



EGE ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü

**TÜRKİYE'DE İLLER ARASI HAVA KİRLİLİĞİNİ BELİRLEYEN İKTİSADİ
FAKTÖRLER**

Yüksek Lisans Tezi

Ahmet GÜLER

İktisat Anabilim Dalı

İZMİR
2023

T.C
EGE ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü

**TÜRKİYE'DE İLLER ARASI HAVA KİRLİLİĞİNİ BELİRLEYEN İKTİSADİ
FAKTÖRLER**

Yüksek Lisans Tezi

Ahmet GÜLER

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Asiye Özlem ÖNDER

İktisat Anabilim Dalı

İktisat Yüksek Lisans Programı

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne sunduğum Türkiye’de İller Arası Hava Kirliliğini Belirleyen İktisadi Faktörler adlı yüksek lisans tezinin tarafımdan bilimsel, ahlak ve normlara uygun bir şekilde hazırlandığını, tezimde yararlandığım kaynakları bibliyografyada ve dipnotlarda gösterdiğimi onurumla doğrularım.

Ahmet GÜLER

ÖNSÖZ

Çevresel bozulmanın vardığı kritik seviye ve bu konuda oluşan hassasiyet, geçtiğimiz on yılda sürdürülebilirliği tüm devletlerin ajandasında daha üst sıralara taşıdı. Hava kirliliğinin, çevresel sürdürülebilirliği tehdit eden önemli unsurlardan biri olarak öne çıkması, iktisadi parametrelerin hava kirliliği göstergeleri üzerindeki etkisini inceleme gerekliliğini artırmış ve tez çalışmasının alanı bu motivasyon ile belirlenmiştir.

Danışman hocam Prof. Dr. Asiye Özlem ÖNDER'in yönlendirmesi ile açılan mekansal ekonometrik yöntemler penceresi, çalışmada gerçekleştirilen analizlerin çatısını oluşturmuştur. Çevre, büyüme ve enerji kavramları, ülke verileri ile bütüncül şekilde ele alınıp, haritalandırılarak ayrıntılı biçimde incelenip yorumlanırken, mekansal ekonometrik modeller ile ampirik bulgulara erişilmiştir.

Bu tez çalışması, ileri ekonometrik yöntemlerle gerçekleştirilen kapsamlı analizler içermektedir. İller arası hava kirliliği seviyeleri ile gelir düzeyi, nüfus yoğunluğu ve enerji tüketimi gibi iktisadi faktörler arasındaki ilişkiyi derinlemesine incelemek, Türkiye'de çevre politikalarının geliştirilmesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

İzmir, 2023

Ahmet GÜLER

ÖZET

Bu çalışmada, çevresel bozulmanın en önemli etkenlerinden biri olan hava kirliliği göstergelerinden kükürt dioksit (SO₂) ve 10 µm'den küçük partikül madde (PM₁₀) ölçüm değerleri, 2008-2021 yılları arası gelir, nüfus yoğunluğu ve elektrik tüketimi değişkenleri ile birlikte ele alınmıştır. Faydalanılan mekansal ekonometrik yöntemler, mekansal birimler arasındaki etkileşimleri dikkate alan analizlerin gerçekleştirilmesine imkan tanımış, çevresel bozulma ve iktisadi faktörler arasındaki ilişkilerin, mekana özel etkiler ve yayılma etkilerinin ihmal edilmeden incelenmesini sağlamıştır.

Çalışmada gerçekleştirilen LM testi sonuçları, incelenen değişkenlerde mekansal etkinin varlığına işaret etmektedir. Bununla birlikte, mekansal Durbin modeli sonuçları, Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin aksine, Türkiye'de gelir düzeyi ve hava kirliliği arasında U şeklinde bir ilişki olduğunu göstermektedir. İncelenen veriler içinde hava kirliliği üzerinde en belirgin etkiyi gelir oluşturmaktadır. Nüfus yoğunluğu SO₂ üzerinde azaltıcı bir etkiye sahipken, PM₁₀ üzerinde istatistiksel olarak anlamlı değildir. Nüfus yoğunluğunun SO₂ üzerindeki azaltıcı etkisinin uygarlık etkisi ile yorumlanmıştır. Elektrik tüketiminin, hava kirliliği üzerinde artırıcı etkisi bulunup, elektrik tüketimindeki %1'lik artışın, SO₂ düzeyinde %1,3 oranında artışa, PM₁₀ düzeyinde %0,16 oranında artışa yol açtığı sonucuna ulaşılmıştır.

ABSTRACT

In this study, measurements of sulfur dioxide (SO₂) and particulate matter (PM₁₀) as indicators of air pollution, which is one of the most significant contributor to environmental degradation, were investigated alongside GSYİH, population density, and electricity consumption variables for the years 2008-2021. The utilized spatial econometric methods have allowed for the analysis of interactions between spatial units and enabled the examination of relationships between environmental degradation and economic factors, considering spatial and spillover effects.

The results of the LM Tests conducted in the study points out the existence of spatial dependence of examined variables. Besides, Spatial Durbin Model indicates a U-shaped relationship between income level and air pollution in Turkey, contrary to the Environmental Kuznets Curve hypothesis. Among the examined data, GSYİH has the most significant impact on air pollution. Population density has a reducing effect on SO₂ level, but it is not statistically significant for PM₁₀. The reducing effect of population density on SO₂ is interpreted in the context of the civilization effect. Electricity consumption has an increasing effect on air pollution, and it is concluded that 1% increase in electricity consumption leads to a 1,3% increase in SO₂ levels and 0,16% increase in PM₁₀ levels.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR.....	viii
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

1. ÇEVRE, BÜYÜME VE ENERJİ ÜÇGENİ.....	4
1.1. İklim Değişikliği.....	4
1.2. Çevresel Bağlamda Büyüme Kavramı.....	6
1.2.1. Çevresel Kuznets Eğrisi.....	6
1.2.2. Sürdürülebilir Kalkınma.....	7
1.3. Türkiye’de Hava Kirliliği, Büyüme ve Enerji.....	8
1.3.1. Türkiye’de Hava Kirliliği, Büyüme ve Enerji Gelişimi.....	8
1.3.2. Türkiye’de Hava Kirliliği, Büyüme ve Enerji Görünümü.....	11

İKİNCİ BÖLÜM

2. LİTERATÜR.....	15
-------------------	----

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. TÜRKİYE’DE İLLER ARASI HAVA KİRLİLİĞİNİ BELİRLEYEN İKTİSADİ FAKTÖRLER ÜZERİNE UYGULAMA ÇALIŞMASI.....	24
3.1. Veriler.....	24
3.1.1. SO ₂ ve PM ₁₀	24
3.1.2. GSYİH.....	25
3.1.3. Nüfus Yoğunluğu.....	25
3.1.4. Elektrik Tüketimi.....	26

3.2.	Verilere Ait Genel Tanımlayıcı İstatistikler	26
3.3.	Yöntem	27
3.3.1.	Mekansal Bağımlılık.....	27
3.3.1.1.	Mekansal Bağımlılık Kavramı	27
3.3.2.	Mekansal Ağırlık Matrisleri	27
3.3.3.	Moran's I Testi	28
3.3.4.	Kesit Veri Modelleri	28
3.3.5.	Panel Veri Modelleri.....	30
3.3.5.1.	Sabit Etkiler Modeli	31
3.3.5.2.	Rassal Etkiler Modeli.....	32
3.3.5.3.	Mekansal Gecikmeli Sabit Etkiler Modeli.....	33
3.3.5.4.	Mekansal Hata Sabit Etkiler Modeli	34
3.3.5.5.	Mekansal Durbin Modelleri	35
3.3.5.6.	Sabit Etkiler Modelinde Sapma Düzeltmesi	36
3.3.6.	Model Seçimi.....	37
3.3.6.1.	Hausman Testi.....	37
3.3.6.2.	Log Olabilirlik Testi ve Wald Testi	38
3.3.6.3.	Lagrange Çarpanı Testi (LM Test)	38
3.4.	Model.....	39
3.5.	Ampirik Bulgular	40
SONUÇ		47
KAYNAKÇA		51
EK		57
TEŞEKKÜR		58
ÖZGEÇMİŞ		59

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1: Moran's I İstatistikleri	14
Tablo 2: Çevresel Kuznets Eğrisini İnceleyen Bazı Temel Çalışmalar	16
Tablo 3: Hava Kirliliği ve Gelir İlişkisini İnceleyen Mekansal Çalışmalar.....	19
Tablo 4: Hava Kirliliği ve Gelir İlişkisini İnceleyen Ulusal Çalışmalar.....	22
Tablo 5: Verilere Ait Tanımlayıcı İstatistikler.....	26
Tablo 6: Verilere Ait Korelasyon Matrisi	27
Tablo 7: SO ₂ Modelleri Tahmin Sonuçları	41
Tablo 8: PM ₁₀ Modelleri Tahmin Sonuçları	43
Tablo 9: Doğrudan ve Dolaylı Etkiler.....	45
Tablo 10: Mekansal Oto regresif Model Doğrudan ve Dolaylı Etkiler	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1-1: Aylık Sıcaklık Anomalisi	4
Şekil 1.1-2: Eylül Ayı Rekorları Simülasyonları	5
Şekil 1.2.1-1: Kuznets Eğrisi	6
Şekil 1.2.1-2: Çevresel Kuznets Eğrisi	6
Şekil 1.2.2-1: Ülkelere Göre Karbon Nötr Hedefleri (zerotracker.net)	7
Şekil 1.3.1-1: PM ₁₀ ve GSYİH Verileri	8
Şekil 1.3.1-2: SO ₂ ve GSYİH Verileri	8
Şekil 1.3.1-3: PM ₁₀ ve Nüfus Yoğunluğu Verileri.....	9
Şekil 1.3.1-4: SO ₂ ve Nüfus Yoğunluğu Verileri.....	9
Şekil 1.3.1-5: PM ₁₀ ve Elektrik Tüketimi Verileri.....	9
Şekil 1.3.1-6: SO ₂ ve Elektrik Tüketimi Verileri.....	9
Şekil 1.3.1-7: Enerji Kaynaklarına Göre Kurulu Güç.....	10
Şekil 1.3.1-8: Enerji Kaynaklarına Göre Kurulu Güç %	10
Şekil 1.3.1-9: Top. Kurulu Güç ve Term. Payı	10
Şekil 1.3.1-10: Term. Kurulu Güç Payı ve Term. Üretim Payı	10
Şekil 1.3.2-1: 2008-2021 Yılları Arası İl Bazında SO ₂ Ortalamaları	11
Şekil 1.3.2-2: 2008-2021 Yılları Arası İl Bazında PM ₁₀ Ortalamaları	12
Şekil 1.3.2-3: 2008-2021 Yılları Arası İl Bazında GSYİH Ortalamaları.....	12
Şekil 1.3.2-4: 2008-2021 Yılları Arası İl Bazında Nüfus Yoğunluğu Ortalamaları	13
Şekil 1.3.2-5: 2008-2021 Yılları Arası İl Bazında Elektrik Tüketimi Ortalamaları	13
Şekil 3.3.4-1: Kesit Veriler İçin Mekansal Bağımlılık Modelleri Arasındaki İlişki	30

KISALTMALAR

ÇKE	: Çevresel Kuznets Eğrisi
COP	: Taraflar Konferansı
GSYİH	: Gayri Safı Yurtiçi Hasıla
ML	: Maksimum Olabilirlik
SAC	: Mekansal Otokorelasyon Modeli
SAR	: Mekansal Gecikme Modeli
SDM	: Mekansal Durbin Modeli
SDEM	: Mekansal Durbin Hata Modeli
SEM	: Mekansal Hata Modeli
SLX	: Mekansal X Modeli
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
Türkiye İBBS	: Türkiye İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması

GİRİŞ

Ekonomik büyümeyi çevreleyen ve şekillendiren iktisadi ve sosyal faktörlerin yanı sıra çevresel faktörlerin de hayatımızda etkisini sağlamlaştırdığı bir dönem yaşanıyor. İklim değişikliği etkileri gün geçtikçe daha belirgin hale geliyor ve doğanın insanoğluna hizmet etmek için var olduğu anlayışı, yerini sürdürülebilir yaklaşımlara bırakıyor. Sürdürülebilirlik kavramı, 1987 yılında Brundtland Raporu¹ ile hayatımıza girmiş olsa da, büyümenin gerektirdiği enerji ihtiyacı ve enerji kullanımının yol açtığı çevresel bozulma, 1968’de bir araya gelen Roma Kulübü’nden² bu yana büyümenin sınırları başlığı altında tartışılıyor. Refah seviyemizi artırmak, artan nüfusun ihtiyaçları için iktisadi karşılık oluşturmak ve belki de en önemlisi, türümüzün yüzbinlerce yıldır sürekli gelişmiş olmasının getirdiği içgüdüsel gelişim arzumuza cevap verebilmek için ekonomik büyümeden geri durabilmemiz pek mümkün görünmüyor. Bununla birlikte, enerji alanındaki ilerlemeler ve yenilikler sayesinde sürdürülebilir bir geleceği inşa etme imkanına sahip olduğumuzu biliyoruz. Yeşil teknolojilerdeki ilerlemeler, iklim değişikliğiyle mücadelede etkin bir strateji oluşturuyor. Paris Anlaşması'nın hedeflerini karşılamak için, 2030 yılına kadar küresel sera gazı emisyonlarının yarı yarıya azaltılması gerekliliği gibi zorlu görevlerimiz olsa da, COP27³ sonrası, yenilenebilir enerjiye olan küresel taahhüdün her zamankinden daha güçlü olduğunu görmek umut vericidir.

Küresel bir uzlaşma ile kabul edilen, iktisadi istikrarın, çevresel hassasiyetlere dikkat edilerek sağlanması gerektiği yönündeki bir anlayışı yansıtan bu çalışma, iktisadi faktörlerin çevresel bozulmadaki etki düzeylerini anlamayı hedeflemektedir. Çalışmada, kullanılan mekansal ekonometrik yöntemler, çevresel bozulma ile ekonomik faktörler arasındaki ilişkilerin, coğrafi konum ve yayılma etkilerini göz önünde bulundurularak incelenmesine katkı sağlamıştır.

Ekonomik büyüme ve çevresel bozulma ilişkisi konusunda en yaygın tartışma alanı Çevresel Kuznets Eğrisi çevresinde oluşmuştur. Teoride, büyümenin ilk aşamasında

¹ 1987 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayınlanan, Ortak Geleceğimiz isimli rapor. Brundtland Raporu olarak da bilinmektedir.

² Roma Kulübü, 1968 yılında kurulan ve sürdürülebilirlik ve dünya kaynaklarının geleceği konularında çalışan bir uluslararası düşünce kuruluşudur.

³ COP, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) tarafları arasında gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferanslarını temsil etmektedir. COP27, 2022 yılında gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansını ifade etmektedir.

daha fazla kaynak kullanımı ile çevresel bozulmanın artışı, büyümenin ileri aşamalarında ise çevre bilincinin artması, çevre dostu politikalar ve teknolojiler kullanılması ile çevresel iyileşme sağlanması odak fikri oluşturmaktadır. Ekonomik büyüme, çevresel sürdürülebilirlik için önemli bir faktör olmakla birlikte, çevresel bozulmanın kontrol altına alınabilmesi için sadece ekonomik büyüme yeterli olmayıp, etkili çevre politikaları, teknolojik gelişmeler ve toplumsal çevre bilincinin gelişmesi de önem arz etmektedir.

Büyümenin çevre üzerindeki etkisi kaynak kullanımı ile bağlantılı olduğundan, büyüme ve çevre konularının enerji ile birlikte ele alınmasının daha verimli çıktılar sağlaması beklenir. Bu noktada, elektrik en yaygın enerji taşıyıcısı olarak enerjiyi temsil etme konusunda öne çıkmaktadır. Elektrik, en yaygın enerji taşıyıcısı olmanın yanı sıra, elde edildiği enerji kaynaklarının çeşitliliği nedeniyle enerjinin niteliği konusunda yüksek temsil gücüne sahiptir.

Büyüme, çevresel bozulma ve enerji tüketimini incelerken, bu olguların merkezindeki faktör olan toplum faktörünü de dikkate almak gerekli bir yaklaşımdır. Toplumsal etkiler, çevre bilinci gibi nitelik veya nüfus yoğunluğu gibi nicelik odaklı çeşitli parametreler ile temsil edilebilir. Çevre bilinci, anlamlı ancak yarattığı fark daha uzun dönemde hissedilmesi beklenen, nitelik odaklı olması sebebi ile ölçümü nispeten daha zor bir parametredir. Nüfus yoğunluğu ise ölçülebilen objektif verilere dayanan nicelik odaklı bir parametredir ve bu sebeple, bu çalışmada açıklayıcı değişken olarak faydalanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de il düzeyinde çevresel bozulma faktörlerinden olan hava kirliliği üzerinde etkisi olması beklenen iktisadi faktörleri mekansal modeller ile incelemektir. Bu çerçevede SO₂ ve PM₁₀ göstergeleri, hava kirliliği değişkenleri, gelir, nüfus yoğunluğu ve elektrik tüketimi ise belirleyici olması beklenen iktisadi faktörler olarak ele alınmıştır. Türkiye’de il düzeyinde hava kirliliğini belirleyen gelir ve diğer iktisadi faktörleri, mekansal panel veri modelleri ile inceleyen sınırlı sayıda çalışma vardır (Çatık, Karaçuka ve Huyugüzel Kışla, 2016; Karahasan ve Pınar, 2022; Tuzcu ve Usupbeyli, 2018; Yildirim, Alpaslan ve Eker, 2021). Bu çalışmalarda, bildiğimiz kadarı ile, mekansal modellemelerden yararlanılsa da, değişkenler arasında doğrudan ve dolaylı etkiler incelenmemiştir. Bu çalışmada, doğrudan ve dolaylı etkiler de incelenerek marjinal etkilere dair bulgular ile literatüre katkıda bulunmak amaçlanmıştır. Bununla birlikte, enerjiyi temsil etme amacı ile elektrik tüketiminin de modellemelere dahil edilmesi, çalışmanın literatüre yapacağı katkıda rol oynamaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde, çevre, büyüme ve enerji konuları ele alınmakta, incelenen parametreler haritalandırılarak kümelenmeler yorumlanmakta ve belli yıllar için mekansal bağımlılık istatistikleri hesaplanmaktadır. İkinci bölümde, çevre ve büyüme üzerine gerçekleştirilen literatürdeki çalışmalar paylaşmaktadır. Üçüncü bölümde, kullanılan veriler, yöntem, model açıklanmakta ve ulaşılan ampirik bulgular değerlendirilmektedir. Dördüncü ve son bölümde çalışmanın sonuçları ve öneriler sunulmaktadır.



BİRİNCİ BÖLÜM

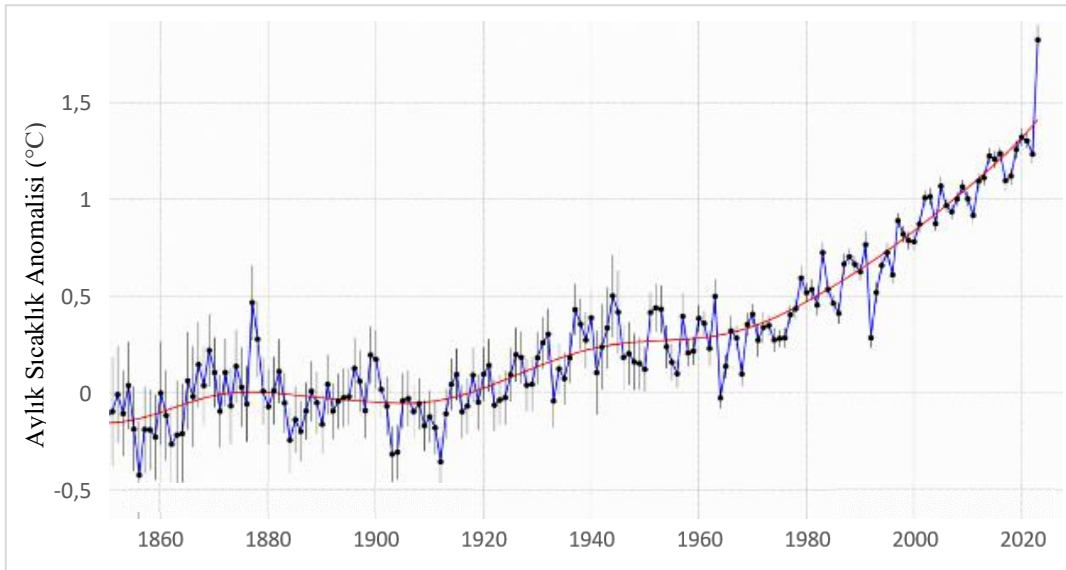
1. ÇEVRE, BÜYÜME VE ENERJİ ÜÇGENİ

1.1. İklim Değişikliği

İklim değişikliği, doğrudan veya dolaylı olarak insan faaliyetlerinden kaynaklanan, dünya atmosferindeki gazların artan konsantrasyonu ile küresel atmosferin bileşimini değiştiren, küresel ortalama sıcaklıkları artıran ve benzer zaman dilimlerinde gözlemlenen doğal iklim değişkenliğinden ayrı bir iklim değişikliği anlamına gelir (UNFCCC, 1992).

Bu değişikliğin temel nedeni, sera etkisi yaratan gazlar olan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), azot oksitler (N₂O), kükürt dioksit (SO₂) gibi gazların, atmosferde birikmesi ve bu gazların kızılötesi ışığı emerek, güneş ışığını atmosfere hapsedmesinden kaynaklanır (UNFCCC, 1992). Doğal şartlarda sürekli denge halinde olan bu durum, insan kaynaklı faaliyetlere bağlı artan sera gazlarının etkisi ile yeryüzünün ısınmasına sebep olmaktadır.

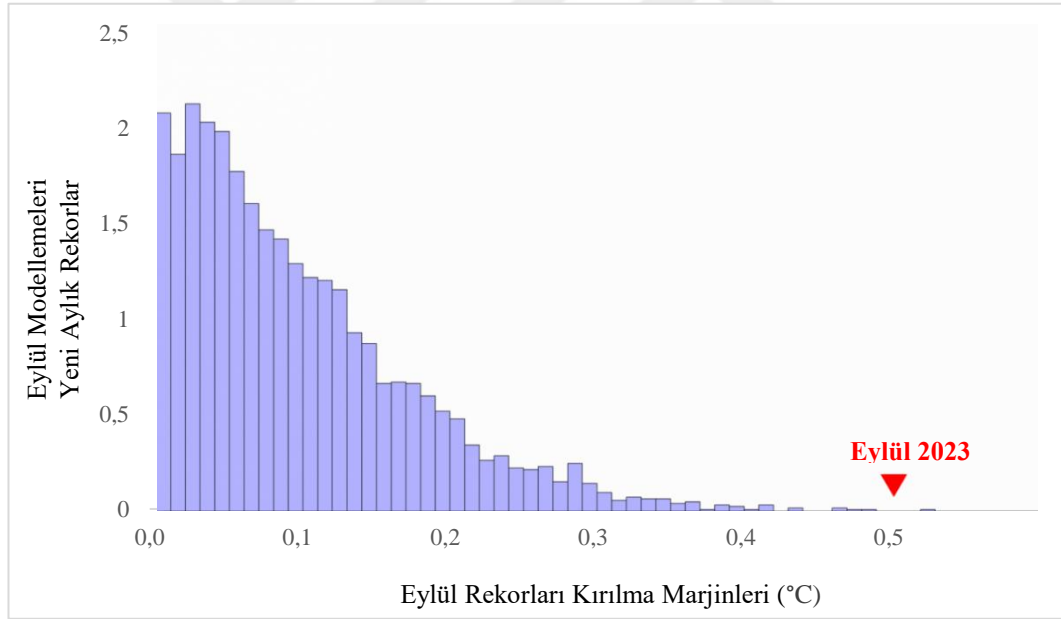
Günümüzde, sıcaklık artışı kaynaklı iklim değişikliği, dünya genelinde günden güne artan şiddette olumsuz etkilere yol açmaktadır. Deniz seviyeleri yükselmekte, aşırı hava olayları sıklaşmakta, kuraklıklar, yangınlar, buzulların erimesi gibi birçok çevre anomalisi yaşanmaktadır (IPCC, 2021).



Şekil 1.1-1: Aylık Sıcaklık Anomalisi (Berkeley Earth, <https://berkeleyearth.org/>)

İklim değışikliği alanında, yeryüzü sıcaklık verilerini analiz etme odaklı, bir organizasyon olan Berkeley Earth'ün, son analiz sonuçlarına göre, 2023 yılı Eylül ayı, analiz edilen 1850 yılı sonrası dönemin en sıcak eylülü olarak kayda geçmiştir. Eylül ayında gerçekleşen global ortalama sıcaklıktaki yükseliş anomalişi Şekil 1.1-1'de gözlenmektedir.

Normal şartlar altında, yeni rekorların küçük farklarla kırılması beklenir. Berkeley Earth, bu düzeyde bir sıçramanın olabirirliğini araştırmak için 48 ayrı iklim modelini 189 defa çalıştırarak, geçmişteki ve yakın gelecekteki ısınmayı simüle etmeye çalışmışlardır. Eylül 2023'de kırılan rekor 1970 ve 2070 yılları arasındaki rekor simülasyonları içerisinde istatistiksel olarak anlamlı olmayan bölgeye yerleşmiştir ve bu durumun olma ihtimali yaklaşık 10.000'de 1 olarak belirtilmektedir. Öyle ki, tüm simülasyonlarda sadece bir gözlem Eylül 2023 rekorunu aşmıştır. Buradan, iklim modellerinin, gerçeği hassas bir şekilde yakalayabilmesini engelleyen anomaliler ile karşı karşıya olduğumuz anlaşılabilir.



Şekil 1.1-2: Eylül Ayı Rekorları Simülasyonları (Berkeley Earth, <https://berkeleyearth.org/>)

Birleşmiş Milletler başta olmak üzere uluslararası toplum, 1988 yılından itibaren iklim değışikliği alanında çalışmalar gerçekleştirmiş ve bu süre zarfında, önemli kilometre taşlarından olan, Birleşmiş Milletler İklim Değışikliği Çerçeve Sözleşmesi (1992), Kyoto Protokolü (1997), Paris Anlaşması (2015) gibi anlaşmalarla iklim değışikliği ile mücadele için taahhütlerde bulunmuştur. Bu anlaşmalarda, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi amaçlanmıştır. (UNFCCC, 2015).

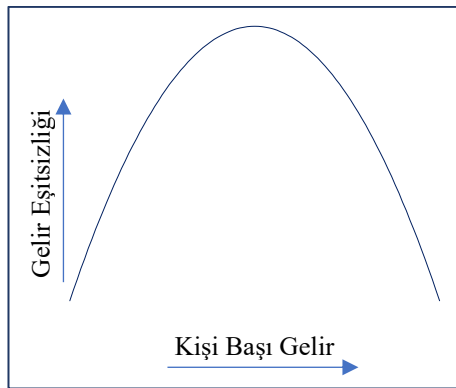
1.2. Çevresel Bağlamda Büyüme Kavramı

1.2.1. Çevresel Kuznets Eğrisi

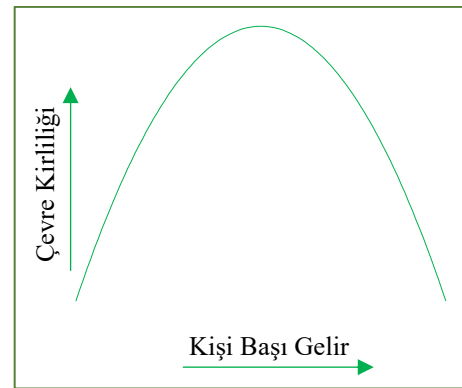
Çevresel Kuznets Eğrisi, Simon Kuznets'in (Kuznets, 1955), ekonomik büyüme ve gelir eşitsizliği üzerine yaptığı çalışmaya dayanmaktadır. Kuznets, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki veriler üzerinden, ekonomik büyüme ve gelir dağılımı arasındaki ilişkiyi incelemiş ve büyüme sürecinin belirli bir aşamasında gelir eşitsizliğinin arttığını, ancak daha sonra azaldığını veya stabil hale geldiğini öne sürmüştür.

Kuznets'e göre, ekonomik büyümenin erken aşamalarında, bazı sektörler hızla gelişirken diğerleri geride kalabilir ve sektörler arasında gelir farkları oluşur. Bu aşamada, gelir artışı, gelir eşitsizliğini beraberinde getirir. Ekonomik büyümenin devamında, endüstrileşme ve ekonominin çeşitliliği artar, gelir eşitsizliği azalır ve daha fazla insan daha iyi gelir elde edebilir. Böylece, gelir dağılımı daha istikrarlı hale gelir. Büyümenin devam ettiği ileri aşamada ise eğitim, sosyal yardımlar, vergi politikaları ve adil gelir dağılımı gibi faktörler ile birlikte refah paylaşımı iyileşir. Kuznets'in modeli, ABD'ye odaklanmış olması itibari ile başka ülkelerde de geçerli olup olmadığı tartışmalıdır.

Kuznets Eğrisi, 1990'lı yıllar itibari ile Çevresel Kuznets Eğrisi olarak anılacak çalışmalara temel oluşturmuştur, bu bağlamda, kişi başı gelirin artışı, çevresel kirliliğin önce artmasına, daha sonra azalmasına neden olmaktadır. Grossman ve Krueger, Kuzey Amerika Serbest Ticaret Anlaşmasının Çevresel Etkileri (Grossman ve Krueger, 1991) ve Ekonomik Büyüme ve Çevre (Grossman ve Krueger, 1995) çalışmaları ile bu alandaki ilk çalışmaları gerçekleştirmişlerdir.



Şekil 1.2.1-1: Kuznets Eğrisi



Şekil 1.2.1-2: Çevresel Kuznets Eğrisi

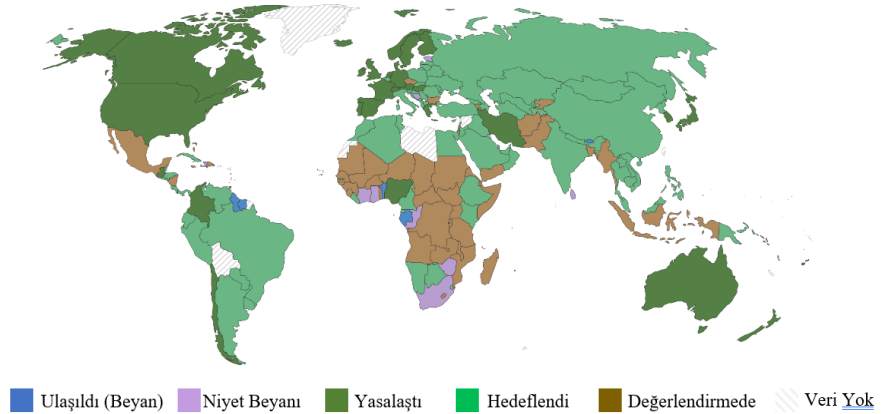
1.2.2. Sürdürülebilir Kalkınma

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, 1987 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayınlanan Ortak Geleceğimiz, diğer bilinen adıyla Brundtland Raporu'nda gündeme gelmiş ve yaygınlaşmıştır. Gelecek nesillerin gereksinimlerine zarar vermeden sürdürülebilir kalkınma yolunda atılan ilk adımlardan biri olan bu raporun amacı, çevre ve ekonomi arasındaki dengenin önemine dikkat çekerek, kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik arasındaki ilişkiyi tanımlamaktır.

1992 yılında Rio'da gerçekleşen BM Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda, sera gazı emisyonlarını sınırlamak ve iklim değişikliğine uyum sağlamak amacıyla Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi imzaya açılmıştır ve 2 yıl sonra 1994 yılında 196 ülkenin imzasıyla sözleşme uygulamaya girmiştir. Takip eden yıllarda ülkeler taraflar konferansı, diğer adıyla COP toplantılarında bir araya gelmeye devam etmişlerdir.

1997 yılında, sera gazı emisyonlarını azaltma amacı ile Japonya'nın Kyoto şehrinde 192 ülke tarafından Kyoto Protokolü kabul edilmiştir. Atmosferdeki sera gazı emisyonlarının önemli bir kısmının endüstrileşmiş ülkelerden kaynaklandığı anlayışı ile, belirlenmiş 37 endüstrileşmiş ülke için bağlayıcılığı olan bir protokoldür.

Şu an yürürlükte olan güncel uluslararası anlaşma ise 2015 yılında kabul edilen ve 2016 yılında yürürlüğe giren Paris İklim Anlaşması'dır. 196 Taraf Devlet tarafından kabul edilen anlaşmanın amacı, küresel ortalama sıcaklık artışını, endüstri öncesi döneme göre en fazla 2 derece ile sınırlamak ve mümkünse 1,5 derecenin altında tutmaktır. Bu hedefler kapsamında, sıcaklık artışını 1,5°C ile sınırlamak için, sera gazı emisyonlarının en geç 2025'ten önce zirve yapması ve 2030'a kadar %43 azalması gerekmektedir.



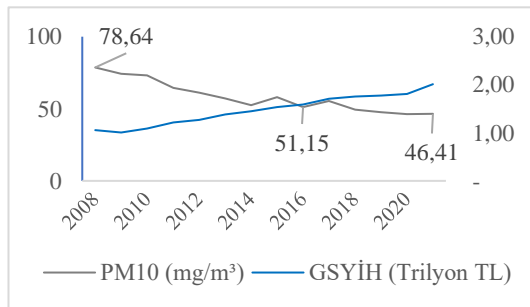
Şekil 1.2.2-1: Ünelere Göre Karbon Nötr Hedefleri (zerotracker.net)

1.3. Türkiye’de Hava Kirliliği, Büyüme ve Enerji

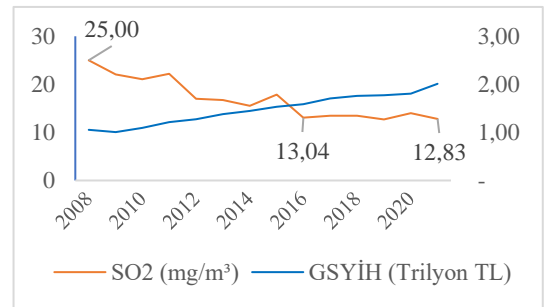
1.3.1. Türkiye’de Hava Kirliliği, Büyüme ve Enerji Gelişimi

Bu bölümde PM₁₀, SO₂, GSYİH, nüfus yoğunluğu ve elektrik tüketimi verilerinin, çalışmada incelenen dönemdeki değişimi gözlenmektedir. PM₁₀ ve SO₂ değerleri ilgili yıllardaki Türkiye ortalamasını göstermektedir. GSYİH, nüfus yoğunluğu ve elektrik tüketimi değerleri ise yıl bazında ülke geneli değerlerdir. Bu bölümdeki inceleme, verilerin zaman içerisindeki ortalama ve toplam değişim trendlerini tanımak amacı ile yapılmış olup, ülke geneli değişim üzerinden yapılan yorumlar ve çıkarımlar, bu tez çalışmasının ana çerçevesini oluşturan birimlere özel mekansal etkiler ve birimler arasındaki yayılma etkilerinin dahil edildiği analizler sonuçlarından farklılaşabilir.

Şekil 1.3.1-1 ve Şekil 1.3.1-2, Türkiye’nin 2008-2021 yılları arasında PM₁₀, SO₂ ve GSYİH değişimini göstermektedir. İncelenen dönemde GSYİH’da düzenli bir artış gözlenmektedir. PM₁₀ değeri düşüş trendi göstermekle birlikte, 2015, 2017, 2020 yıllarında sırası ile %10,8, %8,5, %0,3 oranında artışlar göstermiştir. SO₂ değeri ise benzer şekilde düşüş trendi göstermekle birlikte 2011, 2015, 2020 yıllarında sırası ile %5,4, %15, %10,5 düzeyinde artışlar göstermiştir. 2021 yılı hariç olmak üzere, artış gerçekleşen yılları takip eden yılda, bir önceki yıl gerçekleşmiş artıştan daha fazlası telafi edilmiştir. 2021 yılında ise düşüş trendinde, 2016 yılında başlayan yavaşlamanın etkisi izlenmektedir. Öyle ki, ilgili dönemin tamamında PM₁₀ düzeyinde gerçekleşen %37,4 oranındaki dikkate değer düşüşün %83’lük kısmı 2008-2016 yılları arasında gerçekleşmiştir. SO₂ düzeyinde gerçekleşen %42’lik düşüşün ise %98’si 2008-2016 yılları arasında gerçekleşmiştir. PM₁₀ ve SO₂ değerlerindeki düşüş trendi ve sonrasında gerçekleşmeye başlayan stabilizasyon, bu çalışmada gelirin yanı sıra ele alınan diğer açıklayıcı değişkenler olan nüfus yoğunluğu ve elektrik tüketimi gelişimi ile de ilişkili olabilir.

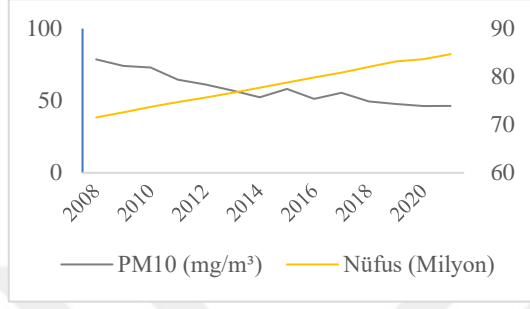


Şekil 1.3.1-1: PM₁₀ ve GSYİH Verileri

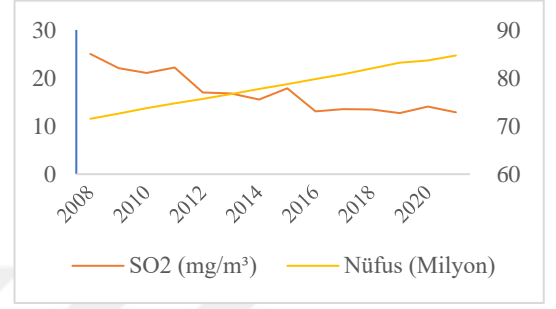


Şekil 1.3.1-2: SO₂ ve GSYİH Verileri

Nüfus yoğunluğu, 2009-2019 yılları arasında yıllık ortalama %1,6 civarında bir artış hızı ile ilerlemiş, 2020 ve 2021 yıllarında ise sırası ile %0,55 ve %1,28 olarak gerçekleşmiştir. Genelleştirilmiş popülasyon değerlerinden hareketle, nüfus yoğunluğu ve hava kirliliği değerleri arasında gözle görülür bir benzerlik mevcut değildir.

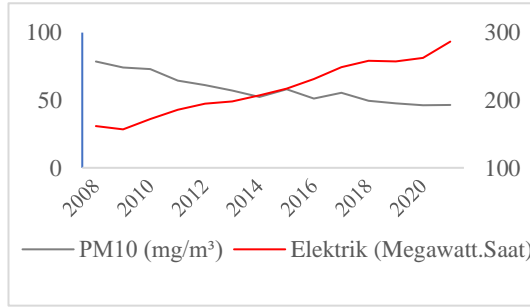


Şekil 1.3.1-3: PM₁₀ ve Nüfus Yoğunluğu Verileri

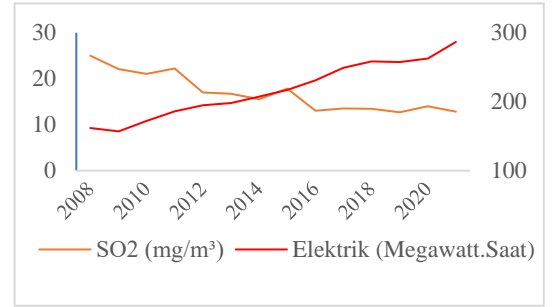


Şekil 1.3.1-4: SO₂ ve Nüfus Yoğunluğu Verileri

Enerji üretim verileri için, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. tarafından yayınlanan Türkiye elektrik üretim istatistiklerinden faydalanılmıştır. İncelenen dönemde elektrik tüketiminde, nüfus yoğunluğuna benzer şekilde neredeyse lineere yakın bir artış gözlenmektedir ancak 2018-2020 yılları arasında eğimde bir azalma söz konusudur. Bununla birlikte, elektrik tüketiminin hava kirliliği üzerindeki etkisini, elektriğin üretildiği kaynaklarla birlikte değerlendirmek daha doğru olacaktır.



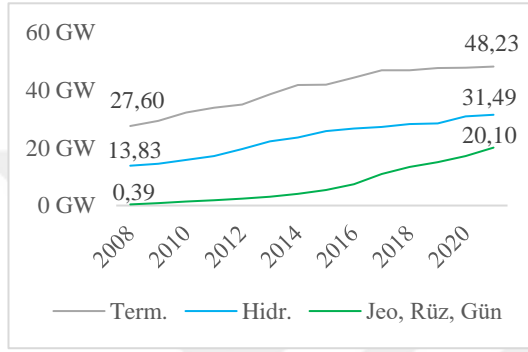
Şekil 1.3.1-5: PM₁₀ ve Elektrik Tüketimi Verileri



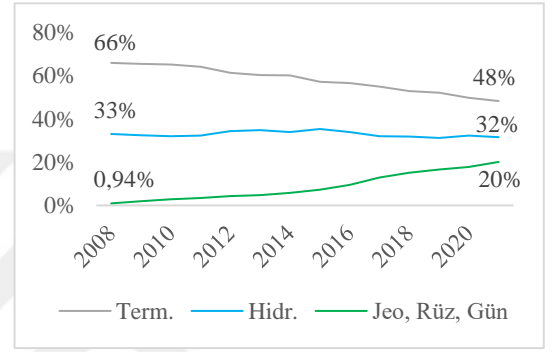
Şekil 1.3.1-6: SO₂ ve Elektrik Tüketimi Verileri

Elektrik üretim kaynakları, termik, hidrolik, jeotermal, rüzgar ve güneş olarak sınıflandırılmaktadır. Bilindiği üzere hidrolik, jeotermal, rüzgar ve güneş, temiz enerji kaynakları olup, hava kirliliği üzerinde olumsuz etki yaratması beklenmeyen enerji kaynaklarıdır. Termik kaynaklar ise, linyit, motorin ve doğalgaz çevrim santrallerinden sağlanan enerji kaynaklarıdır ve bu kaynaklar kullanılarak elde edilen enerji üretim sürecinde atmosfere çeşitli zararlı gazlar salınmaktadır.

Şekil 1.3.1-7, enerji kaynaklarına göre kurulu güç büyüklüklerini göstermektedir ve tüm kaynak türlerinde kurulu güç büyüklüklerinde artış olduğu görülmektedir. Termik kurulu güç, 27,60 GW düzeyinden 48,23 GW düzeyine ulaşmasına karşın, hidrolik ve özellikle yenilenebilir enerji kurulu güçlerindeki artış, termik kurulu gücün payının azalmasını sağlamıştır. Jeotermal kurulu gücün büyüklüğü 2022 yılı itibarı ile 1,7 GW'ın biraz altındadır ve yenilenebilir enerji kurulu gücünün çok önemli bir bölümü rüzgar ve güneş enerjisinden oluşmaktadır.

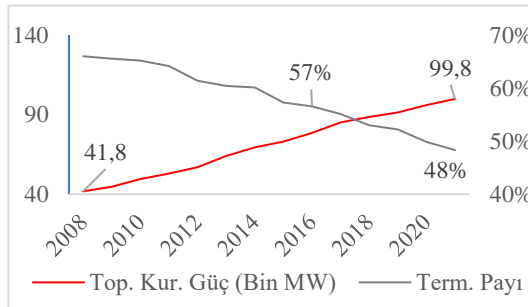


Şekil 1.3.1-7: Enerji Kaynaklarına Göre Kurulu Güç

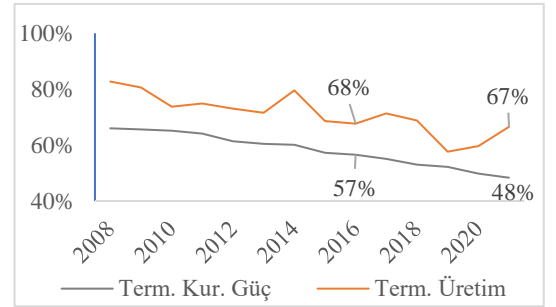


Şekil 1.3.1-8: Enerji Kaynaklarına Göre Kurulu Güç %

Şekil 1.3.1-9 toplam kurulu güç ve termik kurulu güç payını, Şekil 1.3.1-10, termik kurulu güç payı ve termik üretim payını göstermektedir. Kurulu gücün üretime katkısı, kapasite faktörü ile birlikte değerlendirilmelidir. Şekil 1.3.1-9'da görüleceği üzere, termik santrallerin toplam elektrik üretimindeki payı, kurulu güç payının üzerinde seyretmektedir. Bunun sebebi, termik santrallerinin kapasite faktörlerinin, rüzgar ve güneş santrallerinin kapasite faktörlerinden oldukça yüksek olmasıdır. Rüzgar ve güneş enerjisinden elde edilen üretim verimi, iklim koşullarına göre dalgalanırken, termik santrallerin üretimi, gerekli girdi sağlandığı sürece baz bir enerji kaynağı görevi görür ve toplam üretimdeki payları diğer kaynakların verimliliğine göre dalgalanabilir. 2024 yılı ve sonrasında depolanabilir rüzgar ve güneş enerji santrallerinin yaygınlaşmaya başlamasıyla birlikte, bu dalgalanmaların da azalmaya başlaması beklenebilir.



Şekil 1.3.1-9: Top. Kurulu Güç ve Term. Payı



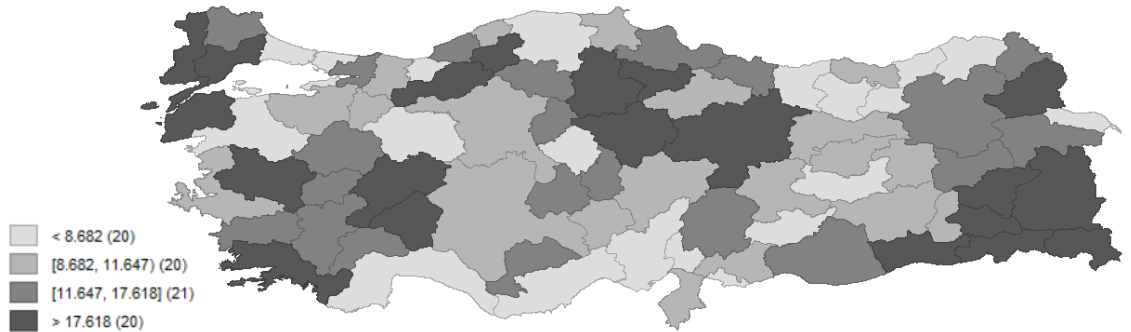
Şekil 1.3.1-10: Term. Kurulu Güç Payı ve Term. Üretim Payı

2016 yılında toplam kurulu güç içindeki payı %57 olan termik santrallerin üretimdeki payı %57 olurken, 2021 yılında toplam kurulu güç içindeki payı %48'e çekilmesine rağmen, üretimdeki payı %67 düzeyinde gerçekleşmiştir. Buradan hareketle, elektrik tüketiminin hava kirliliği üzerindeki etkisinin dikkate alınmaya değer bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.

1.3.2. Türkiye'de Hava Kirliliği, Büyüme ve Enerji Görünümü

Bu bölümde, çalışma kapsamında incelenen verilerin, mekansal görünümleri ve etkileşimleri ele alınmaktadır. Türkiye haritası tabanı, The Humanitarian Data Exchange üzerinden sağlanmış ve çalışmada kullanılan veriler ile QGIS programı kullanılarak birleştirilmiştir. Elde edilen veri içerikli haritalar, 2008-2021 yılları arasındaki ortalama değerlere göre GeoDa programı kullanılarak mekansal gösterim sağlanmış ve 2008, 2012, 2017, 2021 yılları için Moran's I testleri gerçekleştirilmiştir. Moran's I testinin teorik çerçevesi 3.3 Yöntem bölümünde açıklanmaktadır.

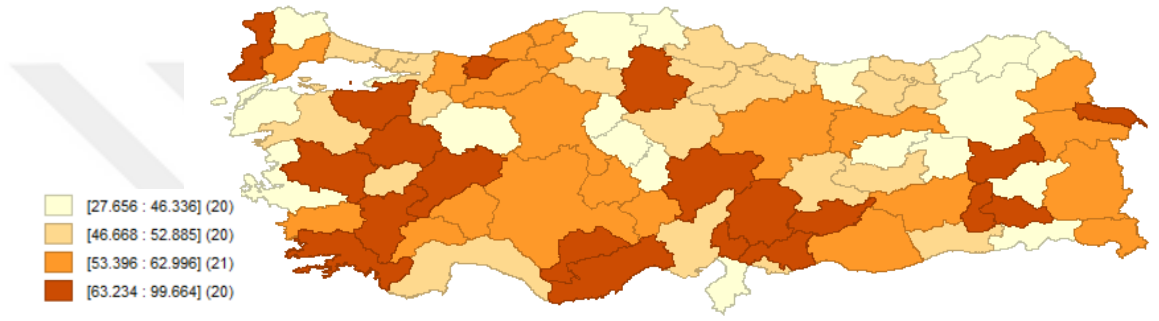
Şekil 1.3.2-1'de SO₂ ortalamalarının dağılımı görünmektedir. Marmara'nın batısında, Doğu Anadolu'nun güneyi ve Güneydoğu Anadolu'nun doğusunda, İç Anadolu ve Orta Karadeniz kesişimindeki Sivas, Yozgat, Çorum, Amasya illerinde, yüksek SO₂ düzeyi kümelenmeleri göze çarpmaktadır. Ege'nin büyük bir kısmı ise yüksek veya bir alt seviyede bulunmaktadır. SO₂ düzeyinin en düşük olduğu kümelenmeler, Akdeniz ve Doğu Karadeniz'de gözlenmektedir. SO₂ verilerinin Tablo 1'de verilen Moran's I değerlerine bakıldığında, 2017 yılında mekansal otokorelasyon gözlenmemekle birlikte, 2008, 2012, 2021 yıllarında çok yüksek mekansal otokorelasyon gözlenmiştir.



Şekil 1.3.2-1: 2008-2021 Yılları Arası İl Bazında SO₂ Ortalamaları

Şekil 1.3.2-2'de PM₁₀ dağılımı gözlemlendiğinde ise batıdaki şehirlerde ve güneydeki şehirlerde nispeten daha yüksek oranlı kümelenmeler göz çarpmaktadır. İç Anadolu'nun batısı ile Marmara ve Akdeniz'in güneyindeki bazı şehirlerin oluşturduğu kümelenme en geniş kümelenme olup, en üst düzeyin bir alt seviyesinde PM₁₀ değerine işaret etmektedir. Düşük düzeydeki en yoğun kümelenme ise kuzeydoğuda gözlenmektedir.

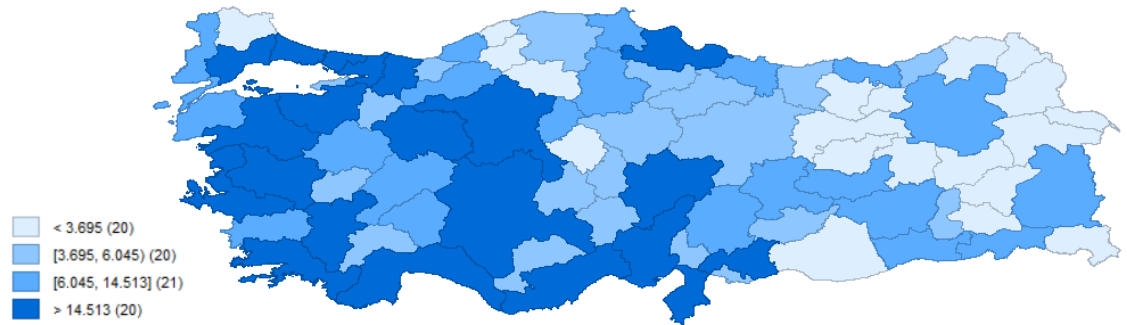
Tablo 1'de Moran's I istatistiği hesaplanan tüm yıllarda mekansal otokorelasyon görülmektedir. İncelenen dönemde Moran's I istatistiğinin artan bir hareket göstermesi, PM₁₀ kümelenmelerinin artışına işaret etmektedir.



Şekil 1.3.2-2: 2008-2021 Yılları Arası İl Bazında PM₁₀ Ortalamaları

Şekil 1.3.2-3'de gösterilen il bazında GSYİH ortalamaları batı bölgelerde yüksek seviyede kümelenmeler gösterirken, doğu bölgelerde daha düşük seviyede kümelenmeler göstermektedir. GSYİH kümelenme bölge ve düzeyleri, Şekil 1.3.2-5'de verilen elektrik tüketimi ortalamaları kümelenme ve düzeyleri ile oldukça benzerdir. GSYİH,

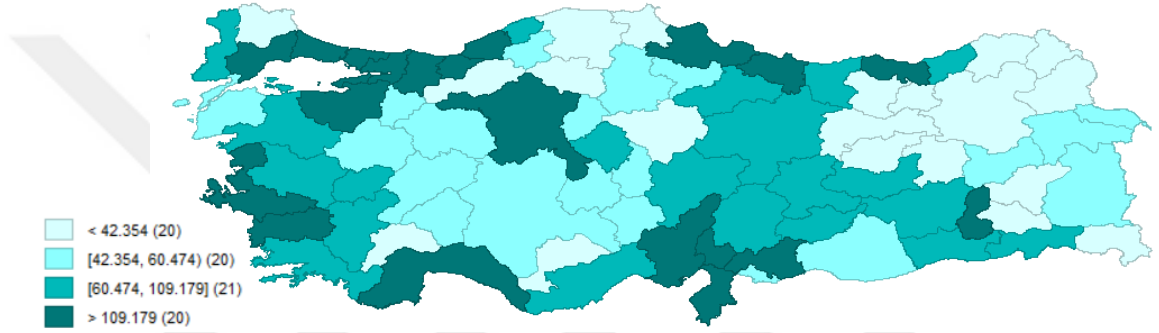
Tablo 1'de verilen Moran's I istatistiklerine göre 2008 ve 2012 yıllarında mekansal otokorelasyon görünmemekle birlikte, 2017 ve 2021 yıllarında mekansal otokorelasyon mevcuttur. 2017 yılı ile 2021 arasında kümelenmede düşük seviyede bir azalış gözlenmektedir.



Şekil 1.3.2-3: 2008-2021 Yılları Arası İl Bazında GSYİH Ortalamaları

Şekil 1.3.2-4’de görüleceği üzere, nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu en geniş kümelenme, Marmara denizinin kuzey ve doğu çevresini içine alan ve Karadeniz şeridi boyunca Zonguldak’a kadar uzanan alan olarak gözlenmektedir. Karadeniz’in doğusu ve Doğu Anadolu’nun kuzeyi ise düşük nüfus yoğunluğu kümelenmesi göstermektedir. Ankara hariç tutulduğunda, İç Anadolu’nun doğusu, batısından daha yüksek nüfus yoğunluğu kümelenmelerine sahiptir.

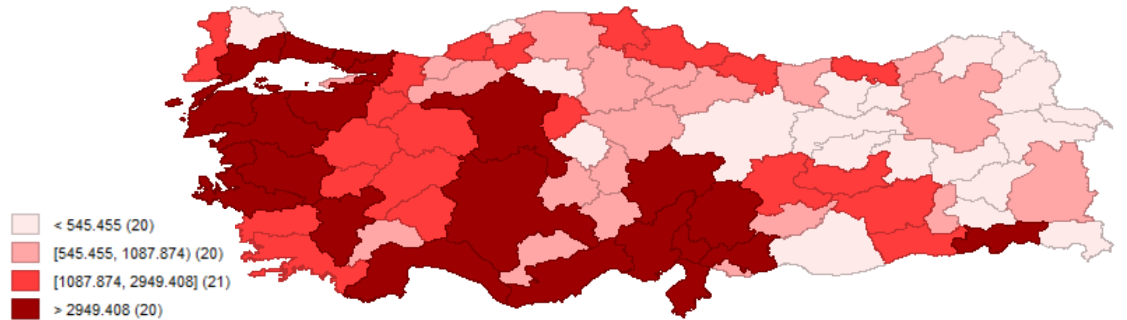
Tablo 1’de, Moran’s I istatistikleri çok güçlü mekansal otokorelasyona işaret etmekle birlikte, 2012 yılı itibari ile nüfus yoğunluğu kümelenmelerinin azalma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 1.3.2-4: 2008-2021 Yılları Arası İl Bazında Nüfus Yoğunluğu Ortalamaları

Şekil 1.3.2-5’de gösterilen elektrik tüketimi verileri, GSYİH ile benzer şekilde batıda yüksek, doğuda daha düşük seviyeli kümelenmeler göstermektedir. Ege kuzeyinden başlayıp Marmara denizinin etrafını içine alan bölge, İç Anadolu’nun batısı ve Akdeniz Bölgesi yüksek seviyede elektrik tüketimi kümelenmesi göstermektedir.

Moran’s I istatistiklerine göre, mekansal otokorelasyon olmadığına dair boş hipotez reddedilmiştir. 2008-2017 yılları arasında, elektrik tüketimi kümelenmelerinde azalış gerçekleşmiş olup, 2017 ve 2021 yıllarında kümelenmeler birbirine benzer düzeylerde gerçekleşmiştir.



Şekil 1.3.2-5: 2008-2021 Yılları Arası İl Bazında Elektrik Tüketimi Ortalamaları

Tablo 1: Moran's I İstatistikleri

	SO₂	PM₁₀	GSYİH	Nüfus Yoğ.	Elektrik
2008	0,144** [0,0199]	0,129*** [0,00145]	0,037 [0,10168]	0,093*** [0,00477]	0,152** [0,016]
2012	0,394*** [0,00036]	0,162** [0,01041]	0,034 [0,10489]	0,094*** [0,00447]	0,169** [0,01009]
2017	0,036 [0,21574]	0,103* [0,0567]	0,04* [0,09014]	0,106*** [0,00318]	0,184*** [0,00678]
2021	0,209*** [0,00127]	0,087* [0,0838]	0,045* [0,08155]	0,112*** [0,00243]	0,181*** [0,00779]

***, **, * sembolleri sırası ile %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı gösterir.

Moran I istatistikleri parantez içinde gösterilmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

2. LİTERATÜR

Ekonomik büyüme ve gelir eşitsizliği ilişkisini tanımlayan Kuznets Eğrisi, 1990'lı yıllardan itibaren çevresel göstergelere adapte edilmiş ve Çevresel Kuznets Eğrisi olarak literatürde kapsamlı şekilde çalışılmıştır. Tablo 2, Çevresel Kuznets eğrisini inceleyen bazı temel çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar arasında, Grossman ve Krueger tarafından gerçekleştirilen, Kuzey Amerika Serbest Ticaret Anlaşmasının Çevresel Etkileri (Grossman ve Krueger, 1991) ve Ekonomik Büyüme ve Çevre (Grossman ve Krueger, 1995) makaleleri, öncü çalışmalardandır. Grossman ve Krueger (1991), 42 ülke için 1977, 1982, 1988 yıllarını inceledikleri çalışmalarında, gelir düzeyi düşük seviyelerdeyken gerçekleşen kişi başı gelir artışının, SO₂ ve sis düzeylerinde artışa yol açtığı, diğer yandan gelir düzeyi yüksek seviyelerdeyken gerçekleşen kişi başı gelir artışının SO₂ ve sis düzeylerinde azalışa yol açtığını tespit etmişlerdir. 1995 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada ise ekonomik büyümenin ilk safhasında çevre kalitesinde kötüleşme, sonraki safhalarında iyileşme tespit etmişler ve çevre kalitesindeki kötüleşmenin ekonomik büyüme ile aynı şekilde gelişmediğini belirtmişlerdir (Grossman ve Krueger, 1995).

Uluslararası organizasyonlar da Çevresel Kuznets Eğrisi geçerliliği ve politika çıkarımları amacı ile çalışmalar yürütmüşlerdir. Panayotou (1993), tarafından Uluslararası Çalışma Örgütü tarafından yapılan çalışmada, 1980 yılı SO₂, NO_x, partikül madde verileri ve 1987 yılı ormansızlaşma verileri, gelişmiş ve gelişmekte olan ülke gruplarında için incelenmiştir. Çalışmada ÇKE Hipotezi teyit edilmiş ve ülkelerin eğriyi daha yassı hale getirebilmek için alabileceği önlemler tartışılmıştır. Panayotou (1997), bir diğer çalışmasında, gelişmiş ve gelişmekte olan 30 ülkenin 1982-1994 yılları arası SO₂, nüfus yoğunluğu ve politika değişkeni verilerini incelemiş ve ÇKE hipotezinin desteklendiğini teyit etmekle birlikte, çevresel politika uygulamalarının hava kirliliği üzerinde etkili olduğunu tespit etmiştir.

ÇKE hipotezini test eden çalışmalarda, genel olarak hangi gelir seviyesinden sonra çevresel iyileşmenin başlayacağı tahminlenmeye çalışılmıştır. Selden ve Song (1994) ise rassal ve sabit etkili panel veri modelleri ile dönüm noktasının yılını tahminlemeye çalışmışlardır. 30 ülkeye ait SO₂, NO_x, CO, partikül madde verileri, 1973-1975, 1979-1981, 1982-1984 dönemleri için incelenmiş ve ÇKE hipotezi teyit edilmiştir. Diğer yandan, dönüm noktaları en iyi baz senaryoda dahi 21. Yüzyılın ortaları, bazı senaryolarda ise 21. Yüzyılın sonları olarak hesaplanmıştır.

ÇKE hipotezini, gelirin yanı sıra farklı açıklayıcı değişkenleri de dikkate alarak inceleyen çalışmalar mevcuttur. Hipotezi, sosyoekonomik açıdan ele aldıkları çalışmalarında Torras ve Boyce (1998), 1977-1991 yılları arası 42 ülke için SO₂, sis, nehirlerdeki oksijen rejimi, sanitasyon atığı, çökmüş ağır metal verilerini incelemişlerdir. Bu verilerin bir diğer özelliği, Grossman ve Krueger tarafından 1991 ve 1995 yıllarında gerçekleştirilen 2 çalışmada kullanılan veriler olmalarıdır. Çalışmanın farklılaştığı nokta ise, açıklayıcı değişken olarak kişi başı gelirin yanı sıra, okur yazarlık, medeni haklar, gini katsayısı, şehirleşme faktörlerinin dikkate alınmasıdır. Çalışmanın sonucunda ÇKE hipotezi teyit edilmekle birlikte, bu etkinin sadece kişi başı gelirin bir fonksiyonu olmayacağı, daha eşitlikçi bir güç dağılımının da çevresel kaliteyi ileriye taşıyacağı öne sürülmüştür. Aynı yıl yapılan başka bir çalışmada Kaufmann, Davidsdottir, Garnham ve Pauly (1998), 23 ülke için 1974-1989 yıllarına ait SO₂ verileri ile çalışma yürütmüşler ve açıklayıcı değişken olarak gelirin yanı sıra ekonomik aktivitenin mekansal yoğunluğunu da dikkate almışlardır. Çalışmalarının sonucunda, gelir ve kirlilik ilişkisinin ÇKE hipotezini desteklemediğini, diğer yandan ekonomik aktivitenin mekansal yoğunluğunun kirlilik ile ters U şeklinde bir ilişkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Buradan hareketle, kirliliği önleyecek politikalar için ekonomik aktivitenin mekansal yoğunluğunun, gelir artışından daha etkin bir işaret olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Tablo 2: Çevresel Kuznets Eğrisini İnceleyen Bazı Temel Çalışmalar

Yazar ve Yılı	Dönem ve Bölge	Yöntem	Bağımlı Değişken	Açıklayıcı Değişken	Bulgular
Gene M. Grossman, Alan B. Krueger (1991)	1972-1977-1988 42 Ülke	Panel Veri	SO ₂ , Sis	Kişi Başı Gelir	Kişi başı gelir artışı, düşük seviyelerdeyken çevresel parametrelere olumsuz, daha yüksek seviyelerde olumlu etki etmektedir.
Gene M. Grossman, Alan B. Krueger (1995)	1972-1977-1988 42 Ülke	Panel Veri	Nehirlerde; Oksijen Rejimi, Sanitasyon Atığı, Çökmüş Ağır Metal	Kişi Başı Gelir	Ekonomik büyümenin ilk safhasında çevre kalitesinde kötüleşme, sonraki safhalarında iyileşme gerçekleşmektedir.
Theodere Panayotou (1993)	1980, 1987	Kesit Veri	SO ₂ , NO _x , SPM, Ormansızlaşma	Kişi başı Gelir	ÇKE teyit edilmiştir. Çevresel politika uygulamaları ile eğri daha yassı hale getirilebilir.
Theodere Panayotou (1997)	1982-1994 30 Ülke	Panel Veri	SO ₂ , Nüfus, Politika	Kişi başı Gelir Nüfus Yoğunluğu	ÇKE teyit edilmiştir. Çevresel politika uygulamaları etkindir.
Thomas M. Selden, Daqing Song (1994)	1973-75, 1979-81, 1982-84 30 Ülke	Panel Veri	SO ₂ , NO _x , CO	Kişi Başı Gelir Nüfus Yoğunluğu	ÇKE teyit edilmekle birlikte dönüm noktaları çok uzaktır.

Mariano Torras, James K. Boyce (1998)	1977-1991 42 Ülke	Panel Veri	SO ₂ , Sis Nehirlerde; Oksijen Rejimi, Sanitasyon Atığı, Çökmüş Ağır Metal	Kişi Başı Gelir Okur Yazarlık, Medeni Haklar, Gini Katsayısı, Şehirleşme	Eşitlikçi bir güç dağılımı çevresel kaliteyi ileriye taşıyacaktır.
Robert K Kaufmann, Brynhildur Davidsdottir, Sophie Garnham, Peter Pauly (1998)	1974-1989 23 Ülke	Panel Veri	SO ₂	Kişi Başı Gelir Ekonomik Aktivitenin Mekansal Yoğunluğu	Ekonomik aktivitenin mekansal yoğunluğu, gelir artışından daha etkindir.

Literatürde hava kirliliği ve gelir ilişkisi mekansal modellemeler ile kapsamlı şekilde incelenmiştir. Bu çalışmalardan bazıları Tablo 3’de gösterilmektedir. Rupasingha, Goetz, Debertin ve Pagoulatos, ABD’de ki 3029 ilçenin hava, su, toprak toksik kirliliklerini, gelir, nüfus yoğunluğu ve çeşitli sosyal parametreler ile incelemişler ve gelir ve toksik kirlilik arasında ters U şeklinde bir ilişki tespit etmişlerdir. Diğer yandan, gelirin kübik hali modele dahil edildiğinde toksik kirliliğin gelir ile birlikte arttığını görmüşlerdir. Fong, Salvo ve Taylor (2020), 9 Güney Asya ülkesininin SO₂, NO_x, PM_{2.5} verilerini kişi başı gelir, şehir nüfusu oranı ve çeşitli sosyoekonomik göstergeler ile mekansal panel yöntemi kullanarak incelemiş ve tüm çevresel değişkenlerin ÇKE hipotezi ile uyumlu olduğunu tespit etmiştir. Maddison (2006), 135 ülkeye ait SO₂ ve NO_x emisyonlarını kişi başı gelir ile birlikte incelemiş ve komşu ülkelerin emisyonlarının birbirlerinden ciddi şekilde etkilendiğini, ayrıca yüksek gelirli ülkelere yakınlığın kişi başı NO_x emisyonunu azalttığı tespit etmiştir.

Çin, hava kirliliğinin en yoğun araştırıldığı ülke olup, bölge, il, ilçe bazında bazında yapılmış çalışmalar mevcuttur. Liu, Chen ve Wei (2017), 272 Çin şehrinin toz verisini inledikleri çalışmalarında ÇKE hipotezini doğrulamışlardır. Li ve diğerleri, (2014), 2329 Çin ilçesinin SO₂, COD verilerini incelemiş ve kişi başı gelir, nüfus yoğunluğu ve endüstriyel yapının, SO₂ ve COD emisyonları ile yüksek korelasyona sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Zhang, Sharp ve Xu (2019) ise 31 Çin bölgesinin NO_x, PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, VOCs verilerini incelemiş ve NO_x, PM₁₀, VOC, PM_{2.5} verilerinin ÇKE ile uyumlu olduğunu, SO₂’nin ise ÇKE hipotezini desteklemediğini tespit etmiştir.

Hava kirliliği ve gelir ilişkisini incelerken, elektrik tüketimini de bir açıklayıcı faktör olarak modellerine ekleyen diğer çalışmalar, Cheng, Li ve Liu (2017), Xie, Fang ve Liu (2016), Burnett, Bergstrom ve Dorfman (2013) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Cheng, Li ve Liu (2017), hava kirliliğine etki eden faktörleri 2001-2012 dönemi 285 Çin şehiri için PM_{2,5}, nüfus, yoğunluğu, kişi başı gelir, enerji yoğunluğu, ikincil sanayi, trafik yoğunluğu, doğrudan yabancı yatırımlar, merkezi ısıtma verileri ile dinamik mekansal panel veri modeli kullanarak incelemişlerdir. Enerji yoğunluğu, elektrik tüketiminin GSYİH'ya oranı olarak dikkate alınmıştır. EKC hipotezini destekleyen ters U şeklindeki ilişkiyi desteklemekle birlikte, nüfus, yoğunluğu, enerji yoğunluğu, ikincil sanayi, trafik yoğunluğu ve merkezi ısıtmanın hava kirliliği üzerinde pozitif ve anlamlı etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Doğrudan yabancı yatırımlar konusunda ise herhangi bir değerlendirme yapmamışlardır.

Cheng, Li ve Liu (2017), yürüttükleri çalışmada, statik mekansal panel modelde, elektrik tüketimindeki %10'luk bir artışın, PM_{2,5} düzeyini %5'in üzerinde artırdığını, dinamik mekansal panel modelde ise bu etkinin %6,5'in üzerinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu durumu, Çin'in elektrik ihtiyacının %79-83 oranında termal santrallerden karşılanması ve bu termal santrallerin %70 kadarının enerjisinin kömür ile karşılanması ile ilişkilendirmişlerdir. Bu oran, ülkedeki elektrik enerjisinin yaklaşık %56'sının kömür üzerinden sağlandığı anlamına gelmektedir.

Enerji yoğunluğunu temsil etmesi amacı ile elektrik tüketimini modeline dahil eden bir diğer çalışma ise Xie, Fang ve Liu (2016) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, 2003-2013 dönemi 281 Çin şehirinin SO₂, ulaşım altyapısı, nüfus, kişi başı gelir, teknik gelişmişlik, enerji yoğunluğu verileri kullanılmıştır. Ulaşım altyapısı verisi, kişi başı asfaltlı yol alanı üzerinden temsil edilmiştir ve bu değişken çalışmanın odağını oluşturmakta olup, diğer açıklayıcı değişkenler kontrol değişkeni amacı ile kullanılmıştır. Mekansal Durbin modeli sonuçlarına göre, ulaşım altyapısı, nüfus, kişi başı gelir, teknik gelişmişlik ve enerji yoğunluğu SO₂ verileri üzerinde yukarı yönlü etkiye sahiptir, ayrıca EKC hipotezi desteklenmektedir. Bunların yanı sıra, ulaşım altyapısının, çevre üzerinde olumsuz yayılma etkisine sahip olduğu, teknik gelişmişliğin ise olumlu yayılma etkisine sahip olduğu tespit edilmiş, nüfus ve enerji yoğunluğu verilerinde anlamlı bir mekansal yayılma etkisi tespit edilememiştir.

Burnett ve diğerleri (2013), 1970 ve 2009 dönemi ABD şehir düzeyinde enerji emisyonlarını inceledikleri çalışmalarında, elektrik fiyatlarını, kömür fiyatlarını, doğalgaz fiyatlarını, ısıtma ve soğutma talebini ve geliri çevresel etki bir parametresi olarak ele almıştır. Parametrenin fiyat üzerinden ele alınma yaklaşımını, talep kanunu üzerinden açıklamış ve elektrik fiyatındaki artışın, elektrik kullanımını, dolayısıyla emisyonu azaltacağını öngörmüştür. Bu çalışmada, SAR sabit etkiler modelinde elektrik

fiyatlarında %10'luk bir artışın, emisyonu %2 civarında azaltacağı gözlenmiştir. SDM modelinde de benzer sonuç alınmıştır.

Wu, Guo, Luo ve Chen (2021), çevresel ve ekonomik verilerin yanı sıra, yağış, sıcaklık, nem, rüzgar hızı gibi meteorolojik verileri de dikkate almışlar ve kümelemiş dokuz Çin şehrinin, PM_{2,5}, ikincil endüstri oranı, yol yoğunluğu, nüfus yoğunluğu, kişi başı milli gelir, doğrudan yabancı yatırımlar 2000-2017 verilerinden faydalanarak PM_{2,5} yoğunluğunu etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Bunun sonucunda, PM_{2,5} konsantrasyonunun şehir kümelenmelerinin etrafında önce artmakta daha sonra, dalgalanma ile birlikte azalmakta olduğu tespit edilmiştir. Bulgulara göre, PM_{2,5} üzerinde etkisi olan meteorolojik faktörler sıcak ve hava basıncı, antropojenik faktörler nüfus yoğunluğu, yol yoğunluğudur. Bunun yanı sıra, ikincil endüstri ve kişi başı GSYİH ilk aşamada şehrsel kümelenme üzerinde çok önemli etki gösterirken daha sonra bu etki azalmaktadır. FDI ise şehrsel kümelenme üzerinde gelişmiş şehirlerde pozitif, az gelişmiş şehirlerde negatif etkiye sahiptir.

Tablo 3: Hava Kirliliği ve Gelir İlişkisini İnceleyen Mekansal Çalışmalar

Yazar ve Yılı	Dönem ve Bölge	Yöntem	Bağımlı Değişken	Açıklayıcı Değişken	Bulgular
Anil Rupasingha, Stephan J. Goetz, David L. Debertin, Angelos Pagoulatos (2005)	1997-2009 ABD İlçesi	Mekansal Hata, Mekansal Gecikme, Tobit Modeli	Hava, Su, Toprak Toksik Kirlilikleri	Kişi Başı Gelir, Yüksek Öğrenim, Etnik Çeşitlilik, Endüstri İşgücü	Gelir ve toksik kirlilik arasında ters U şeklinde bir ilişki vardır. Gelirin kübik hali modele dahil edildiğinde toksik kirlilik, gelir ile birlikte artmaktadır.
Letisha S. Fong, Alberto Salvo, David Taylor (2020)	1993-2012 Güney Asya 9 Ülkesi	Mekansal Durbin Hata, Mekansal Hata, Mekansal X Modelleri	SO ₂ , NO _x , PM _{2,5}	Kişi Başı Gelir, Şehir Nüfusu Oranı, Yenilenebilir Enerji Payı, Hizmet Sektörü, Birincil Enerji Yoğunluğu, Doğrudan Yabancı Yatırımlar	Tüm çevresel değişkenler, ÇKE hipotezi ile uyumludur.
David Maddison (2006)	1990-1995 135 Ülke	Mekansal Hata, Mekansal Gecikme, Mekansal X Modelleri	SO ₂ , NO _x , VOC, CO	Kişi Başı Gelir	SO ₂ ve NO _x emisyonları komşu ülkelerin emisyonlarından ciddi şekilde etkilenmektedir. Yüksek gelirli ülkelere yakınlığın kişi başı NO _x emisyonunu azalttığı görülmüştür.

Jianmin Liu Xia Chen Runchu Wei (2017)	2003- 2012 Çin 272 Şehir	Mekansal Durbin Modeli	Toz	Mali Yerelleştirme, Kişi Başı Gelir, Nüfus Yoğunluğu, Endüstriyel Yapı	Birimlerin mali yerelleştirilmesi, endüstriyel yapı ve nüfus yoğunluğu çevre kirliliği üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Kişi başı gelir ile çevre kirliliği arasında ters U şeklinde bir ilişki vardır.
Qian Li Jinping Song Enru Wang Hao Hu Jianhui Zhang Yeyao Wang (2014)	2000- 2010 Çin 2329 İlçe	Mekansal Hata Modeli Mekansal Gecikme Modeli	SO ₂ , COD	Kişi Başı Gelir, Nüfus Yoğunluğu, Üçüncül Endüstri	Kişi başı gelir, nüfus yoğunluğu ve endüstriyel yapının, SO ₂ ve COD emisyonları ile yüksek korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir.
Wen-Wen Zhang Basil Sharp Shi-Chun Xu (2019)	2005- 2015 Çin 31 Bölge	Mekansal Gecikme Modeli ve Mekansal Durbin Modeli	NO _x , PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂ , VOCs	Kişi Başı Gelir, Kömür Tüketim Oranı, İkincil Endüstri, Doğrudan Yabancı Yatırımlar, Araç Oranı, Orman Oranı, Teknik Gelişmişlik	NO _x , PM ₁₀ , VOC ve PM _{2.5} ÇKE ile uyumludur, SO ₂ ÇKE hipotezini desteklememektedir.
Zhonghua Cheng, Lianshui Li, Jun Liu (2017)	2001- 2012 Çin 281 Şehir	Dinamik Mekansal Model	PM _{2.5}	Kişi Başı Gelir, Nüfus Yoğunluğu, Elektrik Tüketimi, İkincil Endüstri Oranı, Trafik Yoğunluğu, Doğrudan Yabancı Yatırımlar	Kişi başı gelir ile hava kirliliği arasında ters U şeklinde ilişki tespit edilmiştir.
Rui Xie, Jiayu Fang, Cenjie Liu (2016)	2003- 2013 Çin 281 Şehir	Mekansal Durbin Modeli	SO ₂	Kişi Başı Gelir, Ulaşım Altyapısı, Nüfus Yoğunluğu, Enerji Yoğunluğu, Teknik İlerleme	Ulaşım altyapısı inşasının, teknolojik ilerlemenin ve enerji yoğunluğunun SO ₂ emisyonunu artırdığı, kentsel kirliliğin GSYİH ile ilişkisinin ise EKC'yi desteklediği tespit edilmiştir.
J. Wesley Burnett, John C. Bergstrom, Jeffrey H. Dorfman (2013)	2000- 2009 ABD Şehirleri	Mekansal Durbin, Mekansal Gecikme Modelleri	CO ₂	Kişi Başı Gelir, Elektrik, Kömür ve Doğalgaz Fiyatları, Sıcak Günler, Soğuk Günler	Ekonomik mesafe, şehir içi ve şehirler arası karbondioksit emisyonuna etki etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı pozitif ekonomik yayılma ve negatif fiyat yayılması mevcuttur.
Qilong Wu, Runxiu Guo, Jinhui Luo, Chao Chen (2021)	2000- 2017 Çin Şehirleri	Mekansal Gecikme Modeli	PM _{2.5}	Kişi Başı Gelir, Nüfus Yoğunluğu, İkincil Endüstri Oranı, Trafik Yoğunluğu, Doğrudan Yabancı Yatırımlar, Meteorolojik Faktörler	PM _{2.5} konsantrasyonu şehir kümelenmelerinin etrafında önce artmakta daha sonra, dalgalanma ile birlikte azalmaktadır. Kişi başı gelir ve ikincil endüstri ilk aşamada şehirselleşme üzerinde çok önemli etki gösterirken daha sonra bu etki azalmaktadır.

Türkiye’de hava kirliliği ve gelir ilişkisini inceleyen çok sayıda çalışma mevcuttur. Ancak bunların büyük bir kısmı kesit verilerle yapılmış çalışmalar olup, panel

veri ve mekansal model çalışmaları nispeten kısıtlıdır. Hava kirliliği ve gelir ilişkisini inceleyen ulusal çalışmalar Tablo 4’de mevcuttur.

Panel modeller ile yapılan çalışmalarda Akbostanci, Türüt-Aşık ve Tunç, (2009), Türkiye için ÇKE hipotezinin geçerli olmadığını tespit etmişlerdir. Benzer dönem ve verilerle yapılan başka bir çalışmada Akyıldız (2008), ÇKE’yi teyit eden sonuca ulaşmıştır. Mekansal model çalışmalarında ise Yildirim, Alpaslan ve Eker (2021), Tuzcu ve Usupbeyli, (2018), Karahasan ve Pinar, (2022), ÇKE hipotezini teyit etmeyen sonuçlara ulaşmışlardır. Diğer yandan Çatık, Karaçuka ve Huyugüzel Kışla (2016), Türkiye için ÇKE hipotezinin geçerli olduğuna tespit ulaşmıştır.

Akbostanci, Türüt-Aşık ve Tunç (2009), 1992-2001 yılları için sülfür dioksit SO₂ ve PM₁₀ yoğunlukları ile kişi başı GSYİH arasındaki ilişkiyi panel veri kullanarak 58 il için incelemişlerdir. Ulaşılan bulgular, ÇKE’yi teyit etmemiş, kişi başı GSYİH ile kirliliği temsil eden veriler arasına N şeklinde bir ilişki tespit edilmiştir. Akyıldız (2008) ise benzer bir çalışmayı 1990-2000 yılları arası SO₂ ve PM₁₀ yoğunlukları ile GSYİH verilerini dikkate alarak gerçekleştirmiş ve Türkiye’nin 56 ilini kapsayan panel veri çalışmasında, hava kirliliğinin gelir ile ilişkisinin N şeklinde olduğu tespit etmiştir.

Çatık, Karaçuka ve Huyugüzel Kışla (2016), 1990-2001 yılı periyodu için Türkiye’de 58 ile ait yıllık SO₂, PM₁₀, kişi başı gelir, nüfus yoğunluğu, imalat sanayi payı verilerini inceledikleri çalışmalarında mekansal modellerden faydalanmışlar ve belirli bir bölgenin çevre kalitesinin komşu bölgelerin ekonomik büyümesinden etkilendiğini tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra, Türkiye’deki iller için hava kirliliği gelir ilişkisinde EKC hipotezini destekleyen ters U şeklindeki ilişkiyi doğrulamışlardır.

Çatık ve diğerleri (2016)’nin yukarıda aktarılan çalışmasında, incelenen dönem boyunca PM₁₀ ve SO₂ verilerinde düşüş gözlenmiştir ve düşüşün, endüstriyel etkinin yoğun olduğu büyük şehirlerde kayda değer şekilde öne çıktığına dikkat çekilmiştir. Bu durum, 1990’ların ortalarından itibaren, elektrik üretimi ve ısınmada doğalgazın yaygın şekilde kullanılabilir hale gelmiş olması bağlamında yorumlanmıştır. 2005 yılına gelindiğinde elektrik üretiminin %50’sinin doğalgaz ile çalışan termal santrallerden karşılanması, enerji üretimi alanındaki bu yapısal değişimin etkisi olarak değerlendirilmiştir.

Çevre koruma çalışmalarında sosyal sermayenin rolünü inceledikleri çalışmalarında, Yildirim, Alpaslan ve Eker (2021), PM₁₀, GSYİH, merkezi hükümetin

çevre koruma harcamaları, nüfus yoğunluğu, imalat sanayi payı, tüketici fiyat endeksi 2009-2017 dönemi verilerini dikkate almışlar, endüstriyel üretimin çevre üzerinde olumsuz etkileri olduğunu, ancak GSYİH'nin bunu düzelten bir etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Bunların yanı sıra, anlamlı mekansal ve zamansal etkilerle birlikte U-şeklinde bir gelir çevre bozunumu ilişkisinin varlığını belirlemişlerdir.

Tuzcu ve Usupbeyli (2018), Türkiye'deki hava kirliliği ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla 81 ilin 2007-2013 yılları arası SO₂, PM₁₀, kişi başı gelir, nüfus yoğunluğu yıllık verilerini kullanarak mekansal etkileşimi dikkate alan bir model kullanmış ve Türkiye'de iller arası yoğun bir etkileşim olduğunu, bir ildeki hava kirliliği seviyesinin diğer komşu illerdeki kirliliği de arttırdığını tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra ÇKE hipotezinin Türkiye için desteklenmediği sonucuna varmışlardır.

Karahasan ve Pinar (2022), tarafından gerçekleştirilen çalışma Türkiye'de hava kirliliği ve gelir ilişkisini, gelir ve nüfus yoğunluğunun yanı sıra elektrik tüketimi ile birlikte ele alması açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada 2004 ile 2019 yılları arasında Türkiye'de ki 81 ile ait SO₂ ölçümleri kullanarak EKC hipotezinin varlığı test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, EKC hipotezinin temel beklentilerinin aksine, ekonomik kalkınma ile SO₂ seviyeleri arasında U şeklinde non-linear bir bağlantının varlığını tespit etmişlerdir.

Karahasan ve Pinar (2022), çalışmalarında ayrıca, nüfus yoğunluğu ve kişi başı elektrik tüketimi verilerini de incelenmiş olup, oluşturulan SAR, SEM, SAC modellerinde bu veriler için istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç elde edilememiştir. Alternatif olarak, SDM modeli de çalışılmış ancak dışsal değişkenlerde anlamlı mekansal etki bulunamadığı belirtilmiştir.

Tablo 4: Hava Kirliliği ve Gelir İlişkisini İnceleyen Ulusal Çalışmalar

Yazar ve Yılı	Dönem ve Bölge	Yöntem	Bağımlı Değişken	Açıklayıcı Değişken	Bulgular
Elif Akbostancı, Serap T. Aşık, Gül İ. Tunç (2009)	1992-2001 Türkiye 58 Şehir	Panel Veri	SO ₂ , PM ₁₀	Kişi Başı Gelir, Nüfus Yoğunluğu	Ulaşılan bulgular, ÇKE'yi teyit etmemiş, kişi başı GSYİH ile kirliliği temsil eden veriler arasında N şeklinde bir ilişki tespit edilmiştir.
Banu Akyıldız (2008)	1990-2000 Türkiye 56 Şehir	Panel Veri	SO ₂ , PM ₁₀	Kişi Başı Gelir, Nüfus Yoğunluğu	SO ₂ ve PM ₁₀ emisyonları gelir ile N şeklinde ilişkiye sahiptir. Türkiye'de Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezi desteklenmektedir.

Abdurrahman N. Çatık, Mehmet Karaçuka, Gül H. Kışla (2016)	1990-2001 Türkiye 58 Şehir	Mekansal Gecikme ve Mekansal Hata Modelleri	SO ₂ , PM ₁₀	Kişi Başı Gelir, Nüfus Yoğunluğu, İmalat Sanayi Payı	Belirli bir bölgenin çevre kalitesinin komşu bölgelerin ekonomik büyümesinden etkilendiği tespit edilmiştir. Türkiye'deki iller için hava kirliliği-gelir ilişkisinde ÇKE hipotezini destekleyen ters U şeklindeki ilişki doğrulanmıştır.
Jülide Yıldırım, Barış Alpaslan, Erdener E. Eker (2021)	2009-2017 Türkiye 81 Şehir	Dinamik Mekansal Durbin Modeli	PM ₁₀	GSYİH, Merkezi Hükümetin Çevre Koruma Harcamaları, Nüfus Yoğunluğu, İmalat Sanayi Payı	Endüstriyel üretim çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır ancak GSYİH bunu düzelteren bir etkiye sahiptir. Gelir-çevre bozunumu ilişkisi ÇKE'yi teyit etmemektedir.
Sevgi Eda Tuzcu, Akın Usupbeyli (2008)	2007-2013 Türkiye 81 Şehir	Mekansal Gecikme Modeli	SO ₂ , PM ₁₀	Kişi Başı Gelir, Nüfus Yoğunluğu	Türkiye'de iller arası yoğun bir etkileşim vardır ve bir ildeki hava kirliliği seviyesi diğer komşu illerdeki kirliliği de artırmaktadır. ÇKE hipotezini Türkiye için desteklenmemektedir.
Burhan C. Karahaslan, Mehmet Pınar (2022)	2004-2019 Türkiye 81 Şehir	Mekansal Hata, Mekansal Gecikme, Mekansal Otokorelasyon	SO ₂ ,	Kişi Başı Gelir, Nüfus Yoğunluğu, Elektrik Tüketimi	ÇKE teyit edilmemiştir. Nüfus ve elektrik tüketimi değişkenleri ile anlamlı bir sonuca ulaşılamamıştır.

Bu tez çalışması, Türkiye'de hava kirliliği ve gelir ilişkisini inceleyen mevcut çalışmalar ile kıyaslandığında, incelenen dönem, model ve açıklayıcı değişkenlerde elektrik tüketiminin de dikkate alınması açısından, Akbostancı ve diğerleri (2009) ve Akyıldız (2008), Çatık ve diğerlerinin (2016) çalışmalarından farklılaşmaktadır. Elektrik tüketiminin modele dahil edilmesi ve daha geniş bir veri seti ile çalışılması, Güçlü (2016), Tuzcu ve Usupbeyli (2018), Yıldırım ve diğerleri (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmalardan ayrışmaya katkı sağlamıştır.

Bu çalışma ile en çok ortak noktası olan, 2004-2019 verileri ile gerçekleştirilen Karahaslan ve Pınar (2022) çalışmasında, hava kalitesi göstergesi olarak SO₂ değerleri dikkate alınmış, eksik SO₂ verileri için, ilgili ilin bulunduğu bölgenin verileri kullanılmış ve mekansal hata, mekansal gecikme, mekansal otokorelasyon modelleri oluşturulmuştur. Bu tez çalışmasında ise 2008-2021 verileri ile Elhorst (2014a) tarafından önerilen yöntemle göre mekansal Durbin modeli kullanılmıştır. SO₂'nin yanı sıra PM₁₀ değerleri de ayrıca incelenmiştir. Eksik SO₂ ve PM₁₀ verileri oldukça az olmakla birlikte, bu eksikler bölgelerle ilişkilendirilmeden, interpolasyon yöntemi ile giderilmiştir. Son olarak, Karahaslan ve Pınar (2022) çalışmalarında elektrik tüketimi değişkeni için istatistiksel olarak anlamlı bir sonuca ulaşılmamışken, bu tez çalışmasının sonucunda elektrik tüketiminin çevresel göstergeler üzerinde beklenen yönde ve istatistiksel olarak anlamlı etkisi tespit edilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. TÜRKİYE'DE İLLER ARASI HAVA KİRLİLİĞİNİ BELİRLEYEN İKTİSADİ FAKTÖRLER ÜZERİNE UYGULAMA ÇALIŞMASI

3.1. Veriler

Çalışmada, 2008 ve 2021 yılları arası veriler kullanılmış olup, tüm veriler, modellerde doğal logaritma değerleri ile kullanılmıştır. Verilere ait detaylar aşağıdaki gibidir;

3.1.1. SO₂ ve PM₁₀

2008-2012 ve 2015-2021 dönemlerine ait SO₂ ve PM₁₀ verileri Avrupa Çevre Ajansı, Avrupa Hava Kalitesi Portalı (European AQ Portal) üzerinden sağlanmıştır. Avrupa Hava Kalitesi Portalı tarafından sunulan veriler, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı üzerinden sağlanmaktadır ancak Avrupa Hava Kalitesi Portalı, medya mutlak sapma yöntemi ile aykırı değerleri ham veriden ayırıştırarak sunmaktadır. Bu sebeple, öncelikli olarak Avrupa Hava Kalitesi Portalı verileri tercih edilmiştir.

Türkiye'ye ait 2013 ve 2014 dönemleri verileri Avrupa Hava Kalitesi Portalı'nda bulunmadığı için, ilgili iki yıla ait veriler Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) üzerinden sağlanmıştır. Aykırı değerler, Harrell Davis Dağılım Tahmincisi yöntemi ile tespit edilip ayıklanmıştır (Harrell ve Davis, 1982).

İncelenen dönemde, Türkiye'nin 81 ili için 359 ayrı istasyonda PM₁₀ ve SO₂ verisi ölçülmüştür. Bu istasyonlardan alınan ölçümlerin bir kısmı, incelenen dönemi temsil edebilecek veriye sahip değildir. Bazı istasyonların, incelenen dönemin son yıllarında devreye girmesi veya sadece ilk yılları kapsamaması gibi durumlar söz konusudur. Bu durumun veri yapısında tutarsızlığa yol açmaması için, incelenen dönemin önemli bir kısmını kapsayan istasyonlar seçilmiş olup, seçilen istasyonların il bazında aritmetik ortalamaları dikkate alınmıştır. Bu kapsamda, PM₁₀ verileri 126 istasyon ve SO₂ verileri 141 istasyondan sağlanmıştır.

SO₂ verisi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından, kükürt oranı, yüksek yağlar, kömür ve linyitin yakılmasından kaynaklanan ve çoğunlukla ısınma, sanayi ve trafik kaynaklı kirletici olarak tanımlanmıştır. Avrupa Çevre Ajansı ve Çevre ve Şehircilik

Bakanlığı tarafından sağlanan ve bu çalışmada kullanılan SO₂ verisinin ölçü birimi mikrogram/m³'dür.

PM₁₀ verisi, hava içinde askıda bulunan partiküllerin, aerodinamik çapları 10 mikrometreden küçük olanları içermektedir. Esas kaynakları enerji tesisleri, fabrikalar, inşaat faaliyetleri, yangınlar ve rüzgarlardır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı). Bu çalışmada kullanılan PM₁₀ verisinin ölçü birimi, SO₂ verisine benzer şekilde mikrogram/m³'dür.

3.1.2. GSYİH

Türkiye İstatistik Kurumu tarafından sağlanan, 2009 yılı Türk Lirası sabit fiyatları ile il bazında alıcı fiyatları ile gayrisafi yurt içi hasıla verileri dikkate alınmıştır. Çevresel Kuznets Eğrisi çerçevesinde gerçekleştirilen öncü uluslararası çalışmalarda, Grossman ve Krueger (1991), Grossman ve Krueger (1995), Panayotou (1993), Selden ve Song (1994), Torras ve Boyce (1998), gelirin hava kirliliği üzerindeki etkisinin, daha düşük gelir düzeylerinde pozitif işaretli, daha yüksek gelir düzeylerinde negatif işaretli olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer yandan, Türkiye için gerçekleştirilen çalışmalarda, Akbostancı ve diğerleri (2009), Yildirim ve diğerleri (2021), Tuzcu ve Usupbeyli (2018), Karahasan ve Pınar (2022), gelirin hava kirliliği üzerindeki etkisinin, daha düşük gelir düzeylerinde negatif işaretli, daha yüksek gelir düzeylerinde pozitif işaretli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çatık ve diğerleri (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları ise ÇKE eğrisi hipotezi teyit etmesi ile Türkiye için yapılan diğer çalışmaların sonuçlarından ayrılmaktadır. Bu tez çalışmasında, çevresel Kuznets eğrisi hipotezinin, uluslararası literatürde edindiği yer bağlamında, hipotez ile uyumlu olacak şekilde gelirin hava kirliliği üzerindeki etkisinin, daha düşük gelir düzeylerinde pozitif, daha yüksek gelir düzeylerinde negatif olması beklenmektedir. Bununla birlikte Türkiye özelinde yapılan çalışmalarda, çevresel Kuznets eğrisi hipotezinin desteklenmediğine dair bulguların daha yoğun olması da göz ardı edilmemektedir.

3.1.3. Nüfus Yoğunluğu

Türkiye İstatistik Kurumu tarafından sağlanan il bazında nüfus verileri, Harita Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan il yüzölçümü verilerine bölünerek dikkate alınmıştır. Xie ve diğerleri (2016) ve Cheng, Li ve Liu (2017b), nüfus yoğunluğunun hava kirliliği üzerinde pozitif işaretli etki yaratını tespit etmişlerdir. Türkiye için gerçekleştirilen mekansal panel model çalışmalarında, Çatık ve diğerleri (2016), nüfusun hava kirliliği üzerinde pozitif işaretli, Karahasan ve Pınar (2022) ise negatif işaretli

olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu tez çalışmasında nüfus yoğunluğu değişkeninin, hava kirliliği üzerindeki etkisini gösteren işaretin pozitif olması beklenmektedir.

3.1.4. Elektrik Tüketimi

Türkiye İstatistik Kurumu tarafından sağlanan il bazında elektrik tüketimi verileri megawatt.saatt biriminde ile kullanılmıştır. Birinci bölümde ele alındığı üzere, Türkiye’de enerji üretiminin dikkate değer bir kısmının termik santrallerden sağlanması sebebi ile elektrik tüketiminin, hava kirliliği üzerinde etkisinin pozitif işaretli olması beklenmektedir.

3.2. Verilere Ait Genel Tanımlayıcı İstatistikler

Tablo 5, verilere ait tanımlayıcı istatistikleri göstermektedir. Gelir (GSYİH) ve elektrik tüketimi (Elektrik) verilerinin standart sapmaları daha yüksek olmasına rağmen, verilerin ortalama veya medyan değerleri göz önüne alınarak değerlendirildiğinde SO₂, PM₁₀ ve nüfus yoğunluğu (Nüfus) değişkenlerinin standart sapmaları daha yüksektir. PM₁₀ verisi sola çarpık olup diğer veriler sağa çarpık bir yapıdadır. Çarpıklık katsayıları +/- 1 aralığında ya da bu aralığa çok yakın durumdadır, bu sebeple verilerin normal dağılımdan önemli ölçüde saptığı anlaşılmaktadır. Elektrik tüketimi verileri normale göre daha basık, diğer veriler ise normale göre dik yapıdadır.

Tablo 5: Verilere Ait Tanımlayıcı İstatistikler

	SO ₂	PM ₁₀	GSYİH	Elektrik	Nüfus
Ortalama	2,512	3,984	22,710	13,976	4,250
Medyan	2,434	3,998	22,510	13,858	4,096
Maksimum	5,156	5,420	27,172	17,542	7,973
Minimum	0,299	0,040	20,240	10,982	2,314
Stand. Sapma	0,733	0,424	1,107	1,250	0,847
Çarpıklık	0,608	-1,090	0,948	0,233	1,092
Basıklık	0,924	6,819	1,639	-0,124	2,928
Gözlem Sayısı	1134	1134	1134	1134	1134

Tablo 6, değişkenlere ait korelasyon matrisini göstermektedir. Elektrik tüketimi – Gelir, Elektrik tüketimi – Nüfus Yoğunluğu, Gelir– Nüfus Yoğunluğu değişkenleri arasında yüksek pozitif korelasyon gözlenmektedir.

Tablo 6: Verilere Ait Korelasyon Matrisi

	SO ₂	PM ₁₀	GSYİH	Elektrik	Nüfus
SO ₂	1,00	0,28	-0,14	-0,11	-0,15
PM ₁₀	0,28	1,00	0,00	0,01	0,06
GSYİH	-0,14	0,00	1,00	0,95	0,75
Elektrik	-0,11	0,01	0,95	1,00	0,75
Nüfus	-0,15	0,06	0,75	0,75	1,00

3.3. Yöntem

3.3.1. Mekansal Bağımlılık

3.3.1.1. Mekansal Bağımlılık Kavramı

Mekansal olmayan klasik bir kesit veri regresyon modelinde gözlemler birbirinden bağımsızken, mekansal modellerde bir gözlem yakınındaki bir gözlemi etkileyebilir ve bu durum eşanlı veri üretim sürecine neden olabilir (LeSage ve Pace, 2009, s2);

LeSage ve Pace (2009) mekansal etkileri, merkezi bir bölgenin sağında ve solunda seri olarak sıralanmış, diğer bir ifade ile merkeze ulaşmak için aynı yolu kullanan, uzaklık ve nüfus yoğunlukları farklı olan bölgelerin, merkeze ulaşım sürelerini uzaklık ve nüfus yoğunluğu üzerinden tahminleyen bir regresyon üzerinden açıklamıştır. Bu örnekte, sıradan bir günde merkeze yakın bir bölgede oluşan trafik sıkışıklığı, aynı zamanda daha uzak yerlerden ulaşım sağlayan birimlerin ulaşım sürelerini uzatacaktır ancak bu süre uzaması, nüfus yoğunluğu ve uzaklıktan ziyade komşu bölgenin sıkışıklık etkisinden kaynaklanmaktadır.

LeSage ve Pace (2009), modelde ihmal edilmesi muhtemel değişkenlerin etkilerinin de mekansal etkiler ile yakalanabileceğini belirtmektedir. Ev fiyatlarını yalnızca evlerin karakteristiğine bağlı değerlendiren hedonik fiyatlama modelinde, tek değişkenin evin karakteristik özelliği olması beklenirken, evin etrafındaki okul, okul kalitesi, mağaza gibi etkenlerin, ev fiyatlarını etkileyebileceği belirtilmiş ve modelde ihmal edilen bu etkilerin, mekansal etkiler tarafından yakalanabileceği açıklanmıştır.

3.3.2. Mekansal Ağırlık Matrisleri

Mekansal ağırlık matrisleri, sistemdeki her bir konumu etkileyen diğer konumları belirtir ve aşağıdaki gibi gösterilir;

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & w_{nn} \end{pmatrix}$$

Burada n mekansal birimlerin sayısını gösterir ve matristeki her bir eleman (w_{ij}) satır ve sütunları oluşturur ve birimlerin birbirleri arasındaki ilişkiyi gösterir (Anselin, 2003).

3.3.3. Moran's I Testi

Moran's I testi, yaygın kullanılan bir mekansal otokorelasyon testidir ve (Moran, 1948) tarafından önerilen I istatistiğine dayanarak Cliff ve Ord (1981) tarafından geliştirilmiştir. Moran's I istatistiği aşağıdaki gibidir (Anselin ve Hudak, 1992);

$$I = (N/S_0)y'Wy/y'y \quad S_0 = \sum_i \sum_j w_{ij}$$

Burada N , gözlem sayısı, W , $N \times N$ boyutlu mekansal ağırlık matrisi, S_0 mekansal ağırlık matrisi toplamlarıdır. Mekansal ağırlık matrisine uygulanan standartlaştırma sonrasında $N=S_0$ olur ve Moran's I istatistiği aşağıdaki hali alır;

$$I = \frac{y^T W y}{y^T y}$$

Moran's I testinde boş hipotez, mekansal otokorelasyon olmadığı, alternatif hipotez ise mekansal otokorelasyon olduğu şeklindedir (Anselin ve Hudak, 1992).

3.3.4. Kesit Veri Modelleri

Mekansal ekonometrik bir modelde gözlenebilecek etkileşimler, bağımlı değişkenin içsel etkileri, bağımsız değişkenler arasındaki dışsal etkileşim ve hata terimleri arasındaki etkileşim olarak sınıflandırılabilir. Mekansal ekonometrinin odak noktası, mekansal gecikme modeli olarak da bilinen mekansal otoregresif (SAR) model ve mekansal hata modeli (SEM) olmuştur. Mekansal gecikme modeli, içsel etkileşimi içerirken, mekansal hata modeli, hata terimleri arasındaki etkileşimi içerir (Elhorst, 2014, s.5). Hem içsel

etkileşimi içeren, hem de hata terimleri arasındaki etkileşimi içeren modelleri Anselin (1988), mekansal durbin modeli olarak tanımlamıştır.

Kısıtlanmamış bir Durbin modeli aşağıdaki gibidir (LeSage ve Pace, 2009);

$$y = \rho W y + \alpha m + X\beta + WX\theta + \varepsilon$$

$$\varepsilon = \lambda W \varepsilon + u$$

Manski modeli olarak bilinen bu modeli, genel/geniş mekansal model olarak da ifade edebiliriz. Burada, bağımsız açıklayıcı değişken sayısı K olmak üzere, W , $N \times N$ boyutunda ağırlık matrisini, y , $N \times 1$ boyutunda bağımlı değişkeni, X , $N \times K$ boyutunda bağımsız (dışsal) değişkeni, ρ mekansal otoregresif katsayısı, α sabit terimi, β ve θ , $K \times 1$ boyutunda regresyon katsayılarını, Wy bağımlı değişkenin mekansal gecikmesini, WX bağımlı değişkenin mekansal gecikmesini, λ mekansal otoregresif parametreyi göstermektedir.

Manski modelinde $\theta=0$ ve $\lambda=0$ kabul edildiğinde, en sık kullanılan modellerden biri olan mekansal gecikmeli model elde edilir (Anselin, 1988);

$$y = \rho W y + X\beta + \varepsilon$$

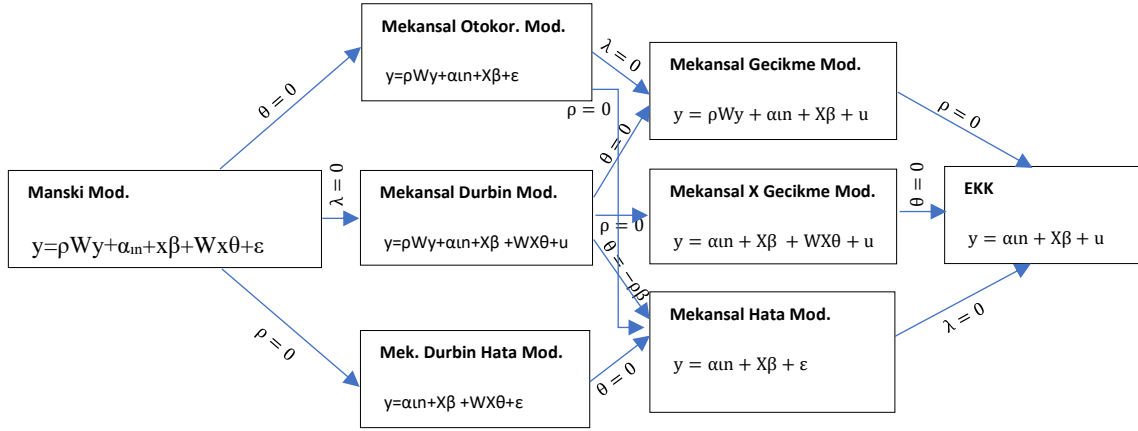
Mekansal gecikme parametresi $\rho W y$ eşitliğin sol tarafına alınıp, denklem y için çözüldüğünde aşağıdaki model oluşur (Anselin, 1988);

$$y = (I - \rho W)^{-1} X\beta + (I - \rho W)^{-1} \varepsilon$$

Yukarıdaki eşitlikte, mekansal otoregresif katsayı $\rho=0$ kabul edildiğinde, mekansal hata modeline ulaşılır (Anselin, 1988);

$$y = X\beta + (I - \lambda W)^{-1} u$$

P. Elhorst ve Vega (2013), kesit veriler için mekansal bağımlılık modelleri arasındaki ilişkiyi aşağıdaki gibi şematize etmiştir;



Şekil 3.3.4-1: Kesit Veriler İçin Mekansal Bağımlılık Modelleri Arasındaki İlişki (Elhorst ve Vega, 2013)

3.3.5. Panel Veri Modelleri

Önceki bölümde kesit veri için belirtilen kısıtlanmamış Durbin modeline, diğer bir ifade ile geniş mekansal modele zaman etkenini dahil etmek için, değişkenlere ve hata terimlerine t olarak ifade edilen zaman etkisi dahil edildiğinde, panel veri için geniş model aşağıdaki gibi oluşur (Elhorst, 2014a);

$$y_t = \rho W y_t + \alpha_n + X_t \beta + W X_t \theta + \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_t = \lambda W \varepsilon_t + u_t$$

Yukarıdaki modelde, t , 1'den T zamanına kadar olan zaman boyutunu ifade etmekle birlikte y_t , $N \times 1$, X_t ise $N \times K$ vektör boyutuna sahiptir. Kesit veri bölümünde açıklan şekilde kısıtlar uygulandığında EKK, mekansal gecikme, mekansal X gecikme, mekansal hata, mekansal otokorelasyon, mekansal Durbin, mekansal Durbin hata modelleri tahmin edilebilir. Diğer yandan mekansal birimler arka plandaki çeşitli değişkenler sebebi ile farklılaşmaktadır. Mekan ve zaman bağlamında oluşan bu heterojenliği dikkate almamak sapmalı tahmincilerle karşılaşma riskini artırır. Mekan bazında heterojenliği dikkate almak için modele, her mekan birimine özel bir μ_i değişken sabiti dahil edilir (Elhorst, 2014a).

Benzer şekilde, tüm mekan sabit değişkenlerin, zaman bazında heterojenliğini dikkate almak için, zamana özel etkileri temsil eden değişken sabiti ξ_t modele dahil edilir

(Arellano, 2003; Hsiao, 2005; Baltagi, 2021; akt. Elhorst, 2014). Mekan ve zaman bağlamında heterojenliğin dahil edildiği model aşağıdaki gibi oluşur (Elhorst, 2014a).

$$y_t = \rho W y_t + \alpha_n + X_t \beta + W X_t \theta + \mu + \xi_t \mu + \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_t = \lambda W \varepsilon_t + u_t$$

Mekana ve zamana özel etkiler, sabit ve rassal etkiler olarak ele alınabilir. Sabit etkiler modelinde her bir mekansal birim ve periyod için bir kukla değişken tanımlanır. Rassal etkiler modelinde ise ξ_i ve μ_i ortalamaları ve varyansları sıfır olacak şekilde bağımsız ve özdeş dağılır. Bunun yanı sıra ξ_t , μ_i ve u_{it} 'nin bağımsız olduğu kabul edilir (Elhorst, 2014a).

3.3.5.1. Sabit Etkiler Modeli

y_i , Nx1 ve X_i , NxK vektör boyutuna sahip olmak üzere, mekana özel etkileri barındıran ancak mekansal etkileşim bulunmayan standart bir havuzlanmış regresyon modeli aşağıdaki gibidir (Elhorst, 2014a);

$$y_{it} = x_{it} \beta + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

Mekana özel etkiler sabit olarak alınmak istenirse y ve x değişkenleri indirgenerek mekansal sabit etkiler μ_i eşitlikten çıkarılır ve bu dönüşüm aşağıdaki formu alır ve dönüştürülmüş eşitlik EKK yöntemi ile çözülür⁴ (Elhorst, 2014a);

$$y_{it}^* = x_{it}^* \beta + \varepsilon_{it}^* \quad y_{it}^* = y_{it} + \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y_{it} \quad x_{it}^* = x_{it} + \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T x_{it}$$

$$\beta = (X^{*T} X^*)^{-1} X^{*T} y^* \quad \sigma^2 = (y^* - X^* \beta)^T (y^* - X^* \beta) / (NT - N - K) \quad \mu_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y_{it} - x_{it} \beta$$

İndirgenmiş eşitliğin log-olabilirlik fonksiyonu, β 'nin maksimum olabilirlik tahmincisi olduğu için, eşitlik EKK yerine maksimum olabilirlik tahmincisi kullanılarak da tahmin edilebilir (Elhorst, 2014a);

⁴ Sembollerin sağ üst köşesinde bulunan "T" sembolü transpozu göstermektedir.

$$\text{Log}L = -\frac{NT}{2} \log(2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (y_{it}^* - x_{it}^* \beta)^2$$

$$\beta = (X^{*T} X^*)^{-1} X^{*T} y^* \quad \sigma^2 = (y^* - X^* \beta)^T (y^* - X^* \beta) / (NT)$$

$$\mu_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y_{it} - x_{it} \beta$$

3.3.5.2. Rassal Etkiler Modeli

Rassal etkiler modelinin maksimum olabilirlik parametre tahmincilerini gözlemlemek için, iki aşamalı yinelemeli bir yöntem izlenir. Bu yöntemde rassal etkiler modelinin aşağıdaki verilen log olabilirlik fonksiyonunda φ ile temsil edilen kesit verinin ağırlığı sıfır kabul edilerek β ve σ^2 sabit etkiler modelinde olduğu gibi bulunur (Breusch, 1987; akt. Elhorst, 2014);

$$y_{it}^{\bullet} = y_{it} - (1 - \varphi) \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y_{it} \quad x_{it}^{\bullet} = x_{it} - (1 - \varphi) \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T x_{it}$$

$$\text{Log}L = -\frac{NT}{2} \log(2\pi\sigma^2) + \frac{N}{2} \log(\varphi^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (y_{it}^{\bullet} - x_{it}^{\bullet} \beta)^2$$

$$\beta = (X^{\bullet T} X^{\bullet})^{-1} X^{\bullet T} y^{\bullet} \quad \sigma^2 = (Y^{\bullet} - X^{\bullet} \beta)^T (Y^{\bullet} - X^{\bullet} \beta) / (NT)$$

İkinci aşamada φ cinsinden dönüştürülmüş log-olabilirlik fonksiyonu mevcut β ve σ^2 değerleri ile φ için çözümler (Elhorst, 2014a);

$$\text{Log}L = -\frac{NT}{2} \log \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T y_{it} - (1 - \varphi) \frac{1}{T} \sum_{t'=1}^T y_{it'} \right. \\ \left. - \left[x_{it} - (1 - \varphi) \frac{1}{T} \sum_{t'=1}^T x_{it'} \right] \beta \right\} \frac{N}{2} \log \varphi^2$$

Rassal etkiler modeli, mekansal hata ve mekansal gecikme modeli kapsamında incelenebilir. Bu çalışmada sabit etkiler modeli tercih edildiği için rassal etkiler modeline daha detaylı değinilmemiştir.

3.3.5.3. Mekansal Gecikmeli Sabit Etkiler Modeli

Mekansal gecikmeli model bağımlı değişkenin mekansal gecikmesini modele dahil ederek içsel etkileşim etkilerini dikkate alır. Bu yöntemde temel ekonometrik problem, mekansal gecikme teriminin, zaman serisinin aksine endojen olmasıdır. Diğer bir ifade ile zaman serilerinde tek yönlü olan ilişkinin, mekansal gecikmeli modelde iki yönlü olmasıdır. Bunun sonucunda, mekansal sistemdeki bağımlı değişken değerlerinin birlikte belirlenmesinin, sistemdeki diğer lokasyonlardaki açıklayıcı değişkenler ve hata terimlerinin nasıl bir fonksiyonu olduğunu belirleyen mekansal çarpan faktörü devreye girer (Anselin, Gallo ve Jayet, 2008, s630-631). Mekansal gecikmeli model aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Elhorst, 2014, s44);

$$y_{it} = \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt} + x_{it} \beta + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

Tanımlanmış modelin hata teriminin bağımlı değişkene göre Jacobian dönüşümü yapılmış maksimum olabilirlik fonksiyonu ise aşağıdaki gibidir (Anselin, 1988, s63);

$$\begin{aligned} \text{Log}L &= -\frac{NT}{2} \log(2\pi\sigma^2) + T \text{Log}|I_N - \rho W| \\ &\quad - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (y_{it} - \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt} - x_{it} \beta + \mu_i)^2 \end{aligned}$$

Log olabilirlik fonksiyonunun μ_i 'ye göre kısmi türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde ve sonrasında denklem μ_i için çözüldüğünde aşağıdaki sonuca ulaşılır (Elhorst, 2014, s45);

$$\frac{d\text{Log}L}{d\mu_i} = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{t=1}^T (y_{it} - \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt} - x_{it} \beta + \mu_i) = 0, \quad i = 1, \dots, N$$

$$\mu_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (y_{it} - \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt} - x_{it} \beta), \quad i = 1, \dots, N$$

Elde edilen μ_i log olabilirlik fonksiyonunda kullanılır ve sabit etkiler modeli bölümünde açıklanan indirgeme yaklaşımı uygulanırsa, β , ρ ve σ^2 cinsinden log olabilirlik fonksiyonu elde edilir (Elhorst, 2014, s45);

$$\begin{aligned} \text{Log}L = & -\frac{NT}{2} \log(2\pi\sigma^2) + T \text{Log}|I_N - \rho W| \\ & - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \{y_{it}^* - \rho [\sum_{j=1}^N (y_{it} - w_{ij}y_{jt})^* - x_{it}^* \beta]\}^2 \end{aligned}$$

3.3.5.4. Mekansal Hata Sabit Etkiler Modeli

Mekansal hata modelinde, mekansal gecikmenin, hata terimindeki mekansal otoregresif sürecin formunu alacağı yaklaşımı vardır (Anselin ve Hudak, 1992, s517). Mekansal gecikme modeli aşağıdaki gibidir (Elhorst, 2014, s44);

$$\begin{aligned} y_{it} &= x_{it} \beta + \mu_i + u_{it} \\ u_{it} &= \lambda \sum_{j=1}^N w_{ij} u_{jt} + \varepsilon_{it} \end{aligned}$$

Burada λ mekansal otoregresif sabiti, ε_{it} ise bağımlı değişken ile korelasyonu olmayan ve homoskedastik hata terimini temsil eder. Bu modelde boş hipotez $\lambda=0$ 'dır (Anselin ve Hudak, 1992, s517).

Mekana özel etkilerin sabit kabul edildiği durumda modelin maksimum olabilirlik fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Elhorst, 2014, s47);

$$\begin{aligned} \text{Log}L = & -\frac{NT}{2} \log(2\pi\sigma^2) + T \text{Log}|I_N - \lambda W| \\ & - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \{y_{it}^* - \lambda (\sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt})^* - [x_{it}^* - \lambda (\sum_{j=1}^N w_{ij} x_{jt})^*] \beta\}^2 \end{aligned}$$

Veri λ değeri için β ve σ^2 tahmincileri aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned} \beta = & ([X^* - \lambda(I_T \otimes W) X^*]^T [X^* - \lambda(I_T \otimes W) X^*])^{-1} \\ & \times [X^* - \lambda(I_T \otimes W) X^*]^T [y^* - \lambda(I_T \otimes W) y^*]^T \end{aligned}$$

$$\sigma^2 = \frac{e(\lambda)^T e(\lambda)}{NT}$$

$$e(\lambda) = y^* - \lambda(I_T \otimes W) y^* - [X^* - \lambda(I_T \otimes W) X^*] \beta$$

Buradan hareketle λ cinsinden maksimum olabilirlik fonksiyonu aşağıdaki gibi dönüştürülür (Elhorst, 2014, s47);

$$\text{Log}L = -\frac{NT}{2} + \log[e(\lambda)^T e(\lambda)] + T \text{Log}|I_N - \lambda W|$$

Bu fonksiyonun, veri β ve σ^2 tahmincileri ile λ 'ya göre maksimize edilmesi, λ 'nın maksimum olabilirlik tahmincisini verir. Sonraki aşamalarda, β , σ^2 ve λ yakınsama gerçekleşene kadar iteratif olarak tahmin edilir.

3.3.5.5. Mekansal Durbin Modelleri

Mekansal gecikmeli model ve mekansal hata modellerinde, dışsal etkileri de modellemek amacı ile açıklayıcı değişkenin, ağırlık matrisi ile birlikte modele dahil edilmesi, diğer bir ifade ile (X) değişkeninin, $(X WX)$ olarak değiştirilmesi sonucunda mekansal Durbin modelleri ortaya çıkar. Bu değişim mekansal gecikme modelinde uygulandığında mekansal Durbin modeli, mekansal hata modelinde uygulandığında mekansal Durbin hata modeli olarak sınıflandırılır (Elhorst, 2014, s39). Mekansal Durbin modelinde komşu bölgelerin etkileri aşağıdaki gibi ifade edilir (LeSage ve Pace, 2009);

$$(I_n - \rho W_t)y = X_t \beta + W X_t \theta + \alpha_n + \varepsilon_t$$

$$y = \sum_{r=1}^k S_r(W) x_{rt} + V(W) \alpha_n + V(W) \varepsilon_t$$

$$S_r(W) = V(W)(I_n \beta_r + W \beta \theta_r)$$

LeSage ve Pace (2009) tarafından açıklandığı üzere, EKK'nın aksine, mekansal Durbin modelinde y_i 'nin x_{ir} 'ye göre türevi β_r 'ye eşit değildir. Bununla birlikte y_i 'nin x_{jr} 'ye göre türevi de 0'a eşit değildir. Bu sebeple, herhangi bir bölgedeki açıklayıcı değişken, diğer tüm bölgelerdeki bağımlı değişkeni etkileyebilir. Herhangi bir i bölgesindeki bağımlı değişkenin, kendi bölgesindeki açıklayıcı değişkene göre türevi doğrudan etkileri

göstermektedir ve aşağıdaki gibidir. S_r matrisinin köşegenleri ortalamaları, doğrudan etkiyi vermektedir. Doğrudan etkiler ve β_k tahmincisi arasındaki fark ise geri besleme etkisini vermektedir (Seldadyo, Elhorst ve De Haan, 2010; akt. Huyugüzel Kışla ve diğerleri, 2022).

$$\frac{dy_i}{dx_{ir}} = S_r(W)_{ii}$$

$S_r(W)_{ii}$, açıklayıcı değişkende meydana gelen değişimin, bağımlı değişkendeki doğrudan ve dolaylı etkilerini temsil etmektedir. Buradaki mekansal yayılma durumu, etkilerin komşu bölgelerden geçerek, yeniden bölgenin kendini etkilemesinden kaynaklı geri besleme etkisini oluşturur. Böylece, j bölgesinin x_{jr} değişkenindeki değişimin, i bölgesindeki y değişkenine etkisi aşağıdaki gibidir. Dolaylı etkilere, S_r matrisinin köşegenlerinde bulunan terimler haricindekilerin satır toplamları veya sütun toplamlarının ortalamaları alınarak ulaşılır (LeSage ve Pace, 2009; akt. Huyugüzel Kışla ve diğerleri, 2022).

$$\frac{dy_i}{dx_{jr}} = S_r(W)_{ij}$$

3.3.5.6. Sabit Etkiler Modelinde Sapma Düzeltmesi

Her gözlem kendi olasılık yasasının parametreleri hakkında bilgi sağlar ve rastlantısal parametreler hakkındaki bilgi, belirli bir birikme sonrasında durur (Lancaster, 2000, s393). Bu durum, Neyman ve Scott (1948) tarafından ‘rastlantısal parametre problemi’ olarak ele alınmıştır.

Sabit etkiler altında panel veri modellerinde, sabit etkilerin parametre sayısını artırmasından kaynaklı rastlantısal parametre problemi ile karşılaşma durumu söz konusudur. Sabit etkiler altında, lineer panel regresyon modelinde, doğrudan maksimum olabilirlik yaklaşımı, ortak parametreleri ve sabit etkileri birlikte tahmin eder. Bu maksimum olabilirlik değeri, bağımlı değişkenlerin zaman ortalamalarına göre olabilirlik tahminleridir. Diğer yandan, varyans parametresinin maksimum olabilirlik tahminleri zaman sınırlı olduğunda tutarsızdır (Lee ve Yu, 2010, s165).

Lee ve Yu (2010), doğrudan maksimum olabilirlik yaklaşımına konusunda, sabit etkiler altında mekansal otoregresif modellerde de benzer bulgulara ulaşmışlar ve doğrudan yaklaşımın mekansal birim ve regresyon katsayıları için tutarlı tahminler sağladığını ancak varyans parametresinin tutarsız olduğunu tespit etmişlerdir. Buna istinaden, önerdikleri sapma düzeltme yönteminde, mekansal birim etkilerini dışlamak için gözlem sayısını azaltarak her bir mekansal birimin zamansal sapmasını modele dahil etmişlerdir. Bu sapma düzeltmesi zaman kısıtlı olmayan mekansal gecikme modelleri için aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$\sigma_{BC}^2 = \frac{T}{T-1} \sigma^2$$

3.3.6. Model Seçimi

3.3.6.1. Hausman Testi

Rassal etkiler μ_i ve açıklayıcı değişkenler arasında sıfır korelasyon test etmek için Hausman testi kullanılabilir. Test edilen hipotez $H_0: h=0$ 'dır (B. H. Baltagi, 2021), (Elhorst, 2014a);

$$h=d^T[\text{var}(d)]^{-1}d$$

$$d = \beta_{FE} - \beta_{RE}$$

$$\text{var}(d) = \sigma_{RE}^2(X^*T X^*)^{-1} - \sigma_{FE}^2(X^*T X^*)^{-1}$$

Yukarıda, d, sabit etkiler tahmincileri (β_{FE}) ve rassal etkiler tahmincileri (β_{RE}) arasındaki farkları içeren vektördür. σ_{SE}^2 , sabit etkiler modeli altında, σ_{RE}^2 ise rassal etkiler modeli altında, sabit etkiler ve rassal etkiler tahmincileri farkının (d) varyans-kovaryans matrisidir.

Hausman testinde boş hipotezin reddedilememesi rassal etkilere, reddedilmesi ise sabit etkilere işaret eder;

H_0 : Rassal Etkiler

H_1 : Sabit Etkiler

3.3.6.2. Log Olabilirlik Testi ve Wald Testi

Hangi modelin veriyi daha iyi tanımladığını anlamak için kullanılan yöntemlerden biri olup, modellerin log olabilirlik değerleri arasındaki farkın eksi ile iki ile çarpılması ile test istatistiği elde edilir. Test istatistiği ki-kare dağılımına ve uygulanan kısıt kadar serbestlik derecesine sahiptir (Elhorst, 2014, s27);

$$LR = -2 \times (LogL_{kısıtlı} - LogL_{kısıtsız})$$

Sadece kısıtsız modelin tahmin edilmesi ve maksimum olabilirlik tahmincisi ile 0 arasındaki farkın test edilmesi ise Wald test olarak adlandırılır.

3.3.6.3. Lagrange Çarpanı Testi (LM Test)

Burridge (1980), ve Anselin (1988), mekansal etkileşimi kesit düzeyinde test etmek için, mekansal gecikmeli bağımlı değişken ve mekansal hata korelasyonunu test eden Lagrange Çarpanı (LM) testleri geliştirmişlerdir. Bunun yanı sıra, Anselin, Bera, Florax ve Yoon (1996), mekansal gecikmeli bağımlı değişken ve mekansal hata otokorelasyonunun birbirleri içindeki lokal varlıklarını test etmek için (robust) LM testleri de geliştirmişlerdir.

Klasik ve dirençli LM testleri, mekansal olmayan mekan ve/veya zaman kısıtlı sabit etkiler modelinin artıklarına dayanır ve bir serbestlik derecesinde Ki-kare dağılımı gösterir. Alternatif olarak, koşullu LM testleri kullanılabilir. Bu testler, bir mekansal bağımlılık türünün diğerine bağlı olarak var olup olmadığını incelemek amacıyla kullanılır (Elhorst, 2014, s.58). Diğer bir ifadeyle, klasik ve dirençli LM testleri, mekansal olmayan modellerin artıklarına dayanırken, koşullu LM testleri, mekansal gecikme veya mekansal hata modelinin maksimum olabilirlik (ML) tahminlerinin artıklarına dayanır.

LM-Lag testinde boş hipotez, Şekil 3.3.4 1'de belirtilen notasyonlar ile ifade edildiğinde $H_0: \theta=0$ 'dır ve mekansal Durbin modelinin, mekansal gecikme modeline genelleştirilebilme durumunu test eder. LM-Error testinde ise boş hipotez, $H_0: \theta+\rho\beta=0$ 'dır ve mekansal Durbin modelinin, mekansal hata modeline genelleştirilebilme durumunu test eder (Elhorst, 2014a).

3.4. Model

Modellemelerde, SO₂ ve PM₁₀ değişkenleri aynı modelde kullanılmamış olup, ayrı modellerde bağımlı değişkenler olarak ele alınmıştır. Mekansal ağırlık matrisleri sınır komşuluklarına göre oluşturulmuştur. Analiz çalışmalarında Elhorst (2014b) tarafından oluşturulan kodlardan faydalanılmıştır.

Havuzlanmış regresyon modeli aşağıdaki gibidir;

$$D_{it} = \beta_0 + Y_{it}\beta_1 + Y_{it}^2\beta_2 + P_{it}\beta_3 + E_{it}\beta_4 + \varepsilon_{it} \quad \text{ve} \quad \varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2)$$

Burada, *i* mekansal birimi, *t* zamanı, *D*, çevre kirliliği göstergeleri olan SO₂ veya PM₁₀ bağımlı değişkenlerini, *Y* geliri, *P* nüfus yoğunluğunu, *E* elektrik tüketimini, β_0 sabit terimi, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ vektör katsayılarını, ε_{it} hata terimini göstermektedir.

Mekansal gecikme modeli ise aşağıdaki gibidir;

$$D_{it} = \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} D_{jt} + Y_{it}\beta_1 + Y_{it}^2\beta_2 + P_{it}\beta_3 + E_{it}\beta_4 + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

Burada, havuzlanmış regresyon modelinde ifade edilen değişkenlere ek olarak ρ mekansal otokorelasyon katsayısını, W_{ij} birimler arasındaki ilişkiyi gösteren ağırlık matrisini, μ_i birimlerin sabit etkilerini göstermektedir.

Mekansal etkiler hata teriminde de şekillenebilir (Huyugüzel Kışla ve Önder, 2018). Bu durumda, mekansal hata modeli aşağıda gibidir;

$$D_{it} = Y_{it}\beta_1 + Y_{it}^2\beta_2 + P_{it}\beta_3 + E_{it}\beta_4 + \mu_i + u_{it}$$

$$u_{it} = \lambda \sum_{j=1}^N W_{ij} u_{jt} + \varepsilon_{it}$$

Havuzlanmış regresyon modeli ve mekansal gecikme modelinde ifade edilen değişkenlere ek olarak, λ hata terimi otokorelasyon katsayısını göstermektedir.

Son olarak, dışsal etkileri de modele dahil etmek için mekansal gecikme modelinde açıklayıcı değişkenlerin ağırlık matrisleri modele dahil edilmiş ve mekansal Durbin modeli kullanılmıştır;

$$D_{it} = \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} D_{jt} + Y_{it} \beta_1 + \gamma_1 \sum_{j=1}^N W_{ij} Y_{jt} + Y_{it}^2 \beta_2 + \gamma_2 \sum_{j=1}^N W_{ij} Y_{jt}^2 + P_{it} \beta_3 + \gamma_3 \sum_{j=1}^N W_{ij} P_{jt} + E_{it} \beta_4 + \gamma_4 \sum_{j=1}^N W_{ij} E_{jt} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

Hsiao (2014, s48), rassal etkiler ve sabit etkiler modeli seçiminin katı bir ayrımı olmadığını ve bu ayrımın, araştırmacının popülasyon karakteristiği ya da örnekleme etkiler hakkında çıkarım yapma kararına bağlı olduğunu belirtmiştir. Örnekleme etkilere koşullu çıkarımlar yapılacaksa sabit etkiler modelini, örneklemin popülasyon karakteristiğini temsil etmesinden bağımsız çıkarımlar yapılacaksa rassal etkiler modelinin kullanılabilirliğini ifade etmiştir.

Elhorst (2014, s56) ise rassal etkiler modelinin avantaj ve dezavantajlarını açıklamakla birlikte, araştırmacıların genellikle coğrafi kopuklukları olmayan, birbirine komşu birimlerin uzay zaman modellerini çalışmaya eğilimli olduklarını belirtmiş ve bu sebeple, sabit etkiler modelinin, rassal etkiler modelinden daha uygun olduğunu ifade etmiştir.

Bu çalışmada, coğrafi kopuklukları olmayan, birbirine komşu illerin verilerinin incelenmiş olması ve kullanılan verilerin popülasyonu temsil ettiği anlayışı ile rassal etkiler modellemeleri gerçekleştirilmemiştir.

3.5. Ampirik Bulgular

Tablo 7, SO₂ modelleri tahmin sonuçlarını göstermektedir. EKK, SAR, SEM ve Durbin modellerinden hangisinin en uygun olduğunu tespit etme amacı ile olabilirlik oranı testleri (LR Test) ve Lagrange çarpanı (LM) testleri gerçekleştirilmiştir.

SAR ve SEM modellerinden hangisinin daha uygun olduğunu belirlemek için Lagrange çarpanı testi (Anselin ve Bera, 1998) ve dirençli Lagrange çarpanı testi (Anselin ve diğerleri, 1996) önerilmektedir. Bu sebeple, mekansal gecikme için $LM_{\rho=0}$, $LM_{\rho=0}^r$, mekansal hata için $LM_{\lambda=0}$, $LM_{\lambda=0}^r$ şeklinde gösterilen Lagrange çarpanı testleri gerçekleştirilmiştir. Klasik LM testlerinde boş hipotez, mekansal modeller lehine

reddedilmiştir. Dirençli LM testlerinde ise boş hipotez, EKK modeli lehine kabul edilmiştir.

Tablo 7: SO₂ Modelleri Tahmin Sonuçları

Değişkenler	EKK	SAR	SEM	SDM (X)	SDM (W*X)
GSYİH	1,248** (2,029)	-3,666** (-2,338)	-3,572** (-2,235)	-3,378** (-2,075)	-4,156 (-1,484)
GSYİH²	-0,03** (-2,35)	0,063* (1,843)	0,06* (1,703)	0,076** (2,113)	0,069 (1,110)
Nüfus	-0,075* (-1,802)	-1,146** (-2,3)	-1,136** (-2,2)	-1,248** (-2,246)	-0,745 (-0,839)
Elektrik	0,075 (1,183)	0,441*** (3,304)	0,433*** (3,162)	0,506*** (3,532)	0,157 (0,619)
Sabit Terim	-11,257 (-1,6)				
σ^2	0,5202	0,2444	0,2455	0,2414	
Log Olabilirlik	-1236,1	-772,979	-774,9	-765,111	
R²	0,034	0,577	0,568	0,582	
ρ ve λ		ρ : 0,17***	λ : 0,15***	ρ : 0,14***	
<hr/>					
Mek. Gecikme				Mek. Gecikme	
LM _{$\rho=0$}	83,895***			LR _{$\theta=0$}	15,737***
LM ^r _{$\rho=0$}	0,39				
Mek. Hata				Mek. Hata	
LM _{$\lambda=0$}	83,917***			LR _{$\theta+\rho\beta=0$}	19,577***
LM ^r _{$\lambda=0$}	0,412				
Hausman Testi	24.444***				

***, **, * sembolleri sırası ile %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı gösterir.

t istatistikleri parantez içinde gösterilmiştir.

LM testi sonuçlarına göre iller arasında mekansal etkileşim olduğu anlaşılmaktadır. Diğer yandan, mekansal gecikme veya mekansal hata modellerinden hangisinin daha uygun olduğu saptanamamıştır. LM testi sonuçları ile uygun modelin belirlenememesi durumunda LeSage ve Pace (2009) tarafından önerildiği üzere mekansal Durbin modeli de (SDM) dikkate alınmalıdır. Bu sebeple, SAR ve SEM modellerini,

Durbin modeli ile kıyaslama amacı ile tabloda $LR_{\theta=0}$ ve $LR_{\theta+\rho\beta=0}$ olarak gösterilen LR testleri gerçekleştirilmiştir. LR test sonuçlarına göre, boş hipotezler, mekansal Durbin modeli lehine reddedilmiştir. Böylelikle, en uygun modelin SDM modeli olduğu anlaşılmıştır.

Mekansal modeller, EKK modelinden daha uygun olduğu için, EKK modeli tahminleri sapmalıdır. Tahmin sonuçlarına bakıldığında, mekansal model tahminlerinin işaretleri aynı, katsayılarının da birbirine yakın olduğu görülmektedir. EKK modeli tahminlerinin ise hem işaretleri hem de katsayıları dikkate değer düzeyde farklıdır. Buradan, mekansal etkiyi göz ardı etmenin, tahmin sonuçlarında önemli düzeyde sapma yaratacağı anlaşılabilmektedir. Bununla birlikte, mekansal otokorelasyon katsayıları ρ ve mekansal hata otokorelasyonu katsayısı λ istatistiksel olarak anlamlıdır ve mekansal etkinin varlığına işaret etmektedir. Rassal etkiler ve sabit etkiler modellerinin hangisinin daha uygun olduğunu anlamak için gerçekleştirilen, Hausman testi sonuçlarına göre boş hipotez, sabit etkiler lehine reddedilmiştir.

Mekansal Durbin modeli sonuçlarına göre, tüm açıklayıcı değişkenler istatistiksel olarak anlamlıdır ancak ağırlıklandırılmış açıklayıcı değişkenler anlamlı değildir⁵. GSYİH'nin olumlu, GSYİH karesinin olumsuz etkisi, SO₂ ve gelir arasında U şeklindeki doğrusal olmayan ilişkiyi göstermektedir. Türkiye'de gelir ve hava kirliliği arasındaki, ÇKE hipotezinin aksini gösteren U şeklindeki bu ilişki, Yıldırım, Alpaslan ve Eker (2021), Tuzcu ve Usubeyli, (2018), Güçlü (2016), Akbostancı, Türüt-Aşık ve Tunç, (2009), Akyıldız, (2008), Karahasan ve Pınar, (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda da benzer şekilde tespit edilmiştir. Diğer yandan Çatık, Karaçuka ve Huyugüzel Kışla (2016), Türkiye için ÇKE hipotezi ile uyumlu sonuçlara ulaşmıştır.

Nüfus değişkeni SO₂ modelinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif işarete sahiptir. Elektrik değişkeni ise istatistiksel olarak anlamlı ve beklendiği gibi pozitif etkiye sahiptir. Türkiye'de, gelirin yanı sıra nüfus yoğunluğu ve elektrik tüketimini modele dahil eden bir diğer çalışmada, Karahasan ve Pınar (2022), nüfus ve elektrik değişkenleri için istatistiksel olarak anlamlı bir sonuca ulaşamamıştır.

Tablo 8, PM₁₀ modelleri tahmin sonuçlarını göstermektedir. Model seçim aşamasında öncelikle Klasik LM ve Dirençli LM testleri gerçekleştirilmiş, SAR ve SEM

⁵ SAR modeline ait doğrudan ve dolaylı etkiler Tablo 10'da verilmiştir.

modellerinden hangisinin daha uygun olduğuna ulaşılmaya çalışılmıştır. Mekansal gecikme için $LM_{\rho=0}$, ve mekansal hata için $LM_{\lambda=0}$ olarak gösterilen klasik LM testlerinde boş hipotez, modellerin mekansal modeller lehine reddedilmiştir. $LM^r_{\rho=0}$ ve $LM^r_{\lambda=0}$ olarak gösterilen Dirençli LM testlerinde de boş hipotez, mekansal modeller lehine reddedilmiştir. LM testi sonuçları, iller arasında mekansal etkileşim olduğu göstermekle birlikte, mekansal gecikme veya mekansal hata modellerinden herhangi birini öne çıkarmamıştır.

Tablo 8: PM₁₀ Modelleri Tahmin Sonuçları

Değişkenler	EKK	SAR	SEM	SDM (X)	SDM (W*X)
GSYİH	0,709** (1,972)	-3,252*** (-3,31)	-3,229*** (-3,214)	-3,242*** (-3,184)	-3,117* (-1,775)
GSYİH²	-0,016** (-2,184)	0,056*** (2,607)	0,053** (2,405)	0,069*** (3,045)	0,054 (1,385)
Nüfus	0,084*** (3,458)	-0,223 (-0,714)	-0,142 (-0,436)	-0,13 (-0,373)	-1,102** (-1,990)
Elektrik	-0,009 (-0,255)	0,114 (1,364)	0,095 (1,107)	0,149* (1,662)	0,156 (0,993)
Sabit Terim	-4,03 (-0,98)				
σ^2	0,1778	0,0958	0,0968	0,0943	
Log Olabilirlik	-627,276	-243,696	-247,712	-232,477	
R²	0,014	0,504	0,490	0,512	
ρ ve λ		ρ : 0,20***	λ : 0,16***	ρ : 0,15***	
<hr/>					
Mek. Gecikme			Mek. Gecikme		
$LM_{\rho=0}$	124,436***		$LR_{\theta=0}$	22,438***	
$LM^r_{\rho=0}$	5,6075***				
Mek. Hata			Mek. Hata		
$LM_{\lambda=0}$	121,306***		$LR_{\theta+\rho\beta=0}$	30,471***	
$LM^r_{\lambda=0}$	2,448***				
Hausman Test	10.571				

***, **, * sembolleri sırası ile %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı gösterir.

t istatistikleri parantez içinde gösterilmiştir.

LM testleri ile uygun modelin belirlenememiş olması sebebi ile LeSage ve Pace (2009) tarafından önerildiği üzere mekansal Durbin modeli de (SDM) dikkate alınarak LR testleri gerçekleştirilmiştir. SAR ve SEM modellerini, Durbin modeli ile kıyaslama amacı taşıyan LR testleri Tablo 8’de $LR_{\theta=0}$ ve $LR_{\theta+\rho\beta=0}$ olarak gösterilmektedir. LR test sonuçlarına göre, boş hipotezler, mekansal Durbin modeli lehine reddedilmiş, SO_2 modellerine benzer şekilde PM_{10} modelleri için de en uygun modelin SDM modeli olduğu anlaşılmıştır.

SO_2 modellerinde olduğu gibi PM_{10} modellerinde de mekansal otokorelasyon katsayıları ρ ve mekansal hata otokorelasyonu katsayısı λ istatistiksel olarak anlamlıdır ve pozitiftir. Hausman testi sonuçlarına göre boş hipotez, rassal etkiler lehine kabul edilmiştir. Diğer yandan, Model bölümünde açıklandığı üzere, birbirine komşu illerin verileri incelenmiş olması ve popülasyon karakteristiğine dair çıkarımlar yapılacak olması sebebi ile sabit etkiler dikkate alınmıştır.

Mekansal Durbin modeli sonuçlarına göre nüfus değişkeni haricindeki açıklayıcı değişkenler istatistiksel olarak anlamlıdır. GSYİH artışı olumlu, GSYİH karesinin artışı olumsuz etki göstererek, PM_{10} ve gelir arasında U şeklinde bir doğrusal olmayan ilişkiye işaret etmekte ve ÇKE hipotezinin aksini gösteren bir ilişki ortaya koymaktadır. Nüfus değişkeni istatistiksel olarak anlamlı değildir. Elektrik değişkeni ise istatistiksel olarak anlamlı ve beklendiği gibi pozitif etkiye sahiptir.

Tablo 9, açıklayıcı değişkenlerin, SO_2 ve PM_{10} bağımlı değişkenleri üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerini göstermektedir.

Mekansal Durbin modelinde, bağımlı değişkenin gecikmesinin de bulunmasından kaynaklı içsel etkileşim söz konusudur. Bu içsel etkileşim, bir ildeki hava kirliliğini etkileyen etkilerin, komşu iller üzerinden geçerek yeniden kendi üzerinde oluşturduğu geri besleme etkisine sebep olur. Bu sebeple, Tablo 9’da verilen doğrudan etkilerin katsayıları, Tablo 7 ve Tablo 8’de verilen, SO_2 ve PM_{10} mekansal Durbin modelleri katsayılarından bir miktar farklılaşmaktadır.

SO_2 ve PM_{10} seviyeleri üzerinde en önemli etkiyi gelir oluşturmaktadır. Gelir artışının hava kirliliği üzerinde olumlu etkisi hem illerin kendilerinden kaynaklı olan doğrudan, hem de komşu illerden kaynaklı olan dolaylı etkilerde görülmektedir. Yıldırım ve diğerleri (2021), az gelişmiş ülkelerin ekonomisinin tarıma dayalı olduğunu ve endüstriyel üretim çabalarının çevre kirliliğini beslediğini belirtmiştir. Diğer yandan,

gelişmiş ülkelerde, tarımın öneminin azaldığını ve endüstriyel üretimin öne çıktığını, belli bir endüstriyel gelişimin sonrasında, daha verimli ve enerji tasarrufu sağlayan teknolojiler sayesinde büyümenin çevre üzerindeki olumsuz etkisinin geri çevrilebildiğini açıklamışlardır.

Tablo 9: Doğrudan ve Dolaylı Etkiler

Değişkenler	SO ₂			PM ₁₀		
	Doğrudan	Dolaylı	Toplam	Doğrudan	Dolaylı	Toplam
GSYİH	-3,533** (-2,247)	-5,256* (-1,697)	-8,789** (-2,654)	-3,380*** (-3,404)	-4,007** (-2,087)	-7,386*** (-3,594)
GSYİH²	0,079** (2,252)	0,090 (1,317)	0,169** (2,3)	0,071*** (3,247)	0,071* (1,676)	0,142*** (3,122)
Nüfus	-1,291** (-2,311)	-0,997 (-1,028)	-2,287** (-2,278)	-0,164 (-0,48)	-1,291** (-2,141)	-1,454** (-2,294)
Elektrik	0,521*** (3,658)	0,254 (0,882)	0,775** (2,643)	0,157* (1,731)	0,205 (1,176)	0,362** (-2,08)

***, **, * sembolleri sırası ile %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı gösterir.

t istatistikleri parantez içinde gösterilmiştir.

Gelir artışının daha üst seviyelerde olması ise çevre üzerinde olumsuz etkiler göstermektedir. Bu etki, SO₂ ve PM₁₀ seviyeleri üzerinde doğrudan etkilerde gözlenmektedir. Dolaylı etkiler incelendiğinde ise, komşuların gelirlerinin daha fazla artmasının, illerin PM₁₀ seviyesi üzerinde olumsuz etkisi olduğu görülmektedir. Diğer yandan, komşuların gelirlerinin daha fazla artmasının, SO₂ seviyeleri üzerindeki etkisi pozitif işaretli olmakla birlikte istatistikse olarak anlamlı değildir.

Bir ilde, nüfus yoğunluğundaki %1'lik artışın, ilin kendi SO₂ seviyesinde %1,3 azalmaya yol açtığı ancak yayılma etkisine sahip olmadığı görülmektedir. Nüfus yoğunluğunun, PM₁₀ seviyesi üzerindeki doğrudan etkisinin negatif işaretli ancak istatistiksel olarak anlamlı olmadığına ulaşılmıştır. Dolaylı etkiler incelendiğinde, bir ilin komşularındaki %1'lik nüfus yoğunluğu artışının, ilin PM₁₀ seviyelerinde %1,3 oranında azalmaya sebep olduğu gözlenmektedir. Nüfus artışının, hava kirliliği üzerinde olumsuz etki yaratabileceği beklentisinin oldukça normal olmasının yanı sıra, Yıldırım ve diğerleri (2021), kalabalık etkisi ve uygarlık etkisinin bu noktada belirleyici olabileceğini belirtmişlerdir. Daha yüksek nüfus yoğunluğunu, daha yüksek kentleşmeye işaret edebilir ve daha yüksek çevresel bilinç sayesinde, iller uygarlık etkisinde olabilir.

Elektrik tüketiminin, illerin hava kirliliği üzerinde etkisi pozitif işaretli olmasına rağmen, istatistiksel olarak anlamlı olmaması sebebi ile yayılma etkisi olmadığı anlaşılmaktadır. Diğer yandan, iller üzerindeki elektrik tüketiminin doğrudan etkileri, istatistiksel olarak anlamlı ve beklendiği gibi yukarı yönlüdür. Elektrik tüketiminde gerçekleşen %1'lik artış, SO₂ seviyesinde %0,52 oranında artışa yol açarken, PM₁₀ seviyesinde %0,16 oranında artışa yol açmaktadır.



SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye’de iller arası hava kirliliğini belirleyen iktisadi faktörler incelenmektedir. Hava kirliliği üzerinde etki göstermesi beklenen GSYİH, nüfus yoğunluğu ve elektrik tüketimi değişkenleri açıklayıcı değişkenler olarak ele alınmış, hava kirliliği göstergesi olarak kükürt dioksit (SO₂) ölçümleri ve aerodinamik çapları 10 µm’den küçük partikül değerini gösteren PM₁₀ ölçümleri kullanılmıştır. İl bazında verilerin, mekansal panel veri yöntemleri ile analiz edilmesi, incelenen iller arası ilişkilerin değerlendirilebilmesi imkanını sağlamıştır.

Öncelikle tüm değişkenlerin incelenen dönemde Türkiye geneli büyüklüklerinin zaman içindeki gelişimi izlenmiş, açıklayıcı değişkenler olan GSYİH, nüfus yoğunluğu ve elektrik tüketiminin incelenen dönemde artış trendinde, bağımlı değişkenler SO₂ ve PM₁₀’un ise düşüş trendinde olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, 2016 yılı sonrasında, hava kirliliği göstergelerinin düşüş hızında yavaşlama gözlenmiştir. İncelenen dönemde gerçekleşen PM₁₀ düşüşünün %83’ünün 2008-2016 yılları arasında gerçekleştiği, %17’sinin ise 2016-2021 yılları arasında gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum SO₂ değerlerinde daha çarpıcıdır. İncelenen dönemdeki toplam düşüşün, %98’i 2008-2016 yılları arasında, %2’si 2016-2021 yılları arasında gerçekleşmiştir.

Türkiye geneli büyüklükler, zaman serisi incelemesinin yanı sıra il bazında haritalandırılarak, kümelenmeler yorumlanmıştır. Yurdun çeşitli bölgelerinde SO₂ ve PM₁₀ kümelenmeleri gözlenmiş ancak bu kümelenmelerin bölgesel açıdan birbiri ile gözle görülür bir benzerliğe sahip olmadığı görülmüştür. Doğu Karadeniz, düşük hava kirliliği seviyesi ile SO₂ ve PM₁₀ kümelenmelerinin birbirine en çok benzediği alan olarak öne çıkmıştır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ise en geniş yüksek SO₂ kümelenmesine sahiptir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin, sanayi yoğun olmayan bir bölge olarak bu düzeyde yüksek hava kirliliğine sahip olması, doğalgaz kullanımının henüz yeterince yaygın olmamasından kaynaklı olabilir. Buna ek olarak, kullanılan ölçüm değerlerinin bölgeyi ne düzeyde temsil ettiği de ayrı bir tartışma konusudur. Hava kirliliği ölçümleri, belli noktalara konulan istasyonlar üzerinden alınmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Laboratuvar, Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı ile yapılan görüşmelerde, istasyon mevkilerinin ve izlenen kirlilik parametrelerinin rassal olarak belirlenmediği ve izlenmeye ihtiyaç duyulan alanlarda takip edilmesi gereken kritik parametrelere göre belirlendiği öğrenilmiştir.

En geniş yüksek nüfus yoğunluğu kümelenmesi Batı Karadeniz şeridi ile Marmara Denizi'nin kuzey ve batı çevreleridir. Batı bölgeler daha yüksek nüfus yoğunluğu kümelenmeleri gösterirken, Doğu bölgeler daha düşük nüfus yoğunluğu kümelenmeleri göstermektedir. GSYİH ve elektrik tüketiminde de benzer Doğu ve Batı ayrışması görülmektedir. GSYİH ve elektrik tüketimi, sadece Doğu Batı ayrışması konusunda benzer olmakla kalmayıp, kümelenmeler konusunda da oldukça benzer bir tablo oluşturmaktadır.

Bölgeler arası etkileşimi anlamak amacı ile 2008, 2012, 2017, 2021 yılları için kesit verilerin Moran's I istatistikleri hesaplanmıştır. PM₁₀, nüfus yoğunluğu ve elektrik tüketimi için tüm yıllarda, SO₂ için 2008, 2012, 2021 yıllarında, GSYİH için ise 2017, 2021 yıllarında istatistiksel olarak anlamlı Moran's I değerleri gözlenmiş ve bu durum mekansal otokorelasyona bir işaret olarak yorumlanmıştır. Ek olarak, Moran's I istatistiklerinin zaman içindeki gelişimi üzerinden, PM₁₀ kümelenmelerinin zaman için daralma trendinde olduğu, nüfus yoğunluğu kümelenmelerinin genişleme trendinde olduğu, elektrik tüketiminin 2017 yılına kadar genişleme trendinde olup, 2017 yılından sonra durağanlaştığı görülmüştür.

SO₂ ve PM₁₀ bağımlı değişkenleri için GSYİH, gelirin daha fazla artışını temsil amacı ile GSYİH'nin karesi, nüfus yoğunluğu ve elektrik tüketimi açıklayıcı değişkenleri kullanılarak mekansal gecikme modeli, mekansal hata modeli ve mekansal Durbin modelleri oluşturulmuştur. Hem SO₂ hem de PM₁₀ için oluşturulan mekansal gecikme modelleri ve mekansal Durbin modellerinde mekansal otokorelasyon katsayıları ρ 'nun istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, bağımlı değişkenler için oluşturulan mekansal hata modellerinde, mekansal hata otokorelasyonu katsayısı λ değerlerinin de istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif olduğu gözlenmiştir.

Uygun modeli belirlemek amacı ile gerçekleştirilen Lagrange çarpanı testi sonuçları, iller arasında mekansal etkileşim olduğunu göstermekle birlikte mekansal gecikme veya mekansal hata modellerinden hangisinin daha uygun olduğunu belirleme imkanı sağlamamıştır. Bu sebeple, mekansal Durbin modelini de dikkate alma amacı ile olabilirlik testi gerçekleştirilmiş ve en uygun modelin mekansal Durbin modeli olduğu üzerinde karar kılınmıştır.

SO₂ için oluşturulan Mekansal Durbin modeli sonuçlarına göre, gelir artışı hava kirliliği üzerinde olumlu bir etki yaratırken, gelirdeki daha büyük artışlar ise olumsuz etki yaratmaktadır. Bu durum, Türkiye'de gelir düzeyi ile hava kirliliği arasındaki ilişkinin,

ÇKE hipotezinin aksine, U şeklinde bir modeli desteklediğini göstermektedir. SO₂ düzeyi üzerinde en belirgin etkiyi oluşturan gelir etkisi, hem illere özel doğrudan etkiler, hem doğrudan hem de dolaylı etkilerde gözlenmekle birlikte, gelirin daha fazla artışının PM₁₀ üzerinde yayılma etkisi görülmemektedir. Nüfus değişkeninin SO₂ üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve olumlu bir etkisi bulunurken, illerin nüfus yoğunluğunda meydana gelen %1'lik artışın, sadece illerin kendi SO₂ seviyelerinde %1,3'lük bir azalmaya neden olduğu, ancak bu etkinin yayılma etkisi taşımadığı tespit edilmiştir. Elektrik tüketiminde ise gerçekleşen %1'lik artış, söz konusu ilin SO₂ düzeyinde %0,52 oranında artışa yol açmakla birlikte yayılma etkisine sahip değildir.

PM₁₀ için oluşturulan mekansal Durbin modeli sonuçlarında da benzer şekilde gelir artışının hava kirliliği üzerinde olumlu, gelirdeki daha büyük artışların ise olumsuz etki yarattığı görülmüş ve ÇKE hipotezinin aksini gösteren bir ilişkiye ulaşılmıştır. PM₁₀ düzeyi üzerindeki gelir etkisi, hem doğrudan hem de dolaylı etkilerde gözlenmektedir. Nüfus değişkeni istatistiksel olarak anlamlı değilken, elektrik değişkeni istatistiksel olarak anlamlıdır ve beklendiği gibi hava kirliliği üzerinde olumsuz etki göstermektedir. Elektrik tüketiminde gerçekleşen %1'lik artış, ilin kendi PM₁₀ seviyesinde %0,16 oranında artışa yol açmaktadır ve yayılma etkisine sahip değildir.

1990'lı yıllar itibari ile doğalgaz kullanımının başlaması ve bu çalışmada incelenen dönem süresince dönüşümün devam etmesi, yakıt kalitesinde iyileşme, endüstride hava kirliliğini önleme amacı ile kullanılan filtreleme teknolojilerinin gelişmesi gibi sebepler, gelirin arttığı bir dönemde hava kirliliğinin azalmasını sağlayacak etkiler oluşturmuştur. Diğer yandan, model sonuçlarından görüleceği üzere, daha fazla büyüme ile birlikte bu etkilerin tersine dönmesi olasıdır. Böylece, sürdürülebilir büyüme anlayışının öneminin ampirik sonuçlar ile desteklendiği görülmektedir. Sürdürülebilir büyümenin vazgeçilmez gerekliliklerinden biri olan yenilenebilir enerji alanında da önemli adımlar atılmıştır ve bu alan genişlemeye devam etmektedir. 2008-2021 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güç içerisindeki payı, %0,94 gibi düşük bir seviyeden, %20 seviyelerine yükselmiştir. Termik santrallerin kurulu gücü ise toplam kurulu güç içindeki payları %66'dan %48'e gerilemesine rağmen sürekli artan enerji ihtiyacı ile birlikte artmaya devam etmiştir. Kurulu güç payında gerçekleşen gerilemeye rağmen, termik santrallerin elektrik üretimindeki payı 2021 yılı itibari ile %67 seviyesindedir ve bu yüksek oran elektrik tüketiminin, hava kirliliği üzerindeki olumsuz etkisinin temel sebeplerinden birisi olarak karşımızda durmaktadır.

Önümüzdeki yıllarda, enerjinin niteliğini iyileştirmek için atılacak temiz enerji adımları, elektriğin hava kirliliği üzerindeki etkilerinin yönünü belirleyecek olması sebebi ile önem arz etmektedir. Bu bağlamda, yenilebilir enerji projeleri ve yenilebilir enerjinin arz dengesini sağlamaya katkıda bulunmak üzere enerji depolama sistemleri alanlarında teşviklerin artırılması önemlidir. Bulduğumuz dönemde, dünya genelinde yüksek düzeylerde seyreden faiz oranlarının, projelerin finansmanında yarattığı baskıyı en aza indirmek için, yenilenebilir enerji yatırım projelerine özel, uygun maliyetli yabancı para kredileri sağlanmalıdır. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji santrallerinin ön lisans süreçleri de gelişmeye açık alanlardan biridir. Günümüzde ortalama bir rüzgar enerji santralının ön lisans süreci 30 ay ile 48 ay arasında sürmektedir ve bu sürecin hızlandırılması temiz enerji projeleri için destekleyici katkılardan biri olacaktır. Yakın gelecekte, temiz enerji alanındaki en önemli başlıklardan biri de, 2026 yılında tam olarak devreye girmesi beklenen AB Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması olacaktır. Bu kapsamda hazırlıklar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülmeye başlanmış durumdadır. Bu çalışmaların muhtemel çıktısının AB Emisyon Ticaret Sistemi'ne benzer bir zorunlu karbon piyasası olması beklenmektedir. Bu tez çalışmasında gözlemlenen, hava kirliliği ve iktisadi değişkenlerdeki mekansal etkileşim durumu, potansiyel bir zorunlu karbon piyasası oluşumunda, mekansal etkilerin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu çerçevede, yüksek kirlilik düzeyinde kümelenmelere sahip bölgelerde, karbon fiyatlarının da daha yüksek düzeylerde oluşması yönünde düzenlemeler yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

Akbostanci, E., Türüt-Aşik, S. ve Tunç, G. I. (2009). The relationship between income and environment in Turkey: Is there an environmental Kuznets curve? *Energy Policy*, 37(3), 861-867. doi:10.1016/J.ENPOL.2008.09.088

Akyıldız, B. (2008). Çevresel Etkinlik Analizi: Kuznets Eğrisi Yaklaşımı. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı Genel İktisat Programı.

Anselin, L. (1988). *Spatial econometrics: Methods and models*. Kluwer Academic, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1>

Anselin, L. (2003). *A Companion to Theoretical Econometrics*. (B. H. Baltagi, Ed.). Wiley. doi:10.1002/9780470996249

Anselin, L. ve Bera, A. K. (1998). Spatial Dependence in linear Regression Models with an Introduction to Spatial Econometrics. *Handbook of Applied Economic Statistics içinde* (ss. 257-259). CRC Press. doi:10.1201/9781482269901-36

Anselin, L., Bera, A. K., Florax, R. ve Yoon, M. J. (1996). Simple diagnostic tests for spatial dependence. *Regional Science and Urban Economics*, 26(1), 77-104. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:regeco:v:26:y:1996:i:1:p:77-104> adresinden erişildi.

Anselin, L., Gallo, J. Le ve Jayet, H. (2008). *Spatial Panel Econometrics* (ss. 625-660). doi:10.1007/978-3-540-75892-1_19

Anselin, L. ve Hudak, S. (1992). Spatial econometrics in practice: A review of software options. *Regional Science and Urban Economics*, 22(3), 509-536. doi:10.1016/0166-0462(92)90042-Y

Avrupa Çevre Ajansı. (2023)
<https://www.eea.europa.eu/en>

Avrupa Çevre Ajansı Hava Kalitesi Portalı. (2023)

<https://aqportal.discomap.eea.europa.eu/>

https://discomap.eea.europa.eu/App/AQViewer/index.html?fqn=Airquality_Dissem.b2g.AirQualityStatistics

Arellano, M. (2003). Panel Data Econometrics. Oxford University Press Oxford. doi:10.1093/0199245282.001.0001

Baltagi, B. (2021). Econometric Analysis of Panel Data. Springer. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:spr:sptbec:978-3-030-53953-5> adresinden erişildi.

Baltagi, B. H. (2021). Econometric Analysis of Panel Data. Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-53953-5

Berkley Earth. (2023)

<https://berkeleyearth.org/september-2023-temperature-update/>

Breusch, T. S. (1987). Maximum likelihood estimation of random effects models. Journal of Econometrics, 36(3), 383-389. doi:10.1016/0304-4076(87)90010-8

Burnett, J. W., Bergstrom, J. C. ve Dorfman, J. H. (2013). A spatial panel data approach to estimating U.S. state-level energy emissions. Energy Economics, 40, 396-404. doi:10.1016/J.ENECO.2013.07.021

Burrige, P. (1980). On the Cliff-Ord Test for Spatial Correlation. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 42(1), 107-108. doi:10.1111/j.2517-6161.1980.tb01108.x

Cheng, Z., Li, L. ve Liu, J. (2017). Identifying the spatial effects and driving factors of urban PM2.5 pollution in China. Ecological Indicators, 82, 61-75. doi:10.1016/J.ECOLIND.2017.06.043

Cliff, A. D. (Andrew D. ve Ord, J. K. (1981). Spatial processes : models & applications / A.D. Cliff & J.K. Ord. London: Pion.

Çatık, A. N., Karaçuka, M. ve Huyugüzel Kışla, G. (2016). Air Pollution And Income Relationship In Turkish Provinces: A Spatial Approach. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 38(1), 127. doi:10.14780/iibd.22840

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sürekli İzleme Merkezi. (2023)

<https://sim.csb.gov.tr/Services/AirQuality>

Elhorst, J. P. (2014a). *Spatial Econometrics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-40340-8

Elhorst, J. P. (2014b). Matlab Software for Spatial Panels. *International Regional Science Review*, 37(3), 389-405. doi:10.1177/0160017612452429

Elhorst, P. ve Vega, S. H. (2013). On spatial econometric models, spillover effects, and W. 53rd Congress of the European Regional Science Association: “Regional Integration: Europe, the Mediterranean and the World Economy”, 27-31 August 2013, Palermo, Italy. Louvain-la-Neuve: European Regional Science Association (ERSA). <http://hdl.handle.net/10419/123888> adresinden erişildi.

Fong, L. S., Salvo, A. ve Taylor, D. (2020). Evidence of the environmental Kuznets curve for atmospheric pollutant emissions in Southeast Asia and implications for sustainable development: A spatial econometric approach. *Sustainable Development*, 28(5), 1441-1456. doi:10.1002/sd.2097

Grossman, G. ve Krueger, A. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. NBER Working Papers. National Bureau of Economic Research, Inc. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:nbr:nberwo:3914> adresinden erişildi.

Grossman, G. M. ve Krueger, A. B. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377. doi:10.2307/2118443

Harrell, F. E. ve Davis, C. E. (1982). A new distribution-free quantile estimator. *Biometrika*, 69(3), 635-640. doi:10.1093/biomet/69.3.635

Hsiao, C. (2005). *The Analysis of Panel Data*. *Analysis of Panel Data* (C. 20). doi:10.1017/CBO9780511754203

Hsiao, C. (2014). *Analysis of Panel Data*. Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139839327

Huyugüzel Kışla, G. ve Önder, A.Ö. (2018). Spatial analysis of sovereign risks: The case of emerging markets. *Finance Research Letters*, 26, 47-55. doi:10.1016/J.FRL.2017.12.004

Huyugüzel Kışla, G., Muradoğlu, Y.G. & Önder, A.Ö. (2022). Spillovers from one country's sovereign debt to CDS (credit default swap) spreads of others during the European crisis: a spatial approach. *Journal of Asset Management*, 23(3), 277–296. <https://doi.org/10.1057/s41260-022-00263-3>

IPCC. (2021). İklim Değişikliği Raporu.

<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/#:~:text=the%20report%20Authors-,Report,54th%20Session%20of%20the%20IPCC.>

Karahasan, B. ve Pınar, M. (2022). The environmental Kuznets curve for Turkish provinces: a spatial panel data approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 29. doi:10.1007/s11356-021-17706-w

Kaufmann, R. K., Davidsdottir, B., Garnham, S. ve Pauly, P. (1998). The determinants of atmospheric SO₂ concentrations: reconsidering the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 25(2), 209-220. doi:10.1016/S0921-8009(97)00181-X

Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1-28. <http://www.jstor.org/stable/1811581> adresinden erişildi.

Lancaster, T. (2000). The incidental parameter problem since 1948. *Journal of Econometrics*, 95(2), 391-413. doi:10.1016/S0304-4076(99)00044-5

Lee, L. fei ve Yu, J. (2010). Estimation of spatial autoregressive panel data models with fixed effects. *Journal of Econometrics*, 154(2), 165-185. doi:10.1016/J.JECONOM.2009.08.001

LeSage, J. ve Pace, R. K. (2009). *Introduction to Spatial Econometrics*. Chapman and Hall/CRC. doi:10.1201/9781420064254

Li, Q., Song, J., Wang, E., Hu, H., Zhang, J. ve Wang, Y. (2014). Economic growth and pollutant emissions in China: a spatial econometric analysis. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28(2), 429-442. doi:10.1007/s00477-013-0762-6

Liu, J., Chen, X. ve Wei, R. (2017). Socioeconomic Drivers of Environmental Pollution in China: A Spatial Econometric Analysis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2017, 1-13. doi:10.1155/2017/4673262

Maddison, D. (2006). Environmental Kuznets curves: A spatial econometric approach. *Journal of Environmental Economics and Management*, 51(2), 218-230. doi:10.1016/J.JEEM.2005.07.002

Moran, P. A. P. (1948). The Interpretation of Statistical Maps. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 10(2), 243-251. doi:10.1111/j.2517-6161.1948.tb00012.x

Net Zero Tracker. (2023)

<https://zerotracker.net/>

Neyman, J. ve Scott, E. L. (1948). Consistent Estimates Based on Partially Consistent Observations. *Econometrica*, 16(1), 1. doi:10.2307/1914288

Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:128480472> adresinden erişildi.

Panayotou, T. (1997). Demystifying the environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool. *Environment and Development Economics*, 2(4), 465-484. https://EconPapers.repec.org/RePEc:cup:endeec:v:2:y:1997:i:04:p:465-484_00 adresinden erişildi.

Rupasingha, A., Goetz, S. J., Debertin, D. L. ve Pagoulatos, A. (2004). The environmental Kuznets curve for US counties: A spatial econometric analysis with extensions*. *Papers in Regional Science*, 83(2), 407-424. doi:10.1111/j.1435-5597.2004.tb01915.x

Seldadyo, H., Elhorst, J. P., & De Haan, J. (2010). Geography and governance: Does space matter? *Papers in Regional Science*, 89(3), 625-640. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.2010.00296.x>

Selden, T. M. ve Song, D. (1994). Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 147-162. doi:10.1006/JEEM.1994.1031

The Humanitarian Data Exchange. (2023)

<https://data.humdata.org/>

Torras, M. ve Boyce, J. K. (1998). Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets Curve. *Ecological Economics*, 25(2), 147-160. doi:10.1016/S0921-8009(97)00177-8

Türkiye Elektirik İletim A.Ş. (2023). Elektrik Üretim İletim İstatistikleri

<https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>

Tuzcu, S. E. ve Usupbeyli, A. (2018). Çevresel Kuznets Eğrisi: Türkiye Üzerine Gece Işıkları ile Mekansal bir Modelleme. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 141-164.

UNFCCC. (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi). (1992)

<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>

Wu, Q., Guo, R., Luo, J. ve Chen, C. (2021). Spatiotemporal evolution and the driving factors of PM2.5 in Chinese urban agglomerations between 2000 and 2017. *Ecological Indicators*, 125, 107491. doi:10.1016/J.ECOLIND.2021.107491

Xie, R., Fang, J. ve Liu, C. (2016). Impact and Spatial Spillover Effect of Transport Infrastructure on Urban Environment. *Energy Procedia*, 104, 227-232. doi:10.1016/j.egypro.2016.12.039

Yildirim, J., Alpaslan, B. ve Eker, E. E. (2021). The role of social capital in environmental protection efforts: evidence from Turkey. *Journal of Applied Statistics*, 48(13-15), 2626-2642. doi:10.1080/02664763.2020.1843609

Zhang, W.-W., Sharp, B. ve Xu, S.-C. (2019). Does economic growth and energy consumption drive environmental degradation in China's 31 provinces? New evidence from a spatial econometric perspective. *Applied Economics*, 51(42), 4658-4671. doi:10.1080/00036846.2019.1593943

EK

Tablo 10: Mekansal Oto regresif Model Doğrudan ve Dolaylı Etkiler

Değişkenler	SO ₂			PM ₁₀		
	Doğrudan	Dolaylı	Toplam	Doğrudan	Dolaylı	Toplam
GSYİH	-3,676** (-2,403)	-0,706* (-1,887)	-4,382** (-2,378)	-3,308*** (-3,444)	-0,784** (-2,649)	-4,092*** (-3,418)
GSYİH²	0,064* (1,903)	0,012 (1,578)	0,076* (1,885)	0,057*** (2,702)	0,014** (2,232)	0,071*** (2,684)
Nüfus	-1,134** (-2,243)	-0,218* (-1,805)	-1,352** (-2,223)	-0,233 (-0,736)	-0,055 (-0,69)	-0,288 (-0,732)
Elektrik	0,439*** (3,117)	0,085** (2,222)	0,524*** (3,067)	0,118 (1,418)	0,028 (1,28)	0,146 (1,405)

***, **, * sembolleri sırası ile %1, %5 ve %10 düzeylerinde anlamlılığı gösterir.

t istatistikleri parantez içinde gösterilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında beni destekleyen, gerektiğinde yol gösteren, gerektiğinde motive eden, gerektiğinde anlayışını esirgemeyen danışman hocam değerli Prof. Dr. Asiye Özlem ÖNDER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Atıldığım iktisat macerası boyunca yanımda olan sevgili eşim İpek GÜLER'e, sevgisi, desteği ve anlayışı için teşekkür ederim. Her zaman daha iyi olmak için beni motive eden babam Çelebi GÜLER'e, şefkatini üzerimden hiçbir zaman eksik etmeyen annem Ülkü GÜLER'e, gurur duyduğum kardeşlerim İrfan GÜLER ve Barış GÜLER'e sevgi dolu teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet GÜLER, lisans eğitimini Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde İnşaat Mühendisliği bölümünde tamamlamış ve kariyerine çeşitli enerji projelerinde, sözleşme yönetimi, proje yönetimi ve iş geliştirme alanlarında deneyim kazanarak devam etmiştir. Ekonomi alanına duyduğu derin merak doğrultusunda, Ege Üniversitesi'nde Finansal Ekonomi üzerine Yüksek Lisans eğitimine adım atmış ve bu programı başarıyla tamamlamıştır. Ardından, Ege Üniversitesi'nde İktisat Yüksek Lisansı yaparak ekonomi alanındaki bilgi birikimini güçlendirmiştir.

