



Araştırma Makalesi

OECD Ülkeleri İçin Hava Kirliliği-Sağlık İlişkisinin İncelenmesi

Rabia Ece Omay[✉]

Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 26470 Eskişehir

Sunuluş tarihi: 23 Mayıs 2014, Kabul edilme tarihi: 19 Temmuz 2014

ÖZET

Bu çalışmada hava kirliliği-sağlık ilişkisinin panel genelleştirilmiş doğrusal model ve panel genelleştirilmiş toplamsal model kullanılarak modellenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ülkeleri için 2001-2007 periyodunu kapsayan panel veri kullanılmıştır. Söz konusu modeller tek yönlü sabit etkili modellerdir. Modellerde çevresel belirleyiciler olarak CO₂ ve PM₁₀ emisyonları, ekonomik belirleyiciler olarak enerji kullanımı ve Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla, sağlık belirleyicisi olarak ise kadın ve erkeklerin ölüm oranları dikkate alınmıştır. Yapılan analizler göstermiştir ki 2001-2007 periyodu için hava kirliliği-sağlık ilişkisini açıklayan en iyi model panel genelleştirilmiş toplamsal modeldir.

Anahtar Kelimeler: Hava kirliliği, genelleştirilmiş doğrusal model, genelleştirilmiş toplamsal model, panel veri, Poisson regresyonu

© Tüm yayın hakları Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi'ne aittir.

1. Giriş

Hava kirliliği insan sağlığı üzerinde oldukça ciddi olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organisation of Economic Co-operation and Development–OECD) raporunda, küresel boyuttaki hastalıkların %24'ünün, ölümlerin ise %23'ünün çevresel faktörlere dayandırılabilceğini ifade etmektedir. Hava kirliliği partiküler madde (PM), karbon monoksit (CO), azot dioksit (NO₂), kükürt dioksit (SO₂), ozon (O₃) ve uçucu organik bileşikler (VOC) gibi bazı kirlleticilerin bir kokteylidir ve bunlar insan faaliyetleri sonucu meydana gelen (antropojenik) sabit ya da mobil kaynaklardan ya da doğal kaynaklardan atmosfere karışmaktadır. Hava kirliliği en yaygın olarak, enerji üretiminde, endüstride, binalarda, evlerde ve trafikte fosil yakıtların yanması ile oluşur. Fosil yakıtların yanması, kurşunun yanı sıra NO₂, SO₂, CO, PM ve VOC emisyonlarının sebebidir. Söz konusu emisyonlara sebep olan diğer kaynaklar ise atık yakımının yanı sıra, yangınlar, kimyasal ürünler, gübre ve kâğıt üretimidir. Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkisi, kısa süreli maruziyetten kaynaklı akut ya da uzun süreli maruziyetten kaynaklı kronik olabilir ve ölümlere varan olumsuz etkileri gözlenmektedir. Bununla birlikte hava kirliliğinin sağlık üzerindeki olumsuz etkileri Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla'nın (GSYH) önemli bir payını temsil eder (OECD, 2008).

Hem ölüm oranı (mortality) hem de hastalıklar (morbidity) dikkate alınırsa, Asya ve doğu Avrupa ülkeleri (örneğin, Türkiye, Polonya, Romanya) hava kirliliğinden en fazla etkilenmektedir. Çünkü kentsel hava kirliliğinin bu bölge-

lerdeki toplam hastalık yükünün %0,7–%1'inden sorumlu olduğu düşünülmektedir (Cohen vd., 2004).

Bu bilgiler ışığında çalışmada, hava kirliliğinin insan sağlığı (ölümler) üzerindeki etkisinin özellikle panel genelleştirilmiş modeller kullanılarak modellenmesi amaçlanmaktadır. Modellerde çevresel göstergeler olarak PM₁₀ ve CO₂ kullanılmıştır. Söz konusu çevresel göstergelere ek olarak enerji tüketimi ve GSYH gibi ekonomik göstergeler de incelenmiştir.

2. Yöntem

OECD ülkeleri için hava kirliliği – sağlık ilişkisinin farklı regresyon modelleri ile incelenmesinin amaçlandığı bu çalışmada kullanılan veri seti hem zaman boyutu hem de kesit boyutu içermektedir. Bu nedenle kullanılan veri panel veri niteliği taşımaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada kurulacak olan regresyon modellerinin tamamı panel veri regresyon modelleridir. Bu modeller, çalışmada yer alma sırasına göre, aşağıda temel matematiksel formu ve tahmin yöntemleri açısından incelenmiştir.

2.1. Doğrusal panel veri modeli

Genel olarak bir panel veri modeli aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$y_{it} = \alpha + x'_{it}\beta + u_{it}, \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

Burada i ve t indisleri sırasıyla, yatay kesit ve zaman boyutlarıdır. α sabit; β , $K \times 1$ boyutlu eğim parametreleri

vektörü; x_{it} , $1 \times (K + 1)$ boyutlu açıklayıcı değişkenler vektörüdür. y_{it} ve u_{it} ise $NT \times 1$ boyutlu rassal vektörlerdir. Çoğu panel veri uygulamasında hatalar için tek yönlü hata bileşen modeli kullanılır:

$$u_{it} = \mu_i + \vartheta_{it} \quad (2)$$

Burada μ_i gözlenemeyen bireysel etkileri, ϑ_{it} ise geriye kalan hataları ifade eder.

Sabit etkiler modelinde μ_i 'lerin tahminlenmiş olan sabit parametreler olduğu ve geriye kalan hata teriminin (ϑ_{it}) bağımsız ve aynı dağılıma sahip olduğu varsayılır. Bunun yanı sıra tüm i , t 'ler için x_{it} 'lerin ϑ_{it} 'den bağımsız olduğu varsayımı yapılır.

(1) ve (2) denklemleri vektör formunda sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$y = \alpha 1_{NT} + X\beta + u = Z\delta + u \quad (3)$$

$$u = Z_\mu \mu + \vartheta \quad (4)$$

(3) denklemindeki 1_{NT} , 1'lerden oluşan NT boyutlu bir vektör;

$Z = [1_{NT}, X]$ ve $\delta' = (\alpha', \beta')'$ dir.

(4) denklemindeki Z_μ , 1'lerden ve 0'lardan oluşan ve μ_i 'yi tahmin etmek için regresyonda yer alabilecek bireysel yapay değişkenleri içeren $NT \times N$ boyutlu bir matristir. Denklem (4) denklem (3)'de yerine koyulursa (5) denklemini elde edilir:

$$y = \alpha 1_{NT} + X\beta + u = Z\delta + u = Z\delta + Z_\mu \mu + \vartheta \quad (5)$$

Bu modelin tahmini, yapay değişkenli en küçük kareler yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmektedir (Baltagi, 2010).

2.2. Genelleştirilmiş doğrusal panel veri modeli

Bağımlı değişkenin normal dağılım göstermediği durumda (örneğin, bu çalışmada Poisson dağılımına sahiptir) model bir link fonksiyonu yardımıyla tahminlenebilir. Genelleştirilmiş doğrusal model terminolojisine göre (Nelder ve Wedderburn, 1972) panel veri modeli aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\eta_{it} = \alpha + x'_{it}\beta + u_{it}, \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (6)$$

Burada η_{it} doğrusal kestiriciyi ifade etmektedir. Poisson dağılımı gösteren bağımlı değişkene sahip bir model için link fonksiyonu $\eta_{it} = \ln \lambda_{it}$ (logaritmik link)'dir. Bu durumda panel genelleştirilmiş doğrusal modelin vektör formundaki ifadesi aşağıdaki gibi olur.

$$\eta = \alpha 1_{NT} + X\beta + u = Z\delta + Z_\mu \mu + \vartheta \quad (7)$$

Bu denklemin çözümü (tahminlerin elde edilmesi), yapay değişken kullanımı ile birlikte, iteratif olarak yeniden ağırlıklandırılmış en küçük kareler kullanılarak gerçekleştirilebilir.

2.3. Toplamsal panel veri modelleri

Yukarıda ifade edilen panel veri modelleri parametrik modellerdi. Şimdi söz konusu panel veri için parametrik olmayan bir model kurulmak istensin ve bir bağımlı değişken ile tek bir bağımsız değişkenden oluşan model aşağıdaki gibi olsun.

$$y_{it} = \alpha_i + f(x_{it}) + u_{it} \quad i = 1, \dots, N \quad t = 1, \dots, T \quad (8)$$

Denklem (8)'de t 'ye göre ortalama alınıp kendisinden çıkarıldığında,

$$y_i - \bar{y}_i = f(x_{it}) - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T f(x_{it}) + u_{it} - \bar{u}_i \quad (9)$$

elde edilir. Denk. (9) aşağıdaki formda yazılabilir.

$$y - \bar{y}_i = (X - \bar{X}_i)\beta + u \quad (10)$$

Denk. (10) sıradan en küçük karelerle tahmin edilebilen doğrusal bir regresyon fonksiyonudur. Fakat aşırı uyumdan kaçınmak için katsayılar bir ceza terimi eklemek gerekmektedir. Bu durumda β 'nın cezalı en küçük kareler iç tahmincisi

$$\hat{\beta}_{ic} = \{(X - \bar{X}_i)^T (X - \bar{X}_i) + \lambda S\}^{-1} (X - \bar{X}_i)^T (y - \bar{y}_i) \quad (11)$$

olarak elde edilebilir. (9) ve (10) denklemlerinin etkilerden bağımsız olması nedeniyle sonuç tahminci iyi tahminci özelliklerine sahiptir (Hajargasht, 2009). Hajargasht (2009) aynı zamanda Frisch-Waugh teoremine göre β 'nın kukla değişkenli cezalı en küçük kareler tahmincisi ile iç tahmincisinin eşdeğer olduğunu göstermiştir.

Yanıt değişkeninin normal dağılım göstermediği durumda modelin parametrik olmayan diğer bir ifadesi genelleştirilmiş toplamsal modeldir. Bu modeller genelleştirilmiş doğrusal modellerin doğrusal olmayan halidir (Hastie ve Tibshirani, 1990) ve doğrusal kestirici $\eta_{it} = \sum f_k(x_{it})$ olacaktır.

3. Uygulama: Hava Kirliliğinin Ölüm Oranları Üzerindeki Etkisi

3.1. Veri ve modeller

Bu çalışmada kullanılan değişkenler temel olarak üç başlık altında dikkate alınabilir: Çevresel göstergeler olarak CO₂ ve PM₁₀ emisyonları, ekonomik göstergeler olarak kişi başına düşen GSYH ve enerji kullanımı, sağlık göstergesi olarak ise kadınlar ve erkeklere ilişkin ölüm oranları. Verilerin tamamı Dünya Bankası, Dünya Kalkınma Göstergeleri'nden (World Bank, World Development Indicators-

WDI) alınmıştır ve verilere ilişkin ayrıntılar Tablo 1’de yer almaktadır.

Yukarıda bahsedilen değişkenler dikkate alınarak kurulan regresyon modellerinde 2001-2007 periyodu için OECD’ye üye ülkeler (ABD, Almanya, Avustralya, Avusturya, Belçika, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Hollanda, İngiltere, İrlanda, İspanya, İsraill, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Japonya, Kanada, Kore, Lüksemburg, Macaristan, Norveç, Polonya, Portekiz, Slovak Cum., Slovenya, Türkiye, Y. Zelanda, Yunanistan) kullanılmıştır. Söz konusu periyoda ilişkin çevresel ve ekonomik göstergelere ilişkin verilerin tamamı logaritmalari alınarak kullanılmıştır. Bu çalışmada yer alan analizlerde, sonuçlar R programı plm, pglm, lmtest, tseries ve mgcv paketleri kullanılarak elde edilmiştir.

Çalışma bağımlı değişken açısından kadın ölüm oranları ve erkek ölüm oranları olarak iki kısma ayrılabilir. Söz konusu kısımların tamamında ölüm oranları Poisson dağılımı göstermektedir ve bu bilgiden yola çıkarak panel genelleştirilmiş doğrusal ve panel genelleştirilmiş toplamsal regresyon modelleri kullanılarak, ilgili değişkenlerin uyumu yapılmıştır. Modellerin tamamında tek yönlü sabit etkiler modeli seçilmiştir ve panel zamana göre birleştirilmiştir.

Bağımlı değişkenlerin her ikisi için de zaman serisi içermeleri nedeniyle öncelikle durağanlık incelenmiştir. Bu amaçla, geliştirilmiş Dickey Fuller (ADF) testi kullanılmış ve serinin birim kök içermediği (seri durağan) alternatif hipotezine karşın, serinin birim kök içerdiği (seri durağan

dışı) sıfır hipotezi test edilmiştir ve sonuçlar Tablo 2’de listelenmiştir.

Tablo 2’de her iki değişken için de olasılık değerinin $\alpha = 0.05$ ’den küçük olması nedeniyle sıfır hipotezi reddedilir ve serilerin birim kök içermediği, diğer bir ifadeyle durağan olduğu sonucuna varılır. Bu sonuç doğrultusunda ikinci aşamada Tablo 1’de ayrıntılarıyla ifade edilen değişkenlerin ölüm oranları üzerindeki etkilerine ilişkin denklem 12–15’de ifade edilen regresyon modelleri kurulur. Denklem (12) ve (13) kadın ölüm oranlarını, Denklem (14) ve (15) ise erkek ölüm oranlarını içermektedir. Denklem (12) ve (14) panel genelleştirilmiş doğrusal modelleri (PGLM) ifade ederken, Denklem (13) ve (15) panel genelleştirilmiş toplamsal modellerdir (PGAM).

Bu denklemlerdeki i ve t indisleri sırasıyla ülkeleri ve zamanı ifade etmektedir: $i = 1, 2, \dots, 32$ ve $t = 1, 2, \dots, 7$ ’dir. ε_t , 0 ortalama ve σ_ε^2 varyansa sahip aynı bağımsız dağılımlı rassal hata terimidir.

Yukarıda ifade edilen dört modelde de otokorelasyon durumu incelenmemiştir. Çünkü otokorelasyon uzun zaman serilerine sahip makro panellerde test edilmelidir. Oldukça az sayıda yıla sahip mikro panellerde bir problem teşkil etmez (Baltagi, 2010). Buna karşın farklı varyanslılık problemi her model için değerlendirilmiştir ve sonuçlar çalışmanın bundan sonraki kısımlarında adım adım yer alacaktır.

$$\text{PGLM.1: } E(\text{mort_f}_{it}) = \text{co2}_{it} + \text{pm10}_{it} + \text{gdp}_{it} + \text{en}_{it} + \text{time, family} = \text{poisson} \quad (12)$$

$$\text{PGAM.1: } E(\text{mort_f}_{it}) = f_1(\text{co2}_{it}) + f_2(\text{pm10}_{it}) + f_3(\text{gdp}_{it}) + f_4(\text{en}_{it}) + \text{time} + \varepsilon_{it}, \text{ family} = \text{poisson} \quad (13)$$

$$\text{PGLM.2: } E(\text{mort_m}_{it}) = \text{co2}_{it} + \text{pm10}_{it} + \text{gdp}_{it} + \text{en}_{it} + \text{time, family} = \text{poisson} \quad (14)$$

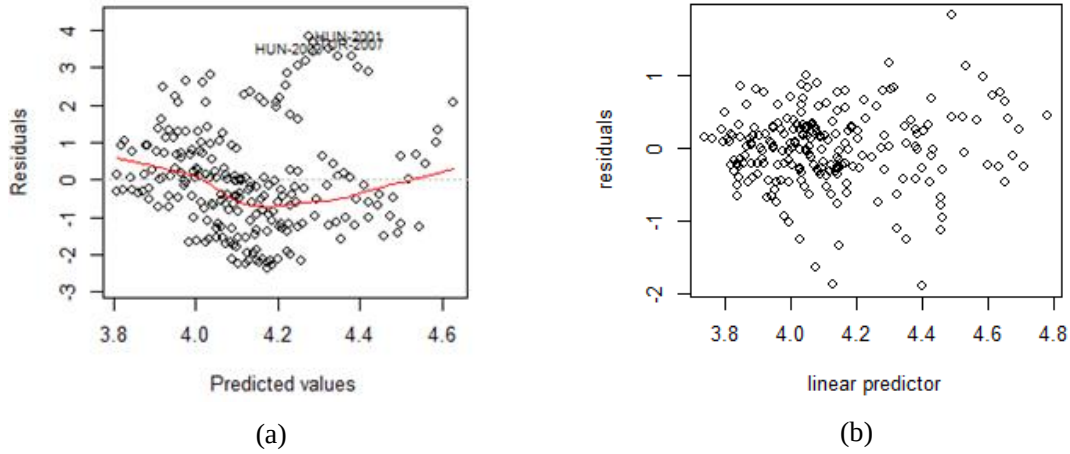
$$\text{PGAM.2: } E(\text{mort_m}_{it}) = f_1(\text{co2}_{it}) + f_2(\text{pm10}_{it}) + f_3(\text{gdp}_{it}) + f_4(\text{en}_{it}) + \text{time} + \varepsilon_{it}, \text{ family} = \text{poisson} \quad (15)$$

Tablo 1. Analizde kullanılan değişkenlere ilişkin tanımlamalar

Değişken	Gösterim	Açıklamalar
CO ₂ emisyonu	co2	2000 yılı US\$ ile sabitlenmiş GSYH kişi başına kg olarak
PM ₁₀ emisyonu	pm10	Metre küp başına mikrogram olarak
Enerji kullanımı	en	1,000\$ GSYH (2005 yılı satın alma paritesi ile sabitlenmiş) kişi başına petrol eşdeğeri kg
GSYH	gdp	2000 yılı US\$ ile sabitlenmiş
Ölüm oranı	mort_f, mort_m	Sırasıyla, yetişkin kadın ve yetişkin erkek (1,000 kadın, erkek, yetişkin başına)
Ülke	country	OECD ülkeleri
Yıl	year	2001-2007 periyodu
Zaman	time	t=1,2,...,224

Tablo 2. ADF test sonuçları

Değişken	ADF	Gecikme uzunluğu	p-değeri
mort_f	-5,7547	6	0,01
mort_m	-5,1803	6	0,01



Şekil 1. (a) PGLM.1 modeli için, (b) PGAM.1 modeli için artıkların çizimi

3.2. Kadın ölüm oranları

Çevresel ve ekonomik değişkenlerin kadın ölüm oranları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla PGLM.1 ve PGAM.1 modelleri kurulmuştur. Bu modellere ilişkin tahminler ve özet istatistikler Tablo 3 ve Tablo 4'te yer almaktadır.

3.3. Erkek ölüm oranları

Çevresel ve ekonomik faktörlerin erkek ölüm oranları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla PGLM.2 ve PGAM.2 modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerde bağımsız değişkenler, kadın ölüm oranlarında da dikkate alınan değişkenlerdir ve benzer analizler gerçekleştirilmiştir. PGLM.2 ve PGAM.2 modellerinin özet istatistikleri sırasıyla, Tablo 5 ve Tablo 6'da listelenmiştir.

Tablo 3. PGLM.1 için özet istatistikler

	Tahmin	Std. Hata	Z-değerleri	$P(> Z)$
Sbt. Terim	5,303457	0,257928	20,562	< 2e-16 ***
co2	0,275640	0,016284	16,927	< 2e-16 ***
pm10	-0,161664	0,025506	-6,338	2,32e-10 ***
gdp	-0,009767	0,005818	-1,679	0,093183 .
en	-0,076137	0,033945	-2,243	0,024898 *
t	0,000850	0,000137	6,203	5,56e-10 ***
	Sapma: 422,98	AIC: 1781,4	R^2 : 0,518	

Anlamlılık kodları: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tablo 4. PGAM.1 için özet istatistikler

	Tah. s.d.	χ^2 -değerleri	p-değer,
f (co2)	7,816	139,702	< 2e-16 ***
f (pm10)	1,442	0,654	0,66
f (gdp)	4,354	38,626	4,23e-07 ***
f (en)	4,490	33,805	6,05e-06 ***
f (t)	8,226	179,391	< 2e-16 ***
	Sapma: 58,801	R^2 : 0,922	AIC: 1459,888

Anlamlılık kodları: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tablo 5. PGLM.2 için özet istatistikler

	Tahmin	Std. Hata	Z-değerleri	P(> Z)
Sbt. Terim	6,637e+00	1,849e-01	35,897	< 2e-16 ***
co2	4,679e-01	1,170e-02	39,992	< 2e-16 ***
pm10	-1,333e-01	1,813e-02	-7,352	1,96e-13 ***
gdp	-2,604e-02	4,220e-03	-6,170	6,83e-10 ***
en	-1,089e-01	2,494e-02	-4,366	1,26e-05 ***
t	8,118e-04	9,739e-05	8,335	< 2e-16 ***
	Sapma: 1149,7	AIC: 2658	R2: 0,705	
Anlamlılık kodları: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1				

Tablo 6. PGAM.2 için özet istatistikler

	Tah. s.d.	χ^2 -değerleri	p-değerleri
f (co2)	8,805	345,31	< 2e-16 ***
f (pm10)	8,376	50,57	8,33e-08 ***
f (gdp)	8,548	145,22	< 2e-16 ***
f (en)	7,737	125,49	< 2e-16 ***
f (t)	8,856	189,34	< 2e-16 ***
	Sapma: 148,6393	R2: 0,953	AIC: 1732,033
Anlamlılık kodları: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1			

4. Bulgular ve Tartışma

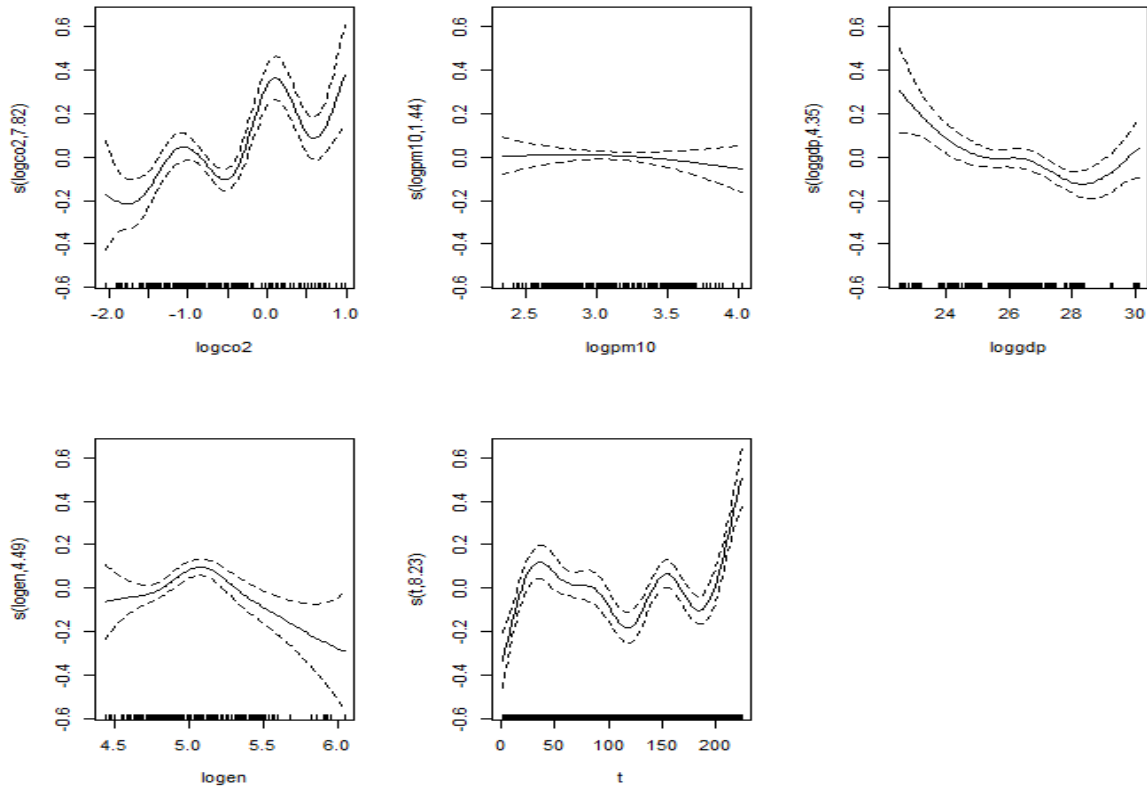
Tablo 3’de co2, pm10 ve t değişkenlerinin 0,001 önem düzeyinde, en değişkeninin 0,05 önem düzeyinde ve gdp değişkeninin ise 0,10 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Buna karşın, pm10 ve en değişkenlerinin negatif işarete sahip olması bu modelde şüphe uyandırmaktadır. Bununla birlikte sapma ve AIC değerleri oldukça büyük, R² ise düşüktür. Farklı varyanslılık problemi incelendiğinde, Şekil 1a’da yer alan artıkların çizimi de farklı varyanslılık problemine işaret etmektedir. Şekil 1a’da artıklar sıfırın altında ve üstünde dengeli bir saçılım göstermeleri gerekirken her iki model için de sıfırın altında toplanma eğilimindedirler ve artıklar eğrisellik içermektedir. Artıkların ortalamasındaki bu gibi trendler, bağımsız yanıt değişkenleri varsayımının sağlanmamasından ve genellikle yanlış bir model formundan kaynaklanmaktadır (Wood, 2006). Dolayısıyla hem yukarıda sıralanan problemleri aşabilmek hem de değişkenlerin yanıt üzerindeki sadece doğrusal etkilerini ortaya koyan modellerle sınırlı kalmaksızın doğrusal olmayan etkileri de ortaya çıkarmak amacıyla model formunun değiştirilmesi ve bir genelleştirilmiş toplamsal model kurulması (PGAM.1) uygun olacaktır. Söz konusu PGAM.1 modeline ilişkin özet istatistikler Tablo 4’te yer almaktadır.

Tablo 4’de görülmektedir ki, co2, gdp, en ve t değişkenlerinin kadınların ölüm oranı üzerindeki parametrik olmayan (doğrusal olmayan) etkileri istatistiksel olarak 0,001 önem düzeyinde anlamlıdır. Üstelik PGAM.1 modelinde PGLM.1 modeline göre sapma oldukça düşmüş, AIC ise sapma kadar olmasa da daha düşük gözlenmiştir. Bununla birlikte düzeltilmiş R² değeri kabul edilebilir düzeyde yüksektir. Burada tek pürüz pm10 değişkeninin yanıt üzerinde beklenen aksine istatistiksel

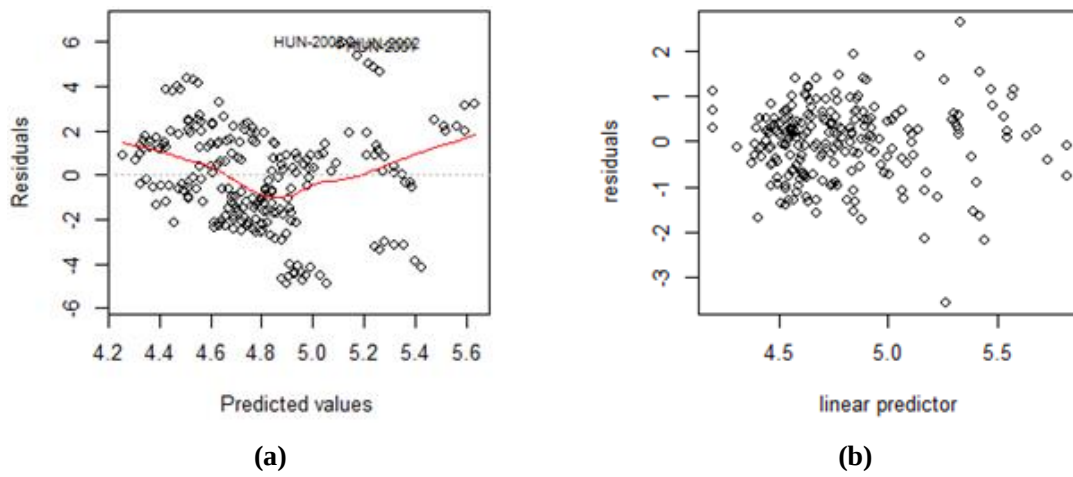
olarak anlamlı bir etkisinin gözlenmemesidir. Bu noktada, kadın ölüm oranları üzerinde tek başına istatistiksel olarak anlamlı görünmeyen bu değişkenin diğer değişkenlerle birlikte etkisi söz konusu olabilir. Bu etkiyi ortaya çıkarmak için ince tabakalı splaynları kullanmak mümkündür. Fakat çalışmada yöntem bölümündeki teorik alt yapıya bağlı kalarak, bu modeller incelenmemiştir.

PGLM.1 modelinde karşımıza çıkan farklı varyanslılık problemi PGAM.1 modelinin kullanılmasıyla son bulmuştur ve artıkların çizimi Şekil 1b’de yer almaktadır. Şekil 1b’de, sabit varyanslılığı ve modelin doğru formunu işaret eden, artıkların sıfır etrafında rassal saçılımı gözlenmektedir. PGAM.1 modelinde yer alan her bir değişkenin ölüm oranı üzerindeki doğrusal olmayan etkisi ise Şekil 2’de yer almaktadır.

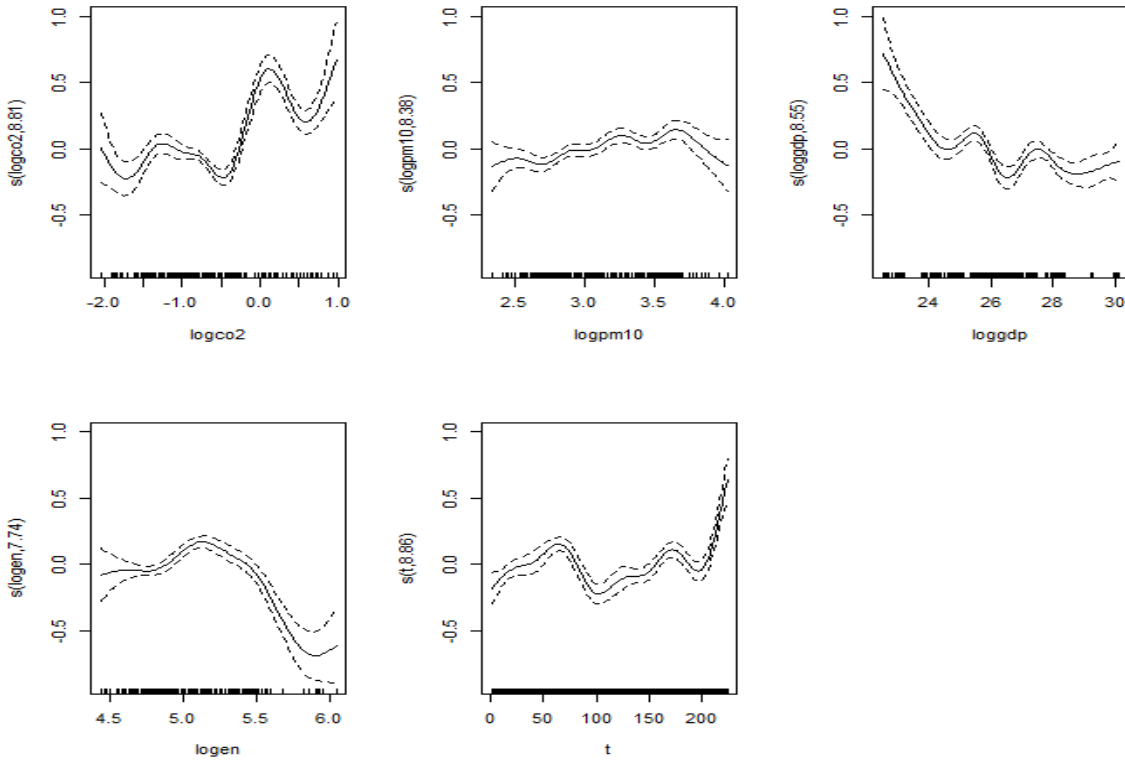
Tablo 5’te görülmektedir ki, 0,001 önem düzeyinde tüm değişkenler istatistiksel olarak anlamlıdır ve R² değeri yüksek çıkmıştır. Fakat tıpkı kadın ölüm oranlarında olduğu gibi pm10 ve en değişkenleri beklentinin aksine negatif işarete sahiptir. Ek olarak sapma ve AIC değerleri son derece yüksektir. Şekil 3a farklı varyanslılık durumuna işaret etmektedir. Bu durumda PGAM.2 modeli kurulmuştur. Tablo 6 incelendiğinde, tüm değişkenlerin erkek ölüm oranları üzerindeki parametrik olmayan (doğrusal olmayan) etkilerinin 0,001 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte PGAM.2 modeli oldukça yüksek bir R²’ye sahiptir. Sapma ve AIC değerleri ise PGLM.2 modeline göre oldukça düşmüştür. Şekil 2b’de görülmektedir ki, PGLM.2 modelinde var olan farklı varyanslılık problemi PGAM.2 modelinde yer almamaktadır. Bununla birlikte, değişkenlerin parametrik olmayan (doğrusal olmayan) etkileri Şekil 4’te grafiksel olarak da gözlenmiştir.



Şekil 2. PGAM.1 modeli için değişkenlerin etkilerinin çizimi



Şekil 3. (a) PGLM.2 modeli için, (b) PGAM.2 modeli için artıkların çizimi



Şekil 4. PGAM.2 modeli için değişkenlerin etkilerinin çizimi

5. Sonuçlar

Bu çalışmada OECD ülkeleri için PM_{10} , CO_2 gibi bazı çevresel göstergelerin ve enerji kullanımı, GSYH gibi bazı ekonomik göstergelerin sağlık üzerindeki (yetişkin kadın ve erkek ölüm oranları) etkisi modellenmiştir. Hem kadın ölüm oranları hem de erkek ölüm oranlarına ilişkin kurulan modellerde göze çarpan noktalardan biri farklı varyanslılık problemidir ve panel genelleştirilmiş toplamsal model (PGAM.1 ve PGAM.2) kullanılarak bu problem aşılmıştır. Bununla birlikte model seçim kriterleri olarak dikkate alınan sapma, AIC ve R^2 de söz konusu ilişkiyi açıklamada en iyi modelin hem kadın hem de erkek ölüm oranları için, panel genelleştirilmiş toplamsal model olduğu yönünde bulgular vermiştir. Dolayısıyla OECD'ye üye olan ülkelerdeki yetişkin kadın ve erkek ölüm oranları üzerine yapılan bu çalışmada, ölüm oranlarının Poisson dağılımı göstermesi nedeniyle Poisson regresyon modeli kullanılmıştır ve üstelik bu model parametrik olmayan bir modeldir. Bununla birlikte, göz önünde bulundurulacak her bir ülke analizde panel veri ile ayrı ayrı dikkate alınmıştır.

Şekil 2 ve Şekil 4'de görülmektedir ki, alınan tüm önlemlere karşın CO_2 'nin ölüm oranı üzerindeki etkisi zaman içerisinde artış göstermektedir ve bu artış doğrusal değildir. PM_{10} 'nin yetişkin kadınların ölüm

oranı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı parametrik olmayan bir etkisi gözlenmezken, yetişkin erkeklerin ölüm oranı üzerinde anlamlı etkileri gözlenmiştir ve bu etki CO_2 'ye göre daha stabildir. Zaman içerisinde teknolojilerin değişmesinden de kaynaklı olarak, her iki grup için de enerji kullanımından doğan etki azalma eğilimine girmiştir. Bu durum Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezi ile açıklanabilecek bir durumdur. EKC hipotezine göre ekonomik gelişme, EKC'nin artış aşamasında, tarımın ve diğer kaynak çıkarımlarının yoğunlaşmasıyla birlikte hızlanırken, kaynakların tükenme oranı kaynakların yenilenme oranını aşmaya başlar ve atık miktarı ve toksisitesi artar. Gelişmenin daha yüksek seviyelerinde, artan çevre bilinci, çevresel yasal düzenlemeler, daha iyi teknolojiler ve daha yüksek çevresel harcamalar ile birlikte, yapısal değişim bilgi yoğunluklu endüstri ve hizmet sektörüne doğru gelişir ve çevresel bozulma kademeli olarak düşmeye başlar (Dinda, 2004). Dolayısıyla EKC hipotezinin varlığının ayrıca test edilmesinin gerekliliğini unutmaksızın, kurulmuş olan modellerin söz konusu hipotezin varlığının habercisi olabileceği dikkatten kaçmaması gereken bir ayrıntıdır. Diğer taraftan, GSYH'nin etkisi doğrusal olmamakla birlikte artış yönündedir.

Kaynaklar

- Baltagi, B.H., 2010. *Econometric Analysis of Panel Data*, John Wiley & Sons Ltd. USA.
- Cohen, A.J., Anderson, H.R., Ostro, B., Pandey, K.D., Krzyzanowski, M., Kuenzli, N., Gutschmidt, K., Pope, C.A., Romieu, I. Samet, J.M., and Smith, K.R., 2004. *Urban Air Pollution*, in Ezzatti, M., Lopez, A.D., Rodgers, A., Murray, C.U.J.L., (eds.) *Comparative Quantification of Health Risks*, 2, 1353-1433, World Health Organization, Geneva.
- Dinda, S., 2004. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey, *Ecological Economics* 49, 431-455.
- Hajargasht, G., 2009. Nonparametric panel data models a penalized spline approach centre for efficiency and productivity analysis, Working Paper Series, No. WP05/2009, School of Economics, University of Queensland, Australia.
- Hastie, T.J., Tibshirani, R., 1990. *Generalized Additive Models*, Chapman&Hall, USA.
- Nelder, J.A., Wedderburn, R.W.M., 1972. Generalized linear models, *Journal of the Royal Statistical Society, Ser.A* 135, 370-384.
- OECD, 2008. *Health and Environment in OECD Environmental Outlook to 2030*, OECD Publishing.
- Wood, S.N., 2006. *Generalized Additive Models: An Introduction with R*, Chapman&Hall, USA.



Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi
www.hkad.org



Research Article

Investigation of the Relationship between Air Pollution and Health for OECD Countries

Rabia Ece OMAÏ[✉]

Anadolu University, School of Science, Department of Statistics, 26470 Eskisehir, Turkey

Received: May 24, 2014; Accepted: July 19, 2014

ABSTRACT

The aim of the study is to construct the model that best describes the relationship between air pollution and health by using panel generalized linear model and panel generalized additive model. In this study, the panel data including the period of 2001-2007 for Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) countries are used. These models are one way fixed effect models. CO₂ and PM₁₀ emissions, as an indicator of air pollution, GDP per capita and energy use, as an indicator of economic growth, and mortality rate, as an health indicator are considered. The results show that for the 2001-2007 period the best model describing relationship between air pollution and health is panel generalized additive model.

Keywords: Emissions, emission inventory, air pollutants, Turkey

© Turkish National Committee of Air Pollution Research and Control.