığına, diğer 4 izleme istasyonu ise termik santrallere aittir. NO_x kirletici bileşenlerinin değişim seviyeleri termik santrallerde bulunan izleme santralleri tarafından 24 saatlik düzenli ölçümler ile takip edilmektedir. Kütahya ili hava kalitesini etkileyen parametreler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır;

- Sanayi; Kütahya'da İşletme sayısına göre maden, taş ocağı ve seramik sektörü ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte otomotiv sektörü de gelişmeye başlamıştır. Kütahya'da il merkezinde üç adet ve Gediz, Tavşanlı, Simav ilçelerinde de birer adet olmak üzere toplam altı adet sanayi bölgesi bulunmaktadır (KTHEP,2014,s.29).
- Evsel Isınma; Kütahya ilinde evsel ısınmaya yönelik olarak geçmiş yıllarda kömür ve 2004 yılından bu yana da kömür ile birlikte doğalgaz kullanılmaktadır (KTHEP,2014,s.31).
- Kara yolu ulaşımı; Trafik sayımı ve yakıt türlerine göre araç sayıları hakkında detaylı veri bulunamadığı için her araç türü için ortalama hız ve günlük kat edilen mesafe değerleri varsayılarak emisyon hesaplamaları gerçekleştirilmiştir (KTHEP,2014,s.33).
- Enerji Santralleri; Kütahya ili ve çevresinde bulunan 3 adet kömürlü termik santrali bulunmaktadır. Kütahya il sınırları içinde bulunan Seyitömer ve Tunçbilek termik santralleri ile Bursa il sınırı içerisinde bulunan Orhaneli termik santralidir (KTHEP,2014,s.35).

3.2. Örnekleme Noktaları ve Örnekleme Analizleri

Çalışmada kullanılan NO₂ Kirletici derişimlerini içeren veri seti, daha önce yapılmış olan 112Y305 no'lu TÜBİTAK ve 1306F272 no'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma projelerikapsamında elde edilmiştir. Bu projelerde, proje çalışanları tarafından, CBS analizleri ile topografya, trafiğe olan mesafe, sanayi kaynaklarına olan mesafe, nüfus vb. ölçütlere göre 108 örnekleme noktası belirlenmiştir (Polat, 2016; Artun ve ark., 2016) (Bkz. Şekil 3.2). İşbu projelerde çalışılan örnekleme noktaları, alan kullanım özellikleri itibariyle AKR modelleme çalışmalarında kullanılmaya uygun noktalarlardır. Dolayısı ile bu çalışma için bağımlı değişken veri seti olarak işbu projelerdeki NO₂ kirletici seviyelerine ait pasif örnekleme verilerinden faydalanılmıştır.

Bahsi geçen veriler, 112Y305 no'lu TÜBİTAK ve 1306F272 no'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma proje araştırmacıları tarafından 2014 yılı içinde Kütahya il sınırları dâhilinde 108 noktada yapılan kış ve yaz aylarında gerçekleştirilen pasif örnekleme çalışmaları ile elde edilmiştir. Araştırmacılar kış mevsimi örnekleme çalışmalarını 20 Ocak-4 Şubat 2014 tarihleri arasında ve yaz mevsimi örnekleme çalışmalarını 2-16 Haziran 2014 tarihleri arasında iki haftalık periyotlar ile gerçekleştirmişlerdir (Polat, 2016; Artun ve ark., 2016).

112Y305 no'lu TÜBİTAK ve 1306F272 no'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma proje çalışanları, pasif örnekleme çalışmalarında Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Hava Kalitesi Araştırma Ekibi (Özden ve Döğeroğlu, 2006; Özden ve Döğeroğlu, 2008; Özden ve Döğeroğlu, 2012) tarafından geliştirilen pasif örnekleme cihazları kullanılmışlardır (Polat, 2016; Artun ve ark., 2016). İşbu örnekleme cihazları farklı bilimsel çalışmalarda da kullanılmıştır (Demirel ve ark., 2014; Altuğ ve ark., 2013; Gaga ve ark., 2012; Gül ve ark., 2011).

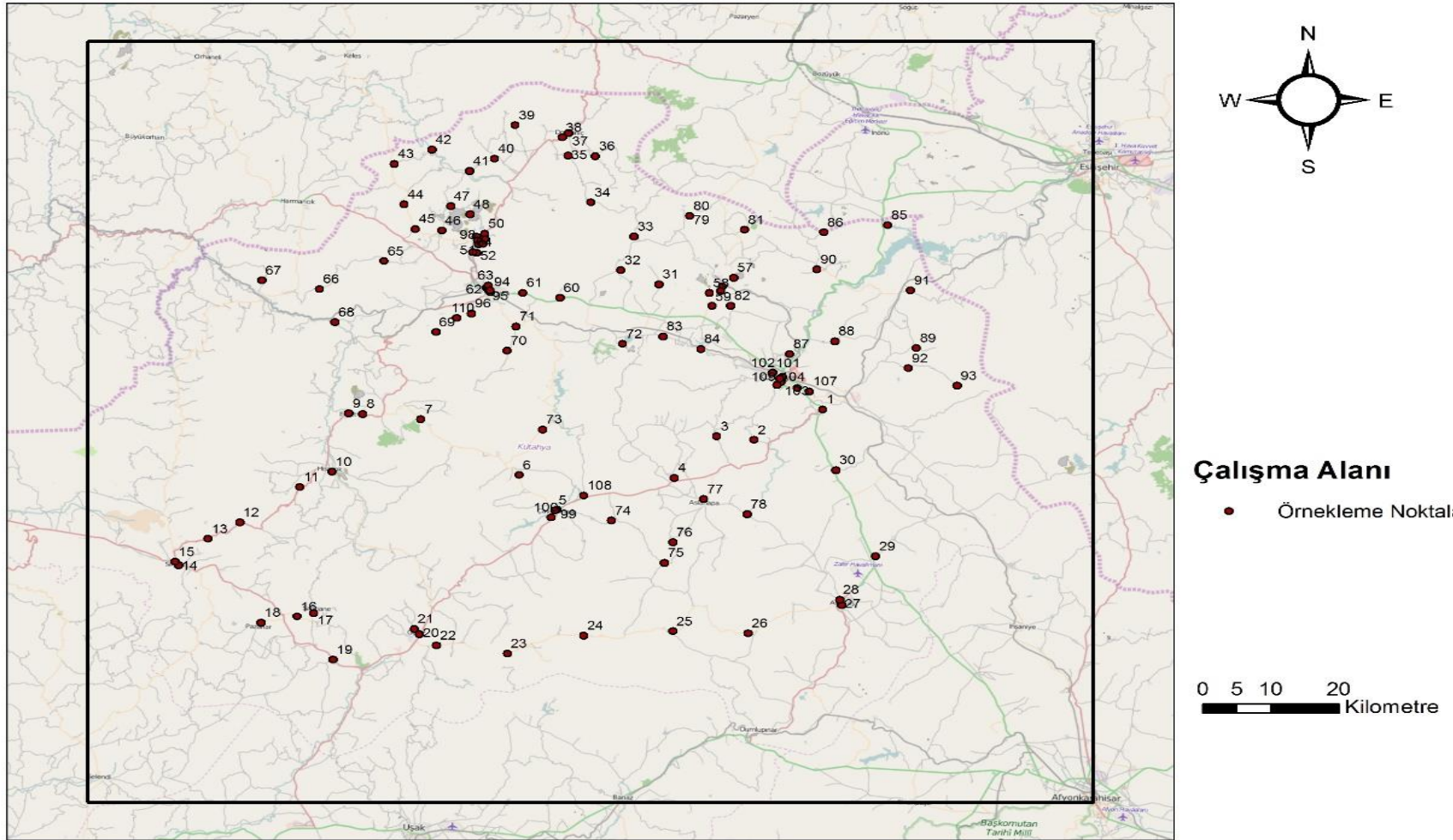
112Y305 no'lu TÜBİTAK ve 1306F272 no'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma proje araştırmacıları NO₂ pasif örnekleme çalışmaları için belirledikleri örnekleme noktalarında örnekleri 2 haftalık periyotlarla beklettikten sonra, her bir örnekleme numunesinin laboratuvar analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar NO₂ örneklerinin laboratuvar ortamında gerekli kimyasal analizlerini takiben "Dionex®

2500 İyon Kromatografi (IC)" cihazında örneklerin ikincil analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yine araştırmacılar İyon kromatografi cihazında ikincil analizleri gerçekleştirilen NO₂ örneklerinin, 1. Fick yasasını kullanarak, atmosferdeki gaz derişimlerine ulaşmışlardır (Polat, 2016; Artun ve ark., 2016).

3.3. Bağımsız Değişkenlere Ait Verilerin Derlenmesi ve CBS Analizleri

Çalışmanın başlamasıyla birlikte modelde bağımsız değişken olabilecek değişkenlerle ilgili bilgiler derlenmeye başlanmış ve CBS yardımıyla işlenerek yeni veriler üretilmiştir. Hava kirletici seviyeleri ile ilişkilendirilebilecek değişkenlerin sayısı zaman ve erişilebilirliğine bağlı olarak mümkün olduğunca yüksek tutulmaya çalışılmıştır. Veri derleme sırasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kütahya İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü, Kütahya ve Tavşanlı Belediyeleri, Karayolları Genel Müdürlüğü, Türkiye İstatistik Kurumu vb. ilgili kurumlarla iletişime geçilerek bu kurumlardan ihtiyaç duyulan veriler sağlanmıştır. Derlenecek verilere ve işlenmesine dair bilgiler şu şekildedir:

Nüfus ve Yerleşim Bölgeleri: Ticari ve evsel ısınma için yakıt tüketiminden kaynaklı olarak NO_x kirletici derişimine ve NO_x kirleticilerinin de atmosferdeki oksidasyonları sonucu NO₂ kirleticilerinin oluşmasında etkisi olacağı düşünülerek, nüfus ve yerleşim parametreleri bağımsız değişkenlere dâhil edilmiştir. Nüfus verilerine ve bu verilerin ilişkili olduğu mekânsal alanlara dair, farklı yerleşimler için olabildiğince yüksek çözünürlükte ulaşılmıştır (Bkz. Şekil 3.3). 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. Oluşturulan haritanın öznitelik tablosunda her bir mahalleye ait nüfus verileri belirtilmiştir. Çalışmada yerleşim yerleri olarak mahalle ve ilçe sınırları esas alınmıştır.



Şekil 3.2. Çalışma alanı içerisindeki örneklem noktaları

Sekil 3.3. *Kütahya ili mahalle sınırları haritası*

Araç yoğunluğuna göre yolların ve uzunluklarının tanımlanması; ölçüm noktalarının bu yollara uzaklığının belirlenmesi:

Motorlu taşıtlar bilinen en önemli NO₂ kirletici kaynaklarıdır. Bundan yola çıkarak bu çalışmada çeşitli trafik parametreleri bağımsız değişkenlere dâhil edilmiştir. 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, *buffer*, *union*, *spatial join* ve *dissolve* araçları ile her ölçüm noktasının farklı karakterdeki yollara olan mesafeleri, ölçüm noktalarının etrafındaki belli bir dairesel tampon bölge (literatür araştırmalarından da yola çıkarak 200 m – 500 m olarak belirlenmiştir (Briggs ve ark., 1997; Briggs ve ark., 2000; Gilbert ve ark., 2005; Şahsuvaroğlu ve ark., 2006; Jerret ve ark., 2007; Cavellin ve ark., 2015)) içinde kalan toplam yol uzunluğu, araç sayısı vb. hesaplanmıştır. Bağımsız değişkenlere ait veri analizlerinde kullanılan CBS araçlarının daha ayrıntılı anlatımı şu şekildedir;

Proximity (yakınlık) Analizi: CBS’de yakınlık analizi, belirli iki nokta arasındaki en yakın mesafeyi hesaplamaya yarar. Bu çalışmada örnekleme noktalarının çalışma alanı içerisinde kalan devlet yollarına, ana yollara ve tali yollara olan en yakın mesafeleri *proximity* aracı ile hesaplanmıştır.

Buffer Analizi: CBS’de *buffer* aracı, belirli bir bölgede tampon sınırlar belirlemeye yarar. Bu çalışmada *buffer* aracı ile her bir örnekleme noktasının etrafına 200m ve 500m yarıçaplı tampon bölgeler oluşturulmuştur. Böylece istenen analizin sadece bu tampon bölgeler dâhilinde yapılabilmesi sağlanmıştır.

Union Analizi: CBS’de *union* (çakıştırma) aracı belirli iki katmanın çakıştırılarak veri aktarılmasını sağlar. Bu çalışmada *union* aracı ile ölçüm noktalarının bulunduğu 500 ve 200 metrelik tampon bölgeler ile yolların gösterildiği harita birleştirilmiştir.

Spatial Join Analizi: CBS’de *spatial join* aracı mekânsal verilerin birleştirilmesinde kullanılır. Bu çalışmada yol verileri, dâhil oldukları tampon bölgelere ait veriler ile birleştirilmiştir.

Dissolve Analizi: CBS’de sayısal veri elde etmeye yarayan *Dissolve* aracı ile belirlenen her bir tampon bölge içinde kalan tüm yolların uzunlukları sayısal veri haline

getirilmiştir. Ayrıca mevcut devlet karayolu taşıt sayısı verileri doğrultusunda her bir tampon bölge içinde kalan devlet yollarının araç yoğunlukları hesaplanmıştır.

Önemli nokta kaynaklar ve bunlara olan mesafe: Termik Santraller bilinen en önemli NO₂ kirletici kaynakları arasında yer almaktadırlar. Sanayi faaliyetleri gösteren nokta kaynaklar ise NO_x ve dolaylı olarak NO₂ kirletici kaynakları olmaları nedeniyle bu çalışmada bağımsız değişkenlere dâhil edilmiştir. Çalışma alanı kapsamında Kütahya ilinde bulunan önemli nokta kaynaklar (2 adet termik santral ve 6 adet sanayi faaliyeti gösteren tesisler) için de CBS’de *proximity* (yakınlık) aracı ile bu nokta kaynakların ölçüm noktalarına olan en yakın mesafeleri hesaplanmıştır. Bulgular kısmında Önemli nokta kaynaklardan daha ayrıntılı bahsedilmiştir.

Topografik veriler (yükseklik):Topografik parametreler,NO₂ kirleticilerinin atmosferdeki dağılımlarını ve ortamda kalma sürelerini etkileyebileceklerinden bu çalışmada yükseklik verileri bağımsız değişkenlere dâhil edilmiştir. Topografik koşulların çalışma alanındaki kirlilik seviyesine olan etkisini incelemek üzere, yükseklik verileri 30 m x 30 m çözünürlüklü "ASTER GDEM Version 2" veri setinden alınmıştır.CBS’de *Extract to Point* aracı ile raster formatında bulunan sayısal yükseklik verilerinden her bir örnekleme noktasına denk gelenler belirlenmiştir.

Özniteliklerin birleştirilmesi: Bu çalışmada, örnekleme noktalarının sahip oldukları mekânsal özellikler (yükseklik, örnekleme noktalarını belirlenen parametrelere olan en yakın mesafeleri vs.) CBS’de öznitelik olarak tanımlanmıştır. Tüm bağımsız değişkenlere ait bilgiler yukarıda bahsedilen CBS araçları ile düzenlendikten sonra yine CBS çakıştırma araçları ile her örnekleme noktasına öznitelik olarak atanmıştır. Örnekleme noktalarına ait öznitelikler, kirletici derişimleri ile birleştirilerek tek bir çalışma dosyası haline getirilmiştir.

3.4. Modelin Oluşturulması

Kirletici 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 birçok bağımsız değişken türetilir. Bu çalışmada denenen bağımsız değişkenler genel olarak şunlardır:

- En yakın yola olan mesafeleri (Devlet karayolları, ilçeleri bağlayan yollar ve kırsaldaki düşük yoğunluktaki yollar ayrı ayrı incelenmiştir)
- Nokta etrafındaki dairesel tampon bölge içinde kalan devlet karayollarındaki ortalama araç sayısı (200 metre ve 500 metrelik dairesel tamponlar)
- Nokta etrafındaki dairesel tampon bölge içinde kalan devlet yolu, anayolu ve tali yollarının uzunluklarının toplamı
- Sanayi tesislerine ve termik santrallere olan en yakınmesafe
- Topografya
- Nokta etrafındaki tampon bölge içindeki toplam nüfus (200 metre ve 500 metrelik dairesel tamponlar)
- Yerleşim bölgelerine (köyler hariç) olan en yakınmesafe (Örnekleme noktalarının en yakın mahalle sınırına olan mesafeleri)

Yapılan literatür araştırmalarında; model oluşturma aşamasında bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki korelasyonların belirlenebilmesi için standart doğrusal regresyon modeli kurma amacıyla farklı yöntemlerin kullanıldığı belirlenmiştir. Bu yöntemlerden biri; şahsuvaroğlu ve ark., (2006)'nın çalışmasında olduğu gibi iki değişkenli regresyon modeli yöntemi olmuştur. Bu yöntemde en önemli iki değişkenli ilişki kurulduktan sonra, en güçlü korelasyonun tanımlanması için üç değişkenli kombinasyonlar yapılmıştır. Tahmin gücü en fazla olacak şekilde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki en iyi korelasyon kurulana kadar bu yöntem her bir bağımsız değişken için defalarca uygulanmıştır (en yüksek R² değeri bulunana kadar). Regresyon analizinde p-value değeri (güven aralığı) 0,05'den büyük olan bağımsız değişkenler elenmiştir. Bir diğer yöntem ise; Brauer ve ark., (2003) ve Henderson ve ark., (2007)'nin çalışmalarında olduğu gibi kullanılan istatistik programı tarafından ileri, geri ya da en iyi alt küme (Forward, backward or bestsubsets) araçları ile yapılan otomatik seçme ile kurulan modeldir. Bu yöntemin

ilk aşamasında bağımlı değişken ile bağımsız değişkenlerin tümü korelasyon analizine dâhil edilmiştir. Model kurulduktan sonra korelasyona etkisi olmayan yani p-value değeri (güven aralığı) 0,05'den büyük olan istatistik programının önerdiği bağımsız değişken çıkarılarak aynı model çıkarılan bağımsız değişken olmadan tekrar kurulmuştur. Bu şekilde, her seferinde çıkarılması önerilen bir bağımsız değişken elenerek model kurulumuna devam edilmiş ve artık programın çıkarılmasını önereceği bir bağımsız değişken kalmayana kadar devam edilmiştir. Son aşamada en güçlü korelasyonun sağlandığı determinasyon (belirleyicilik) katsayısı (R^2) değeri en yüksek olan minimum sayıda bağımsız değişken ile model kurulmuştur.

Son aşamada elde edilen çoklu doğrusal regresyon modelinde bağımsız değişkenlerin önüne gelen (+) ve (-) işaretler de belirli bir anlam taşımaktadır. Önüne (+) gelen bağımsız değişkenler bağımlı değişken ile doğru orantılı bir korelasyona sahipken önüne (-) işareti gelen bağımsız değişken ise bağımlı değişken ile ters orantılı bir korelasyona sahip olduğu anlamı çıkarılmıştır.

Bu çalışmada daha pratik olması nedeniyle ikinci anlatılan, istatistik programı tarafından otomatik seçmenin (Forward, backward or bestsubsets) yapıldığı yöntemin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.5. AKR Model Oluşturmadaki İstatistik Analizler

Bağımsız değişkenlerin kendi aralarında korelasyon olması model sonucu hakkında yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Bağımlı değişken ile korele olmayan bir bağımsız değişkenin nihai modelde yer alması da aynı şekilde problem yaratabilir. Bu nedenle AKR model kurulumuna dâhil edilen bağımlı ve bağımsız tüm değişkenlerin birbirleri arasında korelasyon olup olmadığına, var ise ne derece olduğuna bakılmıştır. Bunun için değişkenlerin korelasyon düzeylerini gösteren bir matris tablosu oluşturulmuş ve yorumlanmıştır.

Nihai modelde bulunan bağımsız değişkenlere ait hata terimleri arasında belirli bir otokorelasyonun olması da yine model sonucu hakkında yanıltıcı sonuçlar verebilir. Bunun için istatistik alanında birçok analiz yöntemi bulunmaktadır. Durbin-Watson Testi de bu yöntemlerden biridir (Yavuz, 2009, s. 130). Bu çalışmada nihai modelin otokorelasyon analizi hesaplanmayıp sadece model sonuç çıktılarında bulunan Durbin-Watson Testi sonucuna göre yorum yapılmıştır.

3.6. Validasyon (Doğrulama) Yöntemleri

Model kurulumunun en önemli aşamalarından biri de validasyon (doğrulama) çalışmalarıdır. Doğrulama çalışmasının temeli kurulan model ile elde edilen tahmini sonuçların gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak modelin performansının belirlenmesidir. Yapılan literatür araştırmalarında birçok doğrulama yöntemi uygulandığı belirlenmiştir. Bunlardan en çok kullanılan ve etkili olan iki tanesi; “birini dışarıda bırakma” (leave one out) ve çapraz doğrulama (crass-validation) yaklaşımı yöntemleridir. Bu çalışmada çapraz doğrulama (crass-validation) yöntemi uygulanmıştır.

“Birini dışarıda bırakma” (leave one out) yaklaşımı yönteminde model, n toplam ölçüm noktası olacak şekilde, $n-1$ nokta kullanılarak oluşturulmuş ve dışarıda bırakılan noktanın kirlетici derişimi tahmininde kullanılmıştır. Dışarıda bırakılan noktanın model ile tahmin edilen derişimi, yine bu noktanın ölçüm sonucu ile karşılaştırılmıştır (Hoek ve ark. 2008). Bu işlem n kere tekrarlanarak, model ve ölçüm arasındaki genel uyum, model performansının bir göstergesi olarak kullanılmıştır.

Kullanılan bir başka doğrulama yaklaşımı olan çapraz doğrulama (cross-validation) ise çalışma alanını alt bölgelere ayırarak, bir bölgedeki verilerle oluşturulan modelin diğer bölgedeki derişimleri belirlemede kullanılması ve ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması esasına dayanmıştır (*cross-validation*). Bu yaklaşım yönteminde örnekleme noktalarından elde edilen alt bölgeler rasgele ya da sistematik seçim ile belirlenmiştir. Örneğin, örnekleme noktalarının %80 i ile model kurulmuş ve modele dâhil edilmeyen diğer %20’lik örnekleme noktaları üzerinde uygulanarak bu %20’lik örnekleme noktalarının gerçek ölçüm sonuçları ile arasındaki uyuma bakılmıştır. Bunun gibi farklı alt kümeler üzerinde aynı işlemler uygulanarak doğrulama yöntemi güçlendirilmiştir. Yine burada da model kurulumuna dâhil edilmeyen noktaların kurulan modelde uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar ile bu noktaların gerçek ölçüm sonuçları arasındaki uyum, model performansının bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir (Şahsuvaroğlu ve ark., 2006). Şekil 3.4’te çalışmanın iş-akım şeması bulunmaktadır.

Bağımlı Değişkene Ait verilerin Derlenmesi

- 112Y305 no'lu TÜBİTAK ve 1306F272 no'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma projeleri kapsamında araştırmacılar tarafından yapılan yaz-kış NO₂ pasif örnekleme verilerinin aritmetik ortalamaları ile yıllık ortalama NO₂ veri setinin oluşturulması.

Bağımsız Değişkenlere Ait Verilerin

- Çalışma alanına ait trafik verilerinin ilgili kaynaklardan temin edilmesi ve CBS ortamında derlenmesi
- Çalışma alanına ait topografya verilerinin ilgili kaynaktan temin edilmesi ve CBS ortamında derlenerek örnekleme noktaları ile eşleştirilmeleri
- Çalışma Alanına ait nüfus verilerinin ilgili kaynaktan temin edilmesi ve CBS ortamında derlenmesi
- Çalışma Alanı dâhilinde bulunan nokta kaynaklarına ait konum bilgilerinin CBS ortamında derlenmesi
- Örnekleme noktalarının yerleşim bölgelerine, yollara ve nokta kaynaklara olan en yakın mesafelerinin belirlenmesi
- Örnekleme noktalarının nüfus ve yollar ile olan ilişkilerinin, belirlenen tampon bölgeler içerisinde analiz edilmesi

İstatistik Analizler ve AKR Modelinin Oluşturulması

- Modelleme çalışmasında kullanılacak olan bağımlı değişkene ait veri setinin istatistik analizlerinin yapılması
- Modelleme çalışmasında kullanılacak olan bağımsız parametrelerin korelasyon analizlerinin yapılması
- Bağımlı ve Bağımsız değişkenlere ait veriler ile istatistik programında AKR modelinin kurulması

Validasyon (Doğrulama) Çalışması

- Kurulacak olan AKR modelinin performansını ölçmek için, aynı bağımsız değişkenler ve belirli sayılarda seçilen bağımlı değişken verileri ile AKR modelinin kurulması. Kurulan modelin, modellemeye dâhil edilmeyen bağımlı değişken verileri üzerinde uygulanması ve bu verilerin hem model hem de ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Sonuçların Değerlendirilmesi

- Alan kullanım parametrelerinden hangilerinin NO₂ kirlетici seviyeleriyle en yüksek korelasyona sahip olduğunu tartışılması
- Model ve Validasyon çalışmalarının NO₂ kirlетici derişimleri ile ilgili ne kadar gerçeğe yakın tahmin sonuçları vereceğinin tartışılması
- Aynı konu ile ilgili ileride yapılacak olan çalışmalar için önerilerde bulunulması

Şekil 3.4. Çalışmanın iş-akım şeması

4. BULGULAR

4.1. NO₂ Kirletici Derişimleri

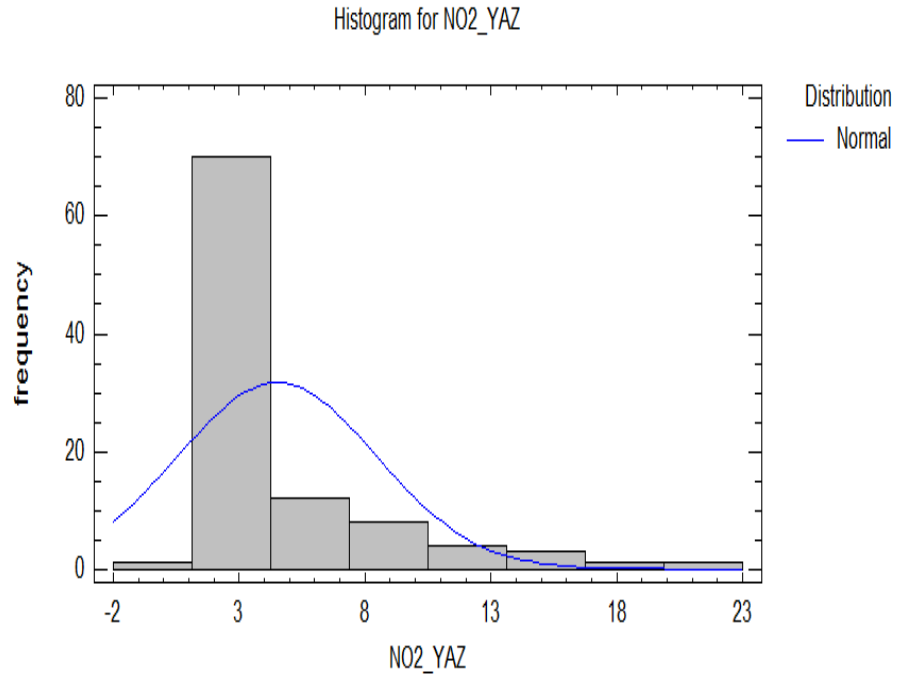
112Y305 no'lu TÜBİTAK ve 1306F272 no'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma projeleri kapsamında Kütahya ilinde 130×120 km²'lik alanda yaz ve kış aylarında yapılan iki haftalık NO₂ pasif örnekleme verileri toplamda 108 noktada araştırmacılar tarafından yapılmıştır (Polat, 2016; Artun ve ark., 2016). Bu çalışmada işbu pasif örnekleme verilerinden faydalanılacağından bahsedilmiştir. Ancak bu veri setinde 2 noktada örnekleme verileri toplanmadığından veri seti 106 adet NO₂ derişim değerinden oluşmaktadır (Polat, 2016; Artun ve ark., 2016). Bu veri setine, 2014 yılı Kütahya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'ne ait 3 adet istasyon verileri de eklenerek toplamda 109 adet NO₂ derişim değeri içeren veri seti oluşturulmuştur. Bu 3 istasyonun coğrafi bilgileri de CBS analizlerine dâhil edilmiştir. 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.

112Y305 no'lu TÜBİTAK ve 1306F272 no'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma projeleri kapsamında elde edilen veriler ve istasyon verileri 2014 yılı yaz ve kış aylarına aittir. Ancak bu çalışmada analiz edilecek olan bağımsız parametreler yıllık değeri temsil etmektedir. Bu durumda modelleme çalışmasının gerçekçi sonuçlar verebilmesi için bağımlı değişken olan NO₂ kirleticilerinin yıllık derişim değerlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için yaz ve kış derişim değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak yıllık NO₂ derişim değerlerini temsil eden yeni bir veri seti oluşturulmuştur.

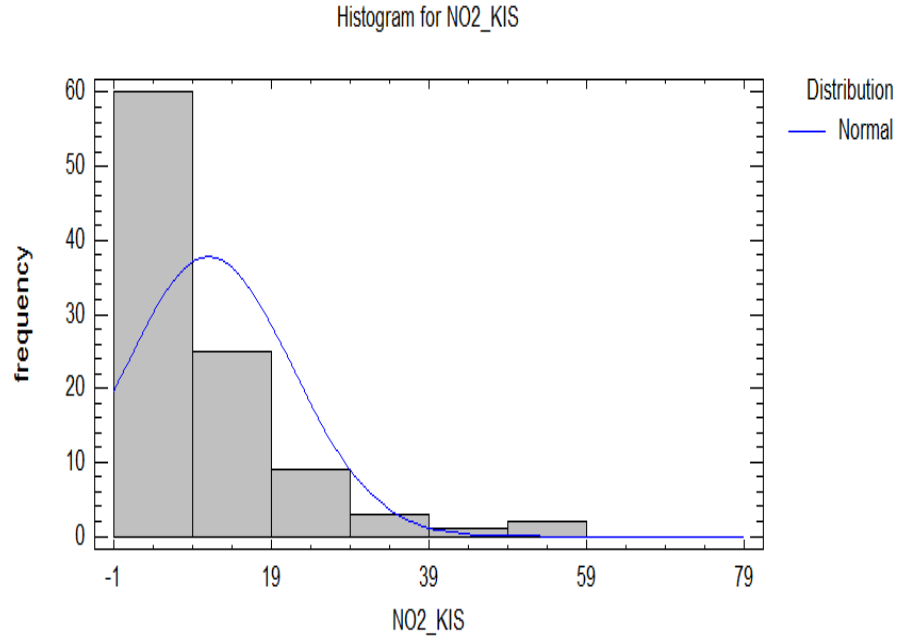
Sonuç olarak model kurulumunda toplamda 109 noktada yapılan yaz ve kış verilerinden türetilen yıllık ortalama NO₂ derişim değerlerinin olduğu bir veri seti kullanılmıştır. 109 noktada yapılan yaz-kış ölçüm sonuçlarını ve bunlardan türetilen yıllık ortalama NO₂ derişim değerlerini içeren veri setine ait istatistik bilgileri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. İşbu veri setlerinin sağa çarpık bir şekilde log-normal dağılım gösterdikleri Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan veri setine ait istatistik bilgiler

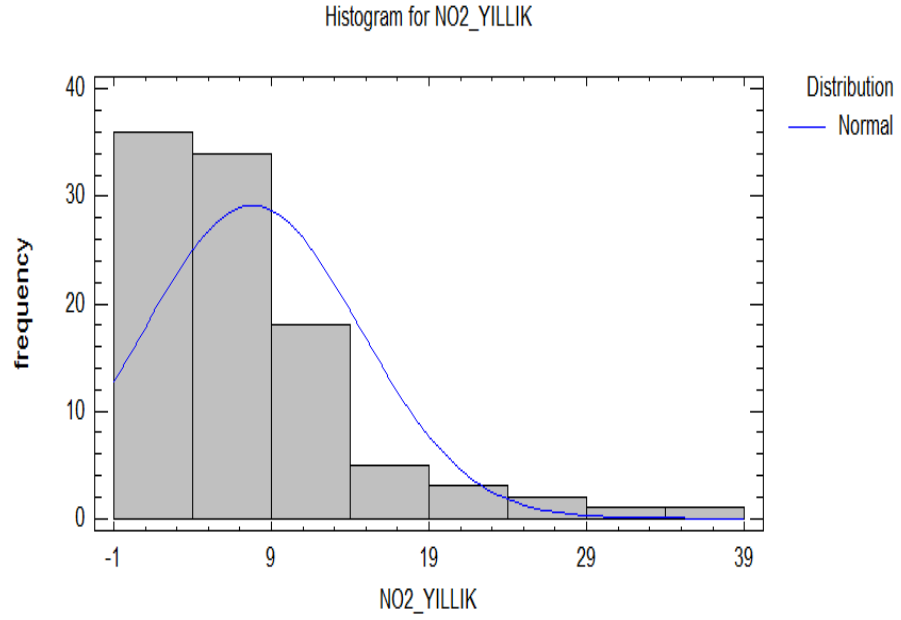
Veri setine Ait İstatistik Bilgiler	NO ₂ -YAZ (µg/m ³)	NO ₂ -KIŞ (µg/m ³)	NO ₂ -YILLIK ORTALAMA (µg/m ³)
Veri Sayısı	109	109	109
Aritmetik Ortalama	5,0	12,9	8,9
Standart Sapma	4,3	11,8	7,6
Varyasyon Katsayısı	86,7%	91,9%	85,1%
Medyan	3,1	8,2	6,0
Minimum değer	1,3	1,8	1,5
Maksimum Değer	21,4	56,9	36,6
Değişim Aralığı	20,1	55,1	35,1



Şekil 4.1.Kütahya 2014 yılı yaz aylarına ait NO₂ derişim değerleri



Şekil 4.2. Kütahya 2014 yılı kış aylarına ait NO₂ derişim değerleri

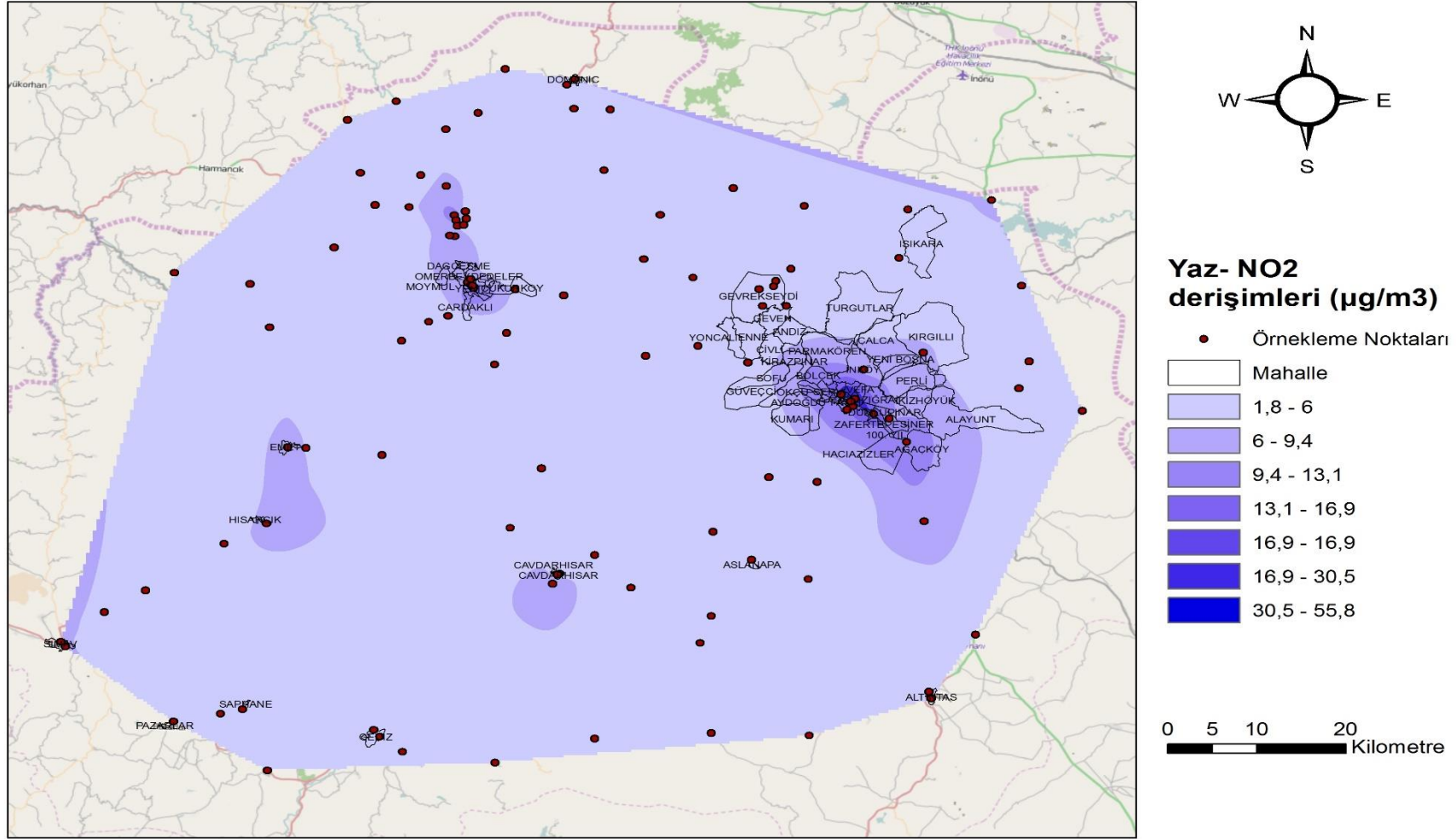


Şekil 4.3. Kütahya 2014 yılına ait yıllık ortalama NO₂ derişim değerleri

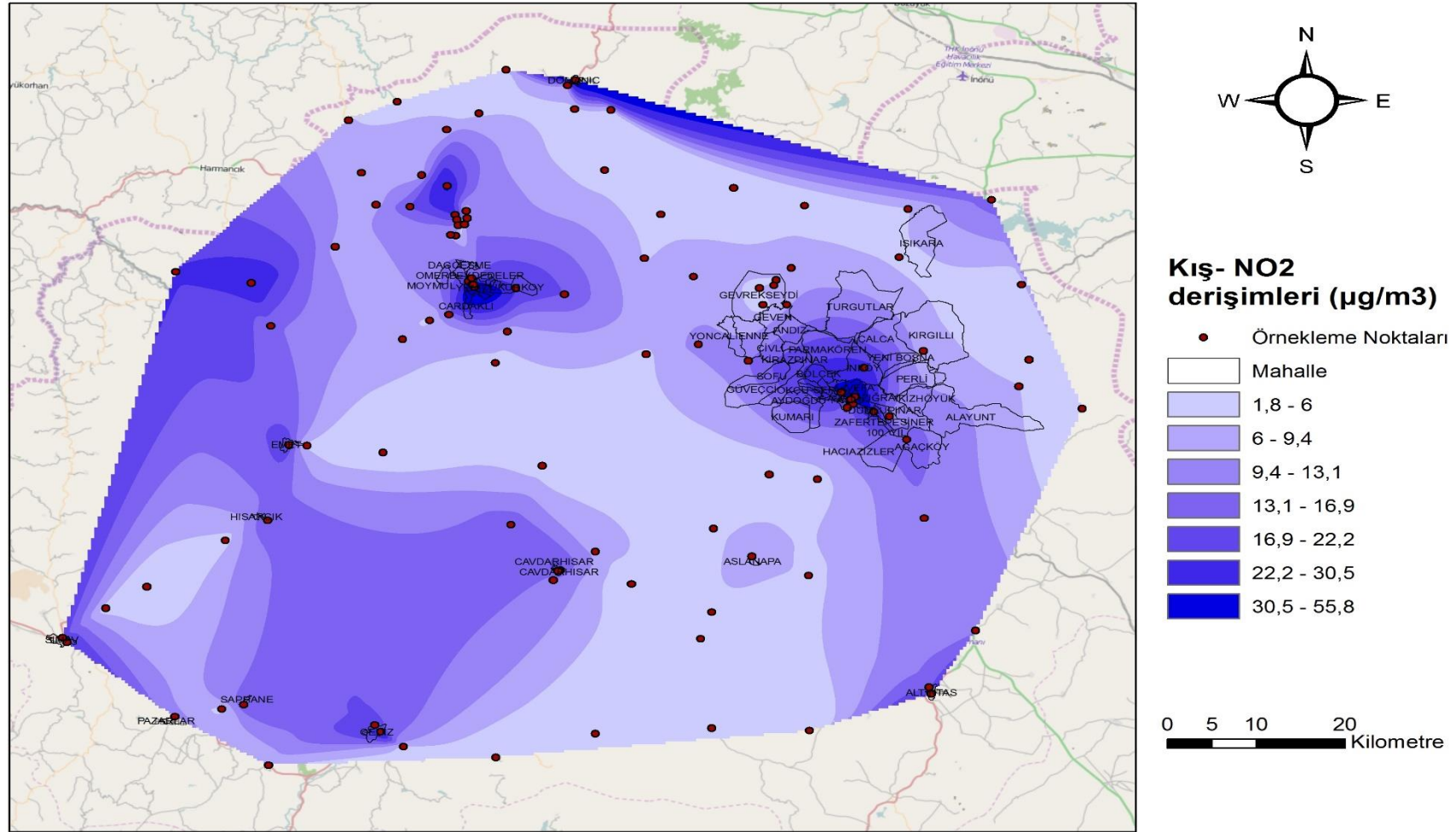
Statgraphics programında oluşturulan histogramlardaki (Bkz. Şekil 4.1, 4.2, 4.3) yaz, kış ve yıllık ortalama NO₂ derişim değerlerine bakıldığında; kış aylarında yapılan örneklemelerde yaz aylarında yapılan örneklemelerden daha yüksek değerlerin ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Veri setinde bulunan yaz, kış ve yıllık ortalama NO₂ derişim değerleri log- normal dağılım gösterdiklerinden medyan değerlerinin karşılaştırılması daha doğru olacaktır. Yaz, kış aylarına ait olan ve bunlardan türetilen yıllık ortalama NO₂ derişim seviyelerinin medyan değerleri sırasıyla 3,1 µg/m³, 8,2 µg/m³ ve 6,0 µg/m³ olarak bulunmuştur. Kışın NO₂ derişim değerlerinin yaz aylarına göre yüksek çıkması genellikle görülen bir durumdur. Kış mevsiminde örnekleme dönemindeki karışma yüksekliğinin (586,5 m) ve yaz mevsimindeki örnekleme dönemindeki karışma yüksekliğinden (1510 m) düşük olması, kirleticilerin derişimlerinin artmasına neden olmaktadır (Polat, 2016).

T.C. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde geçen sınır değerlere bakıldığında yıllık ortalama NO₂ derişimi sınır değeri 40 µg/m³'tür (HKDYY, 2008). HKDYY'de belirtilen NO₂ için saatlik ve yıllık değer Ek-3'te verilmiştir. Ölçüm sonuçlarını genel olarak yönetmelikte geçen sınır değerler ile karşılaştıracak olursak çalışmada elde edilen yıllık ortalama NO₂ derişim değeri (ortalama: 8,9 µg/m³; medyan: 6,0 µg/m³) sınır değerini aşmamaktadır. Ölçüm yapılan 109 noktadaki derişim değerlerine tek tek bakıldığında en yüksek yıllık ortalama NO₂ derişim değeri 36,5µg/m³ olarak bulunmuştur. Bu nokta Kütahya'nın Tavşanlı ilçesinde trafiğin yoğun olduğu ve Tunçbilek termik santraline yakın bir bölgede bulunmaktadır. Yapılan ölçüm sonuçlarındaki NO₂ derişim değerlerinin sınır değerlerinin oldukça altında çıkmasının nedeni olarak, örnekleme yapılan noktaların çoğunun şehir merkezinden ve trafik yoğunluğundan uzak noktalar olması düşünülebilir.

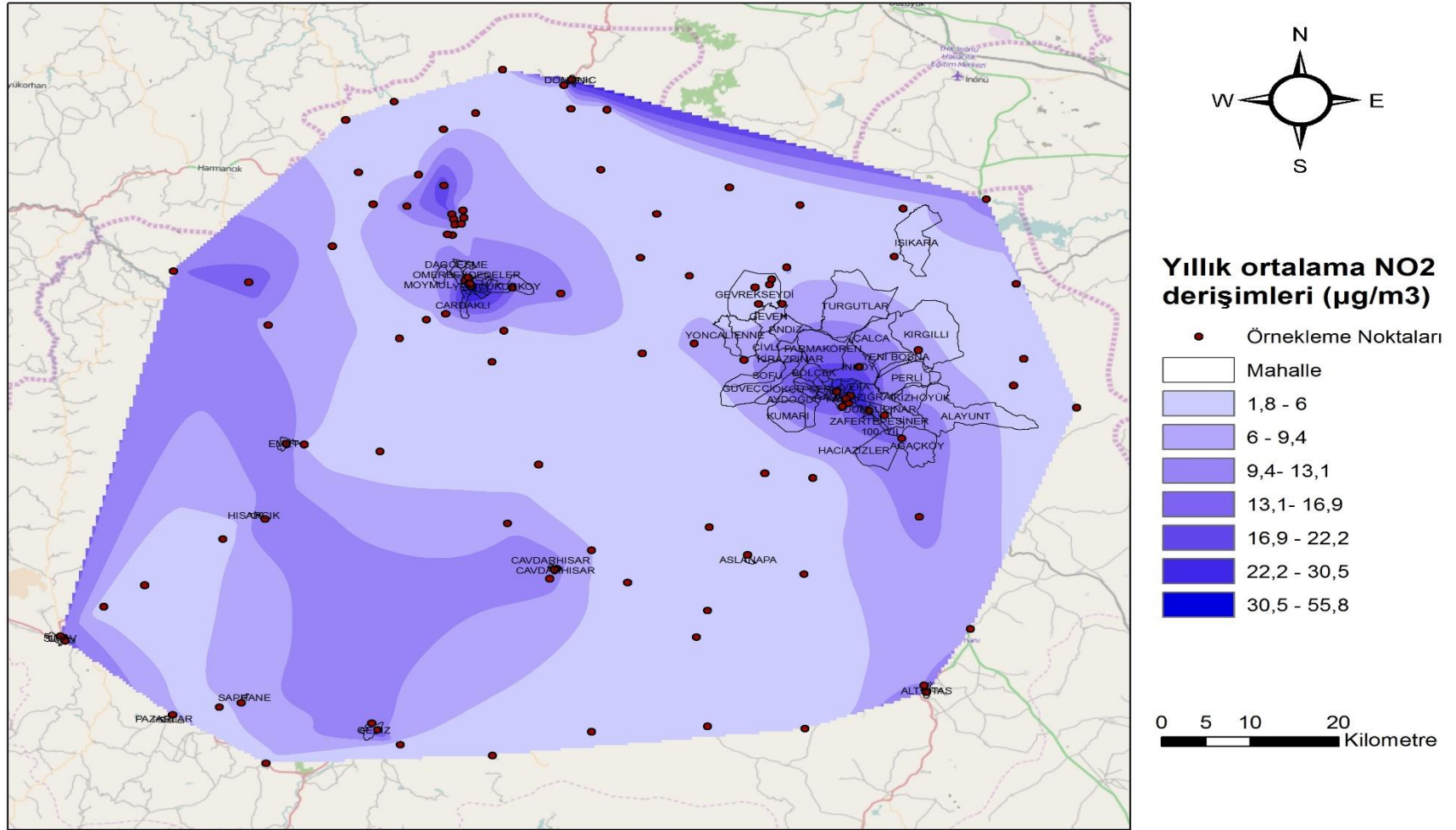
Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da sırası ile Kütahya ili 2014 yılında ölçülen yaz, kış aylarına ait NO₂ ve yıllık ortalama NO₂ derişim değerlerinin CBS ortamında haritalanarak gösterimi mevcuttur. Bu haritalarda, CBS ortamında '*Natural Neighbors*' aracı kullanılarak, NO₂ yaz, kış ve yıllık ortalama derişim değerlerinin çalışma alanı içerisindeki bölgelere göre yoğunluk seviyeleri görsel olarak ifade edilmiştir. *Natural Neighbors* aracı CBS'de interpolasyon yöntemi olup, bilinen hücre değerlerinden bilinmeyenleri belirlemeyi amaçlar. Derişim değerlerini sadece nokta üzerinden göstermek pek anlaşılır olmadığından, derişimler *Natural Neighbors* aracı ile çalışma alanı üzerinde belirli görsel bir dağılım şeklinde ifade edilmiştir.



Şekil 4.4. Kütahya ili 2014 yılı NO₂yaz derişim değerlerinin harita üzerinde gösterimi.



Şekil 4.5. Kütahya ili 2014 yılı NO₂ kış derişim değerlerinin harita üzerinde gösterimi.



Şekil 4.6. Kütahya ili 2014 yılı NO₂ yıllık ortalama derişim değerlerinin harita üzerinde gösterimi.

4.2. CBS Analizleri

4.2.1. Çalışma alanına ait yükseklik verileri

Çalışma alanında kirletici derişimine etki edeceği düşünölen parametreler arasında topografik koşulların da olduğundan bahsetmiştik. Bu hususta çalışma alanının bulunduğu coğrafik koşullar nedeniyle yükseklik verilerinin önemli olabileceğı düşünölmüş ve kirletici derişimi ile ilişkilendirilecek olan bağımsız değişkenlere dâhil edilmiştir. Yükseklik verileri, raster formatında, 30 m x 30 m çözünürlüklü ASTER GDEM Version 2 veri setinden alınmıştır. İstatistik analizlerde yükseklik verilerinin bağımlı değişken olan NO₂ kirletici derişimleri ile ilişkilendirilebilmesi için her bir örnekleme noktasına denk gelen yükseklik verilerinin belirlenmesi gerekir. Bunun için CBS’de *Extrac to Point* aracından faydalanıldığından bahsetmiştik. Şekil 4.7’de çalışma alanı (Kütahya) sınırları dâhilinde kalan yükseklik verilerinin harita gösterimi verilmiştir. Haritada Kütahya ili sınırlarında kalan mahalleler siyah kalın çizgiler ile belirtilmiştir.

4.2.2. Nüfus ve yerleşim bölgeleri

Nüfus verilerine ve bu verilerin ilişkili olduğu mekânsal alanlara dair, farklı yerleşimler için farklı çözünürlükte ulaşılabilidiğinden dolayı Kütahya merkez ve Tavşanlı merkez için mekânsal çözünürlük mahalle sınırları olarak belirlenmiş ve 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. Örnekleme yapıldığı 2014 yılına ait nüfus verileri TUİK 2014 nüfus veri tabanından internet üzerinden TUİK’e ait web sitesi üzerinden ulaşılmıştır ([http-5](http://5)). Kütahya merkez, Tavşanlı ve diğer ilçe sınırlarının alanları km² cinsinden CBS programında hesaplanmış ve son aşama olarak nüfus yoğunlukları (kişi/km²) da hesaplanarak öznitelik tablosuna sayısal veri halinde eklenmiştir. Şekil 4.8’de Kütahya merkez, Tavşanlı ve diğer ilçe sınırlarına ait nüfus verileri gösterilmiştir.

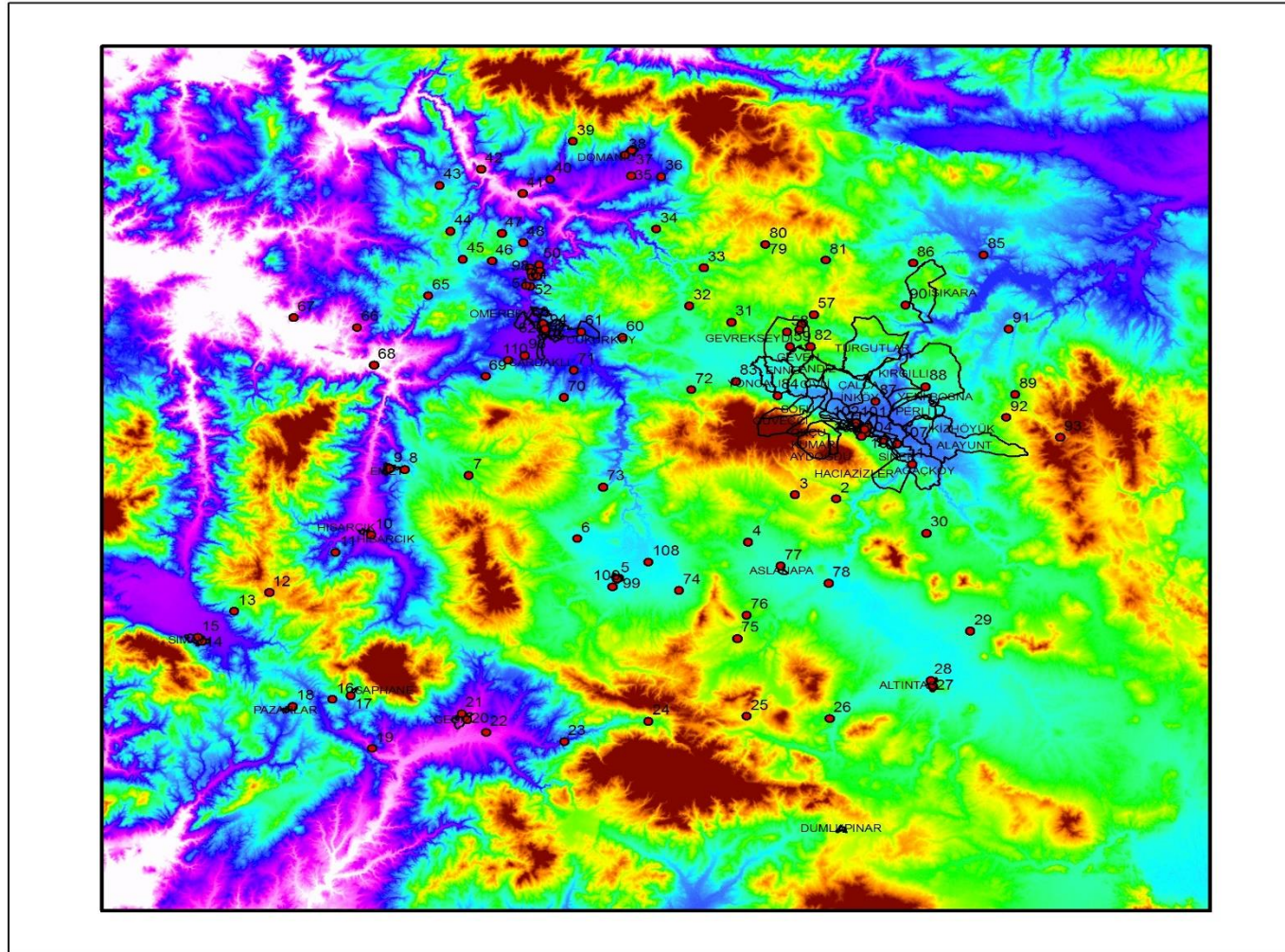
Çalışmada, Kütahya il merkezindeki mahalleler, Tavşanlı ilçesine bağı mahalleler ve Kütahya il sınırları içerisinde kalan diğer ilçeler olmak üzere toplamda 98 adet sınır belirlenmiştir. Her bir sınır için hesaplanan nüfus yoğunluklarından en fazla olan 26947

kişi/km² iken en az nüfus yoğunluğu ise 4 kişi/km²'dir. Ayrıca bu sınırları belirlenen bölgelerin içinde hiç nüfusu olmayan 4 bölge bulunmaktadır. Bu bölgelerin nüfus yoğunlukları sıfır olarak belirlenmiştir.

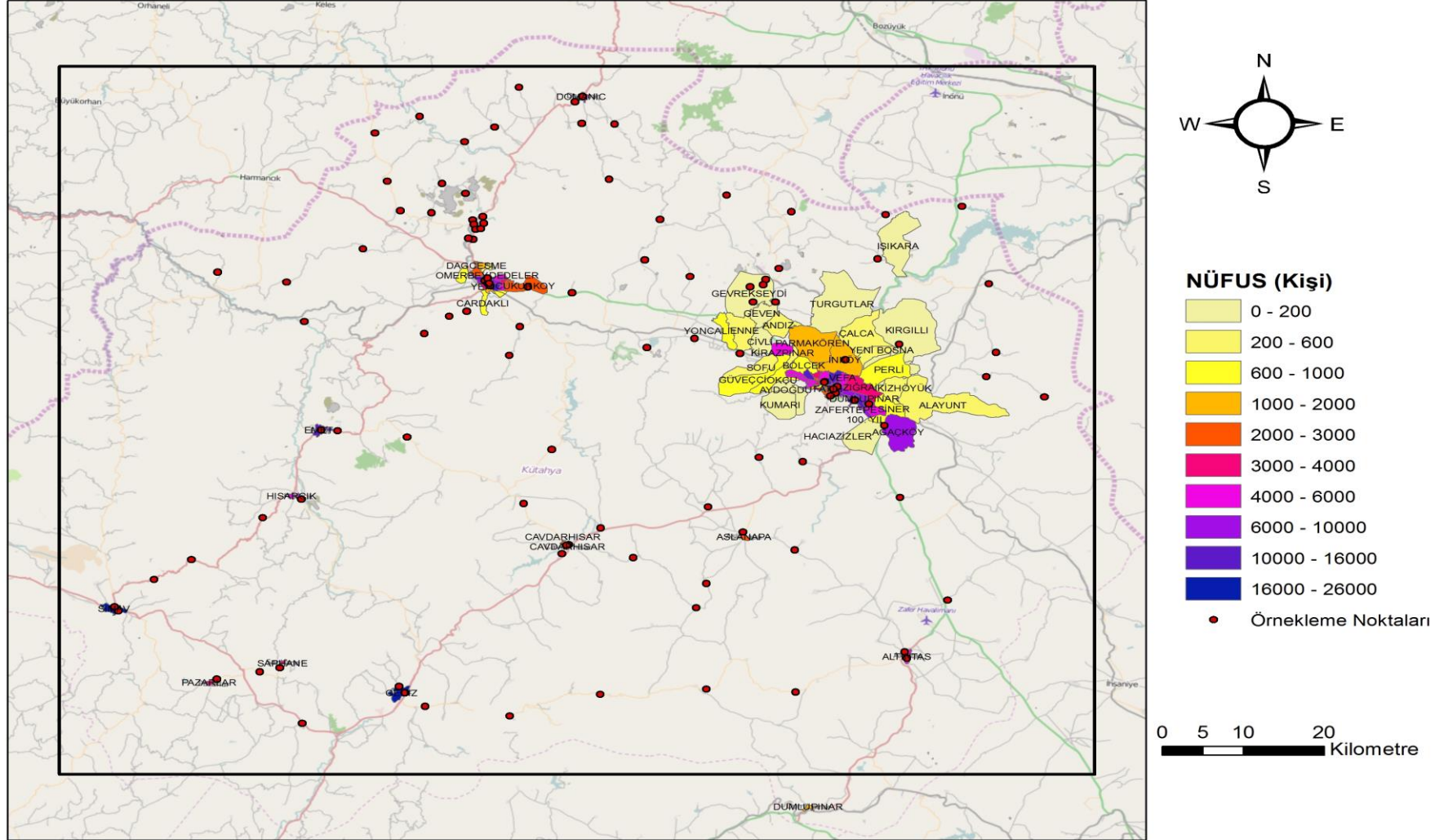
Her bir örnekleme noktasına etki eden parametrelerin noktalara olan mesafelerinin etki derecelerini etkileyeceğinden, analizler gene her bir nokta için oluşturulan dairesel tampon bölgeler dâhilinde yapılmıştır. Bunun için yapılan literatür araştırmalarından da yola çıkarak her bir örnekleme noktası için 200 ve 500 metrelik yarıçaplara sahip dairesel tampon bölgeler oluşturulmuştur. Her bir örnekleme noktası için tampon bölgeler CBS ortamında *Buffer* aracı ile yapılmıştır (Bkz. Şekil 4.9). *Buffer* aracı ile tampon bölgeler belirlendikten sonra nüfus verileri, ölçüm yapılan nokta verileri ile birleştirilmiştir. Yeni oluşturulan veri katmanı üzerinden belirlenen her bir tampon bölge için ve her bir mahalle için tek tek toplam nüfus ve ortalama nüfus bilgileri *Dissolve* aracı ile belirlenmiştir (Bkz. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11).

Toplam nüfus parametresi, CBS ortamında mahalle nüfusunun mahalle alanına bölünmesi ile elde edilen nüfus yoğunluğu verilerinden her bir tampon bölge içinde kalan nüfusun hesaplanmasıyla belirlenmiştir. Ortalama nüfus parametresi ise, yine CBS ortamında, her bir tampon bölge içerisindeki toplam nüfusun bu tampon bölge içerisindeki eşit dağılımı olarak hesaplanmıştır. Böylece nüfus parametresinin kirletici derişimine olan etkisi, 200 ve 500 metrelik tampon bölgeler içinde kalan toplam nüfus ve 200 ve 500 metrelik tampon bölgeler içinde kalan ortalama nüfus verileri şeklinde analiz edilmiştir.

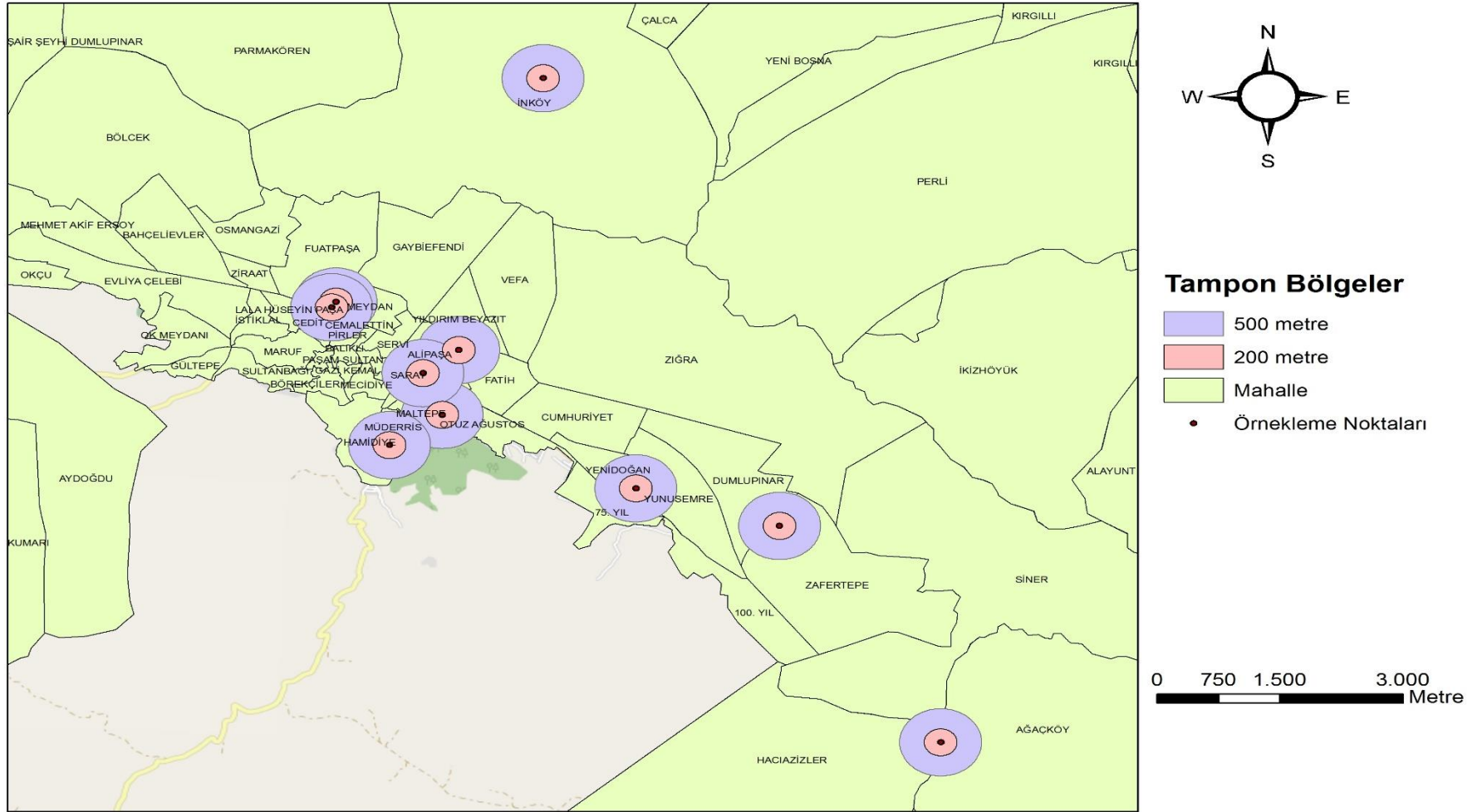
NO₂ kirletici derişimine etki ettiğı düşünölen ve analiz edilmesi planlanan bağımsız parametrelerden bir de örnekleme noktalarının yerleşim bölgelerine olan en yakın mesafeleridir. Bunun için Kütahya ili nüfus verileri için oluşturulan Kütahya merkez, Tavşanlı ve diğör ilçe merkezlerine ait sınırların belirlendiğı haritalarından faydalanılmıştır. İşbu harita üzerinde belirlenen her bir mahalle ve ilçe sınırları, yerleşim bölgesi olarak kabul edilmiştir ve örnekleme noktalarının en yakınından geçen bu sınırlara olan en yakın mesafeleri CBS ortamında Proximity (Yakınlık) aracı ile analiz edilmiştir. Böylece NO₂ kirletici derişimine etkisi incelenmek üzere örnekleme noktalarının yerleşim bölgelerine en yakın mesafeleri belirlenerek öznitelik tablosuna eklenmiştir.



Şekil 4.7. Kütahya iline ait yükseklik verileri

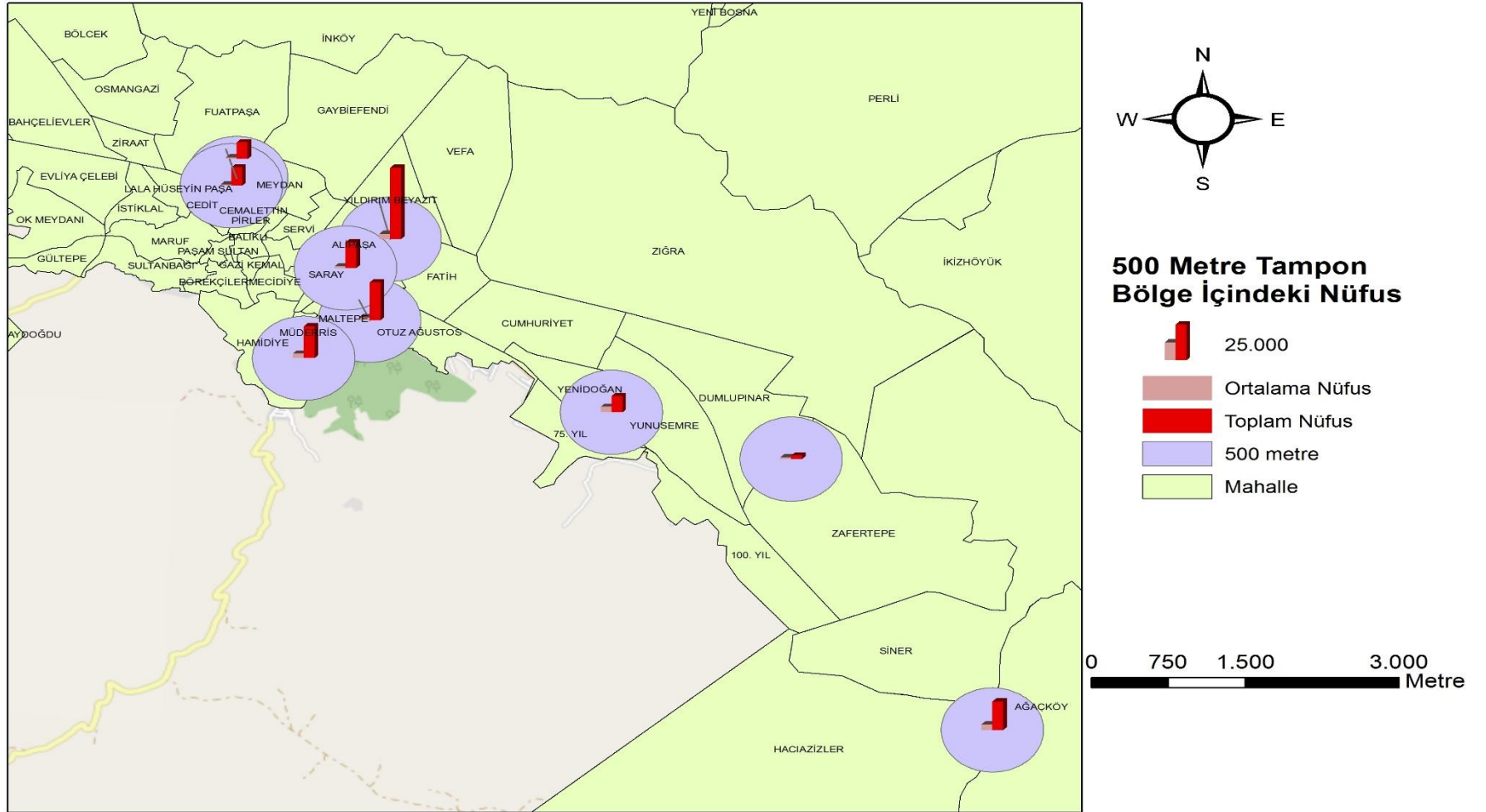


Şekil 4.8. Kütahya merkez, Tavşanlı ve diğer ilçe sınırlarına ait nüfus verileri



Şekil 4.9. Örnekleme noktaları etrafında oluşturulan 500 ve 200 m'lik tampon alanların gösterildiği haritadan bir kesit.

Şekil 4.10. Örnekleme noktalarını çevreleyen 200 metrelik tampon bölge içinde kalan toplam ve ortalama nüfus haritasından bir



Şekil 4.11. Örnekleme noktalarını çevreleyen 500 metrelik tampon bölge içinde kalan toplam ve ortalama nüfus haritasından bir kesit

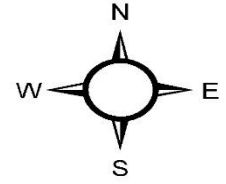
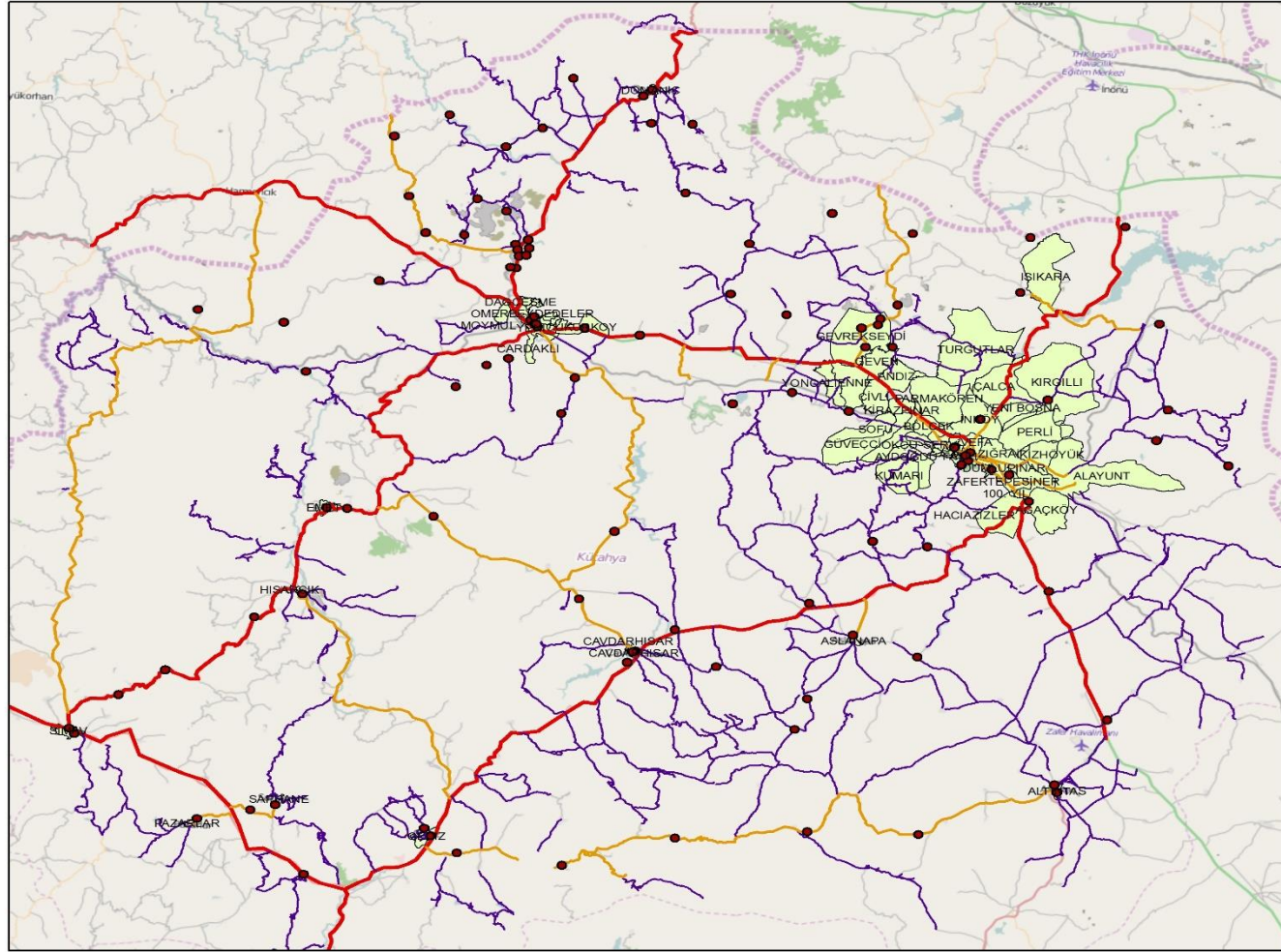
4.2.3. Araç yoğunluğuna göre yolların ve uzunluklarının tanımlanması; ölçüm noktalarının bu yollara uzaklığının belirlenmesi

Kütahya iline ait sayısallaştırılmış yol haritaları el ile CBS ortamında çizilmiştir. Yol haritaları hazırlandıktan sonra bu yolların devlet karayolu, ana yol, tali yol sınıflandırması yapılmıştır (Bkz. Şekil 4.12).

2014 yılı devlet karayollarına ait araç sayım verileri “toplam taşıt/gün” biriminde Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü Devlet Yolları Hacim Haritasından ([http-6](http://6)) alınmıştır (Bkz. Şekil 4.13). CBS programında *Union* aracı kullanılarak ölçüm noktalarının bulunduğu 500 ve 200 metrelik dairesel tampon bölgeler ile yolların gösterildiği harita birleştirilmiştir (Bkz. Şekil 4.14).

Tampon bölgeler ile yolların gösterildiği harita birleştirildikten sonra yine CBS programında *Spatial Join* aracı ile belirlenen her bir dairesel tampon bölge içinde kalan tüm yollar belirlenmiştir. Her bir tampon bölge içinde kalan yolların uzunluklarının hesaplamaları ile sayısal veriler elde edilmiştir ve bunun için *Dissolve* aracından faydalanılmıştır. Ayrıca 2014 yılı devlet karayollarına ait araç sayım verileri Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü Devlet Yolları Hacim Haritasından ([http-6](http://6)) alınan veriler doğrultusunda her bir tampon bölge içinde kalan devlet yollarının araç yoğunlukları da belirlenmiş ve öznitelik tablosuna eklenmiştir.

Belirlemiş olduğumuz parametrelerden biri de örnekleme noktalarının en yakın yollara olan mesafelerinin kirletici derişimi seviyesi ile olan ilişkileridir. Bunun için örnekleme noktalarının en yakınından geçen yollara olan en yakın mesafeleri CBS ortamında Proximity (Yakınlık) aracı ile analiz edilerek hesaplanmış ve öznitelik tablosuna eklenmiştir.



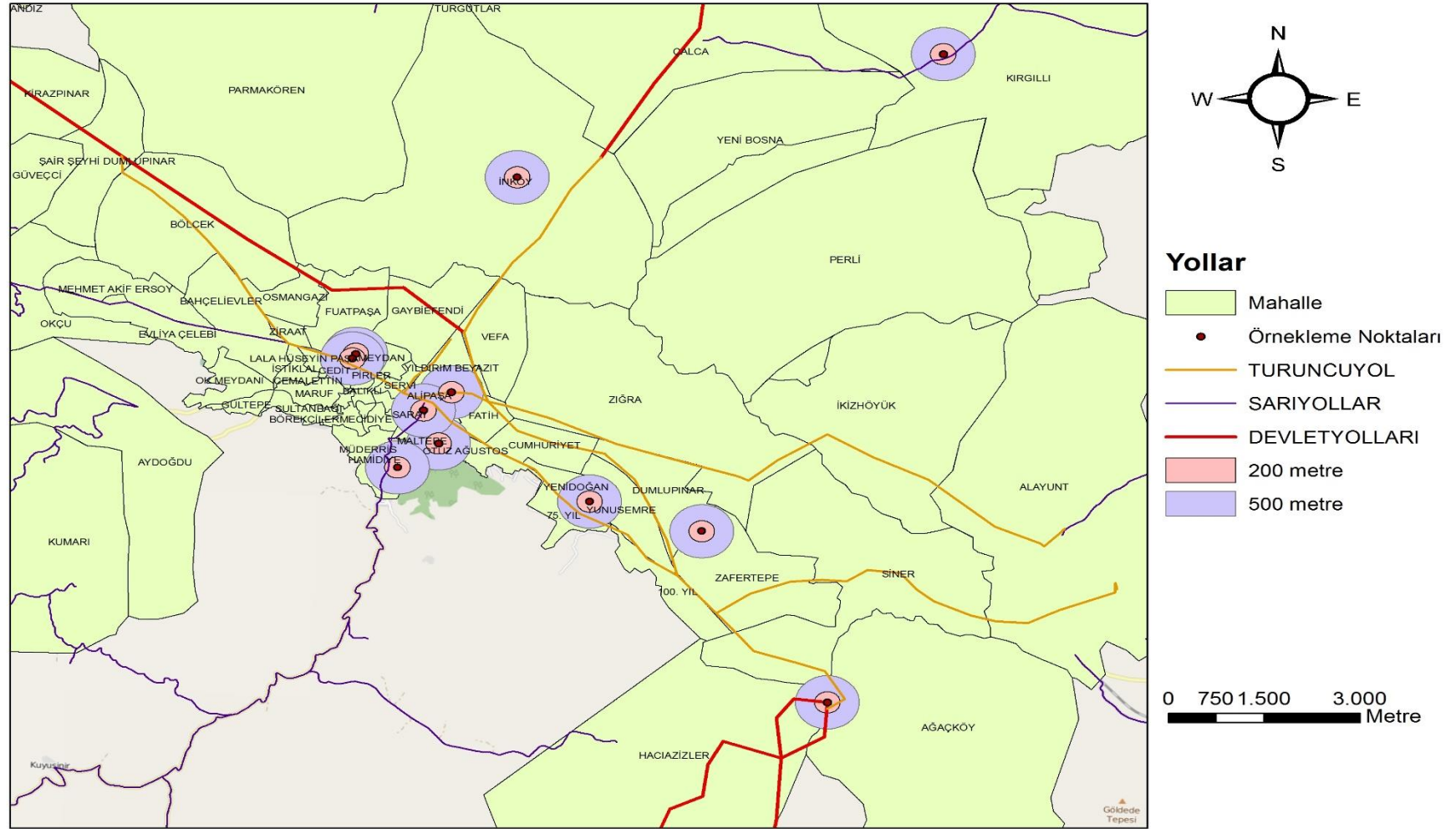
Yollar

- Devlet Yolları
- Ana Yollar
- Köy ve Tali Yollar
- Mahalle
- Örnekleme Noktaları

0 5 10 20
Kilometre

Şekil 4.12. Kütahya-yol haritası

Kaynak: *http-6*



Şekil 4.14. 500 ve 200 m'lik tampon alanlar içinde kalan yolların haritasından bir kesit

4.2.4. Önemli nokta kaynaklar ve bunlara olan mesafelerin belirlenmesi

Kent içinde bulunan sanayi vb. kaynaklı işletmelerin faaliyetleri sonucu belirli kirleticiler meydana gelmekte ve havadaki kirletici derişimine direk olarak etki etmektedir. Dolayısı ile bu tür kirletici nokta kaynakların kirletici derişimleri ile olan ilişkileri bu çalışmadaki belirlenen bağımsız değişkeler arasında yerini almıştır. Kütahya il sınırları dâhilinde bulunan nokta kaynaklar;

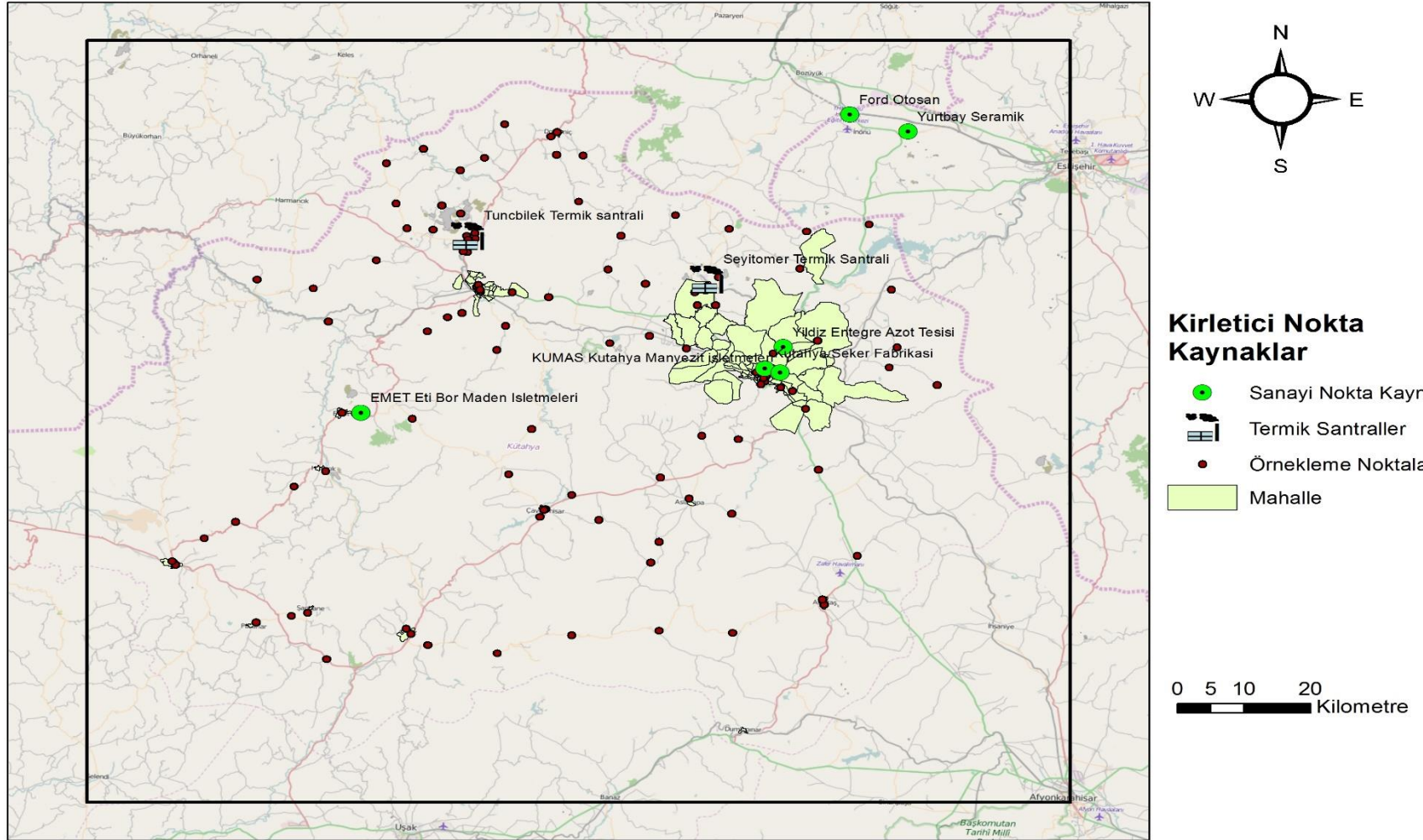
- Seyitömer Termik Santrali,
- Tunçbilek Termik santrali,

Olmak üzere 2 adet termik santral ve

- Kütahya Seker Fabrikası,
- EMET Eti Bor Maden İşletmeleri,
- Yıldız Entegre Azot Tesisleri,
- KUMAS Kütahya Manyezit işletmeleri,
- Ford Otosan,
- Yurtbay Seramik,

Olmak üzere 6 adet sanayi içerikli nokta kaynak ile toplamda 8 adet kirletici nokta kaynak mevcuttur. Bu kirletici nokta kaynakların kirletici derişimleri ile olan ilişkilerinin analiz edilebilmesi için CBS programında Proximity Analizi ile her bir örnekleme noktasının bu nokta kaynaklara olan en yakın mesafelerinin hesaplamaları yapılmış ve öznitelik tablosuna eklenmiştir. Şekil 4.15'te Kirletici nokta kaynakların ölçüm noktalarına göre konumunu gösteren harita verilmiştir.

Analizde termik santrallerin kirletici derişimine etkisinin diğer nokta kaynaklara (sanayi içerikli) göre daha farklı boyutlarda olacağı düşünülerek CBS ortamında 'örnekleme noktalarının termik santrallere olan en yakın mesafeleri' ve 'örnekleme noktalarının diğer nokta kaynaklara (sanayi) olan mesafeleri' şeklinde iki farklı bağımsız parametre oluşturulmuştur.



Şekil 4.15. Kirletici nokta kaynakların ölçüm noktalarına göre konumunu gösteren harita

4.2.5. Bağımlı ve bağımsız değişken verilerinin birleştirilmesi

CBS ortamında örnekleme noktalarının konumuna göre yapılan nüfus, yükseklik, nokta kaynaklar ve yol-araç analizleri ile elde edilen tüm sayısal veriler, derlendikten sonra CBS çakıştırma araçları ile her örnekleme noktasında kirletici derişimleri ile birlikte bağımsız değişkenlere ait bilgilerin öznitelik olarak saklanması sağlanmıştır. Model çalışmasında kullanılmak üzere örnekleme noktaları ile çakıştırılan tüm veriler tek bir çalışma dosyası haline getirilmiştir.

Bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait verilerin düzenli bir şekilde mevcut olduğu veri katmanı üzerinde, yapılacak modelleme çalışmasının daha güçlü ve gelişmiş olmasını sağlayabilmek için, elde olan verilerin türetilerek bağımsız değişkenlerin sayıları arttırılmıştır. Bağımsız değişkenlerin türetilerek arttırılma işlemi yapılan literatür araştırmaların da yardımıyla kendi tahminlerimiz doğrultusunda yapılmıştır. Tüm bu işlemlerin sonunda toplamda 19 adet bağımsız değişken belirlenmiş ve model çalışmasına dâhil edilmiştir. Model çalışmasına dâhil edilen bağımlı ve bağımsız tüm değişkenler model çalışmasındaki simgeleri ile aşağıdaki gibidir;

Belirlenen bağımlı değişken:

- Kütahya il sınırları dâhilinde 2014 yılında yaz ve kış aylarında iki haftalık periyotlarla ölçülen dış ortam NO₂ kirletici derişimi. (NO₂-Yaz, NO₂-Kış ve NO₂-Yıllık Ortalama derişim olmak üzere üç farklı bağımlı değişken için üç farklı model kurulmuştur.)

Belirlenen tüm bağımsız değişkenler:

- Örnekleme noktalarının coğrafi yükseklikleri (YK)
- Örnekleme noktalarının devlet yollarına olan en yakın uzak mesafeleri (D)
- Örnekleme noktalarının ana yollara olan en yakın mesafeleri (A)
- Örnekleme noktalarının köy ve tali yollara olan en yakın mesafeleri (T)
- Örnekleme noktalarının yerleşim yerlerine olan en yakın mesafeleri (YR)
- Örnekleme noktalarının termik santrallere olan en yakın mesafeleri (TR)

- Örnekleme noktalarının sanayi faaliyetleri gösteren nokta kaynaklara olan en yakın mesafeleri (SN)
- Örnekleme noktalarının bulunduğu 200 metrelik tampon bölge içinde kalan toplam nüfus (NFT_200)
- Örnekleme noktalarının bulunduğu 200 metrelik tampon bölge içinde kalan ortalama nüfus (NFO_200)
- Örnekleme noktalarının bulunduğu 200 metrelik tampon bölge içinde kalan devlet yollarının uzunluklarının toplamı (DU_200)
- Örnekleme noktalarının bulunduğu 200 metrelik tampon bölge içinde kalan ana yolların uzunluklarının toplamı (AU_200)
- Örnekleme noktalarının bulunduğu 200 metrelik tampon bölge içinde kalan köy ve tali yolların uzunluklarının toplamı (TU_200)
- Örnekleme noktalarının bulunduğu 200 metrelik tampon bölge içinde kalan devlet yollarındaki ortalama araç sayısı (DA_200)
- Örnekleme noktalarının bulunduğu 500 metrelik tampon bölge içinde kalan toplam nüfus (NFT_500)
- Örnekleme noktalarının bulunduğu 500 metrelik tampon bölge içinde kalan ortalama nüfus (NFO_500)
- Örnekleme noktalarının bulunduğu 500 metrelik tampon bölge içinde kalan devlet yollarının uzunluklarının toplamı (DU_500)
- Örnekleme noktalarının bulunduğu 500 metrelik tampon bölge içinde kalan ana yolların uzunluklarının toplamı (AU_500)
- Örnekleme noktalarının bulunduğu 500 metrelik tampon bölge içinde kalan köy ve tali yolların uzunluklarının toplamı (TU_500)
- Örnekleme noktalarının bulunduğu 500 metrelik tampon bölge içinde kalan devlet yollarındaki ortalama araç sayısı (DA_500)

4.3. AKR Modelinin Kurulması ve İstatistik Analizler

Bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait tüm sayısal veriler CBS ortamında karşılaştırma yöntemi ile tek bir öznitelik tablosunda düzenlenmiştir. Bundan sonraki aşamada belirlenen bir istatistik programında model çalışması yapılmıştır.

Model çalışması için *Statgraphics* istatistik programı kullanılmıştır. Bu programda herhangi bir işlem yapabilmek için verilerin bir *Excel* dosyası üzerinde bulunması gerekmektedir. Dolayısı ile çalışmada hedeflenen model çalışması için kullanılacak olan bağımlı ve bağımsız verilerin tamamının tek bir *Excel* dosyası halinde bulunması gerekir. Bunun için tüm bağımlı ve bağımsız verilerin bulunduğu öznitelik tablosu bir *Excel* dosyasına dönüştürülmüştür. Hazırlanan *Excel* çalışma dosyasında toplamda 109 adet örnekleme noktasına ait verilerden oluşan 1 adet bağımlı değişken ve 19 adet de bağımsız değişken parametreleri bulunmaktadır.

Statgraphics istatistik programında hazırlanan *Excel* veri dosyasını yükledikten sonra, yine aynı programda *Multiple Regression* (Çoklu Regresyon) aracı ile model kurulum işlemlerine geçilmiştir. AKR model çalışmasının en önemli amaçlarından birinin model kurulumunun mümkün olan en az sayıda bağımsız değişken ile sağlanması olduğundan bahsedilmiştir. Çalışmada istatistik programı tarafından ileri, geri ya da en iyi alt küme (Forward, backward or bestsubsets) araçları ile yapılan otomatik seçme yönteminin kullanılacağından da bahsedilmiştir. Bu yöneme göre ilk aşamada model kurulumuna 1 adet bağımlı değişken ve 19 adet bağımsız değişken dâhil edilmiştir. Model kuruduktan sonra istatistik programının Forward, Backward ya da Bestsubsets araçları ile önerdiği, bağımlı değişken ile en az ilişkiye sahip olan yani *p-value* değeri (güven aralığı) 0,05'den büyük olan, bir bağımsız değişken model kurulumundan çıkarılmıştır. Aynı model kurulum işlemi bu kez çıkarılan bağımsız değişken dâhil edilmeden 18 bağımsız değişken ile tekrar denemiştir ve program aynı şekilde tekrar bir bağımsız değişkenin model kurulumundan çıkarılmasını önermiştir. Bu kez model kurulumuna 17 değişken ile devam edilmiştir. Tüm bu işlemler her seferinde programın önerdiği birer bağımsız değişken eksilterek, en son programın artık önerebileceği bir bağımsız değişken kalmayana kadar tekrarlanmıştır. En son aşamada mümkün olan en az sayıda bağımsız değişken ile en yüksek R^2 değerini veren model oluşturulmuştur.

4.4. Model Sonuçları

Model, CBS ortamında düzenlenen 19 adet bağımsız değişken ve yıllık ortalama NO₂ kirletici derişimleri olan bağımlı değişken (112Y305 no'lu TÜBİTAK ve 1306F272 no'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma proje çalışanları tarafından Kütahya il sınırlarında 2014 yılındayapılan yaz ve kış ölçüm sonuçlarından türetilen) ile kurulmuştur. Model sonuçlarında en az bağımsız değişken sayısı 5 adet olarak belirlenmiştir. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de NO₂-Yıllık Ortalama derişimlerine ait ölçüm ve model sonuçlarının karşılaştırılmasının grafik ve harita gösterimi verilmiştir. Modelin kurulduğu istatistik program çıktısı (Bkz. Çizelge 4.2; 4.3 ve 4.4) aşağıdaki gibidir;

Model Denklemi:

$$NO_2 = 15,40 + 0,00003*AU_500 - 0,00002*D + 0,01*NFT_200 - 0,0003*TR - 0,01*YK$$

Bağımlı Değişken:

$$NO_2_yıllık (\mu g/m^3)$$

Bağımsız Değişkenler:

AU_500: 500 metre tampon bölge içinde kalan anayolların toplam uzunluğu

D :Örnekleme noktalarının devlet yollarına olan en yakın mesafeleri

NFT_200 : 200 metre tampon bölge içinde kalan toplam nüfus

TR : Örnekleme noktalarının termik santrallere olan en yakın mesafeleri

YK : Örnekleme noktalarının yükseklikleri

Çizelge 4.2. Yıllık ortalama NO₂ verileri ile kurulan model sonuçları

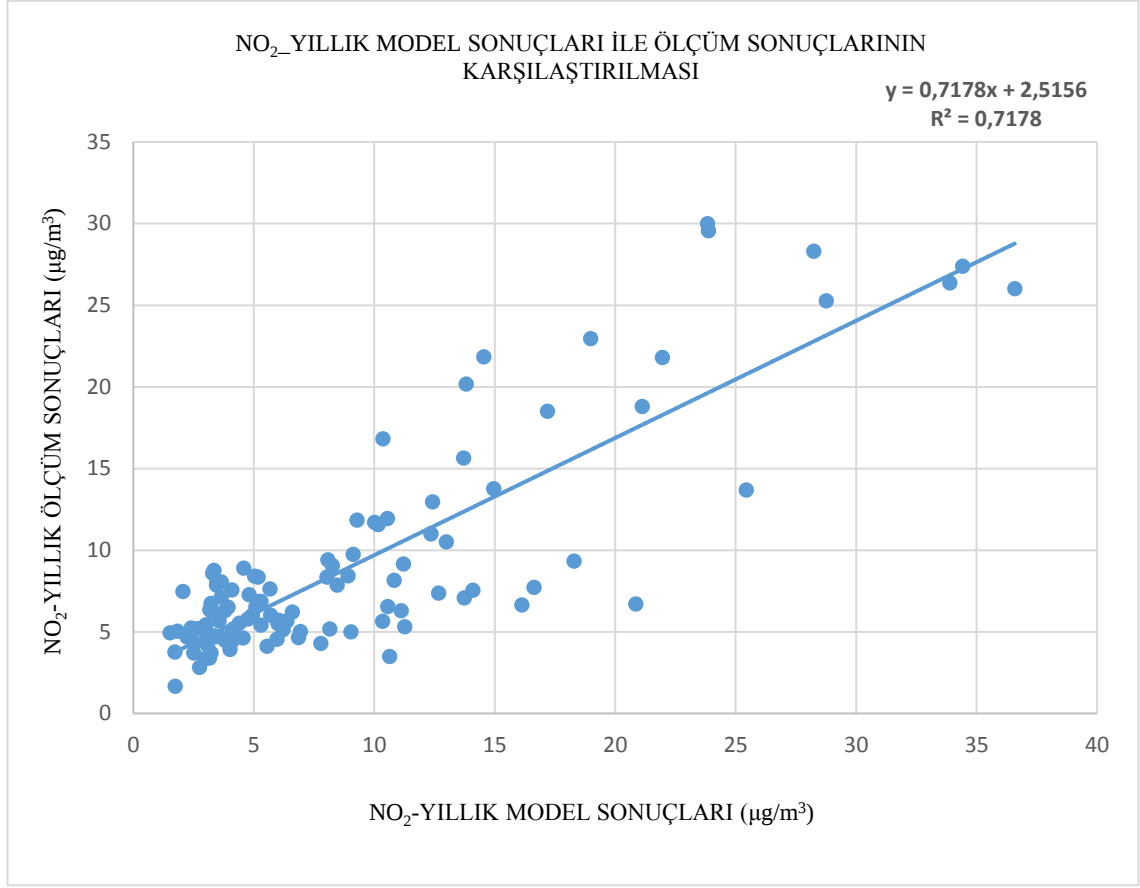
Parametre	Sonuç
R ²	% 72
R ² -adjusted (düzeltilmiş)	% 70
Standart tahmin hatası	4,1
Ortalama mutlak hata	2,9
<u>Durbin-Watson istatistiği</u>	1,7 (P=0,07)
Lag 1 artık – otokorelasyon	0,1

Çizelge 4.3. Yıllık ortalama NO₂ verileri ile kurulan modelde en güçlü korelasyona sahip olan bağımsız değişkenlerin istatistik analizi

		Standart	T	
Parametre	Tahmin	Hata Payı	İstatistik	P-Değeri
SABİT DEĞER	15,40	2,63	5,85	0,00
AU_500	0,00003	0,00003	1,21	0,23
D	-0,00002	0,0001	-0,20	0,84
NT_200	0,01	0,001	12,01	0,00
YK	-0,01	0,003	-3,18	0,002
TR	-0,0003	0,0002	-1,55	0,12

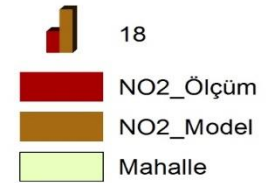
Çizelge 4.4. Yıllık ortalama NO₂ ölçümleri ile kurulan modelin varyans analizi

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	P-Değeri
Model	4466,5	5	893,3	52,4	0,0
Artık	1755,7	103	17,0		
Toplam (Korelasyon)	6222,2	108			



Şekil 4.16. NO₂-Yıllık ortalama ölçüm ve model sonuçlarının grafik gösterimi

**Model ve Ölçüm
Sonuçlarının
Karşılaştırılması ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**



0 5 10 20
Kilometre

Model sonuçlarının değerlendirilmesi

- Model NO₂_yıllık ortalama bağımlı değişkeni ile en anlamlı korelasyona sahip olan bağımsız değişkenler;
 - 200 metre tampon bölge içinde kalan toplam nüfus, bağımlı değişken ile doğru orantılı ve en yüksek korelasyona sahiptir. Tampon bölge içindeki nüfus arttıkça NO₂ derişim değeri artmaktadır. NO₂ derişimlerini meydana getiren proseslerden biri evsel ve ticari yakma işlemleri sonucunda NO_x bileşenlerinin oksidasyonlarıdır. Dolayısı ile nüfus parametresinin NO₂ derişimleri ile ilişkili çıkması beklenen bir durum olmuştur.
 - Örnekleme noktalarının yükseklik değeri, bağımlı değişken ile ters orantılı ve 2. derecede en yüksek korelasyona sahiptir. Örnekleme noktalarının yüksekliği azaldıkça NO₂ derişim değeri artmaktadır. Yükseklik azaldıkça NO₂ kirleticilerinin ortamda kalma süreleri artacağından bu parametrenin bağımlı değişken ile ilişkili çıkması beklenen bir durum olmuştur.
 - Örnekleme noktalarının termik santrallere olan en yakın mesafeleri, bağımlı değişken ile ters orantılı ve 3. derece en yüksek korelasyona sahiptir. Örnekleme noktaları ile termik santraller arasındaki mesafe azaldıkça NO₂ derişim değeri artmaktadır. NO₂ kirletici derişimlerinin en önemli 2 kaynağından biri termik santrallerdir. Dolayısı ile örnekleme noktalarının termik santrallere olan mesafelerinin NO₂ seviyeleri ile ilişkili çıkması beklenen bir durum olmuştur.
 - 500 metre tampon bölgeler içinde kalan anayolların uzunlukları toplamı, bağımlı değişken ile doğru orantılı ve 4. derece en yüksek korelasyona sahiptir. Tampon bölge içindeki anayolların uzunlukları toplamı arttıkça NO₂ derişim değeri de artmaktadır.

- Örnekleme noktalarının devlet yollarına olan en yakın mesafeleri, bağımlı değişken ile ters orantılı ve 5. derece en yüksek korelasyona sahiptir. Örnekleme noktalarının devlet yollarına olan en yakın mesafeleri azaldıkça NO₂ derişim değerleri artmaktadır. NO₂ kirletici derişimlerinin en önemli 2 kaynağından biri de motorlu taşıtlardır. Dolayısı ile trafik ile ilgili parametrelerin NO₂ derişim seviyeleri ile ilişkili çıkmaları beklenen bir durum olmuştur.

4.5. Model Sonuçlarının İstatistik Analizi

1. Bağımsız değişkenlerin kendi aralarındaki (multicollinearity) ve bağımsız değişkenler ile olankorelasyon analizleri:

- Model çalışmasına dâhil edilen tali yollara ait değişkenlerin (Örnekleme noktalarının tali yollara olan en yakın mesafeleri ve tampon bölgeler içinde kalan tali yolların toplam uzunlukları) hiçbir bağımlı değişken ile ilişkili bulunmamıştır (Bkz. Çizelge 4.5). Bu durumun tali tollardaki trafik yoğunluklarının düşük seviyelerde olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.
- Örnekleme noktalarının yerleşim bölgelerine olan en yakın mesafeleri ve tampon bölgeler içinde kalan toplam ve ortalama nüfus değişkenleri bağımlı değişken ile de oldukça yüksek korelasyona sahiptirler. Ayrıca bu üç değişken kendi aralarında da yüksek korelasyona sahip çıkmışlardır (Bkz. Çizelge 4.5). Bu durumda nihai model denkleminde içlerinden birinin alınması modeli anlamlı hale getirmiştir. Nihai modelde bulunan değişken ise bu üç değişken içinden bağımlı değişken ile doğru orantıda en yüksek korelasyona sahip olan ve modelin R² değerini anlamlı derece etkileyen tampon bölgeler içindeki toplam nüfus olmuştur.

- Örnekleme noktalarının devlet yollarına olan en yakın mesafeleri, tampon bölgeler içinde kalan devlet yollarının toplam uzunlukları ve ortalama araç sayısı değişkenleri kendi aralarında korele olan değişkenlerdir. Tampon bölgelerden çok fazla devlet yolu geçmediğinden, tampon bölgeler içinde kalan devlet yolu değişkenleri bağımlı değişken ile ilişkili çıkmamışlardır (Bkz. Çizelge 4.5). Bu üç değişkenden sadece örnekleme noktalarının devlet yollarına olan en yakın mesafeleri bağımlı değişken ile ters orantıda korelasyon ilişkisine sahip çıkmıştır. Bu değişkenin nihai model denkleminde bulunarak modelin R^2 değerini anlamlı derecede etkilediği görülmüştür.
- Örnekleme noktalarının yükseklik değerleri diğer bağımsız değişkenler ile ilişkili çıkmamıştır ve bağımlı değişken ile ters orantıda yüksek korelasyona sahiptir (Bkz. Çizelge 4.5). Bu değişkenin nihai model denkleminde bulunarak modelin R^2 değerini anlamlı derecede etkilediği görülmüştür.
- Örnekleme noktalarının termik santrallere olan en yakın mesafeleri diğer bağımsız değişkenler ile ilişkili çıkmamıştır ve bağımlı değişken ile ters orantıda yüksek korelasyona sahiptir (Bkz. Çizelge 4.5). Bu değişkenin nihai model denkleminde bulunarak modelin R^2 değerini anlamlı derecede etkilediği görülmüştür.
- Örnekleme noktalarının sanayi faaliyeti gösteren nokta kaynaklara olan en yakın mesafeleri ters orantıda bağımlı değişken ile ters orantıda belirli bir korelasyona sahiptir (Bkz. Çizelge 4.5). Ancak bu değişken modelin R^2 değerini anlamlı derecede etkilemediğinden yani bağımlı değişken ile korelasyonu düşük olduğundan nihai modelde bulunmamıştır.

- 500 metrelik tampon bölge, 200 metrelik tampon bölgeyi kapsadığından, bu tampon bölgeler içerisinde değerlendirilen aynı parametreler birbirleri ile yüksek derece korelasyona sahip çıkmışlardır (Bkz. Çizelge 4.5). Bu nedenle 200 ve 500 metre tampon bölge içinde değerlendirilen aynı parametreler model çalışmalarında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Nihai model denkleminde 200 metre tampon bölgede kalan toplam nüfus ile 500 metre tampon bölgede kalan anayolların toplam uzunluklarının bağımlı değişken ile en yüksek korelasyonu sağladığı görülmüştür.

2. Nihai AKR modelinde bulunan bağımsız değişkenlerin otokorelasyon analizleri:

- Durbin-Watson testi, veri dosyasındaki sıraya göre hata terimleri arasında önemli bir korelasyon olup olmadığını belirlemek için kullanılır (Yavuz, 2009). Nihai modelin otokorelasyon analizi hesaplanmayıp sadece model sonuç çıktılarında bulunan Durbin-Watson Testi sonucuna göre yorumlanmıştır.
- Durbin-Watson testine sonucunda çıkan p-value değerinin 0,05’de büyük olması hata terimleri arasından %95 güven aralığından otokorelasyon olmadığını gösterir (Yavuz, 2009).
- Nihai AKR modelinin Durbin-Watson testi sonuçlarında p-value değeri 0,07 olarak 0,05 değerinden büyük çıkmıştır (Bkz. Çizelge 4.1). Bu durumda modelde, istatistiksel olarak %95 güven aralığında otokorelasyon yoktur yorumu yapılabilir.

Çizelge 4.5. Bağımlı ve tüm bağımsız değişkenlerin kendi aralarında korelasyon analizler (multicollinearity)

	NO ₂	A	AU_200	AU_500	D	DA_200	DA_500	DU_200	DU_500	NFO_200	NFO_500	NFT_200	NFT_500	SA	T	TR	TU_200	TU_500	YK
A	-0,03 0,77																		
AU_200	-0,19 0,04	-0,34 0,0004																	
AU_500	0,13 0,00	-0,35 0,0003	0,78 0,00																
D	-0,20 0,04	-0,12 0,20	0,39 0,00	0,34 0,0002															
DA_200	0,03 0,71	0,10 0,30	-0,02 0,83	-0,07 0,50	-0,27 0,005														
DA_500	0,16 0,09	0,02 0,85	-0,09 0,30	-0,10 0,26	-0,34 0,0003	0,38 0,00													
DU_200	-0,03 0,72	0,01 0,88	-0,08 0,40	-0,13 0,19	-0,32 0,0007	0,74 0,00	0,32 0,0007												
DU_500	0,07 0,47	0,04 0,67	-0,12 0,23	-0,13 0,19	-0,42 0,00	0,47 0,00	0,78 0,00	0,66 0,00											
NFO_200	0,70 0,00	-0,09 0,35	-0,12 0,21	0,03 0,77	-0,19 0,05	0,13 0,16	0,28 0,004	0,18 0,07	0,22 0,02										
NFO_500	0,37 0,0001	-0,07 0,49	-0,04 0,67	-0,06 0,50	-0,29 0,002	0,05 0,58	0,10 0,29	0,09 0,31	0,11 0,24	0,59 0,00									
NFT_200	0,82 0,00	-0,15 0,12	-0,12 0,22	0,09 0,32	-0,18 0,06	0,05 0,55	0,16 0,09	0,07 0,48	0,09 0,30	0,84 0,00	0,41 0,00								
NFT_500	0,56 0,00	-0,16 0,09	-0,05 0,56	0,091 0,35	-0,27 0,004	0,14 0,13	0,17 0,08	0,06 0,54	0,19 0,04	0,47 0,00	0,50 0,00	0,52 0,00							
SA	-0,27 0,006	0,11 0,26	0,19 0,04	0,17 0,07	0,18 0,06	-0,01 0,94	-0,03 0,71	-0,04 0,62	0,03 0,73	-0,20 0,04	-0,15 0,12	-0,32 0,0006	-0,21 0,03						
T	0,12 0,21	-0,11 0,23	0,25 0,009	0,29 0,002	-0,10 0,27	0,26 0,01	0,07 0,45	0,24 0,01	0,13 0,19	0,12 0,22	0,001 0,98	0,123 0,23	0,08 0,42	-0,19 0,05					
TR	-0,48 0,00	-0,01 0,91	0,33 0,0005	0,13 0,18	0,44 0,00	-0,13 0,16	-0,02 0,81	-0,10 0,29	-0,14 0,16	-0,43 0,00	-0,32 0,00	-0,47 0,00	-0,61 0,00	0,14 0,15	-0,11 0,25				
TU_200	-0,16 0,10	0,16 0,08	-0,19 0,05	-0,12 0,21	-0,01 0,91	-0,16 0,09	-0,01 0,92	-0,19 0,05	-0,13 0,17	-0,15 0,12	-0,06 0,52	-0,18 0,06	-0,21 0,03	0,08 0,41	-0,53 0,00	0,16 0,10			
TU_500	-0,17 0,07	0,09 0,32	-0,14 0,16	-0,11 0,26	-0,026 0,79	-0,13 0,17	-0,04 0,70	-0,20 0,03	-0,15 0,11	-0,16 0,10	-0,01 0,9	-0,17 0,07	-0,13 0,19	0,09 0,36	-0,61 0,00	0,14 0,15	0,84 0,00		
YK	-0,34 0,0003	-0,04 0,64	0,09 0,31	-0,04 0,69	0,24 0,01	-0,18 0,06	-0,08 0,39	-0,14 0,16	-0,11 0,25	-0,24 0,01	-0,14 0,14	-0,20 0,04	-0,20 0,03	-0,25 0,008	-0,05 0,61	0,20 0,04	0,14 0,16	0,13 0,18	
YR	-0,39 0,00	0,07 0,46	0,34 0,0003	0,42 0,00	-0,10 0,28	-0,14 0,14	-0,08 0,39	-0,15 0,11	-0,40 0,00	-0,48 0,00	-0,41 0,00	-0,47 0,00	0,43 0,00	-0,01 0,88	0,57 0,00	0,03 0,72	0,01 0,92	-0,02 0,86	-0,14 0,16

-Korelasyon

-P-değeri

Çizelge 4.5’de bulunan kısaltmaların açılımları:

- YK:** Örnekleme noktalarının coğrafi yükseklikleri
- D:** Örnekleme noktalarının devlet yollarına olan en yakın uzak mesafeleri
- A:** Örnekleme noktalarının ana yollara olan en yakın mesafeleri
- T:** Örnekleme noktalarının köy ve tali yollara olan en yakın mesafeleri
- YR:** Örnekleme noktalarının yerleşim yerlerine olan en yakın mesafeleri
- TR:** Örnekleme noktalarının termik santrallere olan en yakın mesafeleri
- SN:** Örnekleme noktalarının sanayi faaliyetleri gösteren nokta kaynaklara olan en yakın mesafeleri
- NFT_200:** Örnekleme noktalarının bulunduğu 200 metrelik tampon bölge içinde kalan toplam nüfus
- NFO_200:** Örnekleme noktalarının bulunduğu 200 metrelik tampon bölge içinde kalan ortalama nüfus
- DU_200:** Örnekleme noktalarının bulunduğu 200 metrelik tampon bölge içinde kalan devlet yollarının uzunluklarının toplamı
- AU_200:** Örnekleme noktalarının bulunduğu 200 metrelik tampon bölge içinde kalan ana yolların uzunluklarının toplamı
- TU_200:** Örnekleme noktalarının bulunduğu 200 metrelik tampon bölge içinde kalan köy ve tali yolların uzunluklarının toplamı
- DA_200:** Örnekleme noktalarının bulunduğu 200 metrelik tampon bölge içinde kalan devlet yollarındaki ortalama araç sayısı
- NFT_500:** Örnekleme noktalarının bulunduğu 500 metrelik tampon bölge içinde kalan toplam nüfus
- NFO_500:** Örnekleme noktalarının bulunduğu 500 metrelik tampon bölge içinde kalan ortalama nüfus
- DU_500:** Örnekleme noktalarının bulunduğu 500 metrelik tampon bölge içinde kalan devlet yollarının uzunluklarının toplamı
- AU_500:** Örnekleme noktalarının bulunduğu 500 metrelik tampon bölge içinde kalan ana yolların uzunluklarının toplamı
- TU_500:** Örnekleme noktalarının bulunduğu 500 metrelik tampon bölge içinde kalan köy ve tali yolların uzunluklarının toplamı
- DA_500:** Örnekleme noktalarının bulunduğu 500 metrelik tampon bölge içinde kalan devlet yollarındaki ortalama araç sayısı

4.6. Modelin Validasyon Çalışmaları

Model kurulumundaki en önemli aşamalardan birinin de validasyon aşaması olduğundan bahsetmiştik. Çalışmada kurulan modelin doğruluğu ve performansının ölçülebilmesi için model üzerinde validasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında birden fazla validasyon yöntemine rastlanmıştır ve bu çalışmada verilerin fazla olması nedeniyle cross-validation (çapraz-doğrulama) yönteminin daha uygun olacağına karar verilmiştir.

Çalışmada Cross-validation yöntemi uygulanırken çalışma alanı alt bölgelere ayrılmıştır. Bir bölgedeki verilerle oluşturulan model diğer bölgedeki derişimleri belirlemede kullanılmıştır ve ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu yaklaşım yönteminde örnekleme noktalarından elde edilen alt bölgeler rasgele ya da sistematik seçim ile belirlenmiştir. İlk olarak, ölçüm yapılan noktaların %90'nı ile model kurulmuş ve modele dâhil edilmeyen diğer %10'luk noktalar üzerinde uygulanarak model ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Daha sonra aynı yöntem ölçüm noktalarının %80'i ile kurulmuş, geriye kalan ve modele dâhil edilmeyen %20'lik ölçüm sonuçları üzerinde aynı şekilde test edilmiştir. Bu şekilde test edilen alt bölgelerin model ve gerçek ölçüm sonuçları karşılaştırılarak uyum derecelerine göre modelin performansı hakkında bilgi verilmiştir.

AKR modelini anlatırken modelin en önemli amaçlarından birinin de ölçüm yapılamayan noktalar için de belirli bir derişim değeri tahmininde bulunabilmektir. Burada Validasyon çalışmasının mantığı aynı zamanda, ölçüm yapılan noktaların derişim değerleri ile kurulan modelin ölçüm yapılamayan bölgeler için bize ne kadar gerçekçi bir tahmin değeri verebileceğini test etmektir.

NO₂-Yıllık ortalama modelinin %90'lık validasyon çalışması

2014 yılına ait 109 adet yıllık ortalama NO₂ ölçüm sonuçlarından %90 oranında random (rasgele) olarak seçilen 98 nokta ile model kurulmuştur. Kurulan model, model kurulumuna dâhil edilmeyen diğer 11 nokta üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar bu 11 noktada yapılan gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Model sonuçlarında en az bağımsız değişken sayısı 5 adet olarak belirlenmiştir. Şekil 4.18'de NO₂-Yıllık Ortalama derişimlerine ait ölçüm ve model sonuçlarının karşılaştırılmasının grafik gösterimi verilmiştir. Modelin kurulduğu istatistik program çıktısı (Bkz. Çizelge 4.6; 4.7 ve 4.8) aşağıdaki gibidir;

Model denklemi:

$$\text{NO}_2 = 15,30 + 0,0001 \cdot \text{AU}_{500} - 0,00007 \cdot \text{D} - 0,0003 \cdot \text{TR} - 0,009 \cdot \text{YK} + 0,01 \cdot \text{NT}_{200}$$

Bağımlı Değişken:

$$\text{NO}_2_{\text{yıllık}} (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

Bağımsız Değişkenler:

AU₅₀₀ : 500 metre tampon bölge içinde kalan anayolların toplam uzunluğu

D :Örnekleme noktalarının devlet yollarına olan en yakın mesafeleri

NFT₂₀₀ : 200 metre tampon bölge içinde kalan toplam nüfus

TR : Örnekleme noktalarının termik santrallere olan en yakın mesafeleri

YK : Örnekleme noktalarının yükseklikleri

Çizelge 4.6. Yıllık ortalama NO₂ verilerinin %90'nı ile kurulan model sonuçları

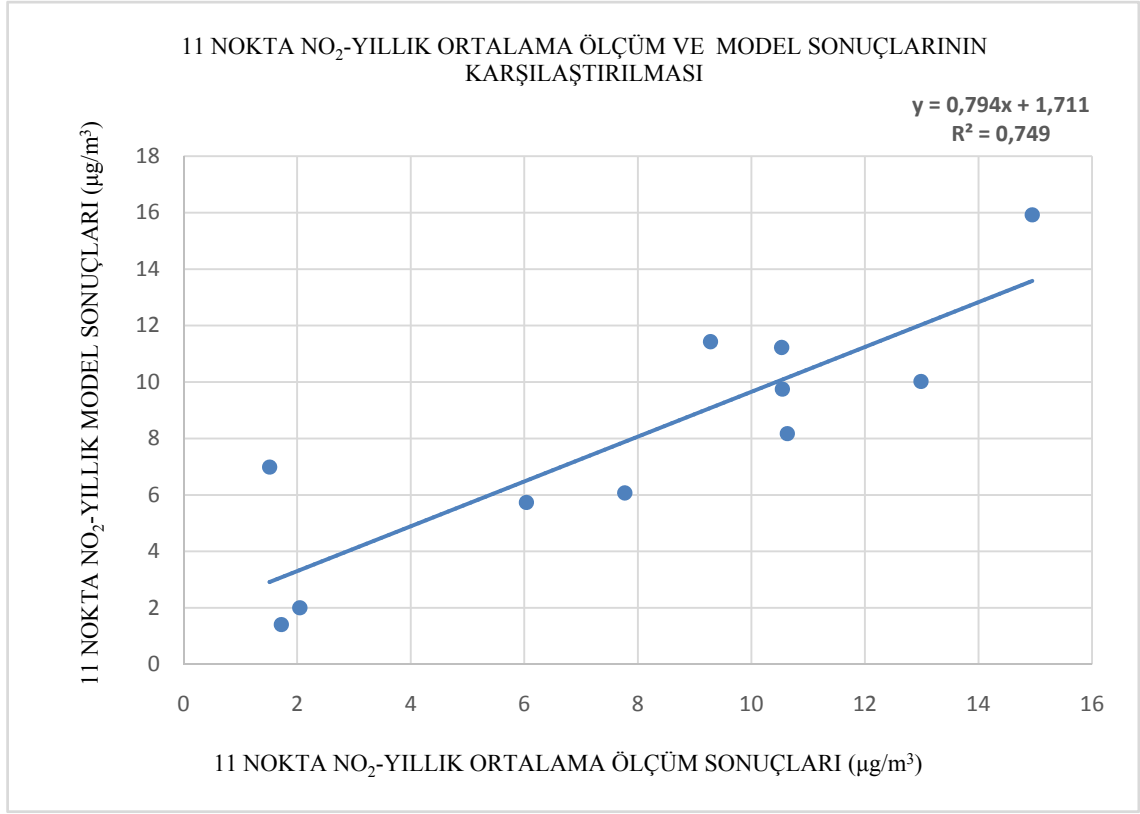
Parametre	Sonuç
R ²	% 74
R ² -adjusted (düzeltilmiş)	% 73
Standart tahmin hatası	4,1
Ortalama mutlak hata	2,9
<u>Durbin-Watson istatistiği</u>	1,6 (P=0,06)
Lag 1 artık – otokorelasyon	0,2

Çizelge 4.7. Yıllık ortalama NO₂ verilerinin %90'nı ile kurulan modelde en güçlü korelasyona sahip olan bağımsız değişkenlerin istatistik analizi

		Standart	T	
Parametre	Tahmin	Hata Payı	İstatistik	P-Değeri
SABİT DEĞER	15,30	2,72	5,61	0,00
AU_500	0,0001	0,00003	2,28	0,03
D	-0,00007	0,0001	0,67	0,50
TR	-0,0003	0,0002	-1,35	0,18
YK	-0,009	0,003	-3,33	0,001
NT_200	0,01	0,001	11,74	0,00

Çizelge 4.8. Yıllık ortalama NO₂ verilerinin %90'nı ile kurulan modelin varyans analizi

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	P-Değeri
Model	4436,95	5	887,39	52,3	0,0
Artık	1559,54	92	17,0		
Toplam (Korelasyon)	5996,49	97			



Şekil 4.18. 11 nokta NO₂-yıllık ortalama ölçüm ve model sonuçlarının karşılaştırılmasının grafik gösterimi

NO₂-Yıllık ortalama modelinin %80’lik validasyon çalışması

2014 yılına ait 109 adet yıllık ortalama NO₂ ölçüm sonuçlarından %80 oranında random (rasgele) olarak seçilen 87 nokta ile model kurulmuştur. Kurulan model, model kurulumuna dâhil edilmeyen diğer 22 nokta üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar bu 22 noktada yapılan gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Model sonuçlarında en az bağımsız değişken sayısı 5 adet olarak belirlenmiştir. Şekil 4.19’de NO₂-Yıllık Ortalama derişimlerine ait ölçüm ve model sonuçlarının karşılaştırılmasının grafik gösterimi verilmiştir. Modelin kurulduğu istatistik program çıktısı (Bkz. Çizelge 4.9; 4.10 ve 4.11) aşağıdaki gibidir;

Model denklemi:

$$\text{NO}_2 = 16,57 + 0,00009 \cdot \text{AU_500} - 0,00003 \cdot \text{D} + 0,01 \cdot \text{NT_200} - 0,01 \cdot \text{YK} - 0,0002 \cdot \text{TR}$$

Bağımlı Değişken:

$$\text{NO}_2_{\text{yıllık}} (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

Bağımsız Değişkenler:

AU_500 : 500 metre tampon bölge içinde kalan anayolların toplam uzunluğu

D :Örnekleme noktalarının devlet yollarına olan en yakın mesafeleri

NFT_200 : 200 metre tampon bölge içinde kalan toplam nüfus

TR : Örnekleme noktalarının termik santrallere olan en yakın mesafeleri

YK : Örnekleme noktalarının yükseklikleri

Çizelge 4.9. Yıllık ortalama NO₂ verilerinin %80'i ile kurulan model sonuçları

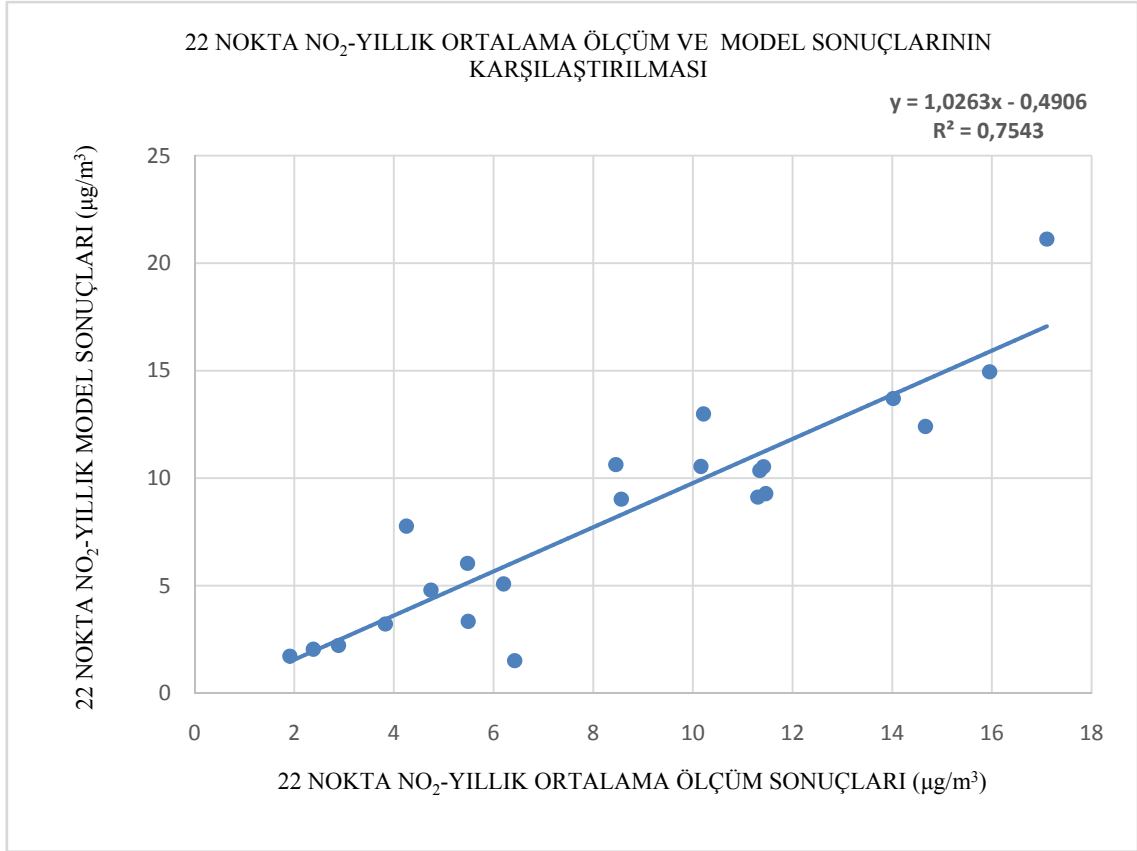
Parametre	Sonuç
R ²	% 75
R ² -adjusted (düzeltilmiş)	% 73
Standart tahmin hatası	4,2
Ortalama mutlak hata	2,9
<u>Durbin-Watson istatistiği</u>	1,6 (P=0,06)
Lag 1 artık – otokorelasyon	0,2

Çizelge 4.10. Yıllık ortalama NO₂ verilerinin %80'i ile kurulan modelde en güçlü korelasyona sahip olan bağımsız değişkenlerin istatistik analizi

		Standart	T	
Parametre	Tahmin	Hata Payı	İstatistik	P-Değeri
SABİT DEĞER	16,57	2,95	5,61	0,00
AU_500	0,00009	0,00004	2,26	0,03
D	-0,00003	0,0001	0,31	0,75
NT_200	0,01	0,001	11,14	0,00
YK	-0,01	0,003	-3,47	0,0008
TR	-0,0002	0,0002	-1,11	0,27

Çizelge 4.11. Yıllık ortalama NO₂ ölçümlerinin '80'İ ile kurulan modelin varyans analizi

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	P-Değeri
Model	4236,7	5	847,34	47,91	0,0
Artık	1432,46	81	17,68		
Toplam (Korelasyon)	5669,16	86			



Şekil 4.19. 22 nokta NO₂-yıllık ortalama ölçüm ve model sonuçlarının karşılaştırılmasının grafik gösterimi

Validasyon çalışmaları esas modelin doğruluğunu test etmek için yapılmıştır. Nokta sayısını azaltmak sonuçlardaki belirsizliği arttıracığından validasyon çalışması verilerin sadece %90 ve %80'inde uygulanmıştır. Her iki validasyon çalışmasında da NO₂ bağımlı değişkeni ile esas modelde bulunan aynı bağımsız parametrelerin ilişkili olduğu görülmüştür. Validasyon çalışmalarında da Durbin-Watson testinde p-değerleri 0,05'in üzerinde çıktığından parametreler arasında otokorelasyon olmadığı görülmüştür.

Validasyon çalışmasındaki Nihai modeller, modele dâhil edilmeyen noktalar üzerinde uygulandıklarında gerçek ölçüm sonuçlarına yakın sonuçlar vermiştir. Bu durum kurulan AKR modelleri ile ölçüm yapılamayan noktalar için de NO₂ derişim tahminlerinde bulunulabileceğini göstermektedir. Validasyon sonuçlarına bakarak, bu çalışmada yapılan AKR modellemesinin başarılı olduğu yorumunu yapmak mümkündür.

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

AKR modelleme çalışması hava kalitesi alanında Dünya çapında çoğunlukla Kuzey Amerika ve Avrupa ülkelerinde uygulanmıştır. Bu tez çalışması, Türkiye’de hava kirliliği alanında uygulanan ilk AKR modelleme çalışmalarından biri olmuştur. AKR modelinde amaç alan kullanım biçimlerinin kirletici derişim seviyelerindeki etkilerini inceleyebilmektir. Bu doğrultuda, çalışmada model için girdi olarak hem tahminlerle hem de uzun literatür araştırmaları sonucunda türetilen alan kullanımına yönelik bağımsız değişkenler kullanılmıştır. Bağımlı değişken olarak da, çalışmada literatür araştırmalarından da edinilen fikir ile NO₂ bileşenleri seçilmiştir. NO₂ kirletici kaynakları trafik, termik santraller ve yakma işlemleri olarak sıralanabilir. Sıralanan bu parametrelerin NO₂ kirletici seviyelerine olan katkılarının incelenmesi alan kullanım analizleri ile sağlanabilmektedir. Alan kullanım analizleri ile NO₂ kaynaklarının belirlenmesi diğer kirletici kaynaklarını belirlemeye göre daha elverişlidir. Bu nedenle alan kullanım modellerinin NO₂ kirletici derişimleri üzerindeki başarısı diğer kirleticilere göre daha yüksek olmuştur. Çalışmada, 112Y305 no’lu TÜBİTAK ve 1306F272 no’lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma projeleri kapsamında araştırmacılar tarafından yapılan NO₂ pasif örnekleme verilerinden (Polat, 2016; Artun ve ark., 2016) ve Kütahya Çevre ve Şehircilik İl müdürlüğü istasyon verilerinden faydalanılmıştır.

Çalışmada NO₂ kirletici seviyelerine katkıları olabileceği düşünülen trafik, topografya, nokta kaynak ve nüfus parametreleri ile ilgili toplamda 19 bağımsız değişken üretilmiştir. AKR modelleme çalışmasının amacı mümkün olan en az sayıda bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki en iyi ilişkiyi belirleyebilmektir. Bunun için modele dahil edilen bağımsız parametrelerin kendi aralarındaki ve bağımsız değişken ile olan korelasyon derecelerini gösteren matrisler oluşturulmuştur. Bağımlı değişken ile korelasyonu bulunmayan ya da kendi aralarında korele olan bağımsız parametreler model sonucu hakkın yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Bunun için modele dahil edilen bağımsız parametrelerin korelasyon analizleri yapılarak istatistik alanda çeşitli eleme yöntemlerine başvurulmuştur. Nihai durumda modelde NO₂değişkenliğini (R^2) en iyi şekilde açıklayan ve kendi aralarında otokorelasyon olmayan en az sayıda bağımsız değişken ile model kurulmuştur.

Bağımsız parametrelerin örnekleme noktalarına olan etkilerinin yine bu noktalarla olan mesafe ölçütlerine göre değerlendirilebilmesi için örnekleme noktaları etrafında belirli (200 m yarıçap, 500 m yarıçap) tampon bölgeler ve bu parametrelerin noktalara olan en yakın uzaklık mesafeleri de model hesaplamalarına dâhil edilmiştir. Bağımsız değişkenlerin kendi aralarındaki korelasyon analizlerine bakıldığında, 200 m ve 500 m tampon bölge içinde değerlendirilen aynı değişkenlerin yüksek derecede korele oldukları görülmüştür. Bunun için tampon bölge dâhilindeki bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken ile ilişkileri ayrı ayrı değerlendirmiş ve sonuçta en anlamlı ilişkinin yakalandığı değişkenler modele dâhil edilmiştir. Nihai modelde kendi aralarından korele olmayan ve NO₂'deki değişkenliği en iyi açıklayan bağımsız değişkenler etki derecelerine göre şu şekilde sıralanmıştır;

- Ölçüm noktalarının ayrı ayrı dâhil oldukları 200 metre tampon bölgeler içinde kalan toplam nüfus
- Yükseklik
- Örnekleme noktalarının termik santrallere olan en yakın mesafeleri
- Örnekleme noktalarının ayrı ayrı dâhil oldukları 500 metre tampon bölgeler içinde kalan anayolların uzunlukları toplamı
- Örnekleme noktalarının devlet yollarına olan en yakın mesafeleri.

NO₂ derişimleri evsel ve ticari yakma işlemlerinden meydana gelen NO_x bileşenlerinin oksidasyonlarıyla oluşabilirler. Bu durumda nüfus parametresinin nihai modelde çıkmasının anlamlı olduğunu söyleyebiliriz. Gilber ve ark. (2005), Beelen ve ark. (2007) ve Rosenlund ve ark. (2008)'nın çalışmalarında da nüfus verilerinin nihai modelde NO₂ kirletici bileşenleri ile anlamlı ilişkide olduğu görülmüştür. Yükseklik parametresi, NO₂ derişimlerinin ortamdaki dağılımlarını etkileyebileceği düşünülerek çalışmaya dâhil edilmiş ve nihai modelde NO₂ derişim seviyeleri ile ilişkili çıkmıştır. Gonzales ve ark. (2005), Smith ve ark. (2007), Madsen ve ark. (2007) ve Rosenlund ve ark. (2008)'nın çalışmalarında da yükseklik verilerinin nihai modelde NO₂ kirletici bileşenleri ile anlamlı ilişkide olduğu görülmüştür. NO₂ kirletici kaynaklarının termik santraller ve motorlu taşıtlar olduğundan daha önce bahsedilmişti. Bu durumda örnekleme noktalarının termik santrallere ve devlet yollarına olan mesafelerinin ve de 500 metre tampon bölge içinde kalan anayol uzunluklarının toplamalarının nihai modelde NO₂ derişimleri ile ilişkili çıkmalarının anlamlı olduğunu söyleyebiliriz. Chen

ve ark. (2010), Jerret ve ark. (2007)'nin çalışmalarında da endüstriyel nokta kaynak verilerinin nihai modelde NO₂ kirletici bileşenleri ile anlamlı ilişkide olduğu görülmüştür. Son olarak Briggs ve ark. (1997), Briggs ve ark. (2000), Carr ve ark. (2002), Ross ve ark. (2006) ve Rosenlund ve ark. (2008)'nin çalışmalarında da trafik ile ilgili parametrelerin nihai modelde NO₂ kirletici bileşenleri ile anlamlı ilişkide olduğu görülmüştür.

Modelde yer alan bağımsız değişkenlerin bazılarının artı (+) bazılarının ise eksi(-) değer alması bağımsız değişkenlerin kirletici derişim sevieleri ile doğru orantılı olabileceği gibi ters orantılı da olabileceğini göstermiştir. Örnekleme noktalarının termik santrallere ve devlet yollarına olan mesafeleri ve de yükseklik parametrelerinin NO₂ derişimleri ile ters orantıda korelasyon sağladığı görülmüştür. Mesafeler ve yükseklik değerleri azaldıkça NO₂ derişim seviyelerinin arttığı yorumu yapılabilir. Tampon bölgeler içinde kalan nüfus ve anayol uzunluk toplamalarının NO₂ derişimleri ile doğru orantıda korelasyon sağladığı görülmüştür. Nüfus ve yol miktarı arttıkça NO₂ derişim seviyeleri de artmaktadır yorumu yapılabilir.

Nihai durumda 5 adet bağımsız değişken ile NO₂'deki değişkenliği %72 oranında açıklayan başarılı bir model denklemi bulunmuştur. Literatür araştırmalarında, kurulan AKR modellerinin NO₂'deki değişkenliği ortalama %50-80 aralığında açıkladıkları görülmüştür. Literatürde, bu aralığın model performansı açısından başarılı kabul edilebileceğinden bahsedilmiştir (Briggs ve ark., 1997; Briggs ve ark., 2000; Şahsuvaroğlu ve ark., 2006; Jerret ve ark., 2007; Cavellin ve ark., 2015).

Çalışmanın son aşamasında modelin doğruluk düzeyi test edilmiştir. Bunun için veri setinin belirli oranlarıyla validasyon çalışmaları yapılmıştır. Veri setinden nokta sayısı azaltmak belirsizliği arttıracığından validasyon çalışmaları veri setinin %90 ve %80'i ile sınırlı tutulmuştur. Validasyon çalışmalarında da esas modelde olduğu gibi *multricollinearity* ve *otokorelasyon* analizleri yapılmıştır. Değişkenlerin kendi aralarında otokorelasyon olmadığından emin olunmuştur. Validasyon çalışmalarında elde edilen nihai modellerde de esas model ile aynı bağımsız değişkenlerin NO₂ değişkeni ile anlamlı ilişkiyi sağladığı görülmüştür. Veri setinin %90 ve %80'i ile kurulan modellerde bağımsız değişkenler, NO₂'deki değişkenliği sırası ile %74 ve %75 oranlarında açıklamışlardır. Validasyon çalışmalarında kurulan modeller, modele dâhil

edilmeyen noktalar üzerinde uygulandıklarında ölçüm sonuçlarına yakın tahminlerde bulunulabileceği görülmüştür. Validasyon çalışmalarında modelleme çalışmalarının genel amacına uygun olarak, AKR modelleri ile ölçüm yapılamayan noktalar için de gerçeğe yakın tahminlerde bulunulabileceği yorumu yapılabilir. Bahsedildiği gibi veri setinde nokta sayısının azaltılması belirsizliği arttıracığından çalışmalarda kurulan esas modelin dikkate alınması doğru olacaktır.

AKR modelleme çalışması Türkiye de dâhil olmak üzere birçok ülkede ve birçok alanda son yıllarda oldukça önem kazanmaya başlayan, gelişime oldukça açık bir konudur. Bu çalışmada elde edilen bulgular sonucunda, AKR modelleme yöntemi ile ilgili gelecekte hava kalitesi alanında gerçekleştirilecek çalışmaların, şu konulara yoğunlaşmasında fayda olacağı düşünülmektedir:

- Çalışmanın daha farklı sayıda ve ayrıntıda değişkenle geliştirilmesi, modelin doğru tahmin gücünü arttırabilir.
 - Trafik ve nokta kaynak ile ilgili değişkenler, emisyon envanteri bilgileri (taşıt sınıflandırması, nokta kaynak dağılım yüksekliği, kirletici emisyonlarının zamansal değişimleri vs.) dahil edilerek analiz edilebilir
 - Trafik ile ilgili değişkenler, uydu verilerinden faydalanılarak daha yüksek çözünürlükte elde edilen trafik hacim verileri dâhilinde analiz edilebilir
- Literatür araştırmalarında AKR modelinin en çok NO₂ kirletici derişimi üzerinde başarılı olduğu görülmüş olsa da bu alanda farklı hava kirletici bileşenleri üzerinde denenebilir.

KAYNAKÇA

- Altuğ, H., Gaga, E.O., Döğeroğlu, T., Özden, Ö., Örnektekin, S., Brunekreef, B., vd. (2013). “Effects of Air Pollution on Lung Function and Symptoms of Asthma, Rhinitis and Eczema in Primary School Children”, *Environ Sci Pollut R.*, 20 (9), 6455-6467
- Artun, G.K., Polat, N., Yay, O.D., Üzmez, Ö.Ö., Arı, A., Tuygun, G.T., Elbir, T., Altuğ, H., Dumanoglu, Y., Döğeroğlu, T., Dawood, A., Odabaşı, M., Gaga, E.O. (2017). “An Integrative Approach for Determination of Air Pollution and Its Health Effects in A Coal Fired Power Plant Area by Passive Sampling”, *Atmospheric Environment*, 150: 331-345.
- Ay, F., Balta, M., Çolak, M. ve Semercioğlu, H. (2009). “Hava Kirliliği ve Modellemesi”, Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü. Erişim Tarihi:30.08.2015.<http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/noktasal-kaynakli-emisyonlarindispersiyon-modeli.pdf>.
- Beelen, R., Hoek, G., Fischer, P., van den Brandt, P.A., Brunekreef, B. (2007). “Estimated Long-Term Outdoor Air Pollution Concentrations in a Cohort Study”, *Atmos. Environ.* 41: 1343–1358.
- Beelen, R., Voogt, M., Duyzer, J., Zandveld, P., Hoek, G. (2010). “Comparison of the Performances of Land Use Regression Modelling and Dispersion Modelling in Estimating Small-Scale Variations in Long-Term Air Pollution Concentrations in a Dutch Urban Area”. *Atmospheric Environment.*, 44:4614–4621.
- Bellander, T., Berglind, N., Gustavsson, P., Jonson, T., Nyberg, F., Pershagen, G., vd. (2001). “Using Geographic Information Systems To Assess Individual Historical Exposure to Air Pollution from Traffic and House Heating in Stockholm”. *Environmental Health Perspectives*, 109: 633–639.
- Brauer, M., Hoek, G., Van, V. P., Meliefste, K., Fischer, P., Gehring, U., Heinrich, J., Cyrys 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., Collins, S., Elliott, P., Fischer, P., Kingham, S., Lebrete, E., Pryl, K., Van, R. H., Smallbone, K., Van der Veen, A. (1997). "Mapping Urban Air Pollution Using GIS a Regression-Based Approach", *International Journal of Geographical Information Science*, 11: 699–718
- 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.
- Brunekreef, B., Holgate, S.T. (2002). "Air Pollution and Health", *Lancet*, 360: 1233–1242.
- Carr, D., von Ehrenstein, O., Weiland, S., Wagner, C., Wellie, O., Nicolai, T., von Mutius, E. (2002). "Modeling Annual Benzene, Toluene, NO₂, and Soot Concentrations on the Basis of Road Traffic Characteristics", *Environ. Res.* 90: 111–118.
- Cavellin, L. D., Weichenthal, S., Tack, R., Ragetti, M. S., Smargiassi, A., Hatzopoulou, M. (2015). "Investigating the Use Of Portable Air Pollution Sensors to Capture the Spatial Variability Of Traffic-Related Air Pollution", *Environmental Science & Technology*, 50 (1): 313-320.
- Cavkaytar, Ö., Soyer, U.Ö., Şekerel, B.E., (2013), "Türkiye' de Hava Kirliliğinden Kaynaklanan Sağlık Sorunları", *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*2, 105-111.
- Chen, H., Goldberg, M. S., Crouse, D. L., Burnett, R. T., Jerrett, M., Villeneuve, P. J., Wheeler, A. J., Labrèche, F., Ross N. A. (2010), "Back-Extrapolation of Estimates of Exposure From Current Land-Use Regression Models", *Atmospheric Environment*, 44: 4346-4354.
- Colls, J., (2002), Air Pollution (Second Edition), *Spon Press*, New York.
- Cooper, D.C., Alley, F.C., (2002), Air Pollution Control (3rd edition), *Waveland Press*.

- Cyrys, J., Hochadel, M., Gehring, U., Hoek, G., Diegmann, V., Brunekreef, B., vd. (2005). "GIS-based Estimation of Exposure to Particulate matter and NO₂ in an Urban area: Stochastic Versus Dispersion Modeling". *Environmental Health Perspectives*, 113:987–992.
- De Hoogh, K., Korek, M., Vienneau, D., Keuken, M. J., Nieuwenhuijsen, M. J., Badaloni C., vd. (2014). "Comparing Land Use Regression and Dispersion Modelling to Assess Residential Exposure to Ambient Air Pollution for Epidemiological Studies", *Environment International*, 73:382–392
- 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.
- Dijkema, M.B.A., Gehring, U., van Strien, R.T., van der Zee, S.C., Fischer, P., Hoek, G., vd. (2011). "A Comparison of Different Approaches to Estimate Small Scale Spatial Variation in Outdoor NO₂ Concentrations". *Environmental Health Perspectives*, 119(5):670–675.
- Dockery, D.W., Pope III, C.A., Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, Jr., B.G., Speizer, F.E. (1993). "An Association Between Air Pollution And Mortality In Six U.S. Cities", *The New England Journal of Medicine*, 329: 1753–1759.
- Doorn, W.V., Arpacioğlu, C.B., Kaybal, G., Elbir, M., Kılıçlar, L., Akcan, N., Yeşilyurt, C., (2005), "Preliminary Assessment of Ambient Air Quality in the Cities of Ankara and Kütahya", Third international Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales, 101-110, İstanbul.
- EC (European Commission) Ad-Hoc Working Group on Ozone Directive and Reduction Strategy Development (1999), *Ozone Position Paper*.

- 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 ", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55:1059–1063.
- Gilliland, F., Avol, E., Kinney, P., Jerrett, M., Dvonch, T., Lurmann, F., Buckley, T., Breyse, P., Keeler, G., McConnell, 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", *Environmental Health Perspectives*, 113: 1447–1454.
- Gonzales, M., Qualls, C., Hudgens, E.L., Neas, L.N. (2005). "Characterization of A Spatial Gradient of Nitrogen Dioxide Across a United States – Mexico Border City During Winter", *Sci. Total Environ.* 337: 163–173.
- Gulliver, J., de Hoogh, K., Fecht, D., Vienneau, D., Briggs, D. (2011). "Comparative Assessment of GISbased Methods and Metrics for Estimating Long-Term Exposures to air Pollution". *Atmospheric Environment*, 45(39):7072–7080.
- 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", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(4): 1110-1125.
- Han, X., Naeher, L.P., (2006), "A Review of Traffic- Related Air Pollution Exposure Assessment Studies in the Developing World", *Environment International*, 32, 106-120.

- Henderson, S.B., Beckerman, B., Jerrett, M., Brauer, M. (2007). “Application of Land Use Regression to Estimate Long-Term Concentrations of Traffic-Related Nitrogen Oxides and Fine Particulate Matter”, *Environmental Science & Technology*, 41 (7): 2422–2428.
- HKDYY, (2008), Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. link: <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.12188&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=>
- 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”, *Atmospheric Environment*, 42: 7561–7578.
- Holmes, NS., Morawska, L. (2006). “A Review of Dispersion Modelling and Its Application to the Dispersion of Particles: an Overview of Different Dispersion Models Available”. *Atmospheric Environment.*, 40:5902–5928.
- Jerrett, M., Arain, A., Kanaroglou, P., Beckerman, B., Potoglou, D., Sahsuvaroglu, T., Morrison, J., Giovis, C. (2005). “A Review and Evaluation of Intraurban Air Pollution Exposure Models”, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 15: 185–204.
- Jerrett, M., Arain, M.A., Kanaroglou, P., Beckerman, B., Crouse, D., Gilbert, D., Brook, J.R., Finkelstein, N., Finkelstein, M.M. (2007). “Modeling the Intraurban Variability of Ambient Traffic Pollution in Toronto, Canada”, *J. Toxicol. Environ. Health Part A*, 70: 200–212.
- KÇŞİM, (2015), Kütahya Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü, İl Çevre Durum Raporu 2014, Kütahya, 184 sayfa.
- KTHEP, (2014), Kütahya Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü, Kütahya İli Temiz Hava Eylem Planı, 63 sayfa.
- Kukkonen, J., Härkönen, J., Walden, J., Karppinen, A., Lusa, K. (2001). “Validation of the Dispersion Model CAR-FMI Against Measurements Near a Major Road”. *Int J Environmental Pollution*, 16:1–6.

- Lee, J. H., Wu, C. F., Hoek, G., De Hoogh, K., Beelen, R., Brunekreef, B., Chan, C. C. (2014), “Land Use Regression Models for Estimating Individual NO_x and NO₂ Exposures in a Metropolis With a High Density of Traffic Roads and Population”, *Science of the Total Environment*, 472: 1163–1171.
- Madsen, C., Carlsen, K.C.L., Hoek, G., Oftedal, B., Nafstad, P., Meliefste, K., vd. (2007). “Modeling the Intra-Urban Variability of Outdoor Traffic Pollution in Oslo, Norway—A GA2LEN Project”. *Atmospheric Environment*, 41(35): 7500–7511.
- Manahan, S.E., (2000), Environmental Science, Tecnology an Chemistry, *CRC Press LLC*.
- Marshall, JD., Nethery, E., Brauer, M. (2008). “Within-Urban Variability in Ambient Air Pollution: Comparison of Estimation Methods”. *Atmospheric Environment*, 42:1359–1369.
- Masters, G.M., (1991), Introduction to Environmental Engineering and Science, *Prentice Hall*, Englewood Cliffs, N.J.
- Morgenstern, V., Zutavern, A., Cyrys, J., Brockow, I., Gehring, U., Koletzko, S., Bauer, C.P., Reinhardt, D., Wichmann, H.E., Heinrich, J. (2007). “Respiratory Health and Individual Estimated Exposure to Traffic-Related Air Pollutants in a Cohort of Young Children”, *Occup. Environ. Med.* 64: 8–16.
- Müezzinoğlu, A., (2000), “Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları”, *İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları*.
- Özden, Ö., (2005) “Hava Kalitesinin Monitorlanmasında Pasif Örnekleyicilerin Kullanılması”, *Yüksek lisans tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Özden, Ö., Doğeroğlu, 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.

- Özden, Ö., Doğeroğlu, T. (2008). “Field Evaluation of a Tailor-Made New Passive Sampler for the Determination of NO₂ Levels in Ambient Air”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 142: 243-253.
- Özden, Ö., Doğeroğlu, T. (2012). “Performance Evaluation of a Tailor-Made Passive Sampler for Monitoring of Tropospheric Ozone”, *Environmental Science and Pollution Research*, 19(8):3200-3209
- Polat, N. (2016). “Kütahya Bölgesinde İnorganik Kirleticilerin Alansal Dağılımlarının ve Mevsimsel Değişimlerinin Pasif Örnekleme Metodu ile Belirlenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Pope, C.A., Dockery, D.W. (2006). “Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines That Connect”, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56: 709–742.
- Rosenlund, M., Forastiere, F., Stafoggia, M., Porta, D., Perucci, M., Ranzi, A., Nussio, F., Perucci, C.A. (2008). “Comparison of Regression Models with Land-Use and Emissions Data to Predict the Spatial Distribution of Traffic-Related Air Pollution in Rome”, *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 18: 192–199.
- Ross, Z., English, P.B., 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”, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 16:106–114.
- Ryan, P.H.I., Lemasters, G.K., Levin, L., Burkle, J., Biswas, P., Hu, S., vd. (2008). “A Land-Use Regression Model for Estimating Microenvironmental Diesel Exposure Given Multiple Addresses from Birth Through Childhood”, *Science of the Total Environment*, 404(1):139-147.
- Sellier, Y., Galineau, J., Hulin, A., Caini, F., Marquis, N., Navel, V., vd. (2014). “Health Effects of Ambient Air Pollution: Do Different Methods for Estimating Exposure Lead to Different Results?” *Environment International*, 66:165–173.

- Sahsuvaroglu, T., Arain, A., Kanaroglou, P., Finkelstein, N., Newbold, B., Jerrett M, vd. (2006). "A Land Use Regression Model for Predicting Ambient Concentrations of Nitrogen Dioxide in Hamilton, Ontario, Canada", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56:1059–1069.
- Sertel, E., Demirel, H., Kaya, S. (2007). "Predictive Mapping of Air Pollutants: a Spatial Approach", *Spatial Data Quality 5th International Symposium*".
- Schnelle, K.B., Brown, C.A., (2002), Air Pollution Control Technology Handbook, *CRC Press*, Boca Raton, Florida.
- Smith, L., Mukerjee, S., Gonzales, M., Stallings, C., Neas, L., Norris, G., H. O. (2006). "Use of GIS and Ancillary Variables to Predict Volatile Organic Compound and Nitrogen Dioxide Levels at Unmonitored Locations", *Atmos. Environ.* 40: 3773–3787.
- Stedman, J., Vincent, K., Campbell, G., Goodwin, J., Downing, C. (1997). "New High Resolution Maps of Estimated Background Ambient NO_x and NO₂ Concentrations in the U.K. ", *Atmos. Environ.* 31: 3591–3602.
- Tecer, L. H., Tagil, S. (2013). "Spatial Temporal Variations of of Sulphur Dioxide Concentration, Source, and Probability Assessment Using a GIS-Based Geostatistical Approach", *Polish Journal of Environmental Studies*, 22 (5): 1491-1498.
- Tecer, L.H., Tagil, S. (2014). "Impact of Urbanization on Local Air Quality: Differences in Urban and Rural Areas of Balıkesir, Turkey", *CLEAN – Soil, Air, Water*, 42(11): 1489-1499.
- Tecer, L.H. (2013). "Balıkesir’de Hava Kirliliğinin Çocuk ve Yetişkinlerde Solunum Hastalıklarına Etkilerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Alan Çalışması", *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 2: 11–20.
- Tırıs, M., Kalafatoğlu, E., Okutan, H., (1993), " Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü", Gebze, MAM, Kocaeli, 1-14, 256.

TÜBİTAK-112Y305, 2016, “Kütahya’da Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları: Kaynakların Tespiti, Ölçümler ve Sağlık Riski Analizi”, *Proje Sonuç Raporu*, 404 sayfa.

Wheeler, A.J., Smith-Doiron, M., Xu, X., Gilbert, N.L., Brook, J.R. (2008). “Intra-Urban Variability of Air Pollution in Windsor, Ontario – Measurement and Modeling for Human Exposure Assessment”, *Environ. Res.* 106: 7–16.

Wu, J., Wilhelm, M., Chung, J., Ritz, B. (2011). “Comparing Exposure Assessment Methods for Traffic-related Air Pollution in an Adverse Pregnancy Outcome Study”, *Environmental Research*, 111:685–692.

Yavuz, S. (2009). “Hataları Ardışık Bağımlı (otokorelasyonlu) Olan Regresyon Modellerinin Tahmin Edilmesi”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(3): 123-140.

Yay, O.D. (2006). “Eskişehir ve Yakın Çevresinde Yüzey Ozon Dağılımının MM5-CAMX Modelleri Kullanılarak Belirlenmesi”, *Doktora Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

E-Kaynak

Http-1, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc188.htm>, erişim tarihi (Erişim Tarihi: 5 Nisan 2017).

Http-2, <http://w3.balikesir.edu.tr/~bsentuna/wp-content/uploads/2013/03/Regresyon-Analizi.pdf> (Erişim Tarihi: 20.09.2016)

Http-3, http://cografyaharita.com/turkiye_mulki_idare_haritalari3.html, (Erişim Tarihi: 5 Nisan 2017).

Http-4, <http://www.cografya.gen.tr/tr/kutahya/iklim.html>, (Erişim Tarihi: 5 Nisan 2017)

Http-5, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> (Erişim Tarihi: 06.06.2015)

Http-

6, <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TrafikHacimHaritalari2014.aspx>

(Erişim

Tarihi:

08.06.2015)

EKLER

Ek-1 NO_2 için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları

Referans	Hava Kirleticisi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R^2 Değeri	Validasyon R^2 Değeri
Briggs ve ark. (1997)	NO_2	Amsterdam (Hollanda)	80	1) Anayol uzunluğu (50,200 ve 350 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 2) Anayola olan en yakın uzaklık 3) Yerleşim yerine olan uzaklık ($\leq 100\text{m}$)	0,67	0,79
		Huddersfield (İngiltere)	80	1) Trafik yoğunluğu (300 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 2) Arazi örtüsü faktörü (300 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Yükseklik 4) Örnekleme noktalarının yüksekliği	0,61	0,82
		Prag (Çek Cumhuriyeti)	80	1) Trafik yoğunluğu (60 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 2) Nüfus yoğunluğu (60 m ve 120 m'lik dairesel tampon bölgeler arasında kalan) 3) Arazi Örtüsü Faktörü (60 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,72	0,87

Ek-1 (devam).*NO₂ için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları*

Referans	Hava Kirleticisi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R ² Değeri	Validasyon R ² Değeri
Stedman ve ark. (1997)	NO ₂	İngiltere	37	1) Kırsal NO ₂ emisyonları 2) Kırsal Arazi Örtüsü (25 km ² , lik tampon bölge içinde kalan) 3) Anayoldaki araçlardan salınan NOX emisyonları (4 km ² ,lik tampon bölge içinde kalan)	0,97	0,36
Briggs ve ark. (2000)	NO ₂	Huddersfiel (İngiltere)	20	1) Trafik yoğunluğu (40 m ve 300 m'lik dairesel iki tampon bölge içinde kalan) 2) Yerleşim yoğunluğu (300 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Yükseklik	0,51	0,76
		Sheffield (İngiltere)	28	1) Trafik yoğunluğu (40 m ve 300 m'lik dairesel iki tampon bölge içinde kalan) 2) Yerleşim yoğunluğu (300 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Yükseklik	0,61	0,73
		Northampton (İngiltere)	35	1) Trafik yoğunluğu (40 m ve 300 m'lik dairesel iki tampon bölge içinde kalan) 2) Yerleşim yoğunluğu (300 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Yükseklik	0,60	0,58

Ek-1(devam).*NO₂ için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları*

Referans	Hava Kirleticisi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R ² Değeri	Validasyon R ² Değeri
Carr ve ark. (2002)	NO ₂	Münih (Almanya)	34	1) Trafik Yoğunluğu (50 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 2) Trafik yoğunluğu (50 m ve 300 m'lik daireseel iki tampon bölge arasında kalan) 3) Trafik sıkışıklığı (50 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 4) Trafik sıkışıklığı yoğunluğu (50 m ve 300 m'lik dairesel iki tampon bölge arasında kalan)	0,77	–
Gilbert ve ark. (2005)	NO ₂	Montreal (Kanada)	67	1) Otoyola olan uzaklık 2) En yakın anayoldaki trafik yoğunluğu 3) Otoyol uzunluğu (100 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 4) Anayol uzunluğu (100 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 5) Tali yol uzunlukları (500 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 6) Açlık alanlar (100 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 7) Nüfus Yoğunluğu (2000 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,55	0,52

Ek-1(devam).*NO₂ için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları*

Referans	Hava Kirleticisi (µg/m ³)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R ² Değeri	Validasyon R ² Değeri
Gonzales ve ark. (2005)	NO ₂	El Paso, Texas (Amerika)	20 (okul)	1) Amerika ve Meksika sınırına olan uzaklık 2) Anayola olan uzaklık 3) Yükseklik	0,81	—
Smith ve ark. (2006)	NO ₂	El Paso, Texas (Amerika)	22 (okul)	1) Yükseklik 2) Trafik yoğunluğu (1000 m’lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Nüfus yoğunluğu 4) Ülke sınırlarına olan uzaklık 5) Petrol tesisi olan uzaklık	0,90	—
Ross ve ark. (2006)	NO ₂	San Diego, Kaliforniya (Amerika)	39	1) Trafik yoğunluğu (40 m ve 300 m’lik dairesel tampon bölgeler arasında kalan) 2) Trafik yoğunluğu (300 m ve 1000 m’lik dairesel tampon bölgeler arasında kalan) 3) Yol uzunlukları (40 m’lik tampon bölge içinde kalan) 4) Pasifik Sahiline olan uzaklık	0,79	—

Ek-1(devam).*NO₂ için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları*

Referans	Hava Kirleticisi (µg/m ³)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R ² Değeri	Validasyon R ² Değeri
Şahsuvaroğlu ve ark. (2006)	NO ₂	Hamilton, (Kanada)	107	1) Trafik yoğunluğu (300 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 2) Endüstriyel olarak kullanılan alanlar (200 m'lik dairesel bölge içinde kalan) 3) Açık alanlar (500 m'lik dairesel tampon bölge için kalan) 4) 50m'den daha yakın olan otoyollar 5) Ontario Nehri'ne olan uzaklık 6) Endüstriyel olarak kullanılan alanlar (1000 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 7) 1500'ye kadar olan Anayollardaki rüzgâr yönü	0,76	—
Beelen ve ark. (2007)	NO ₂	Hollanda	16-36	1) Bölge 2) Nüfus (5000 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Kentel arazi örtüsü 4) Şehir merkezine uzaklık 5) Trafik yoğunluğu (100 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,84	—

Ek-1(devam).*NO₂ için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları*

Referans	Hava Kirleticisi (µg/m ³)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R ² Değeri	Validasyon R ² Değeri
Morgenstern ve ark. (2007)	NO ₂	Münih (Almanya)	40	1) Devlet yollarının uzunluğu (1000 m ve 2500 m'lik dairesel tampon bölgeler arasında kalan) 2) Arazi örtüsü faktörü (100 m ve 250 m'lik dairesel tampon bölgeler arasında kalan) 3) Arazi örtüsü sınıfları 4) Konut yoğunluğu faktörü (2500 m ve 5000 m'lik dairesel tampon bölgeler arasında kalan) 5) Kırsal yol uzunlukları (250 m ve 500 m'lik dairesel tampon bölgeler arasında kalan)	0,51	–
Madsen ve ark. (2007)	NO ₂	Oslo (Norveç)	80	1) Yükseklik 2) Trafik yoğunluğu yüksek olan yolların uzunluğu (100 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Orta derece trafik yoğunluğundaki yolların uzunlukları (250 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 4) Küçük yolların uzunlukları (1000 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,77	0,80

Ek-1(devam).*NO₂ için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları*

Referans	Hava Kirleticisi (µg/m ³)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R ² Değeri	Validasyon R ² Değeri
Jerret ve ark. (2007)	NO ₂	Toronto (Kanada)	95	1) Express yollar (200 m'lik tampon bölge içinde kalan) 2) Anayollar (50 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Endüstriyel olarak kullanılan alanlar (750 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 4) Nüfus yoğunluğu (2000 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 5) X-koordinatları 6) 1500'ye kadar olan Express yollardaki rüzgâr yönü 5) Trafik yoğunluğu (500 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,69	—
Rosenlund ve ark. (2008)	NO ₂	Roma (İtalya)	70	1) Trafik bölgesi 2) İşlek yollara olan uzaklık 3) Yerleşim bölgelerinin büyüklüğü 4) Yükseklik 5) Nüfus yoğunluğu	0,69	0,75

Ek-1(devam).*NO₂ için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları*

Referans	Hava Kirleticisi (µg/m ³)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R ² Değeri	Validasyon R ² Değeri
Weeler ve ark. (2008)	NO ₂	Windsor, Ontario (Kanada)	54	1) ‘Ambassador’ köprüsüne olan uzaklık 2) Express ve Otoyolların uzunlukları (50 m’lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Anayolların uzunlukları (100 m’lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,77	0,90
Chen ve ark. (2010)	NO ₂	Montreal, Quebec (Kanada)	130	1) Nüfus yoğunluğu 2) Karayolu ağı 3) Nokta kaynak kirliliği 4) Arazi kullanım miktarı (Sulak alan miktarı, Kıyı şeridinde olan uzaklık vs.)	0,80	0,81
Lee ve ark. (2014)	NO ₂	Taipei (Tayvan, Çin Cumhuriyeti)	40	1) Doğal alan (500 m’lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 2) Anayol uzunlukları (25 m’lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Düşük yoğunluklu yerleşim alanları (500 m’lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 4) Kentsel yeşil alan (100 m’lik tampon bölge içinde kalan)	0,74	0,63

Ek-1(devam).*NO₂ için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları*

Referans	Hava Kirleticisi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R ² Değeri	Validasyon R ² Değeri
Cavellin ve ark. (2015)	NO ₂	Montreal (Kanada)	76	1) Meteoroloji (sıcaklık ve rüzgar hızı) 2) Yerleşim alanlarındaki bina yoğunluğu (300 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Anayol ve oto yollara olan uzaklık (100 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 4) Anayol ve otoyol uzunlukları (100 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 5) Otobüs duraklarının sayısı (50 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,86	0,80

Ek-2. Diğer kirletici bileşenler için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları

Referans	Hava Kirleticisi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R^2 Değeri	Validasyon R^2 Değeri
Brauer ve ark. (2003)	$\text{PM}_{2,5}$	Hollanda	40	1) Yüksek Trafik yoğunluğu olan yollar (250 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 2) Adrese dayalı nüfus yoğunluğu (300 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Bölge	0,73	–
Briggs ve ark. (2000)	PM_{10}	Londra (İngiltere)	52	1) Trafik yoğunluğu (20 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 2) Trafik yoğunluğu (20 m ve 300 m'lik daireseel tampon bölgeler arasında kalan) 3) Arazi örtüsü (300 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,45	0,47

Ek-2 (Devam). Diğer kirletici bileşenler için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları

Referans	Hava Kirleticisi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R^2 Değeri	Validasyon R^2 Değeri
Wheeler ve ark. (2008)	VOC (benzen)	Windsor (İngiltere)	54	1) Anayol uzunluğu (100 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 2) Birincil otoyol ve Express yol uzunluğu (50 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) VOC emisyonları (4000 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 4) VOC emisyonları (3000 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,73	0,78
	VOC (tolüen)	Windsor (İngiltere)	54	1) 'Ambassador' köprüsüne olan uzaklık 2) Anayolların uzunluğu (200 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Birincil otoyol yol uzunluğu (100 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 4) VOC emisyonları (1000 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,46	0,65

Ek-2 (Devam). Diğer kirletici bileşenler için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları

Referans	Hava Kirleticisi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R^2 Değeri	Validasyon R^2 Değeri
Madsen ve ark. (2007)	NO	Oslo (Norveç)	80	1) Yükseklik 2) Trafik yoğunluğu yüksek olan yol uzunluğu (100 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Trafik yoğunluğu orta derece olan yol uzunluğu (250 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 4) Trafik yoğunluğu düşük olan yol uzunluğu (1000 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,66	0,66
Madsen ve ark. (2007)	NO _x	Oslo (Norveç)	80	1) Yükseklik 2) Trafik yoğunluğu yüksek olan yol uzunluğu (100 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Trafik yoğunluğu orta derece olan yol uzunluğu (250 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 4) Trafik yoğunluğu düşük olan yol uzunluğu (1000 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,73	0,68

Ek-2 (Devam). Diğer kirletici bileşenler için farklı ülkelerde daha önceden yapılmış AKR modelleme çalışmaları

Referans	Hava Kirleticisi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Çalışma Alanı	Örnekleme Nokta Sayısı	Nihai AKR Modelinde Bulunan Bağımsız Değişkenler	Model R^2 Değeri	Validasyon R^2 Değeri
Lee ve ark. (2014)	NO_x	Taipei (Tayvan, Çin Cumhuriyeti)	40	1) Anayol uzunlukları (25 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 2) Kentsel yeşil alan (300 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan) 3) Kentsel yeşil alan (300 m ve 5000 m'lik dairesel tampon bölgeler arasında kalan) 4) Anayol uzunlukları (50 m ve 5000 m'lik dairesel tampon bölgeler arasında kalan) 5) Anayol uzunlukları (25 m ve 50 m'lik dairesel tampon bölgeler arasında kalan) 6) Doğal alan (500 m'lik dairesel tampon bölge içinde kalan)	0,81	0,75

Ek-3Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği taslağında NO₂ ve NO_x için belirlenen hedef değerler (HKDYY, 2008)

Kirletici	Parametre	Limit Değer	Tolerans Payı	Üst değerlendirme eşikleri	Alt değerlendirme eşikleri	Limit değere ulaşılacak tarih	Uyarı eşiği
NO ₂ *	1 saat -insan sağlığının korunması için-	200 µg/m ³ (bir takvim yılında 18 kezden fazla aşılmayacak)	1.1.2013 tarihinde 100 µg/m ³ (% 50) ve 1.1.2022 tarihine kadar sıfıra kadar düşecek şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılacak	limit değerinin %70'i (140 µg/m ³ bir takvim yılında 18 kezden fazla aşılmayacak)	limit değerinin %50'si (100 µg/m ³ bir takvim yılında 18 kezden fazla aşılmayacak)	1.Ocak 2022	400 µg/m ³ hava kalitesinin temsili bölgelerinde (bütün bir “bölgede” yada “alt bölgede” yada en azından 100 km ² ’de- hangisi küçük ise- üç ardışık saatte ölçülür)
	Takvim yılı -insan sağlığının korunması için-	40µg/m ³	1.1.2013 tarihinde 20 µg/m ³ (% 50) ve 1.1.2022 tarihine kadar sıfıra kadar düşecek şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılacak	limit değerinin %80'i (32 µg/m ³)	limit değerinin %65'i (26 µg/m ³)	1.Ocak 2022	
NO _x *	Takvim yılı – bitki örtüsünün korunması için	30 µg/m ³	-	limit değerinin %80'i (24 µg/m ³)	limit değerinin %65'i (19,5 µg/m ³)	1.Ocak 2013	