

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**



**AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ VE TÜRKİYE İÇİN ENERJİ
YOĞUNLUĞU BELİRLEYİCİLERİ: COĞRAFİ
AĞIRLIKLİ REGRESYON ANALİZİNDEN KANITLAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Prof. Dr. Bahadır YÜZBAŞI**

**Hazırlayan
Merve KARAKAŞ**

MALATYA, 2024

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ VE TÜRKİYE İÇİN ENERJİ YOĞUNLUĞU
BELİRLEYİCİLERİ: COĞRAFİ AĞIRLIKLİ REGRESYON ANALİZİNDEN
KANITLAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve KARAKAŞ

**Danışman
Prof. Dr. Bahadır YÜZBAŞI**

Bu tez TUBİTAK Tarafından “122G128” Proje Numarası ile Desteklenmiştir.

MALATYA, 2024

ONUR SÖZÜ

Prof. Dr. Bahadır YÜZBAŞI'nın danışmanlığında hazırladığım "AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ VE TÜRKİYE İÇİN ENERJİ YOĞUNLUĞU BELİRLEYİCİLERİ: COĞRAFİ AĞIRLIKLİ REGRESYON ANALİZİNDEN KANITLAR" başlıklı yüksek lisans tezi, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun olarak herhangi bir dış yardıma başvurmadan tarafımdan yazılmıştır. Kullanılan tüm kaynaklar hem metin içinde hem de kaynakça bölümünde uygun şekilde belirtilmiştir. Bu çalışmanın tüm adımları bilimsel dürüstlüğe ve araştırma etiğine tamamen uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Merve Karakaş

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, uzun ve meşakkatli bir sürecin ürünüdür. Bu süreçte yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen herkese teşekkürlerimi sunmak isterim.

Öncelikle tez yazım sürecimde beni bilgisinden ve desteğinden mahrum etmeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Bahadır YÜZBAŞI'ya en içten teşekkürlerimi iletiyorum. Kendisinin rehberliği ve yönlendirmesi olmadan bu çalışmayı tamamlamak mümkün olmazdı.

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesi ve kısa sürede tamamlanmasını sağlayan TÜBİTAK'a değerli katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli aileme ve yakın arkadaşşıma sonsuz teşekkür ederim. Sevgisi ve destekleri ile her zaman yanımda olduklarını hissettirerek bu süreçte beni güçlü kıldılar.

Son olarak tezimi 6 Şubat depremi şehitlerinden eğitimlerini tamamlama imkanı bulamayan başta Berat ve Esila kardeşler, Hümam ve deprem sembollerinden olan kimsesiz kız çocuğı olmak üzere kaybettiğimiz diğer öğrencilere ithaf etmek istiyorum. Umuyorum ki bu çalışma onların anısına bir katkı sağlayabilir.

ÖZET

Bu çalışma, 2022 yılına ait Avrupa Birliği (AB) ülkeleri ve Türkiye'nin enerji yoğunluğunu etkileyen faktörleri analiz etmektedir. Çalışmanın odak noktası enerji yoğunluğunu bağımlı değişken olarak ele almak ve enerji yoğunluğunun sağlık harcamaları, kişi başına düşen Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) ve ticaret değişkenleri ile olan ilişkilerini araştırmaktır. Bu amaçla En Küçük Kareler (EKK) tahmin yöntemi ve Coğrafi Ağırlıklı Regresyon (CAR) yöntemi kullanılarak mekansal ve küresel olarak çevre faktörünün etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde EKK ile tahmin edilen modelin R^2 değerinin 0.176 ve CAR yöntemi ile tahmin edilen modelin R^2 değerinin ise 0.743 olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar CAR yönteminin verinin mekansal etkilerini daha iyi vurguladığını göstermektedir. R^2 değerlerinin yanı sıra CAR ve EKK modelleri BIC, AIC, AICc gibi bilgi kriterleri dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre CAR modelinin değişkenler arasındaki ilişkiyi daha iyi açıkladığı ve EKK model tahmin tekniğinden daha etkili olduğu rapor edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Enerji Yoğunluğu, Coğrafi Ağırlıklı Regresyon, Avrupa Birliği, Türkiye

ABSTRACT

This study analyzes the factors affecting the energy intensity of European Union (EU) countries and Turkey for the year 2022. The focus of the study is to consider energy intensity as the dependent variable and examine its relationship with health expenditures, GDP per capita, and trade variables. For this purpose, the effects of environmental factors were investigated both spatially and globally using the Ordinary Least Squares (OLS) estimation method and the Geographically Weighted Regression (GWR) method. The results indicate that the R^2 value of the model estimated with OLS is 0.176, while the R^2 value of the model estimated with GWR is 0.743. These findings suggest that the GWR method better highlights the spatial effects in the data. In addition to the R^2 values, the models were also compared using information criteria such as BIC, AIC, and AIC_c . According to the analysis results, the GWR model explains the relationships between the variables more effectively and performs better than the OLS estimation technique.

Key Words: Energy Intensity, Geographically Weighted Regression, European Union, Turkey

İÇİNDEKİLER

ONUR SÖZÜ	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLOLAR LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	3
1.2. Çalışmanın Kapsam ve Önemi.....	3
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	5
2.1. Enerji Yoğunluğu ve Verimliliği Üzerine yapılan Çalışmalar	5
2.2. CAR Üzerine Yapılan Çalışmalar	6
2.3. Avrupa Birliği ve Türkiye’de Enerji Yoğunluğuyla İlgili Literatürler	7
3. ENERJİ TANIMI VE TÜRLERİ	9
3.1. Enerji Tanımı.....	9
3.2. Enerji Yoğunluğu Tanımı.....	10
3.3. Enerji Verimliliği Tanımı	10
3.4. Enerji Yoğunluğu ve Verimliliği Arasındaki Farklar.....	11
3.5. Enerji Kaynakları Tanımı ve Sınıflandırılması	11
3.5.1. Yenilenebilir Enerji ve Çeşitleri	11
3.5.1.1. Güneş Enerjisi	13
3.5.1.2. Jeotermal Enerji	13
3.5.1.3. Rüzgâr Enerjisi	14
3.5.1.4. Hidrolik Enerji.....	14
3.5.1.5. Biyokütle Enerjisi	15
3.5.2. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	15
3.5.2.1. Kömür Enerjisi.....	15
3.5.2.2. Petrol Enerjisi.....	16

3.5.2.3. Doğalgaz Enerjisi	16
3.5.2.4. Nükleer Enerji.....	16
4. REGRESYON MODELLERİNİN İNCELENMESİ	19
4.1. Regresyon.....	19
4.2. En Küçük Kareler Yöntemi.....	19
4.2.1. En Küçük Kareler Yönteminin Varsayımları	21
4.2.2. En Küçük Kareler Yönteminin Amacı.....	22
4.2.3. En Küçük Kareler Yönteminin Dezavantajları	23
4.2.4. Ağırlıklı En Küçük Kareler Yöntemi.....	23
4.3. Coğrafi Ağırlıklı Regresyon Yöntemi	24
4.3.1. Coğrafi Ağırlıklı Regresyon Varsayımları.....	33
4.3.2. Moran I Testi.....	34
4.3.3. Yerel Mekansal Otokorelasyon Testi.....	35
5. ANALİZ VE UYGULAMA.....	37
5.1. En Küçük Kareler Regresyon Yöntemi Analizi.....	39
5.2. Coğrafi Ağırlıklı Regresyon Analizi	40
TARTIŞMA ve SONUÇ.....	54
KAYNAKÇA	58

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Ağırlıklandırma (Kernel) Fonksiyonları.	28
Tablo 5.1. Analizde kullanılan değişken bilgilerini açıklar.....	37
Tablo 5.2. EKK tahmin yönteminin varsayım sınamalarını sunar.	39
Tablo 5.3. EKK analiz sonuçları	40
Tablo 5.4. CAR analiz sonuçları	40
Tablo 5.5. EKK ve CAR Modellerinin Tahmini	41
Tablo 5.6. Leung'un F-testi sonuçları	42
Tablo 5.7. Global Moran I test istatistiği sonuçları	43

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Çalışma alanı	44
Şekil 3.2. Enerji Yoğunluğunun ülkeler üzerinde tahminleri	45
Şekil 3.3. Sağlık Harcamalarının Enerji Yoğunluğu Üzerine Etkisi.....	46
Şekil 3.4. Avrupa Birliği ülkelerinde GSYİH'nin Enerji Yoğunluğuna etkisi	47
Şekil 3.5. Avrupa Birliği Ülkelerinde Ticaret Değişkeninin Enerji Yoğunluğuna Etkisi.....	49
Şekil 3.6. Avrupa Birliği ülkelerinde Sağlık Harcamalarının enerji yoğunluğu üzerindeki mekansal otokorelasyonu	50
Şekil 3.7. Avrupa Birliği ülkelerinde GSYİH'nin enerji yoğunluğu üzerindeki mekansal otokorelasyonu	51
Şekil 3.8. Avrupa Birliği ülkelerinde Ticaret değişkeninin enerji yoğunluğu üzerindeki mekansal otokorelasyonu	52
Şekil 3.9. Avrupa Birliği ülkelerinde enerji yoğunluğunun yerel R2 tahminleri	53

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AEKK	: Ağırlıklı En Küçük Kareler
AKT	: Artık Kareler Toplamı
AIC	: Akaike Bilgi Kriteri
AICc	: Düzeltilmiş Akaike Bilgi Kriteri
BIC	: Bayesian Bilgi Kriteri
CAR	: Coğrafi Ağırlıklı Regresyon
CV	: Çapraz Doğrulama
EKK	: En Küçük Kareler Yöntemi
EY	: Enerji Yoğunluğu
GEKK	: Genel En Küçük Kareler
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
KEKK	: Kısmi En Küçük Kareler
LISA	: Local Indicators of Spatial Association
SEKK	: Sıradan En Küçük Kareler
SH	: Sağlık Harcamaları
TC	: Ticaret
TKT	: Toplam Kareler Toplamı

1. GİRİŞ

Enerji, bir işin yapılabilmesi için o işin ürettiği ısı olarak tanımlanmaktadır (Çınar, 2023:25). Geçmişten günümüze kadar bireylerin ve toplumların içinde yer alarak ekonomik üretim ve tüketiminde sürekli bir rol oynamaktadır (Yanıktepe vd., 2021:452). Kişilerin günlük hareketleri için büyük etkisi olan enerji önceleri emeğe bağlıyken nüfus ve teknolojinin artması ile değişmiş ve artan bir ihtiyaç haline gelmiştir (Çınar, 2023:25; Gövdere ve Muhlis 2015:105; Naimoğlu, 2021:60).

Enerji yoğunluğu, genellikle bir ülkenin enerji kullanımının Gayri Safi Yurt İçi Hasıla'ya (GSYİH) oranı olarak tanımlanmaktadır. Farklı enerji kullanım ölçütlerine bağlı olarak çeşitli enerji yoğunluğu göstergeleri bulunmaktadır. Bir ülkenin enerji akışında enerji kaynaklarından nihai kullanıcılara kadar geçen farklı aşamalar tanımlanmaktadır. En yaygın aşamalar şunlardır; birincil enerji, yakıtların doğada bulunduğu haliyle taşıdığı entalpi veya iç enerjiye atıfta bulunmaktadır ve nihai enerji, üreticiler veya tüketiciler tarafından kullanılan enerji biçimlerinin entalpisi veya iç enerjisini ifade etmektedir (Serrenho vd., 2014:704)

Yapılan iş için enerjiye gereksinim duyulması insanlık için vazgeçilmez bir parça haline gelmesini sağlamaktadır. Enerjinin sürdürülebilir olması, ekonomi ve çevre açısından önemli unsurlara sahip olması, enerji kaynaklarının çeşitliliğini artırılmasına neden olmuştur (İncekara, 2019:299). Enerji hem üretim hem de tüketim aşamasında ekonomi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Geçmişte tarımda insan ve hayvan gücü kullanılırken enerji ihtiyacı kömür, petrol ve doğalgaz gibi yeraltı kaynaklarından karşılanmaktaydı. Günümüzde ise güneş ve rüzgar gibi yer üstü kaynakları da enerji üretiminde önemli bir yer tutmaktadır (Gövdere ve Muhlis, 2015:105).

Enerji ihtiyacı ülkelerin ekonomik büyümesi, kentleşme ve nüfus artışı ile paralel olarak artmakta ve bu durum refah seviyeleri ile toplam üretim üzerinde olumlu etkiler oluşturmaktadır. Enerji tüketimindeki ve talebindeki artış nüfus artışı ve sanayi gelişimi ile ilişkilidir (Göv ve Yılandı, 2023:207). Bir ülkenin kullandığı enerji miktarı ile o ülkenin gelişmesi arasında bağlantı bulunmaktadır az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde bu bağlantı çok daha önemli noktalarda incelenmektedir (Çınar, 2023:25;

Gövdere ve Muhlis 2015:105). İnsanlığın var oluşundan 19. yy.ın ortalarına kadar ihtiyaçları giderebilen enerji; nüfusun artması, sanayileşme, enerji artışıyla yaşanan krizler, teknolojinin ilerlemesi vb. sebepler var olan enerji ile karşılanamaması sebebiyle daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmuştur. Duyulan bu ihtiyaç 1971’de yaşanan I. Petrol Krizinin temel göstergesi ve hatta kanıtıdır (Gövdere ve Muhlis 2015:105; Naimoğlu, 2021:60; Yanıktepe vd., 2021:453). Krizler, enerjinin siyasi ve ekonomik önemini ortaya koymaktadır. Örneğin, 1973 Petrol Krizi, hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerin ekonomik faaliyetlerini olumsuz etkilemiş ve enerji talebini artırmıştır. Amerika Birleşik Devletleri, petrol ihracatı yapan ülkelerle siyasi ve ekonomik sorunlar yaşamış bu sorunlar giderek dikkat çekici bir boyuta ulaşmıştır (Yanıktepe vd., 2021:453).

Ülkeler artık tek bir ülkenin tek bir enerji kaynağına bağlı kalmak yerine birden fazla ülkeye birden fazla enerji kaynağı ithal ederek başka ülkelere bağımlı olmama hedefinde ilerleyerek önlem almışlardır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA: International Energy Agency) kaynağına göre Avrupa Birliği enerji piyasası liginde ithalatta birinci ihracatta ikinci sırada yer alırken Avrupa Birliği dışındaki kaynaklardan AB enerji ihtiyacının ½’sini temin etmektedir (İncekara, 2019:299). Ülkeler, nüfus ve enerji tüketimi arttıkça enerji politikalarını değiştirmiştir. Enerji ihtiyaçlarını karşılamak için fosil yakıtlar (doğalgaz, kömür, petrol) düşük maliyetleri nedeniyle tercih edilmiştir. Ancak bu kaynaklar çevreye zarar verebilir ve tükenebilir olması sebebiyle alternatif enerji kaynaklarına yönelmek kaçınılmaz olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu olmaları ve sürdürülebilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Jeotermal, rüzgar ve hidroelektrik enerji gibi kaynaklar fosil yakıtların yerini almakta ve enerji güvenliğini artırmaktadır. Artan doğalgaz ve petrol kullanımı, enerji fiyatlarını yükseltmekte ve kriz risklerini artırmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş çevreyi korumak ve enerji arzını güvence altına almak için önemlidir (Çınar, 2023:25). Enerji kaynaklarının kıt olması insanları alternatif enerji kaynaklarına yönlendirerek enerjinin daha verimli kullanımı konusunda araştırmalar yapmaya itmişse de ülkelerin enerji alanında yaptığı çalışmalar yeterli düzeye erişememiştir (Naimoğlu, 2021:60).

1970 petrol kriziyle enerji fiyatlarında artış meydana gelirken özellikle sanayi sektörü petrol bakımından dışa bağımlı hale gelen ülkelere yol açılan kriz enerji tüketimi, ekonomik büyüme, cari açık arasındaki ilişkiyi gündeme getirmiştir (Yanar ve Kerimoğlu 2011:192).

Enerji tüketimi, ekonomik büyüme için kritik bir girdi kaynağıdır. Enerji üretimi, iletimi ve taşınmasında yaşanan kayıplar ekonomik büyümeyi olumsuz etkileyebilmektedir. Enerji politikaları, bu kayıpları azaltmak ve enerjinin etkin kullanımını sağlamak için oluşturulmalı ve uygulanmalıdır (Naimoğlu, 2021:61).

Dünyada enerji ihtiyacı; nüfus, sanayileşme, teknoloji, yaşam kalitesi ve tüketim harcamalarındaki artışla birlikte yükselmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için çoğunlukla maliyetleri düşük ve erişimi kolay olan yenilemez enerji kaynakları tercih edilmektedir. Ancak fosil yakıtların çevre kirliliği ve sera gazlarının artışı gibi olumsuz etkileri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmaktadır. Yenilenebilir enerji, son zamanlarda daha fazla desteklenmekte ve uzun vadede sürdürülebilirlik için artırılması gerektiği vurgulanmaktadır (Ağır vd., 2020:40).

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu tezin amacı, AB ülkeleri ve Türkiye’de enerji yoğunluğunu etkileyen faktörleri analiz ederek bu faktörlerin enerji tüketimi üzerindeki etkilerini ve coğrafi dağılımlarını incelemektir. Çalışma, enerji yoğunluğunu bağımlı değişken olarak ele alıp enerji yoğunluğunun sağlık harcamaları, kişi başına düşen GSYİH, ticaret hacmi ve yenilenebilir enerji kullanımı gibi bağımsız değişkenlerle olan ilişkisini araştırmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda mekânsal farklılıkları göz önünde bulunduran Coğrafi Ağırlıklı Regresyon (CAR) yöntemi ile geleneksel En Küçük Kareler (EKK) tahmin yöntemi karşılaştırılmakta mekânsal bağımlılıkların enerji yoğunluğuna olan etkileri değerlendirilmektedir.

Tezin nihai amacı, enerji politikalarının oluşturulmasına katkı sağlamak, enerji verimliliğini artıracak ve enerji yoğunluğunu azaltacak öneriler geliştirmek ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemini vurgulamaktır. Bu sayede sürdürülebilir ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasındaki dengenin nasıl sağlanabileceği konusunda politika yapıcılara yol gösterici bilgiler sunulması hedeflenmektedir.

1.2. Çalışmanın Kapsam ve Önemi

Ele alınan çalışmanın kapsamı AB ülkeleri ve Türkiye’nin enerji yoğunluğu belirleyicilerini incelemeye odaklanmaktadır. Çalışmada enerji yoğunluğunu etkileyen

ekonomik, sosyal ve çevresel faktörler ele alınmış; sağlık harcamaları, kişi başına düşen GSYİH, ticaret hacmi gibi değişkenlerin enerji yoğunluğu üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Araştırma, bu faktörlerin coğrafi dağılımlarını ve mekânsal farklılıklarını inceleyerek enerji politikalarının ülkeler arasındaki farklılıklara göre nasıl şekillendirilmesi gerektiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Çalışmanın önemi, enerji yoğunluğunu etkileyen faktörlerin mekânsal heterojenliğini dikkate alarak analiz edilmesinden kaynaklanmaktadır. Geleneksel analiz yöntemlerinin aksine CAR modeli kullanılarak ülkeler arasındaki yerel dinamikler ve bölgesel farklılıklar detaylı bir şekilde ortaya konulmuştur. Bu da enerji politikalarının yerel ve bölgesel düzeyde daha etkin şekillendirilmesine katkı sağlayacak önemli bilgiler sunmaktadır. Enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi konusunda yapılacak politik müdahalelerin daha etkin olmasına olanak tanımaktadır.

Çalışma enerji yoğunluğunu azaltarak hem çevresel sürdürülebilirliği sağlamak hem de ekonomik büyümeyi desteklemek açısından önemli sonuçlar sunmaktadır. Özellikle AB ülkeleri ve Türkiye'nin enerji politikaları için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin ve enerji verimliliğinin artırılmasının gerekliliği vurgulanmaktadır bu nedenle enerji kaynaklarının verimli kullanımı, enerji yoğunluğunun azaltılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi noktasında çalışmanın politika yapımcılar için kritik bilgiler sunduğu söylenebilir.

Bu tez giriş, literatür taraması, enerji tanımı ve türleri, regresyon modelleri, analiz ve uygulama, tartışma, sonuç ve kaynakça bölümlerinden oluşmaktadır. Giriş bölümünde tezin amacı, kapsamı ve önemi açıklanmıştır. Literatür taraması bölümünde enerji yoğunluğu ve verimliliği üzerine yapılan çalışmalar; CAR üzerine yapılan çalışmalar; AB ve Türkiye'de enerji yoğunluğu üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Enerji tanımı ve türleri kısmında enerji, enerji yoğunluğu ve verimlilik kavramları detaylandırılmıştır. Regresyon modelleri bölümünde EKK ve CAR yöntemleri açıklanmıştır. Analiz ve uygulama bölümünde bu modellerle yapılan analizler sunulmuştur. Tartışma bölümünde analiz sonuçları değerlendirilmiş, sonuç bölümünde bulgular özetlenerek enerji politikalarına yönelik öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Enerji Yoğunluğu ve Verimliliği Üzerine yapılan Çalışmalar

Nica vd. (2023:1-13), Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye'de sağlık harcamalarının enerji yoğunluğunu azaltma üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırma, sağlık bütçelerinin artırılmasının enerji verimliliğini yükselttiğini ve kirlilik ile CO2 emisyonlarını azalttığını göstermiştir. Enerji ve sağlık politikalarının entegrasyonu sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

Pehlivanoğlu vd. (2021:21219-21231), 1995-2016 döneminde 21 AB ülkesinde enerji verimliliğinin ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini incelemiştir. Enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı ve enerji bağımlılığı ekonomik büyümeyi olumlu etkilemektedir. Ayrıca, enerji verimliliği ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir nedensel ilişki bulunmuştur.

Azam vd. (2021:1-22), 1991-2017 döneminde 66 gelişmekte olan ülkede kurumsal kalitenin çevre ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada CO2 ve CH4 emisyonları, orman alanı ve enerji tüketimini değerlendirmişlerdir. Kurumsal kalite, çevresel göstergeler üzerinde olumlu etkiler yapmış ve fosil yakıt tüketimini iyileştirici yönde bulgular elde etmişlerdir. Ancak, ekonomik küreselleşmenin çevre kalitesini artırmadığı belirtilmiştir.

Chaabouni ve Saidi (2017:137-143), farklı gelir gruplarındaki ülkelere CO2 emisyonları ve sağlık harcamalarının ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini incelemiştir. Düşük gelirli ülkelere ekonomik büyüme sağlık harcamalarını ve CO2 emisyonlarını artırırken, sermaye yatırımları büyümeyi etkilediği sonucuna varmışlardır. Orta gelirli ülkelere bu faktörlerin etkisi anlamlı, üst orta gelirli ülkelere ise güçlü olduğunu vurgulamışlardır.

Filipovic vd. (2015:547-554), 1990-2012 döneminde Avrupa Birliği ülkelerinde enerji yoğunluğunu incelemiştir. Düşük elektrik fiyatlarının enerji verimliliği artırdığı, yüksek enerji vergilerinin ise enerji yoğunluğunu azalttığı bulunmuştur. Danimarka, Almanya ve İtalya'daki uygulamalar bu politikaların etkinliğini göstermektedir. Elde

ettikleri sonuçlar, enerji politikalarının ülke özelinde uyarlanması önemi vurgulamaktadırlar.

Çobanoğluları (2024:1-12) Türkiye'de sağlık harcamaları ve ekonomik büyümenin CO2 emisyonları üzerindeki etkisini Otoregresif Dağıtılmış Gecikme (ARDL) modeli ile analiz etmiş ve kısa-uzun vadeli tahminler sunmuştur. CUSUM ve CUSUMSQ testleri de kullanılarak sonuçlar doğrulanmıştır.

Gyamfi vd. (2023:801-814), AB ülkelerinde enerji yoğunluğunu etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Temiz enerji ve gelir, enerji yoğunluğunu azaltırken ticaret açıklığı, teknolojik inovasyon ve yenilenmeyen enerji tüketimi artırmaktadır. Temiz enerji ile gelir arasındaki etkileşim gelirin enerji yoğunluğu üzerindeki etkisini azalttığı kanısına varmıştır elde ettikleri bulgular, AB ülkeleri için politika önerilerini desteklemektedir.

2.2. CAR Üzerine Yapılan Çalışmalar

Lin vd. (2020:1-9) Çin'in kömür madenlerindeki su kullanımının mekansal etkisinin bölgesel farklılığını yüksek mekansal çözünürlüklü maden sahası veri setine dayanarak araştırmış ve enerji tüketimi ile olan mekansal sinerjik ilişkileri CAR yöntemi kullanılarak incelemişlerdir.

Sultana vd. (2018: 1-22), Kuzey Carolina'daki 14 metropol bölgesini çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Çalışmada, hane halkının enerji harcamalarıyla ilişkili ana faktörlerin mekansal değişimini CAR yöntemiyle analiz etmiş ve EKK yöntemiyle karşılaştırarak CAR modelinin EKK modelinden daha iyi sonuç verdiğini saptamışlardır.

Zhou vd. (2019:1-12), Çin'deki sis kirliliğinin etkisini incelemek için 283 ili çalışma alanı olarak seçmiş Çevresel Kuznets Eğrisi ve CAR yöntemlerini kullanmışlardır. Analizinde EKK ve CAR yöntemini karşılaştırmış elde ettiği analiz sonuçlarına dayanarak Çin'de farklı bölgelerde farklı politikaların uygulanmasını önermişlerdir.

Zhang ve Li (2022:1-16), bina endüstrisinde sera gazı emisyonları üzerindeki yeşil sertifikasyon programlarının etkilerini CAR yöntemiyle değerlendirmişlerdir. EKK ve CAR modellerini karşılaştırarak elde ettikleri sonuçlara göre yetkililere bina enerjisinde çevresel sürdürülebilir planların değerlendirilmesini önermişlerdir.

Chen vd. (2021:1-18), kentsel dönüşümde enerji ve su tüketimini mekansal ve zamansal ölçeklerde ele almışlardır. Tayvan’ın Taichung şehri ve 29 ilçesi çalışma alanı olarak seçilerek CAR yöntemi kullanmışlardır. Sosyoekonomik kaynaklar ile yerli kaynak arasında güçlü pozitif korelasyon bulunurken sanayi ve tarımsal kaynak tüketimi için zayıf korelasyon bulmuşlardır.

Zhou vd. (2014:1-12), 2010’da Çin illerinde karbon ayak izinin mekansal farklılıklarını CAR yöntemiyle incelemişlerdir. Karbon ayak izindeki farklılıklar ekonomik gelişim, enerji tüketimi ve ağır kimyasallarla ilişkili olarak bulunmuş nüfus ve kentleşme oranının da etkili faktörler olduğunu belirtmişlerdir.

2.3. Avrupa Birliği ve Türkiye’de Enerji Yoğunluğuyla İlgili Literatürler

Şaşmaz vd. (2021:1129-1137), 2004-2017 döneminde 27 Avrupa Birliği ülkesinde yenilenebilir enerji kullanımı ile sağlık harcamaları arasındaki ilişkiyi panel veri analizi yöntemiyle incelemişlerdir. Araştırma, 2000 yılı öncesinde AB'ye katılan ülkelerde tek yönlü; 2000 sonrası katılan ülkelere ise çift yönlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Rahman ve Alam (2022:251-259), 1996-2019 döneminde ANZUS-BENELUX ülkelerinde yenilenebilir enerji, çevre kirliliği, ekonomik büyüme, kentleşme ve iyi yönetişimin yaşam beklentisi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yenilenebilir enerji, ekonomik büyüme, iyi yönetişim ve kentleşmenin yaşam beklentisini artırdığı; çevre kirliliğinin ise olumsuz etkiler yarattığı bulunmuştur. Dumitrescu ve Hurlin’in panel nedensellik testi, yaşam beklentisi ile bu değişkenler arasında nedensel ilişki olduğunu doğrulamıştır.

Mester vd. (2023:1-22), 1995-2019 döneminde AB ülkelerinde uluslararası turizm gelişim indeksi ile ekonomik büyüme, CO2 emisyonları, ticaret açıklığı ve enerji yoğunluğu arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. ARDL modeli kullanılarak turizmin kısa ve uzun vadeli etkileri analiz edilmiştir. Araştırma, turizmin ekonomik ve çevresel etkilerinin karmaşıklığını ortaya koymaktadır.

Muhammad ve Khan (2021:1-10), 1991-2018 döneminde 31 gelişmiş ve 155 gelişmekte olan ülkede yenilenebilir enerji tüketiminin CO2 emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yenilenebilir enerji ve sosyal küreselleşmenin emisyonları azalttığı bulunmuştur. Gelişmiş ülkelerde yakıt ihracatı, ekonomik büyüme ve

küreselleşme emisyonları artırırken gelişmekte olan ülkelerde yakıt ihracatı ve ekonomik küreselleşme emisyonları azaltmaktadır. Çevresel ve ekonomik politika önerilerinin önemi vurgulanmaktadır.

Sanayi devrimiyle enerjiye olan bağımlılık hızla artmış ve kıt kaynakların tüketilme tehlikesi doğmuştur. Bu durum, yeni enerji kaynakları arayışını teşvik etmiştir. Literatürde, ekonomik büyüme ile enerji tüketiminin birbirini etkilediğine dair ampirik bulgular bulunmaktadır (Mucuk ve Uysal, 2009:105-106).



3. ENERJİ TANIMI VE TÜRLERİ

3.1. Enerji Tanımı

Enerji ihtiyacının giderilebilmesi için insanlığın varlığından günümüze kadar bir çaba bulunmaktadır. Isınma, barınma ve ulaşım gibi temel ihtiyaçların giderilmesinde enerjiye ihtiyaç duyulurken enerjiyle elde edilen sonuçlar toplumların gelişmesine öneyak olmaktadır (Tanrıkulu ve Partigöç 2024:403). Hayatımızda büyük bir öneme sahip olan enerji modern yaşamda vazgeçilmeyecek bir faktördür. Yaşanılan coğrafya ve yaşamın kattığı alışkanlıklarımıza bağlı olmaksızın enerji tüketiminin ve enerji kaynaklarının sağladığı yararlar hayatımızda büyük önem kazanmaktadır (Kılıç ve Kurtaran 2023:2). Enerjinin yaşam standartlarını artırması konusunda büyük öneme sahip olması devletlerin gelişebilme ve toplum refahını artırabilme arzusuyla ekonomik büyüme merkezli düşünme sisteminin getirdiği enflasyon ile işsizlik oranlarındaki artışı azaltma odağında kalarak çevre faktörünü göz ardı etmeleri sonucunda doğal kaynakları tüketip çevre kirliliğine yol açmaktadır (Örs ve Boz 2024:2).

Sanayi devrimi sonrasında enerji yoğunluğu talebi artmış artan enerji yoğunluğu talebini karşılamak için az maliyet ile çok verime sahip fosil yakıtlar tercih edilmiştir. Bunun sonucunda kolay ulaşım sağlanabilen fosil yakıtların ihtiyacı giderebilmesi amacıyla yoğun kullanılması sera gazları, iklim değışikliğı gibi çevre sorunlarını beraberinde getirmiş bu sorunları önleyebilmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları tercih konusu olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları temiz ve güvenilir enerjiyi sunarken tesisi kurulduktan sonra sürekli enerji sağlayarak çevreyi korumaktadır (Tanrıkulu ve Partigöç 2024:402).

1970'lerde yaşanan enerji krizleriyle gelişmekte olan ülkelerde petrol fiyatlarındaki artış sebebiyle ekonomik büyümelerinde gerileme olduğu saptanmış bu durum enerji tüketimiyle ekonomik büyüme arasındaki ilişkini araştırılmasına neden olmuştur. Gelişmiş ülkelerde enerji tüketimi üretim faktörlerindeki artış ve ekonomik büyüme ile yoğun hale gelmiştir. Böylece mal ve hizmet talebini etkilerken enerjiyi de verimli kullanmaya yönlendirmiştir (Aydın, 2010:320).

3.2. Enerji Yoğunluğu Tanımı

Enerji yoğunluğu, enerji tüketiminin GSYİH'ye bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu gösterge önemlidir çünkü enerji tüketimi ile ekonomik faaliyetleri ilişkilendirir ve bir birim GSYİH başına ne kadar enerji gerektiğini göstermektedir. Enerji yoğunluğunu azaltmak önemlidir çünkü enerji yoğunluğunu azaltmak enerji tüketimini artırmadan ekonomik büyümeyi mümkün kılmakta ve CO2 emisyonlarını artırmadan ekonomik büyümeyi desteklemektedir. Günümüzde hava kirliliği, iklim değişikliği, sürdürülebilir kalkınma ve fosil yakıt tükenmesi gibi endişeler enerji yoğunluğu dinamiklerinin tartışılmasını gerektirmektedir. Ayrıca yüksek enerji yoğunluğu CO2 emisyonları nedeniyle olumsuz dışsallıklara yol açtığı için hükümet politikalarının bunu azaltması gerekmektedir.

Ekonomik büyüme ile birlikte enerji yoğunluğunu azaltmak, sürdürülebilir büyümeyi sağlamak için bir yol oluşturmaktadır. Bu nedenle enerji taşıyıcılarının tüketim yoğunluğu eğilimlerini ve bunların yakınsamalarını analiz etmek, sürdürülebilir büyüme politikalarını değerlendirmek ve belirlemek için faydalı olabilmektedir. Enerji yoğunluğunun yakınsaması, düşük enerji teknolojilerinin yayılımı ve hükümet enerji politikaları ile ilgilidir. Bu nedenle, eyaletler arasındaki enerji yoğunluğunun yakınsamasını veya uzaklaşmasını tanımak, yalnızca mevcut hükümet enerji politikalarını değerlendirmeye yardımcı olmakla kalmaz aynı zamanda enerji teknolojisi ve yapısal değişikliklerle ilgili yeni politikalar ve bölgeler arasındaki bilgi yayılımı aracılığıyla enerji taşıyıcılarının tüketim yoğunluğunu azaltma stratejisini belirlemeye de yardımcı olabilmektedir (Shabani ve Shahnazi, 2021:26697-26698).

3.3. Enerji Verimliliği Tanımı

Enerji verimliliği aynı düzeyde ekonomik faaliyet sürdürülürken daha az enerji girdi kullanılması anlamına gelmektedir. Enerji yoğunluğu, birim faaliyet başına tüketilen enerji miktarını ifade etmektedir. Enerji verimliliğini ve zaman içindeki değişimini değerlendirmek genellikle enerji yoğunluğu ile yaklaşık olarak yapılmaktadır. Etkili göstergelerin temel özellikleri arasında amaca uygunluk, anlaşılabilirlik, güvenilirlik ve veri erişilebilirliği yer almaktadır. Ancak enerji yoğunluğu yalnızca enerji verimliliğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilir çünkü enerji yoğunluğundaki değişiklikler birçok belirleyicinin bir fonksiyonu olup ekonomi yapısı bunlar arasında en önemlisidir.

3.4. Enerji Yoğunluğu ve Verimliliği Arasındaki Farklar

Enerji yoğunluğu ve enerji verimliliği arasındaki ayırım temel kavramsal farklardan kaynaklanmaktadır. Enerji verimliliği, belirli bir hizmet veya ekonomik çıktı için daha az enerji kullanmayı ifade ederken enerji yoğunluğu, genel enerji tüketiminin ekonomik üretimle olan ilişkisini ölçer. Bu nedenle enerji verimliliğini ölçmek için enerji yoğunluğu gibi göstergeler kullanılabilir ancak enerji verimliliği daha geniş bir verimlilik anlayışını kapsamaktadır (Filipovic vd., 2015:547-548).

3.5. Enerji Kaynakları Tanımı ve Sınıflandırılması

Enerji hayatımızı devam ettirebilmemiz için gerekli tüm ihtiyaçlarımızda bulunurken hayatımızı devam ettirmek adına enerji ihtiyaçlarımızı giderirken sınırlı kaynaklara başvurmamız kaynakların sonu haline gelebilmektedir. Bahsedilen sınırlı kaynaklar fosil yakıtlardır. Kolay ulaşılabilmesi ve maliyetinin az olmasıyla en çok tercih edilen kaynaklar olsa da çevre kirliliğine yol açarak iklim değişikliğine neden olmaktadır. Daha temiz yaşanılabilir dünya için doğadan sınırsız kaynaklardan elde edilen güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle gibi doğal enerji türleri tercih edilmelidir (Kılıç ve Kurtaran 2024:2).

Fosil kaynaklar yenilenebilir enerji kaynaklara göre sınırlıdır, bu gerçeğe ters olarak sınırsız gibi tüketilmesi gelecek nesillere ve canlılara zarar vermektedir. Bu zararı önlemek için yenilenebilir enerjiye yönelme teşvikleri artsa da fosil yakıtların düşük maliyeti tercih edilmeye devam edilmesine neden olmaktadır. Ancak devletler bu durumu dengelemek adına yenilenebilir enerji tercih edildiğinde vergide indirim uygulama politikası getirmiştir (Artun, 2024:23).

3.5.1. Yenilenebilir Enerji ve Çeşitleri

Son 50 yılda ülkelerdeki büyüme ile kirlilik de artmaktadır bu kirliliği azaltmak için yapılacak hamle yenilenebilir enerji kaynaklarına geçmek olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları ve yeşil büyüme stratejileri son zamanlarda uygulanmaya çalışılsa da ülkelerin gelişmişlik düzeylerinde farklılıklar görünmektedir. Gelişmiş ülkeler özellikle 1990’lardan itibaren yenilenebilir enerjiye özen göstermiş olsalar da geliştirmekte veya geliştirmemiş ülkelerde “kirlilik sığınağı, cenneti” adı altında sanayi kollarını kaydırmışlardır (Atalay, 2024:364).

Yenilenebilir enerjinin tercih edilebilmesi iklim değişikliği sonucunda sürekli gündemdedir. Birleşmiş Milletler yenilenebilir enerji için, tüketildiğinden daha yüksek oranda yenilenen doğal kaynaklardan elde edilen enerji (2023), tanımını yaparak en çok güneş ve güneş enerjisinin her yerde kullanılabileceğini belirtmiştir. Doğaya faydalı olsa da alanının dar olması haricinde yenilenebilir enerjinin kurulum için geniş araziye ihtiyaç duyulması, kurulumunun pahalı olması, hava koşullarına bağımlı olması ve etkinlikte yetersiz kalması gibi dezavantajları olsa da fosil yakıtları terk etmek için yenilenebilir enerji tercih edilmelidir (Koçoğlu, 2024:77).

Yenilenebilir enerji kaynaklarına; fosil yakıtların tükenme tehlikesi, gelişmiş ülkelerin ve AB'nin politika izleyerek girişimcilere sağladığı politikalar ile yenilenebilir enerjiyi desteklemesi, ithalata bağlı ülkelerde evre koruma ve sınırsız enerji sağlama faktörleri ile yatırımlar artmıştır. Özellikle rüzgar ve güneş enerjilerine sağlanan destekler ve maliyetinin sürekli azalması da güneş ve rüzgar enerjilerini daha fazla tercih edilmesinin sebepleri arasındadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, hidroelektrik, jeotermal, rüzgar, biyokütle enerjisi olarak ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en büyük paya sahip olan hidroelektrik enerjidir ardından ise rüzgar enerjisi gelse de bölgelere ve ülkelere göre enerji türlerinin kullanımı oranında değişiklik göstermektedir (Tanrıkulu ve Partigöç 2024:403-404).

Yenilenebilir enerji her gün başlangıcında enerjiyi döngü halinde doğadan sağlanmasıyla oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji üretilirken gelecek nesillerin enerji ihtiyaçlarını tüketmeden karşılamaktadır. Her geçen gün yenilenebilir enerjiye olan ilginin artmasında ülkelerin kendi ihtiyaçlarını giderebilmesi için gerekli enerjiyi üretebilmesi, gerekli enerjiyi ürettikçe yeni istihdam alanlarını artırmak enerji ihtiyaı için dışa harcanan paraların ülke kalkınması adına yatırımlar yapılması gibi unsurlar etkili olmaktadır. Yenilenebilir enerji, fosil yakıtlara oranla çevreye yararlıdır yani yenilenebilir enerji de çevreye zarar vermektedir. Yenilenebilir enerjinin çevreye verdiği bazı zararlar; güneş enerjisiyle panellerin kurulum aşamasına kadarki süreçte oluşan karbon ayak izi, göçmen kuşların oluşturulan güneş kuleleriyle karşılaştıkları tehlikeler, paneller mevsimlik sıcaklıklardan 5 derece daha sıcak iklim oluşturarak çevresinin bitki örtüsünü değiştirmektedir; rüzgar enerjisiyle kuş ölümleri ve rüzgar gllerinin kurulduğu toprakları oraklaştırması zararları arasındadır. Bu zararlara ek olarak iklim ve hava koşullarına göre kullanılması enerji üretimindeki dezavantajları olarak sıralanabilmektedir. Sayılan her

zarar ve yarara karşı belirtilmelidir ki yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtlardan çok daha faydalıdır devletlerin ve uluslararası kuruluşların yenilenebilir tesisler için oluşturdukları politikalar bu düşüncüyü kanıtlar niteliktedir (Artun, 2024:3-5).

Diğer ülkelere bağımlı olmak istemeyen ülkeler elektrik ihtiyaçlarını kendileri gidererek ve doğaya zarar vermeyerek yaşamdaki dengeyi bozmamayı hedeflemek amaçlarıyla yenilenebilir enerjiyi tercih etmektedir.

3.5.1.1. Güneş Enerjisi

Dünya'nın günlük hareketlerine bağlı olarak güneş ile dünyanın konumu gereği sınırsız, temiz ve güvenilir enerji kaynağına erişebilmekteyiz. Güneşten alınan yoğun enerji ile ısınma ve elektrik gibi ihtiyacımız karşılanmaktadır. Fosil yakıtlara alternatif kullanılan enerji panelleri, çevreye fosil yakıtlara kıyasla daha az zarar vermeleri, yenilenebilir ve sınırsız olmaları gibi avantajlara sahiptir (Tanrikulu ve Partigöç 2024:404-405). Fosil yakıtlar çevreye zarar vermesi, yenilenememesi ve yerel olmaması sebepleri ile yerini güneş enerjisine bırakmıştır. İklim değişikliğine bağlı olarak nüfustaki artış beraberinde çevre sorunları artışa sebep olmuş ve çevre sorunlarının tetiklenmesiyle iklim değişikliği başlamıştır. Böylelikle bilim insanlarının çalışmaları yenilenebilir enerji olan güneş enerjisi kullanımını yaygınlaştırmıştır (Mutlu vd., 2024:3).

3.5.1.2. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yer kabuğunun farklı katmanlarında birikmiş ısınn etkisiyle oluşmaktadır biriken ısı havzalardan gelen sularla etkileşime girerek faaliyet göstermektedir. Sıcaklıkları bölgesel olarak değişiklik gösterebilen ve yapısında yoğun miktarda erimiş mineral, tuzlar ve gazlar barındıran su ve buhardan oluşan bir hidrotermal kütle olarak tanımlanabilmektedir. Yeraltındaki granit gibi su içermeyen sert kayalar da jeotermal enerji kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir. Jeotermal kaynaklar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır bunlar elektrik enerjisi üretimi, konut ve sera ısıtması, şehirleri ısıtma ve sıcak su sağlama, havaalanı pistleri ve caddelerin ısıtılması, yüzme havuzu ve fizik tedavi merkezlerinin ısıtılması, endüstriyel işlemler, yiyecek kurutma ve sterilizasyonu, kereste ve kağıt sanayisi, tekstil ve deri işleme, bira mayalama, soğutma tesisleri, beton kurutma, çamaşırhaneler ve sağlık amaçlı kaplıca kullanımı gibi pek çok alanda jeotermal enerji etkin olarak değerlendirilmektedir (Öztürk, 2022:1-2). Volkanik

ve tektonik plaka bölgelerde görünen jeotermal enerji, yer altında oluşan sıcak su ve buhar ile üretilmektedir. Isınma ve soğuma için kullanılan jeotermal enerjiye olan ilgi artmış bazı ülkelerde önemli portföyler haline gelmiş ve jeotermal enerjiye yatırımlar artmıştır.

3.5.1.3. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgar gücü yardımıyla fosil yakıt ihtiyacını gidermek amacıyla tercih edilen rüzgar enerjisi, çevre dostu enerji türü olarak tüketicilerin yatırımlarını artırmasını sağlamıştır. Rüzgar enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında kullanım alanı ve yaygınlık açısından öncelikli bir konumda olup günümüzde fosil yakıtlara alternatif olarak elektrik üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak rüzgar enerjisi, sera gazı emisyonlarına neden olmamakla birlikte yerel düzeyde görüntü ve ses kirliliği gibi olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Rüzgar enerjisinin avantajları arasında rüzgarın elde edilmesi için maliyet gerektirmemesi, enerji üretim sürecinde çevreye zararlı atıkların ortaya çıkmaması, üretim istikrarının yüksek olması ve maliyetlerin zamanla artmaması yer almaktadır. Ayrıca, rüzgar enerjisi santralleri, fosil yakıt kullanan santrallerle rekabet edebilecek düzeyde ekonomik olup düşük bakım ve işletme maliyetlerine sahiptir. Bu santrallerin taşınabilirliği, teknolojisinin kurulumu ve işletiminin görece basit olması, kısa sürede işletmeye alınabilmesi ve küçük ölçekli ihtiyaçları karşılayabilmesi de rüzgar enerjisinin diğer önemli üstünlükleri arasında yer almaktadır (Şenol, 2017:14-15).

3.5.1.4. Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen bir enerji türüdür. Yüksek kotlardan düşük kotlara düşen suyun oluşturduğu kinetik enerji, türbinleri döndürerek elektrik enerjisi üretmektedir (Bozkurt ve Tür, 2015:322). Dünyanın $\frac{3}{4}$ 'ünün sularla kaplı olmasına bağlı olarak en yaygın kullanılan enerji türüdür. Sudan elde edilen potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürerek genellikle elektrik enerjisi üretiminde etkin role sahiptir. Güneş ve rüzgar enerjisinden sonra hidroelektrik enerji kullanımı elektrik enerjisi üretiminde geniş paya sahip olmasıyla gelişmiş ve yoğun nüfuslu bölgelerde öncelik verilen enerji türü olmuştur.

3.5.1.5. Biyokütle Enerjisi

Biyolojik atıklar ile oluşan enerji türüdür. Temelinde bitkisel, tarımsal, organik vb. atıkları barındırmaktadır. Biyokütle enerjisi biyolojik atıkların yakılmasıyla biyokimyasal süreçlerden geçilerek ısınma, yakıt, enerji üretimi gibi alanlarda tercih edilmektedir (Tanrıkulu ve Partigöç, 2024:404). Dünya nüfusunun artması ve sanayileşmenin hızlanmasıyla beraber çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir bir şekilde enerji ihtiyacını karşılayabilecek en önemli kaynaklardan biri biyokütle enerjisidir. Bitkilerin yetiştirilmesi güneş var olduğu sürece devam edeceği için biyokütle enerjisi tükenmez bir enerji kaynağıdır. Biyokütle enerjisinin tükenmez oluşu, her yerde yetiştirilebilmesi ve özellikle kırsal alanların sosyo-ekonomik gelişimine katkı sağlaması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Topal ve Arslan, 2008:242).

3.5.2. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Birincil enerji kaynakları olarak da adlandırılır, bitki ve hayvan fosillerinden elde edilen petrol, kömür doğalgaz tükenbilir/ konveksiyonel kaynaklardır. Enerji kaynakları kıt olmaları, farklı coğrafyalarda oransız dağılımları ve dönüşümlerinde çevreye verdikleri zararlar karakteristik özellikleri haline gelmiştir (Aydın, 2010:319).

Dünyada enerji ihtiyacının yaklaşık %60'ını fosil kaynaklar oluşturmaktadır. Fosil yakıtların giderek artan kullanımı kaynak rezervlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum enerji fiyatlarının yükselmesine ve maliyetlerin artmasına yol açarken aynı zamanda enerji tüketimini de azaltmaktadır. Azalan enerji tüketimi, üretimi düşürmekte bu da ülkelerin ekonomik olarak küçülmesine neden olmaktadır.

3.5.2.1. Kömür Enerjisi

Doğalgaz ve petrolden sonra tüketimdeki payı en çok olan enerji kaynağı kömür olmuştur. Kömür, temel olarak konutlarda ısınma ihtiyacını ve üretimi kapsamaktadır fakat artan nüfus ile sanayide kullanım oranında da artışlar görünen kömürün kullanımı çevreye verdiği sera gazı en çok hava kirliliğine sebep oluşuyla asit yağmurlarını oluşturmaktadır. Asit yağmurları ise bitkileri olumsuz etkilemektedir, bu olumsuzlukların önüne geçmek için tüketilen kömürün çevreye verdiği zararın önüne geçmek adına bacalarda filtre kullanılmıştır. Her ne kadar doğaya zarar verilmek istenmese de kömür kullanımı ciddi olumsuzluklara yol açmaktadır.

3.5.2.2. Petrol Enerjisi

Petrol enerjisi 1800'lerin başında bulunmuş evlerde ışık kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. İlerleyen zamanlarda sanayi devrimi petrol enerjisinin kullanım alanını genişleterek petrol ihraç eden ülkeleri diğer ülkelere göre öne taşımıştır. Petrol enerjisi kullanmak ekonomik büyüme, siyasi üstünlük olarak fayda sağlasa da enerjinin kullanıldığı bölgelerde iklim değişikliği, canlılara verilen zararlar, asit yağmurları, doğal afetler ve çevre kirliliği gibi olumsuz olayları beraberinde getirmektedir. Bir diğer sorunu ise petrol kısıtlı kaynaktır yani rezerv alanları tükenebilir bu sebeple alternatif enerji kaynaklarına yönelmek gerekmektedir (Yalçın, 2022:35-39).

3.5.2.3. Doğalgaz Enerjisi

Doğalgaz, doğada bulunan bitki ve hayvan atıklarının zaman içinde basınç ve yüksek sıcaklık etkisiyle tepkime sonucunda oluşmuştur yani doğalgaz organik kökenli enerji kaynağıdır. Hafif bir gaz olan doğalgaz renksiz ve kokusuzdur. Kayaçların gözenekli boşluklarında sıkışmış halde bulunana doğalgaz petrole göre doğaya daha az zarar veren enerji türüdür (Akpınar ve Başbüyük 2011:121-123). Doğalgaz konutların ısınmasında, elektrik üretiminde büyük önemi olmasının yanı sıra sanayi sektöründe de kullanılmaktadır. Bu enerji kaynağı tıpkı petrol gibi bulunduğu bölgenin kalkınmasında önemlidir fakat asit yağmurlarına sebep olması, rezerv alanlarının daralması, üretim maliyetinin fazla olması gibi nedenlerle alternatif kaynaklar tercih edilmektedir (Yalçın, 2022:37-38).

3.5.2.4. Nükleer Enerji

Doğada bulunan bazı radyoaktif elementlerin atom çekirdeği seviyesinde parçalanmasıyla elde edilen nükleer enerji, fisyon ve füzyon tepkimelere uğramaktadır. Nükleer enerji kaynağını elde etmek için kullanılan hammaddeler uranyum ve toryumdur. Uranyum ve toryum diğer fosil kaynaklara oranla doğada daha eşit dağılımı ve depolanmasıyla bir avantaj sağlamaktadır. Nükleer enerji, endüstri, tıp ve tarım gibi alanlarda kullanılırken bu enerji santrallerinin zemin sıvılaşması, deprem bölgeleri, tsunami, toprak çökmesi ve eğime ters toprak hareketlerinin görülebileceği yerlerde kurulması, ekonomik olumsuzlukların yanı sıra çevredeki insanlar için tehlikeler oluşturabilir. Bu tür riskli bölgelerde nükleer enerji santrali kurulmaması hem ekonomik

zararların hem çevresel zararların hem de insan sağlığına yönelik olumsuzlukların önüne geçecektir. (Ergün ve Polat, 2012:36-38).

1973 yılında yaşanan petrol krizi, petrol fiyatlarının yükselmesine ve birçok ülke ekonomisinde enerji arz sorunlarına yol açmıştır. Bu kriz, enerji arz güvenliğinin önemini gündeme getirmiş ve politika yapıcılarını enerji temini konusunda yeni stratejiler geliştirmeye yönlendirmiştir. Bu stratejiler arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi öncelikli bir yer tutmaktadır. Ancak bu kaynakların sürdürülebilir bir şekilde enerji talebini karşılayabilmesi için enerji verimliliğinin sağlanması kritik bir öneme sahiptir. Enerji verimliliği veya enerji üretkenliği terimleri, bir birim enerji girdisi karşılığında üretilen mal ve hizmet çıktısının nicel ve nitel ölçümü anlamına gelmektedir. Bu bağlamda enerji verimliliğinin uygulama alanları, teknolojik olarak enerji çevrim makinelerine giren ve çıkan enerjinin oranından, ekonomik olarak ülkelerin bir birim enerji tüketimi karşılığında ürettikleri GSYİH miktarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Enerji yoğunluğu ise birim GSYİH elde edebilmek için tüketilen toplam enerji miktarı olarak tanımlanır ve enerji verimliliğinin zıttı olarak kabul edilmektedir. Enerji verimliliğini artırmak için hem niteliksel gelişmelerin sağlanması hem de daha az enerji kullanarak mal ve hizmet üretiminde niceliksel artışların gerçekleşmesi gerekmektedir (Özbek, 2023:115). Enerji yoğunluğu, birim hasıla üretmek için gereken enerji miktarını göstermekte ve enerji tüketiminin GSYİH'ye bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Enerji verimliliği ile enerji yoğunluğu arasında ters bir ilişki vardır; bir ülkede veya sektörde enerji yoğunluğu ne kadar düşükse enerji verimliliği o kadar yüksektir (Bayraç, 2010:247). Enerji yoğunluğu, enerji etkinliğinin yaygın bir göstergesi olarak kullanılmakta ve enerji politikalarının temel unsurlarından birini oluşturmaktadır (Çil, 2023:986).

Bu tez çalışmasının amacı, Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye'deki enerji yoğunluğunun belirleyicilerini analiz etmek ve bu belirleyicilerin mekansal dağılımlarını CAR yöntemi ile incelemektir. Enerji yoğunluğu, enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisini anlamak için önemli bir göstergedir. Bu çalışmada, enerji yoğunluğunun bağımlı değişken olarak kullanılması ve sağlık harcamaları, kişi başına düşen GSYİH ve ticaret değişkenleri ile olan ilişkilerinin araştırılması hedeflenmektedir. EKK ve CAR yöntemleri kullanılarak enerji yoğunluğunun mekansal ve küresel etkileri incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu analiz, enerji politikalarının

oluşturulmasında ve ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılmasında önemli bilgiler sağlamayı amaçlamaktadır.



4. REGRESYON MODELLERİNİN İNCELENMESİ

4.1. Regresyon

Regresyon (bağlanım), bir bağımlı değişkenin bir veya birden fazla bağımsız değişkene olan ilişkisini inceleyerek bağımlı değişkenin ortalama değerini bağımsız değişkenlerin bilinen veya sabit değerlerine dayanarak tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Bu süreçte, bağımsız değişkenlerin değişimleri ile bağımlı değişkendeki değişimleri anlamak ve modellemek hedeflenmektedir.

$$Y = \beta_1 + \beta_2 x_i \quad i = 1, \dots, n \quad (4.1)$$

β_1 ve β_2 değeri bilinmeyen anakütle katsayılarıdır. Y bağımlı değişkeni, x_i bağımsız değişkenleri ve i ifadesi i 'inci gözlemi belirtmektedir (Gujarati ve Porter, 2012:15).

4.2. En Küçük Kareler Yöntemi

İstatistikte en popüler tekniklerden biri EKK yöntemidir. Bunun başlıca sebeplerinden biri birçok yaygın tahmin edicinin bu çerçevede ele alınabilmesi, karelerin kullanılmasının yöntemi matematiksel olarak işlenebilir kılması ve yöntemin temelinde yer alan matematiksel araçlar ve algoritmaların (türevler, özdekompozisyon, tekil değer ayrışımı gibi) uzun süredir çalışılmış olması bulunmaktadır. Karelerin kullanılması, Pisagor teoremi sayesinde hata bağımsız olduğunda hata kareleri ve tahmin edilen niceliğin karelerinin toplanabilmesini sağlamaktadır. Bu nedenlerle EKK hem teorik hem de uygulamalı açıdan geniş bir kullanım alanına sahiptir. EKK, modern istatistiğin en eski tekniklerinden biridir. İlk modern uygulaması 1805'te Legendre tarafından ortaya konmuş ancak Gauss yöntemi daha önce keşfettiğini ve 1795'te bir asteroidin yörüngesini tahmin etmek için kullandığını iddia etse de EKK'nin kökenleri Galileo'ya kadar izlenebilmektedir. Bu öncelik tartışması, yöntemin popülaritesini etkilememiştir. EKK'nin modern kullanımı, Galton'un korelasyon ve regresyon analizi üzerindeki çalışmalarıyla başlamıştır. Pearson ve Fisher EKK'yi faktör analizi ve deney tasarımı gibi farklı alanlarda geliştirmiştir. Günümüzde EKK verileri modellemek ve tahminlerin özelliklerini analiz etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Basit versiyonu Sıradan En Küçük Kareler (SEKK) daha gelişmiş versiyonu ise Ağırlıklı En Küçük Kareler (AEKK)

olup son dönem varyasyonları arasında Alternatif EKK ve Kısmi En Küçük Kareler (KEKK) bulunmaktadır.

EKK'nin en eski ve en yaygın kullanımı doğrusal regresyondur. Bu yöntem bir dizi veri noktasına en iyi uyum sağlayan bir doğruyu (veya eğriyi) bulmayı amaçlamaktadır. Standart yaklaşımda, $\{Y_i, X_i\}$ çiftlerinden oluşan bir veri seti kullanılarak bağımlı değişken (Y) ile bağımsız değişken (X) arasındaki ilişkiyi belirleyen bir fonksiyon oluşturulmaktadır. Tek bir bağımsız değişken ve doğrusal bir fonksiyon söz konusu olduğunda tahminler aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir:

$$\hat{Y} = a + bX \quad (4.2)$$

denklem (4.2)'de, $\hat{Y}$ tahmin edilen Y değerini simgelemektedir. a regresyon doğrusunun keşişim noktasını ve b ise eğimini belirleyen iki serbest parametreyi içermektedir. EKK yöntemi bu parametrelerin tahminlerini ölçümler ile model arasındaki farkların kareler toplamını en aza indiren değerler olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem model ile ölçümler arasındaki uyumsuzluğu en aza indirmeyi amaçlar ve bu doğrultuda aşağıdaki denklemle ifade edilen fonksiyonun minimize edilmesini gerektirmektedir:

$$\varepsilon = \sum_i (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_i [Y_i - (a + bX_i)]^2 \quad (4.3)$$

burada ε , minimize edilmesi gereken hata niceliğini temsil etmektedir. Parametrelerin tahmini kalkülüsün temel sonuçlarından faydalanılarak elde edilir ve özellikle bir ikinci dereceden ifadenin minimum değerine ulaştığı durumlarda türevlerinin sıfır olduğu özelliği kullanılmaktadır. ε 'nin a ve b 'ye göre türevleri alındığında ve bu türevler sıfıra eşitlendiğinde normal denklemler olarak adlandırılan N verili bir denklem kümesini ortaya çıkarmaktadır:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial a} = 2Na + 2b \sum X_i - 2 \sum Y_i = 0 \quad (4.4)$$

ve

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial b} = 2b \sum X_i^2 + 2a \sum X_i - 2 \sum Y_i X_i = 0 \quad (4.5)$$

a ve b 'nin EKK tahminlerini ise aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir,

$$a = M_Y - bM_X \quad (4.6)$$

M_Y ve M_X , X ve Y 'nin ortalamalarını göstermektedir.

$$b = \frac{\sum (Y_i - M_Y)(X_i - M_X)}{\sum (X_i - M_X)^2} \quad (4.7)$$

EKK, birden fazla bağımsız değişkenin bulunduğu durumlar için (matris cebiri kullanılarak) ve doğrusal olmayan fonksiyonlar için genişletilebilmektedir (Abdi, 2007:1-3).

4.2.1. En Küçük Kareler Yönteminin Varsayımları

- **Doğrusal Regresyon Modeli:** Regresyon modeli, katsayılarında doğrusal olması gerekirken değişkenlerde doğrusal olma şartı bulunmamaktadır.
- **Sabit X Değerleri veya Hata Teriminden Bağımsız X Değerleri:** Açıklayıcı değişken X 'in aldığı değerlerin tekrar eden örneklemelerde sabit kaldığı (sabit açıklayıcı değişken durumu) ya da bağımlı değişken Y ile birlikte örnekleme dahil edildiği (olasılıklı açıklayıcı değişken durumu) varsayılabilir. İkinci durumda X değişken(ler)i ile hata terimi arasında bağımsızlık olduğu, yani $cov(X_i, u_i) = 0$ olduğu kabul edilmektedir.
- **Bozucu Teriminin Ortalaması Sıfır:** X_i değerleri verildiğinde rassal bozucu terimin ortalaması ya da beklenen değeri sıfırdır. $E(u_i|X_i) = 0$
- **u_i 'nin Sabit Varyansı:** X değeri ne olursa olsun hata teriminin ya da bozucu terimin varyansı her zaman sabittir.
- **Bozucu Terimler Arasında Ardışık İlişki (Korelasyon) Olmaması:** X_i ve $X_j (i \neq j)$ gibi iki X değeri verildiğinde u_i ile $u_j (i \neq j)$ arasındaki ilişki

(korelasyon) sıfırdır. Başka bir deyişle gözlemler birbirinden bağımsız olarak örneklenmiştir.

- **n gözlem sayısı, tahmin edilecek anakütle katsayılarından fazla olmalıdır:** Bir diğer ifade ile gözlem sayısı n , açıklayıcı değişken sayısından büyük olmalıdır.
- **X Değişkenlerinin Niteliği:** Verilen bir örneklemdaki X değerlerinin hepsi aynı olmamalıdır; teknik olarak $var(X)$ sıfırdan farklı bir değere sahip olmamalı ve X değişkeninin değerleri arasında aşırı uçlar bulunmamalıdır yani diğer gözlemlere göre çok büyük değerler olmamalıdır (Gujarati ve Porter, 2012:62-68).

4.2.2. En Küçük Kareler Yönteminin Amacı

EKK yönteminin amacı, bir dizi veri noktası ile bir fonksiyon arasında en iyi uyumu sağlayacak parametrelerin sayısal değerlerini bulmak ve tahminlerin istatistiksel özelliklerini karakterize etmektir. EKK yöntemi, veri noktaları ve tahmin edilen değerler arasındaki farkların karelerinin toplamını minimize etmektedir. Bu amaç hem doğrusal regresyon hem de daha karmaşık modeller için geçerlidir (Abdi, 2010:1-6).

EKK yöntemi bir veri kümesine en uygun doğruyu belirlemek için kullanılmaktadır. Yöntem gözlemlenen veri noktaları ile bu doğru üzerindeki noktalar arasındaki dikey uzaklıkların (hataların) karelerinin toplamını en aza indiren doğruyu bulmayı amaçlamaktadır. Bu yöntem, sadece bir doğru değil belirtilen fonksiyonların herhangi bir sonlu lineer kombinasyonu için en iyi uyumu bulmak amacıyla da genişletilebilir. Amaç verilen model kullanılarak verilerin en iyi tahminini elde etmek için hatayı en aza indirmektir (Miller, 2006:1-11).

Belirli bir veri setine en iyi uyumu sağlayan bir matematiksel model oluşturmak diğer amaçlarından biridir. Bu yöntem, model parametrelerinin tahmin edilmesi ve verilerdeki hataların etkisinin en aza indirilmesi için kullanılmaktadır. EKK yöntemleri, doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılır ve özellikle aşırı belirlenmiş sistemlerde (ölçüm sayısının bilinmeyenlerden fazla olduğu durumlar) kullanışlıdır (Björck, 1990:469-635).

4.2.3. En Küçük Kareler Yönteminin Dezavantajları

Popülerliği ve çok yönlülüğüne rağmen EKK yönteminin bazı dezavantajları bulunmaktadır. En belirgin dezavantajı uç değerlere (aşırı gözlemlere) karşı yüksek duyarlılığıdır. Bu durum karelerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır, kare alma işlemi farkların büyüklüğünü abartır yani olduğundan daha fazla vurgular (örneğin, 20 ile 10 arasındaki fark 10 iken, 20^2 ile 10^2 arasındaki fark 300'dür) ve dolayısıyla aşırı gözlemlere çok daha fazla önem atfetmektedir. Bu problem uç değerlerin etkilerine daha az duyarlı olan sağlam teknikler kullanılarak ele alınmaktadır. Bu alan şu anda gelişim aşamasındadır ve yakın gelecekte daha da önemli hale gelmesi muhtemeldir.

4.2.4. Ağırlıklı En Küçük Kareler Yöntemi

EKK'nin en iyi sonucu vermesi büyük ölçüde hataların sabit bir varyansa sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır ancak veriler hata varyansının bağımsız bir şekilde tahmin edilebildiği farklı alt gruplardan geliyorsa EKK'nin her zaman en iyi yöntem olamayabileceği belirtilmiştir. Bu gibi durumlarda AEKK veya Genel En Küçük Kareler (GEKK) yöntemleri kullanılarak EKK'den daha isabetli sonuçlar elde edilebilmektedir yani hata yapısının alt popülasyonlara göre farklılık gösterdiği durumlarda bu gelişmiş yöntemler daha üstün tahminler sağlayabilmektedir (Abdi, 2010:5-6).

Koşullu değişkenlik varlığında EKK tahmincisi yanlı olmayış ve tutarlılık gibi avantajlar sunmaktadır. Bu durum tahmincinin en iyi doğrusal yanlı olmayan tahminci olma özelliğini kaybetmesine neden olmaktadır. Geleneksel çıkarımlar ise genellikle geçerliliğini yitirebilir güven aralıkları doğru kapsam olasılıklarına sahip olmayabilir ve hipotez testlerinin sıfır hipotezini reddetme olasılıkları yanıltıcı olabilmektedir. İlk dönemde ekonometrisyenler, koşullu değişkenliğin fonksiyonel formunu modellemeyi ve verileri yeniden ağırlamayı içeren AEKK yöntemini önermiştir. AEKK doğru ağırlıklandırma ile EKK tahmincisinden daha verimli sonuçlar elde edilebileceğini ve geleneksel çıkarımların asimptotik olarak geçerli olduğunu savunmuştur. White (1980) bu yaklaşımı değiştirerek değişkenliğe uygun standart hataları önermiştir. White'ın önerdiği yöntem, EKK tahmincisini kullanmayı sürdürüp standart hataları geleneksel yerine değişen varyans standart hataları ile değiştirmeyi içermektedir:

- Koşullu varyans modelinin kötü bir tahmin olması veya gürültülü tahminler içermesi durumunda AEKK tahmincileri sonlu örneklerde daha kötü sonuçlar verebilir,
- Çıkarımlar yanıltıcı olabilir ve beklenen verimlilik artışı sağlanmayabilir,
- Ağırlama ile elde edilecek verimlilik artışı muhtemelen sınırlıdır ve yanlış tahmin edilmiş ağırlıklar daha fazla zarar verebilmektedir (Romano ve Wolf, 2017:2-3).

AEKK'nin temel ilkesi, her bir gözleme ölçüm belirsizliğini yansıtan bir ağırlık atamaktır. Genel olarak w_i ile gösterilen i 'nci gözleme atanan ağırlık bu gözlemin varyansının σ_i^2 bir fonksiyonu olacaktır. Basit bir ağırlıklandırma şeması $w_i = \sigma_i^{-1}$ olarak tanımlanabilir ancak daha karmaşık ağırlıklandırma şemaları da önerilebilmektedir. Doğrusal regresyon örneğinde AEKK aşağıdaki ifadeyi minimize eden a ve b değerlerini bulmayı amaçlamaktadır (Abdi, 2010:5):

$$\varepsilon_w = \sum_i w_i (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_i w_i [Y_i - (a + bX_i)]^2 \quad (4.8)$$

4.3. Coğrafi Ağırlıklı Regresyon Yöntemi

Geleneksel regresyon modelini genişleterek yerel parametre tahmini sağlayan CAR modeli aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (4.9)$$

buradaki (u_i, v_i) her bir koordinat için i 'inci noktayı temsil etmektedir. $\beta_0(u_i, v_i)$ koordinatların kesişim noktasını; $\beta_k(u_i, v_i)$ ise her bir i noktasının parametre değerini temsil etmektedir. CAR modeli, EKK modelinden farklı olarak koordinatların kullanımıyla her bir parametrenin yerel etkilerini görünür kılmaktadır (Jung vd., 2019:6).

Modelin temelinde, coğrafi olarak birbirine daha yakın olan iki gözlemin açıklayıcı değişkenlerinin bağımlı değişken üzerindeki etkilerinin de daha benzer olacağı hipotezi yatmaktadır. Dolayısıyla regresyon parametrelerinin katsayıları da birbirine yakın olacaktır. Bu bağlamda belirli bir noktadaki değişken katsayılarını tahmin etmek için sabit

katsayılı model kullanılarak yalnızca o noktaya yakın gözlemler regresyona dahil edilir. Ancak, örneğe daha fazla nokta eklenmesi varyansı azaltırken yanlılığı artırabilir. Bu sorunu gidermek amacıyla uzak gözlemlerin etkisini azaltarak her bir gözlem mesafesine göre azalan ağırlıklar verilmesi gerekmektedir. Model tahmini ise:

$$\mathbf{Y} = (\beta \otimes \mathbf{X})\mathbf{1} + \varepsilon \quad (4.10)$$

$\mathbf{Y}$, şeklinde gösterilebilir. Bağımlı değişkenin $n \times 1$ vektörü; $\mathbf{X}$, p açıklayıcı değişken ve bir sabit içeren $n \times (p + 1)$ matris; $\mathbf{1}$ ise 1'den oluşan $(p + 1) \times 1$ vektör yani her elemanı 1 olan ve $(p + 1)$ satır ve 1 sütundan oluşan bir vektörü ifade etmektedir.

Modelin katsayıları β matris şeklinde gösterimi şu şekildedir:

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0(u_1, v_1) & \cdots & \beta_p(u_1, v_1) \\ \beta_0(u_j, v_j) & \cdots & \beta_p(u_j, v_j) \\ \beta_0(u_n, v_n) & \cdots & \beta_p(u_n, v_n) \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Burada, $\otimes$ operatörü β katsayı matrisinin her bir bileşenini $\mathbf{X}$ matrisindeki gözlem özellikleriyle çarpmaktadır. Gözlemler odak noktasına olan uzaklıklarına göre ağırlıklandırılmakta ve bu ağırlıklandırma işlemi ağırlık matrisinin $\mathbf{W}_{(u_i, v_i)}$ aracılığıyla düzenlenmektedir. Tahminler AEKK yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Bellefon ve Floch 2018:235). $\mathbf{X}$ bağımsız değişkenlerini içeren matris:

$$\mathbf{W}(u_i, v_i) = \begin{bmatrix} w_1(u_i, v_i) & 0 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & w_n(u_i, v_i) \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

$\hat{\beta}(u_i, v_i)$, $\mathbf{W}(u_i, v_i)$ 'nin değişimiyle birlikte farklılık göstermektedir. Buradaki varsayım birbirine yakın olan gözlemlerin uzaktakilere kıyasla birbirlerinin parametre tahminleri üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğunu öne sürmesi Tobler'in birinci coğrafya yasası ile uyum göstermektedir. CAR modelinde ağırlıklandırma seçimi önemli bir rol oynamaktadır zira matrisin kaç komşuyu içereceğini bu seçim belirlemektedir (Jung vd., 2019:6)

AEKK ilkesine göre (u_i, v_i) coğrafi koordinatındaki $\hat{\beta}_{(u_i, v_i)}$ katsayıları aşağıdaki denklemin toplamını minimize edecek şekilde belirlenmektedir.

$$\sum_{j=1}^n w_j(i) (y_j - \beta_0(u_i, v_i) - \beta_1(u_i, v_i)x_{j1} - \dots - \beta_p(u_i, v_i)x_{jp})^2 \quad (4.13)$$

$$\hat{\beta}_{(u_i, v_i)} = (\mathbf{X}^T \mathbf{W}_{(u_i, v_i)} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}_{(u_i, v_i)} \mathbf{Y} \quad (4.14)$$

$\hat{\mathbf{Y}} = \mathbf{S} \mathbf{Y}$ burada $\mathbf{S}$, denklem (4.15)'te tanımlanan şapka matrisidir. $\mathbf{x}_i^T = (1 \ x_{i1} \ x_{i2} \ \dots \ x_{ip})$ ifadesi açıklayıcı değişkenler matrisi $\mathbf{X}$ 'in i . sütununu göstermektedir.

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1^T \mathbf{X}^T \mathbf{W}_{(u_1, v_1)} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}_{(u_1, v_1)} \\ \vdots \\ \mathbf{x}_n^T \mathbf{X}^T \mathbf{W}_{(u_n, v_n)} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}_{(u_n, v_n)} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

normal EKK tahmini,

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (4.16)$$

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y} \quad (4.17)$$

$\mathbf{Y}$, bağımlı değişkenin $n \times 1$ boyutunda vektörü; $\mathbf{X}$, p açıklayıcı değişken ve sabit terimden oluşan $n \times (p + 1)$ boyutunda matrisi ifade etmektedir (Bellefon ve Floch, 2018:235).

Veri setinde kullanılan CAR ağırlık matrisi i noktasına yakın olan gözlemlerde ağırlığın daha fazla; i noktasından uzak olan gözlemlerde ağırlıkların daha az olduğunun farkına varabilmek için kullanılmaktadır.

Ağırlıklandırma için iki yöntem kullanılmaktadır bunlar adaptif çekirdek ve sabit çekirdek yöntemleridir. Sabit çekirdekte mesafe sabit kalırken komşu sayıları değişir; adaptif çekirdekte ise mesafe değişirken komşu sayıları sabit kalmaktadır. Yaygın kullanıma sahip Gaussian fonksiyonu şu şekildedir:

$$W_{ij} = \exp\left(-\frac{d_{ij}^2}{h^2}\right) \quad (4.18)$$

burada ağırlıklandırma düzeni W_{ij} denkleminde belirtilen h ; i ve j koordinatları için seçilen bant genişliğini ifade etmektedir. Negatif etkiye sahip olan bant genişliği, etkinin yakın mesafede azalmasını üretmektedir. i ve j lokasyonlarındaki mesafesi ölçmek için d_{ij} kullanılmaktadır. Öklid mesafesi olarak tanımlanan (x_i, y_i) ve (x_j, y_j) noktaları kullanılarak elde edilmektedir.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (4.19)$$

Öklid mesafesi ve Gaussian denklemlerine göre i ve j koordinatlarının çakışması durumunda incelenen gözlemin ağırlığı bir olmaktadır. Gaussian eğrisine göre i ve j arasındaki mesafe azaldıkça verilerin ağırlığı azalacaktır. Yaygın olarak kullanılan diğer ağırlık fonksiyonları bi-square ile tree-cube kernel fonksiyonlarıdır.

Bant genişliğini hesaplamak için verilerin seyrek olduğu noktalarda mekansal etkileri göz ardı etmeden veya incelenen bölgelerde doğru değerlendirmelerle mekansal gözlem noktalarına uyacak şekilde çekirdek boyutunu değiştirmek için adaptif ağırlık fonksiyonları kullanılmaktadır. Daha büyük bant genişliğine verilerin seyrek dağılması ile ulaşılırken daha küçük bant genişliğine ulaşmak için verilerin sıkı dağılması gerekmektedir. Regresyonda her i noktası için verilen noktaların sıfıra eşit olmadığı ağırlıklar kullanılmaktadır. Adaptif bi-square ağırlık fonksiyonu:

$$W_{ij} = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{d_{ij}}{h_i} \right)^2 \right]^2 & \text{eğer } d_{ij} < h_i \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases} \quad (4.20)$$

buradaki h_i , i noktası için bant genişliğini ifade etmektedir (Huang vd., 2010:376-389)

CAR modeliyle tahmin edilen y_i , bant genişliği h 'ye bağlı olarak $\hat{y}_i(h)$ biçiminde gösterilirken kare hatalarının toplamı $CV(h)$ gösterimi şöyledir:

$$CV(h) = \sum_k (y_i - \hat{y}_i(h))^2 \quad (4.21)$$

(Wu vd., 2014:4).

Modelin uygulama kısmında $CV(h)$ 'nin parametreler için doğru tahmin edilmesinde h bant genişliğine karşı çizilmesiyle tahmin edilebilecek bir diğer yöntem ise $CV(h)$ modelini minimize ederek Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ile elde edilmektedir. Bant genişliği verilerin seyrek veya sık dağılmasına göre değişmektedir. Sık dağılan veri kümesinde bant genişliği küçük; seyrek dağılan veri kümesinde bant genişliği daha büyüktür. Uygun bant genişliği seçiminde kullanılması gereken husus CAR modelini kalibre edebilmek için ilk olarak ağırlık modelinin belirlenmesi gerekmektedir (Huang vd., 2010:389).

CAR için ağırlıklandırma düzeni W_i 'nin, regresyon noktası i ile etrafındaki n veri noktaları arasındaki yakınlıklara dayalı bir çekirdek işlevi ile hesaplandığını belirtmektedir.

Tablo 4.1. Ağırlıklandırma (Kernel) Fonksiyonları.

Kernel	Fonksiyon Formları
Box-car	$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } d_{ij} < b, \\ 0 & \text{aksi taktirde.} \end{cases}$
Bi-square	$w_{ij} = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right)^2 & \text{eğer } d_{ij} < b, \\ 0 & \text{aksi taktirde.} \end{cases}$
Tri-cube	$w_{ij} = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^3\right)^3 & \text{eğer } d_{ij} < b, \\ 0 & \text{aksi taktirde.} \end{cases}$
Exponential	$w_{ij} = \exp\left(-\frac{ d_{ij} }{b}\right).$
Gaussian	$w_{ij} = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right).$

mesafe d_{ij} , gözlem noktası j ile regresyon noktası i arasındaki uzaklığı ifade etmektedir (Fotheringham vd., 2002:16). Ağırlıklandırma işlevlerinde kullanılan çeşitli kernel işlevleri vardır bunlar; box-car, bi-square, tri-cube, exponential ve Gaussian işlevleri olarak tanımlanmaktadır. Basit bir çekirdek işlevinin biçimi box-car kernel işlevi kesikli bir işlevdir ve sadece bir mesafe içindeki gözlemleri kullanılmaktadır. Box-car işlevi, her

bir yerel modeli kalibrasyon noktasında yerel modeli uygun hale getirmek için daha küçük bir gözlem alt kümesi kullandığından hesaplama açısından verimlidir. Bi-square de box-car gibi kesikli bir işlevdir ve bir bant genişliğinden daha uzak mesafedeki mekansal birim gözlemlerine null ağırlıklar vermektedir. Tri-cube çekirdeği benzer şekilde kübik ağırlık vermektedir. Exponential kernel iki mekânsal gözlem noktası arasındaki veya bir kalibrasyon ve bir gözlem noktası arasındaki mesafenin sürekli bir işlevidir. Ağırlıklar bir modeli kalibrasyon noktasında bir inceleme için en fazla 1 değerini alabilmektedirler ve kalibrasyon noktaları arasındaki mesafenin artmasıyla üstel bir azalma göstermektedirler. Gaussian kernel işlevi klasik Gaussian ağırlıklarını sağlamaktadır (Bellefon ve Floch 2018:236-237).

CAR için hesaplanan AIC şu şekilde tanımlanır:

$$AIC = 2n\ln(\hat{\sigma}) + n\ln(2\pi) + ntr(\mathbf{S}) \quad (4.22)$$

burada n , örneklem büyüklüğünü; σ , hata teriminin tahmin edilen standart sapmasını; $tr(\mathbf{S})$ ise şapka matrisinin izini ifade etmektedir (Koç, 2022:3).

Belirlenen mesafe genellikle düzlemsel koordinatlarla hesaplanan Öklid mesafesi ile belirlenir ve h çekirdek genişliğini ifade etmektedir. Genişlik ana kontrol parametresidir ve sabit bir mesafe (sabit bir genişlik) veya sabit bir sayıda en yakın komşu (adapte genişlik) ile belirtilebilmektedir. CAR modelinde çok büyük bir bant genişliği seçildiğinde tüm veri noktaları eşit ağırlıkla değerlendirilmektedir ve bu yerel analiz yerine küresel regresyon modelin kullanılması anlamına gelmektedir.

Optimal bir genişlik belirlemek için model iyileştirme yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemler arasında yalnızca tahmin doğruluğunu dikkate alan CV veya tahmin doğruluğu ile karmaşıklık arasındaki dengeyi sağlayan AIC bulunmaktadır. Uygulamada örneklem büyüklüğünü dikkate alan *düzeltilmiş* AIC kullanılmaktadır. Bu nedenle bant genişliği h olan bir CAR modeli için AIC_c hesaplanması aşağıdaki şekilde formüle edilmektedir:

$$AIC_c(h) = 2n\ln(\hat{\sigma}) + n\ln(2\pi) + n \left\{ \frac{n + tr(\mathbf{S})}{n - 2 - tr(\mathbf{S})} \right\} \quad (4.23)$$

yukarıdaki ifadede n örneklem boyutunu ifade etmektedir; hatanın tahmin edilen standart sapmasıdır; ve $tr(\mathbf{S})$ şapka matrisinin izini belirtmektedir (Görür vd., 2024:143).

CAR için bu matrisin her bir satırı r_i olarak ifade edilmektedir:

$$r_i = X_i(X^T W_i X)^{-1} X^T W_i \quad (4.24)$$

X_i , X matrisinin i 'nci satırıdır. Bu çalışmada, tüm CAR modelleri AIC_c yaklaşımıyla kalibre edilmektedir. Örneklem büyüklüğü bant genişliğiyle azaldığında AIC_c , küçük bant genişliklerinde model karmaşıklığı için göreceli cezayı artırmaktadır. Sürekli bir çekirdek kullandığımızdan N değerinin etkin bir gözlem sayısı olarak kabul edilmesi gerektiği unutulmamalıdır (Lu vd., 2014:3).

Nakaya (2002) tarafından CAR literatüründe kullanılan alternatif bir bant genişliği seçim kriteri Schwartz Bilgi Kriteri (SIC) olarak da bilinen Bayesian Bilgi Kriteri (BIC)'dir. BIC aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$BIC = -2\log_e(L) + k\log_e(n) \quad (4.25)$$

burada L modelin olasılık fonksiyonunu, k parametre sayısını ve n örneklem büyüklüğünü temsil etmektedir. Bu kriter AIC 'ye benzer bir şekilde çalışmakta olmakla birlikte model karmaşıklığı için uygulanan ceza farklıdır. Aynı karmaşıklık derecesi daha büyük örneklem boyutlarında daha yüksek bir ceza ile karşılaşmaktadır. Daha geniş örneklemelerde BIC kullanımı genellikle daha az parametrelili modellerin optimal olarak belirlenmesine yol açmaktadır.

Bu kriter aday modellerin her birinin eşit önsel olasılığa sahip olduğunu ve model parametrelerinin önsel olasılık dağılım bilgilerini içermediğini varsaymaktadır. AIC 'nin aksine BIC , Kullback-Leibler bilgi uzaklığını tahmin etmeyi amaçlamamaktadır. Schwartz'ın BIC 'i türettiği yöntem değişken bant genişliği ve etkili serbestlik derecelerinin nasıl uyarlanabileceği konusunda belirsizlikler taşısa da etkili serbestlik derecelerinin diğer model seçim kriterilerine kolayca aktarılabilmesi ve Nakaya'nın çalışmasındaki başarısı göz önüne alındığında BIC 'nin CAR'da bazı avantajlar sağlayabileceği değerlendirilmektedir (Fotheringham vd., 2002:61-62).

EKK modelinden CAR modeline geçişin istatistiksel olarak anlamlı bir iyileşme sağlayıp sağlamadığını belirlemek için gereken F_1 test istatistiği iki model arasındaki uyum farkını değerlendirmektedir.

$$F_1 = \frac{AKT_{EKK} - AKT_{CAR}}{k - 1} \times \frac{n - k}{AKT_{CAR}} \quad (4.26)$$

AKT kalıntıların kareler toplamı. EKK ve CAR modellerinin veri setine uyumunu ölçmektedir. k modeldeki bağımsız değişkenlerin sayısı, n toplam gözlem sayısını ifade etmektedir.

EKK modeline göre CAR modelinin performansının istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde iyileştiğini belirtmek için kullanılan F_2 testinin matematiksel ifadesi:

$$F_2 = \frac{AKT_{EKK} - AKT_{CAR}}{df_2 - df_1} \div \frac{AKT_{CAR}}{df_1} \quad (4.27)$$

df_1 ve df_2 serbestlik derecelerini ifade etmektedir, df_1 CAR modelinin serbestlik derecesini ifade ederken df_2 EKK modelinin serbestlik derecesini ifade etmektedir.

F_3 testi modeldeki parametrelerin mekansal olarak değişken olup olmadığını test etmek için kullanılmaktadır.

$$F_3(k) = \frac{V_k^2}{\hat{\sigma}^2} \quad (4.28)$$

Belli bir parametrenin varyansını ifade eden V_k^2 parametrenin mekansal olarak nasıl değiştiğini ifade etmektedir, $\hat{\sigma}^2$ modeldeki hata terimlerinin varyansını ifade etmektedir (Leung vd., 2000:182-183).

Fotheringham vd. (2002), Cleveland (1979) ve Hastie ile Tibshirani (1990) tarafından önerilen F_4 testinin bir CAR modelinin belirli bir veri setini EKK modeline kıyasla daha iyi açıklayıp açıklamadığını değerlendirmek amacıyla kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu test global model varsayımlarına göre k doğrusal parametre içeren bir modelin beklenen Artık Kareler Toplamı (AKT)'nı hesaplamak için uygulanmaktadır.

$$E(AKT) = (n - k) \sigma^2 \quad (4.29)$$

Bu bağlamda, k modeldeki tahmin edilen parametre sayısını, n ise gözlem sayısını temsil ederken, $n - k$ kalıntıların serbestlik derecesini ifade etmektedir bu bilgilerden yola çıkılarak σ^2 'nin standart tahmini sağlanmaktadır.

$$\sigma^2 = \frac{AKT}{n - k'} \quad (4.30)$$

$$E(AKT) = (n - [2tr(\mathbf{S}) - tr(\mathbf{S}^T \mathbf{S})]) \sigma^2 \quad (4.31)$$

burada $tr(\mathbf{S})$ matrisin izini temsil etmektedir. CAR modelindeki etkin parametre sayısı $2tr(\mathbf{S}) - tr(\mathbf{S}^T \mathbf{S})$ olarak hesaplanırken etkin serbestlik derecesi sayısı $n - 2tr(\mathbf{S}) - tr(\mathbf{S}^T \mathbf{S})$ şeklindedir. Genellikle etkin parametre sayısı bir tam sayı olmayıp bant genişliği sonsuza gittiğinde k ve sıfıra indiğinde n arasında değişirken çoğu durumda $tr(\mathbf{S})$ $tr(\mathbf{S}^T \mathbf{S})$ 'ye yakın olduğundan yaklaşık bir değer olarak $tr(\mathbf{S})$ kullanılabilir. Cleveland (1979) ve Hastie ile Tibshirani (1990), AKT'nin etkin parametre sayısına bölünmesinin etkin serbestlik derecesine eşit olan bir χ^2 dağılımıyla yakın sonuçlar verebileceğini öne sürmüşlerdir. CAR ve global modellerin veri setini karşılaştırmak için F testine dayalı yaklaşık bir olabilirlik oranı testi sağlamaktadır. Bu test ile standart EKK modelinin AKT'sinin CAR modelinin AKT'sine bölünmesiyle ve serbestlik derecelerinin ($d1$ ve $d2$) kullanılmasıyla elde edilmiş ve Fotheringham vd. (2002) tarafından F_4 testi olarak adlandırılmıştır (Görür, 2024:46-47).

Bir regresyon modelinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki değişimi açıklama oranı R^2 ile ifade edilmektedir. R^2 değerinin yüksek olması bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni güçlü bir şekilde açıkladığını göstermektedir. R^2 değeri 1'e eşit ise bağımlı değişkenin tamamen açıklandığı kabul edilmektedir. Toplam Kareler Toplamı (TKT)'nin dahil edildiği R^2 şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$R^2 = 1 - \frac{AKT}{TKT} \quad (4.32)$$

Regresyon modeline daha fazla bağımsız değişken eklenmesi KTK'nin azalmasına yol açmaktadır. R^2 değeri ise azalmak zorunda değildir. Model ne kadar çok değişken içerirse içerisin uyum iyi görünebilir. Bu durum sonucun doğruluğuna dair şüpheler doğurmaktadır. *düzeltilmiş R^2* beklenen değişkenleri cezalandırarak bu şüpheleri gidermekte ve daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Parametre sayısı n , gözlem sayısı k olan *düzeltilmiş R^2* denklemi ise şu şekilde ifade edilmektedir:

$$R_{\text{düzeltilmiş}}^2 = \left\{ 1 - \left[\frac{(1 - R^2)(n - 1)}{n - k - 1} \right] \right\} \quad (4.33)$$

(Yüzbaşı ve Görür, 2023:143).

4.3.1. Coğrafi Ağırlıklı Regresyon Varsayımları

1. Coğrafi modellerin temel varsayımlarından biri değişkenler arasındaki ilişkilerin mekânda homojen olmadığıdır. Bu varsayım coğrafi modellerin geleneksel regresyon modellerinden ayrılmasını sağlamaktadır. Geleneksel regresyon modelleri, değişkenler arasındaki ilişkilerin tüm coğrafi alanda sabit olduğunu varsaymaktadır. Ancak coğrafi modeller, bu ilişkilerin mekânda belirli bir düzenli desene göre değiştiğini ve yerel düzeyde farklılık gösterebileceğini öngörmektedir. Bu varsayıma dayanarak coğrafi modeller yerel tahminler üretir ve mekansal heterojenliği keşfetmek için detaylı haritalar sunmaktadır (Arbia, 2014:145-147).
2. CAR modelinde hata terimlerinin varyansının coğrafi olarak değişmediği, yani sabit olduğu varsayılmaktadır.
3. Hata terimlerinin normal dağılım gösterdiği varsayılırken varyans sabit olduğundan mekansal değişkenlik (varyansın mekansal olarak değişmesi) dikkate alınmamaktadır.
4. CAR modelinde regresyon katsayılarının farklı mekansal konumlarda değişiklik gösterebileceği kabul edilmektedir.

5. Varyansın mekansal olarak değişebileceği ancak bu formun önceden bilinmediği varsayılmaktadır. Varyans tahmini için iteratif yöntemler uygulanabilmektedir.
6. Hata terimlerinin mekansal olarak değiştiği durumlarda yerel hata terimleri tahmin edilerek modelin yeniden kalibrasyonu yapılmaktadır.

Bu varsayımlar CAR modelinin mekansal varyasyonları ve değişkenliğin etkilerini dikkate alarak daha doğru analizler yapmasını sağlamaktadır (Fotheringham vd., 2002:21-24).

4.3.2. Moran I Testi

Uzamsal istatistiksel yöntem küresel çok değişkenli regresyon modeli ve yerel regresyon modeli olmak üzere iki farklı regresyon modeline ayrılabilir. Moran'ın I yaklaşımı bir araştırma hedefinin belirli bir alan içindeki dağılımını ve kümelenme özelliklerini ayrıntılı olarak derecelendiren en yaygın küresel mekansal otokorelasyon göstergesi haline gelmiştir. Küresel Moran I -1 ile 1 arasında değişir burada sıfırın üzerindeki bir değer kümelenme eğilimi ile pozitif bir korelasyonu belirtirken sıfırın altındaki bir değer dağılıma yönelik bir eğilim ile uzaysal olarak negatif bir korelasyonu göstermektedir. İstatistiksel açıdan bakıldığında bir özelliğin rastgele dağılıp dağılmadığını belirlemek için hem z puanı hem de p değeri kullanılabilir. Global Moran I istatistiğinin formülleri aşağıda verilmiştir.

$$I_G = \frac{n}{S_0} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} x_i x_j}{\sum_{j=1}^n x_i^2} \quad (4.34)$$

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad (4.35)$$

$$x_I = I - \frac{E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (4.36)$$

$$E[I] = -1/(n - 1) \quad (4.37)$$

$$V[I] = E[I^2] - E^2 \quad (4.38)$$

burada I_G küresel Moran I'yi belirtmektedir, I_G toplam çalışma alanı sayısını göstermektedir, S_0 uzamsal ağırlık matrisindeki tüm ağırlıkları ifade etmek için kullanılmakta, x_i ve x_j sırasıyla i ve j bölgelerindeki x nitelik özelliğinin değerleridir ve w_{ij} , w uzaysal ağırlık matrisindeki bir öge olarak kullanılmaktadır. n konumdaki uzaysal bölgelerin komşu ilişkisini belirtmektedir.

Global çok değişkenli regresyon modeli hem bağımlı hem de bağımsız değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkilerin gücünün ortalama değerini ve önemini hesaplamak için bir denklem kullanabilmektedir. Ancak basit konumsal veriler nedeniyle global regresyondan yararlanılarak tatmin edici bir sonuç elde edilmesi kolay olmayabilmektedir. Küresel model varsayımındaki değişkenlerin homojenliğinin mekansal verileri analiz etmeden önce önerilmesi potansiyel bir neden olabilmektedir. İlişkilerdeki potansiyel olarak önemli yerel farklılıkların gizlenmesi muhtemeldir. Tanımlanan bölgenin doğruluğunu artırmak için yerel kümelerin özelliklerini incelemek üzere bir yerel mekansal otokorelasyon önerilmiştir. Yerel mekansal otokorelasyon göstergeleri heterojen uzaydaki bireysel giriş öznitelik değerlerinin dağılım modelini inceleyerek merkez bölge ile çevre bölgeler arasındaki yerel mekansal ilişkinin derecesini ölçmek için kullanılabilir.

4.3.3. Yerel Mekansal Otokorelasyon Testi

Mekansal ilişkilendirmenin yerel göstergeleri (Local Indicators of Spatial Association: LISA), öncelikle çalışılan alanın tamamıyla ilgili mekansal ögelerin kümelenme boyutunu test etmek için tasarlanmıştır burada daha yüksek önem bölge içinde daha belirgin mekansal kümelenmeyi göstermektedir. LISA değerlerini aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi Yüksek-Yüksek (Çeyrek I), Düşük-Yüksek (Çeyrek II), Düşük-Düşük (Çeyrek III) ve Yüksek-Düşük (Çeyrek IV) dahil olmak üzere dört çeyreğe ayrılmaktadır. Lokal Moran I istatistiğinin formülleri şu şekilde verilmektedir:

$$I_L = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \cdot \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}(x_j - \bar{X}) \quad (4.39)$$

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}(x_i - \bar{X})^2}{n-1} - \bar{X}^2 \quad (4.40)$$

$$z_I = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (4.41)$$

$$E[I_i] = -\frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} \quad (4.42)$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2 \quad (10) \quad (4.43)$$

burada I_L Yerel Moran'ın I 'ini temsil eder, x_i ve x_j sırasıyla i ve j bölgelerine normalize edilmiş değerlerdir, w_{ij} w uzay ağırlığı matrisinin bir elemanıdır, x_i i özelliğinin bir niteliğidir, $\bar{X}$ karşılık gelen özelliğin ortalamasıdır, w_{ij} , i ve j özelliği arasındaki uzaysal ağırlıktır (Zhang vd., 2023:4-6).

Mekansal ilişkinin yerel göstergeleri için kullanılan LİSA yönteminin amacı yerel mekansal otokorelasyonu hesaplamaktır. Her merkez için hesaplanan LİSA değeri komşuların benzerliklerini analiz etmek için önemli rol oynamaktadır (Peker ve Yüksel, 2022:646). Komşular arasındaki mekansal ilişkiyi incelerken elde edilen yüksek-yüksek ilişki yüksek değerlerin yüksek değerlerle; düşük-düşük ilişkide düşük alanların etrafı düşük ilişkilerle; düşük-yüksek ilişki ile düşük değerlerin etrafında yüksek değerlerin varlığı; yüksek-düşük ilişkinin varlığı durumunda yüksek değerlere sahip alanların düşük değerlerle çevrili olduğu anlamına gelmektedir. Düşük-düşük ve yüksek-yüksek değer negatif mekansal ilişkiyi ifade ederken düşük-yüksek ve yüksek-düşük ilişkiyi pozitif mekansal ilişkiyi ifade etmektedir (Aydın vd., 2018:36).

5. ANALİZ VE UYGULAMA

Analizde 2022 yılında Avrupa Birliği ülkeleri (Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Kıbrıs, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, İtalya, Letonya, Litanya, Lüksemburg, Malta, Hollanda, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, Hırvatistan) ve Türkiye'yi kapsayan enerji yoğunluğuna bağlı; sağlık harcamaları, kişi başına düşen GSYİH ve ticaret değişkenleri arasındaki ilişki Dünya Veri Bankası verileri kullanılarak R yazılımı ile incelenmiştir.

Tablo 5.1. Analizde kullanılan değişken bilgilerini açıklar

Değişkenler	Açıklama	Dayanak
<i>EY</i>	Enerji Yoğunluğu (ABD \$ GSYİH)	
<i>SH</i>	Sağlık Harcamaları (GSYİH'nin yüzdesi)	Hou ve Yang (2022).
<i>GSYİH</i>	Kişi Başına Düşen GSYİH (ABD \$)	Shokoohi vd. (2022)
<i>TC</i>	Ticaret (GSYİH'nin yüzdesi)	Pan vd. (2019), Chen vd. (2022)

Hou ve Yang (2022: 80370-80371), sağlık harcamasını bağımsız değişken olarak seçmiştir çünkü bu değişken sağlık durumunu doğrudan etkileyen ve dolaylı olarak sağlık enerji yoğunluğu üzerinde önemli bir rol oynayan bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Sağlık harcamaları, sağlık altyapısının güçlendirilmesi, tıbbi hizmetlerin kalitesinin artırılması ve genel sağlık düzeyinin iyileştirilmesi gibi alanlarda kritik bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, sağlık harcamalarının sağlık durumu üzerindeki etkileri enerji tüketiminin sağlık üzerindeki etkilerini anlamak için kapsamlı bir analiz yapma olanağı sağlamaktadır.

Shokoohi vd. (2022:3), çalışmalarında kişi başına düşen reel GSYH (Y) değişkeni, ekonomik büyümenin çevresel bozulma üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla seçmiştir. GSYH ekonomik performansı ölçen bir gösterge olarak çevresel kalite ile ekonomik faaliyetler arasındaki ilişkinin ampirik analizinde kritik bir rol oynamaktadır. Ekonomik büyüme çevresel bozulmayı çeşitli kanallardan etkileyebilir bu nedenle GSYH

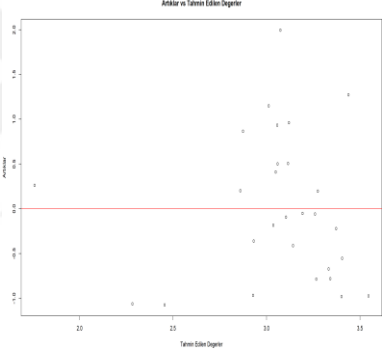
ekonomik faaliyetlerin çevresel bozulma üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerini değerlendirmek için önemli bir araç olarak kullanılmıştır. Bu değişkenin seçilmesinin sebebi ekonomik büyümenin çevresel etkilerini ve bu etkilerin zaman içindeki değişimini anlamak için gerekli ekonomik göstergeleri sunmasıdır. Başka araştırmacıların ekonomik büyümenin çevresel bozulma üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bu değişkeni kullanabileceğini de önermişlerdir.

Pan vd. (2019:5), tarafından ticaret açıklığı değişkeni tercih edilmiştir çünkü bu değişken enerji yoğunluğunu etkileyebilecek önemli bir faktör olarak görülmektedir. Araştırmacılar ticaret açıklığının ülkelerin enerji tüketimi ve enerji verimliliği üzerinde önemli etkiler yaratabileceğini ifade etmektedir. Yüksek ticaret açıklığı, ülkelerin uluslararası pazarlarda daha fazla rekabetle karşılaşmasına yol açabilmektedir ve bu durum enerji verimliliği ve teknolojik yeniliklerde iyileşmelere neden olabilmektedir. Ticaret açıklığı ülkelerin enerji verimliliğini ve teknolojiye erişimini etkileyerek enerji yoğunluğunu dolaylı yoldan etkileyebilmektedir. Bu nedenlerle ticaret açıklığı enerji yoğunluğu üzerindeki etkileri anlamak için kritik bir değişken olarak değerlendirilmektedir.

Chen vd. (2022:3-4), ticaret açıklığını bağımsız değişken olarak ekleyerek enerji yoğunluğu ile ticaret açıklığı arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Ticaret açıklığının enerji verimliliğini artırarak enerji yoğunluğunu azaltma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Ancak aynı zamanda düşük çevre standartları nedeniyle "kirlilik sığınağı etkisi" yaratabileceği ve bu durumun enerji tüketimini artırabileceği de ifade edilmiştir. Bu iki yönlü etki, ticaret açıklığının enerji yoğunluğu üzerindeki karmaşık etkilerini anlamayı gerektirmektedir. Araştırmacılar bu dinamikleri anlamak amacıyla ticaret açıklığını enerji yoğunluğu ile ilişkili bir değişken olarak modellemişlerdir.

5.1. En Küçük Kareler Regresyon Yöntemi Analizi

Tablo 5.2. EKK tahmin yönteminin varsayım sınamalarını sunar.

Varsayım	Test Yöntemi	Sonuç	Karar
Normallik	Shapiro-Wilk Testi	p-Değeri: 0,1979	Normallik varsayımı sağlanmıştır.
Sabit Varyans	Breusch-Pagan Testi	p-Değeri: 0,9374	Sabit varyans varsayımı sağlanmıştır.
Çoklu Bağlantı	VIF(Variance Inflation Factor)	VIF Değerleri < 10	Çoklu bağlantı problemi bulunmamaktadır.
Doğrusallık		Gözlemler doğrusal dağılmamaktadır.	Doğrusallık sağlanmamıştır.

EKK analizi sonucunda normallik ve sabit varyans varsayımları sağlanmış olsa da doğrusallık varsayımının sağlanmaması, ilişkilerin daha karmaşık olduğunu ve basit doğrusal modellerin yetersiz kalabileceğini işaret etmektedir. Çoklu bağlantı probleminin bulunmaması olumlu bir durum olsa da doğrusal olmayan ilişkiler EKK yönteminin yeterli olmayabileceğini ve modelin öngörü gücünü azaltabileceğini göstermektedir. Bu tür durumlarda mekânsal bağımlılığı ve yerel varyasyonları dikkate alabilen EKK tahmin yönteminin uzantısı olan yöntemler daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmesi açısından tercih edilebilir. Bu yöntemlerden biri olan CAR, bölgesel farklılıkları yakalayarak yerel dinamikleri ve mekânsal heterojenliği daha iyi açıklama potansiyeline sahiptir bu da analiz edilen verilerin mekânsal yapısını daha iyi kavramayı sağlayacaktır.

CAR bölgesel ya da bireysel farklılıkları dikkate alarak sonuçlar üretmektedir. Geleneksel EKK analizinin aksine CAR, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkide coğrafi farklılıkları ve mekansal değişimleri araştırmaktadır (Görür ve Yüzbaşı, 2024:142).

Tablo 5.3. EKK analiz sonuçları

<i>Değişkenler</i>	<i>Katsayılar</i>	<i>Std. Hata</i>	<i>t-değeri</i>	<i>p-değeri</i>
<i>Sabit Değişken</i>	6.564	3.063	2.143	0.042*
<i>SH</i>	0.025	0.101	0.247	0.806
<i>GSYİH</i>	-0.324	0.361	-0.898	0.377
<i>TC</i>	-0.003	0.002	-1.127	0.270

İstatistiksel anlam düzeyi: $p < 0.01$ ‘***,’ $p < 0.05$ ‘**,’ $p < 0.1$ *

Tablo 5.3, enerji yoğunluğu için seçilen her bağımsız değişken için belirlenen bağımlı değişkenin tahmini etki büyüklüğü ve yönünü gösteren EKK model sonuçlarını sunmaktadır. Sabit terim %5 anlam seviyesinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Sağlık harcamaları, GSYİH ve ticaret hacmi değişkenlerine ait parametreler istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur.

5.2. Coğrafi Ağırlıklı Regresyon Analizi

Tablo 5.4. CAR analiz sonuçları

<i>Değişkenler</i>	<i>Min.</i>	<i>1.Çeyrek</i>	<i>CAR Med.</i>	<i>3.Çeyrek</i>	<i>Maks.</i>
<i>Sabit Değişken</i>	-7.674	7.633	11.490	12.966	18.731
<i>SH</i>	-0.329	-0.009	0.133	0.246	0.394
<i>GSYİH</i>	-2.007	-1.270	-1.013	-0.382	1.417
<i>TC</i>	-0.006	-0.001	0.002	0.007	0.013

Çeyrekler arası aralık, EKK küresel ortalama standart hata ile karşılaştırıldığında her değişken için mekânsal durağanlık hakkında kaba bir gösterge sağlamaktadır. Çeyrekler arası aralığın EKK tahmininden elde edilen standart hata değerinin iki katından büyük olması durumunda ilişkinin görece olarak yüksek derecede mekânsal durağanlık

sergilediği gözlemlenmektedir. Bu durum tahmin edici değişkenin etkisinin belirli bölgelerde değişiklik gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Yerel parametre değerlerinin %50'sinin çeyrekler arası aralık içinde yer alması ve normal dağılımda yaklaşık %68'inin EKK ortalamasının ± 1 standart sapma içinde bulunması çeyrekler arası aralığın daha büyük olmasının ilişkinin durağan olmayabileceğini göstermektedir (Jivraj vd., 2013:292-294).

Çeyreklikler, CAR modelindeki yerel parametre tahminlerinin mekânsal varyasyonunu değerlendirmede önemli bir rol oynamaktadır. Çeyreklikler, yerel t değerlerinin dağılımındaki varyasyonu ölçmek için kullanılmakta ve bu sayede değişkenlerin mekânsal olarak ne kadar farklılık gösterdiği ile etkilerinin hangi bölgelerde daha belirgin ya da zayıf olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle çeyreklik aralıklarının genişliği, parametre tahminlerinin mekânsal varyasyonunu ve bu tahminlerin anlamlılık seviyelerini yansıtmaktadır. Bu nedenle çeyreklikler yerel parametre tahminlerindeki mekânsal değişkenliği değerlendirmede kritik bir araç olarak işlev görmektedir (Harris vd., 2010:292-293).

CAR modelinde kullanılan parametreler arasındaki değişkenliği gösteren Tablo 5.4, EKK ve yerel model arasındaki farkı yorumlayarak tahmin edicilerin enerji yoğunluğunu nasıl etkilediğini anlamak için çalışmada yer almaktadır. Sağlık harcamaları değişkeni ilk çeyrekte negatif, üçüncü çeyrekte ise pozitif değerler almaktadır. Benzer bir durum ticaret değişkeni için de gözlemlenmektedir. GSYİH değişkeni ise her çeyrekte negatif değerler göstermektedir.

Tablo 5.5. EKK ve CAR Modellerinin Tahmini

	<i>BIC</i>	<i>AICc</i>	<i>AIC</i>	<i>Düz. R²</i>	<i>R²</i>	<i>AKT</i>
EKK	72.097	79.502	76.775	0.073	0.176	17.799
CAR	40.551	74.686	44.405	0.513	0.743	5.531

İncelenen bilgi kriterlerinden hangisinin nispeten daha iyi olduğunu belirlemek için, *BIC* ile seçilen modellerin, *AICc* ve *AIC* ile seçilen modellerden daha iyi tahminler üretip üretmediği araştırılmaktadır. Model seçimi yapılırken veri setleri arasındaki heterojenlik derecesinin dikkate alınması gerekmektedir. Heterojenlik küçük olduğunda

AICc ve *AIC* daha iyi performans göstermektedir. Heterojenlik büyük olduğunda *BIC* daha iyi performans göstermektedir (Brewer vd., 2016:1-2)

R^2 bağımlı değişkendeki değişimin bağımsız değişkenlere bağlı olarak ne kadar değiştiğini gösteren bir istatistiksel ölçüdür. Yüksek R^2 değeri modelin açıklayıcılığının yüksek olduğunu göstermektedir. *AIC* ve *AICc* farklı olası modelleri karşılaştırmak ve veriler için en uygun olanını belirlemek amacıyla kullanılan seçim kriterleridir. Uygun modelin seçimi için düşük *AIC* ve *AICc* değerlerinin tercih edildiği belirtilmektedir (Yüzbaşı ve Görür, 2023:19).

Tablo 5.5, değişkenler arasındaki ilişkiyi CAR yöntemi ile EKK yöntemleri karşılaştırılarak sunulmaktadır. CAR yöntemi, değişkenler arasındaki ilişkiyi EKK yöntemine göre daha iyi açıklamaktadır. CAR modeli için *AICc*, *AIC* ve *BIC* ve *AKT* değerleri EKK modeline kıyasla bir azalma göstermektedir. Düzeltilmiş R^2 , EKK modeline kıyasla artmış ve bu durum model uyumunda bir artış olduğunu göstermektedir. Bu durumda, CAR yönteminin modeli bulunduğu alana uyum sağladığını belirtmektedir.

R^2 değeri, bağımlı değişkenin bağımsız değişken tarafından ne kadarının açıklandığını belirlemek için kullanılmaktadır. Yüksek bir R^2 değeri, bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni iyi açıkladığını göstermektedir. R^2 değerinin 1 olması mükemmel uyumu ifade etmektedir (Yüzbaşı ve Görür, 2021:143).

Tablo 5.6. Leung'un F-testi sonuçları

	<i>İstatistik</i>	<i>Pay sd.</i>	<i>Payda sd.</i>	<i>p-değeri</i>
F_1	0.490	<i>Inf</i>	24	0.001**
F_3	F_3 istatistik	<i>Pay</i>	<i>Payda</i>	<i>p-değeri</i>
<i>Sabit Terim</i>	4.228	11.516	Inf	0.000***
<i>SH</i>	2.740	16.339	Inf	0.000***
<i>GSYIH</i>	4.526	10.485	Inf	0.000***
<i>TC</i>	3.230	14.256	Inf	0.000***
F_4	0.310	15.216	24	0.010*

İstatistiksel anlam düzeyi: $p < 0.01$ '***', $p < 0.05$ '**', $p < 0.1$ *

Tablo 5.6'da Leung'un F testi, EKK ve CAR modellerinin karşılaştırılmasını sunmuştur. Üç ayrı F testi (F_1 , F_3 ve F_4) yapılmıştır. F_1 , F_3 , F_4 testleri karşılaştırmalı deneylerde kullanılan testlerdir. F_3 testi mekansal varyasyonu test ederken F_1 ve F_4 testleri uyum iyiliğini test etmektedir (Chenliang vd., 2014:134).

F_1 testi, EKK ve CAR'ın artık kareler toplamı arasındaki oranı değerlendirmektedir. F_1 değerinin anlamlı derecede küçük olması, CAR'ın daha iyi model uyumuna sahip olduğunu gösteren F_1 testi değeri 0.05'ten küçük olduğu için anlamlıdır. Bu durum CAR'ın model uyumunun EKK'ye göre iyileştiğini göstermektedir.

F_3 test sonuçlarına göre p -değerlerinin 0.05'in çok altında olması tüm değişkenler için bölgesel farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu güçlü bir şekilde ortaya koymaktadır. F_3 test sonuçlarına göre, analiz edilen katsayıların tamamında bölgesel farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Modelde yer alan her bir değişkenin farklı bölgelerde farklı etkiler yarattığını güçlü bir şekilde ortaya koymaktadır. (Kamata, 2009:9-10).

F_4 değerinin 0.05 düzeyinden küçük olması CAR modelinin uyumlu olduğu anlamını taşımaktadır (Chenliang vd., 2014:134).

Tablo 5.7. Global Moran I test istatistiği sonuçları

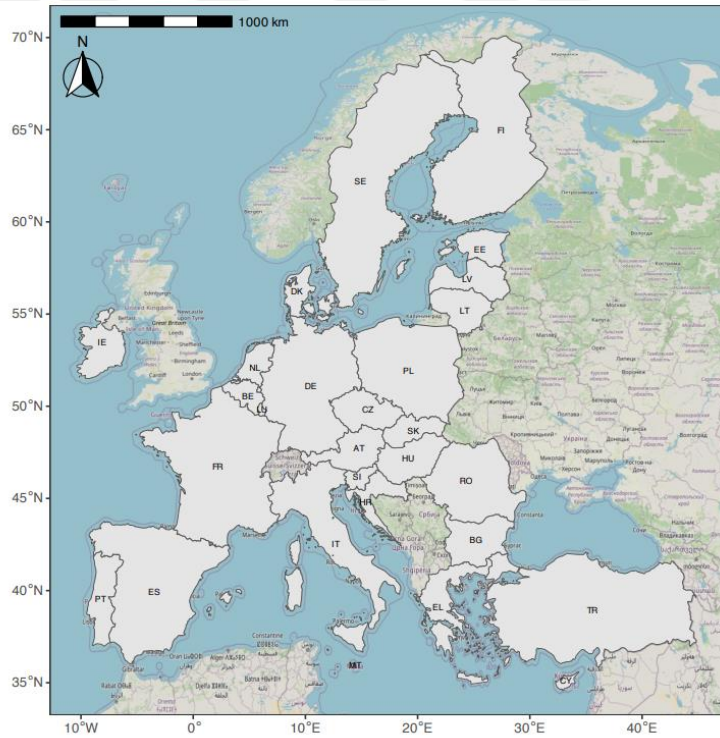
Değişkenler	Moran I	Varyans	Beklenen Değer	p-Değeri
EKK	0.121	0.011	-0.037	0.071
CAR	-0.117	0.032	-0.041	0.664

Mekansal otokorelasyonun değerlendirilmesi için kullanılan istatistiksel yöntem Moran I testidir. Moran I değeri -1 ile 1 arasında değişkenlik göstermektedir. Pozitif bir Moran I değeri yakın yerlerdeki değerlerin kümelenme eğiliminde olduğunu; negatif Moran I değeri yüksek ve düşük değerlerin iç içe geçtiğini; sifıra yakın Moran I değeri ise incelenen bölgede coğrafi otokorelasyonun olmadığını yani verilerin rastgele dağıldığını göstermektedir (Isazade vd., 2023:3928).

Tablo 5.7'ye göre kullanılan değerler çalışma alanında rastgele dağıldığında değerler arasında hiçbir korelasyon olmaması gerektiği halde güçlü mekansal

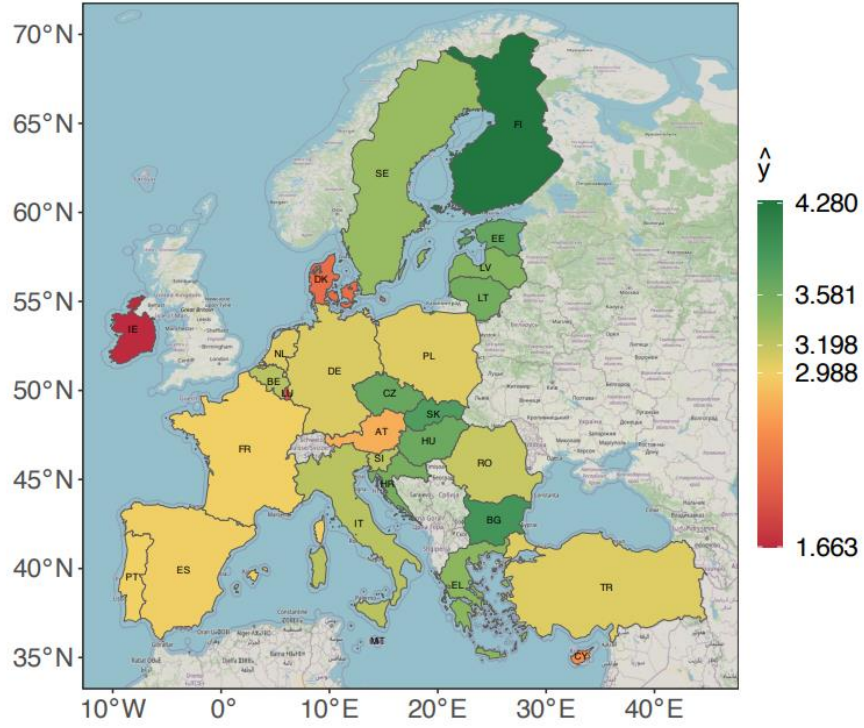
otokorelasyon oluşturmaktadır. Tabloda CAR modeli için Moran I değeri -0.117 olarak hesaplanmış p -değeri 0.664 çıkmıştır. p -değeri, 0.05 anlam düzeyinin üzerinde olduğu için istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum CAR modeli kalıntılarındaki anlamlı bir mekansal otokorelasyonun olmadığını göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlar ile modele ağırlıklandırma yapıldığı zaman mekansal problemin ortadan kaldırıldığını, mekansal otokorelasyonun arındırıldığını görülmektedir.

Mekansal otokorelasyonun etkisi genel olarak incelendiğinde global testlere başvurulurken bölgesel olarak incelendiğinde lokal testlere ihtiyaç duyulur. Mekansal otokorelasyonun lokal olarak incelenmesi için lokal Moran testine yani LISA testine ihtiyaç duyulmaktadır. Lokal olarak incelenmesinin amacı bölgelerin birbirleri ile aralarında ilişkinin şiddeti ve yönü hakkında detaylı bilgiye sahip olmaktır (Yerdelen Tatoğlu, 2022:121-123). Seçilen örneklemelerin alt-bölge sınırları ve mekansal dağılımları Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Çalışma alanı

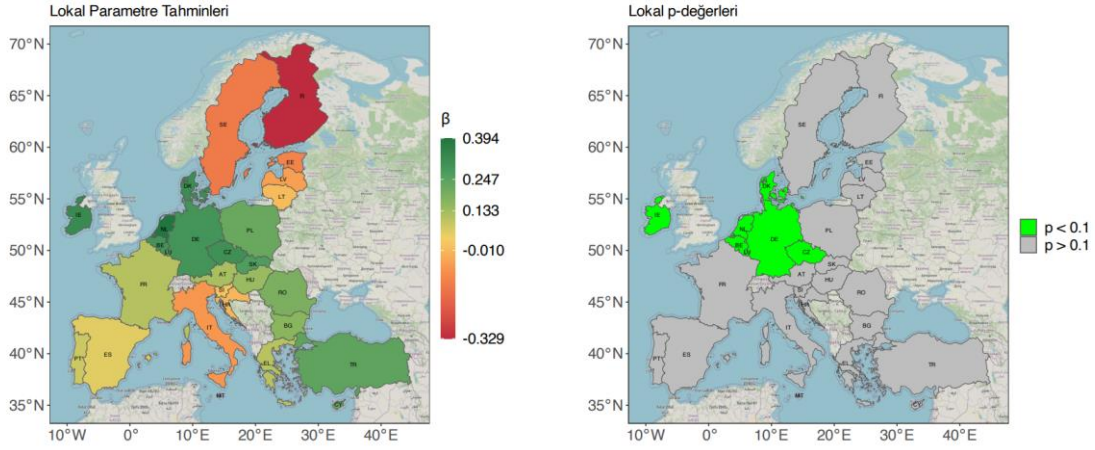
Çalışma alanını gösteren Şekil (5.1)'de mekansal olarak incelenen bölge haritalandırılmaktadır.



Şekil 5.2. Enerji Yoğunluğunun ülkeler üzerinde tahminleri

Bağımlı değişkeni haritalandıran Şekil 5.2’de, Avrupa ülkelerinde enerji yoğunluğunun ülkeler üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Renk aralığı, enerji yoğunluğunun düzeylerini ifade etmektedir; yeşil tonlar pozitif enerji yoğunluğunu, kırmızı tonlar ise negatif enerji yoğunluğunu temsil etmektedir. Finlandiya ve Bulgaristan enerji yoğunluğunun pozitif olduğu ülkelerin başındadır. Bu ülkelerin ekonomik faaliyetlerinde enerji kullanımının yoğun olduğunu göstermektedir. Çekya, Slovakya, Macaristan, Hırvatistan, İsveç, Estonya, Letonya, Litvanya ve Yunanistan’da enerji yoğunluğu görece yüksek olması sanayi ve enerji üretimi gibi sektörlerde yoğun enerji kullanımının yaygın olduğunu işaret etmektedir. Diğer yandan İrlanda ve Lüksemburg başta olmak üzere Avusturya, Danimarka, Kıbrıs, Malta, Portekiz, İspanya, Hollanda, Almanya, Polonya, Fransa ve Türkiye gibi ülkelerde enerji yoğunluğu negatif etkiye sahiptir. Bu ülkelerde ekonomik faaliyetlerin enerji verimliliğine daha fazla önem verdiğini veya enerji yoğun sektörlerin yaygınlığının az olduğunu gösterebilir. Bu ülkelerde enerji kullanımı düşük olan hizmet sektörlerinin ekonomide daha büyük bir paya sahip olduğu söylenebilir. Sonuç olarak harita Avrupa genelinde enerji kullanımında

önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır ve bu farklılıklar ülkelerin ekonomik yapıları, sanayi dağılımı ve enerji verimliliği politikaları ile açıklanabilir.

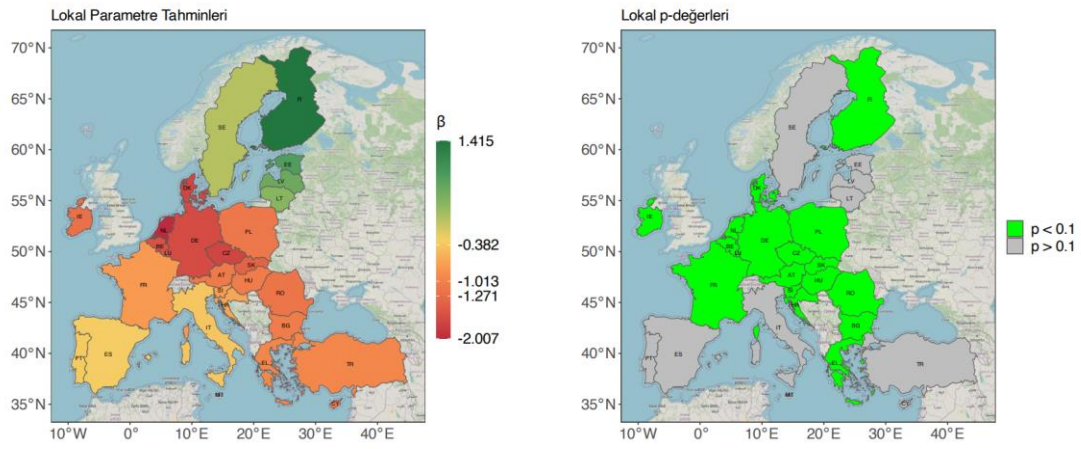


Şekil 5.3. Sağlık Harcamalarının Enerji Yoğunluğu Üzerine Etkisi

Gelişmekte olan ülkelerdeki ekonomik büyüme enerji talebini artırarak insan sağlığı için risk teşkil eden hava kirliliğinin yükselmesine yol açmıştır. Bu tür çevresel sorunlar insanların sağlıklı beslenme ve uygun yaşam koşullarından uzaklaşmasına neden olarak sağlık harcamalarının artmasını zorunlu hale getirmektedir. Çevre kalitesini olumsuz etkileyen en önemli faktörlerden biri olan karbondioksit emisyonu hem insan sağlığı hem de işgücü verimliliği üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmaktadır. Başka bir deyişle karbondioksit emisyonunun sağlık sorunlarına yol açması, ülkeleri daha fazla sağlık harcaması yapmaya zorlamakta ve ekonomik yükleri artırmaktadır. Çevresel kalitenin bozulması sağlığını kaybetme riskiyle karşı karşıya kalan bireylerin sayısını artırdıkça hükümetler sağlık sektörüne daha fazla mali kaynak ayırma ihtiyacı duymaktadır (Keyifli ve Receptoğlu, 2020:288).

Şekil 5.3'e göre, sağlık harcamalarının enerji yoğunluğu üzerindeki etkisini gösterirken renk skalası yeşil tonların pozitif etkileri, kırmızı tonların ise negatif etkileri temsil ettiğini göstermektedir. Hollanda ve İrlanda pozitif etkinin en çok görüldüğü iki ülke olmakla birlikte Danimarka, Belçika, Lüksemburg, Almanya, Çekya, Slovakya, Türkiye ve Kıbrıs'ta da sağlık harcamalarının enerji yoğunluğu üzerinde pozitif bir etkisi vardır. Bu ülkelerde sağlık harcamalarının arttıkça enerji yoğunluğunun da arttığını göstermektedir. Negatif etkinin en belirgi olduğu ülke Finlandiya olarak gözlemlenmiştir

daha sonra İsveç, Estonya, Letonya, Litvanya ve İtalya'nın sağlık harcamalarında enerji yoğunluğu üzerinde negatif bir etkisi bulunmaktadır bu da ülkelerde sağlık harcamalarının arttıkça enerji yoğunluğunun azaldığını gösterir. Sağ harita, istatistiksel anlamlılık düzeylerini göstermektedir; yeşil renk, p değerinin 0.1'den küçük olduğunu ve dolayısıyla sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Buna göre Almanya, Belçika, Hollanda, Lüksemburg, İrlanda, Danimarka ve Çekya'da sağlık harcamalarının enerji yoğunluğu üzerindeki etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunurken diğer ülkelerde ise bu etkiler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

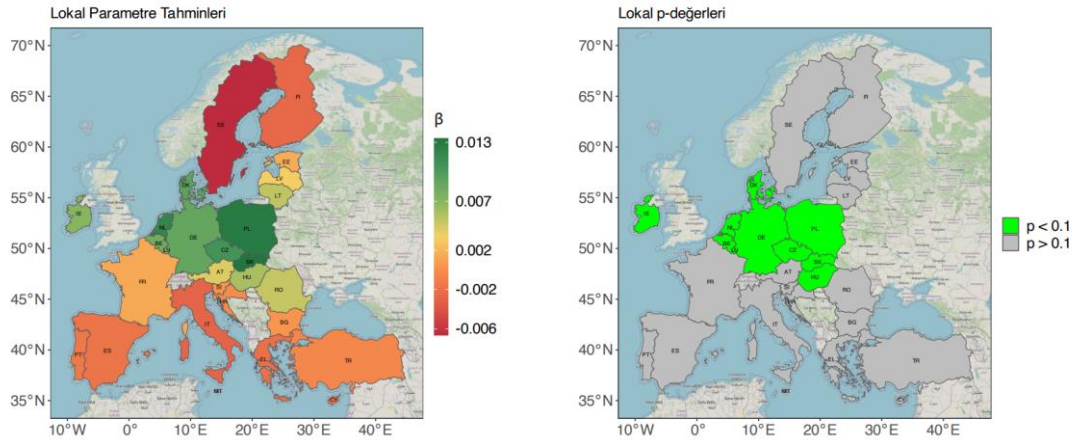


Şekil 5.4. Avrupa Birliği ülkelerinde GSYİH'nin Enerji Yoğunluğuna etkisi

Enerji yoğunluğunun temel belirleyicisi olan GSYİH, enerji verimliliğindeki artışlar sayesinde olumlu yönde etkilenmekte ve bu durum enerji yoğunluğunun azalmasına katkı sağlamaktadır ancak enerji kayıplarının artması durumunda bu kayıplar herhangi bir ekonomik üretime dönüşmediği için enerji talebinde artışa, enerji maliyetlerinin yükselmesine ve ülkelerin döviz ihtiyacının artmasına yol açmakta aynı zamanda enerji konusunda dışa bağımlılığı artırmaktadır. Enerji kayıplarının enerji alanındaki teknolojik yetersizliklerin bir göstergesi olduğu düşünüldüğünde bu durum üretim süreçlerinde enerji maliyetlerinin yükselmesine neden olarak ekonomik büyümeyi ve üretim faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz tablo daha fazla enerji tüketimine rağmen daha düşük GSYİH elde edilmesi sonucunu doğurabilir (Naimoğlu ve Özel, 2022:10-11).

Enerji yoğunluğu ile GSYİH arasındaki ilişki ülkelerde önemli farklılıklar göstermektedir. Finlandiya GSYİH artışının enerji yoğunluğunu en çok artırdığı ülke olarak öne çıkmaktadır. Estonya, Litvanya, Letonya, İsveç, Portekiz ve İtalya gibi ülkelerde de ekonomik büyüme enerji tüketimini artırarak enerji yoğunluğunu yükseltmektedir. Buna karşılık Hırvatistan, Sırbistan ve Fransa gibi ülkelerde bu etki daha sınırlı olmasına rağmen pozitif bir ilişki gözlemlenmektedir. Negatif etki ise Hollanda, Çekya, Almanya, Danimarka, Lüksemburg, Belçika ve Slovakya gibi ülkelerde ortaya çıkmaktadır bu ülkelerde GSYİH artışı enerji yoğunluğunu azaltmaktadır ve bu durum enerji verimliliği politikalarının etkili olduğunu göstermektedir. Türkiye, Kıbrıs, Yunanistan, Bulgaristan, Romanya, Avusturya, Macaristan, Polonya ve İrlanda gibi ülkelerde ise GSYİH'nin enerji yoğunluğu üzerinde belirgin bir etkisi görülmemektedir.

Şekil 5.4, Avrupa Birliği ülkelerinde GSYİH'nin enerji yoğunluğuna etkisini sunmaktadır. Ülkelerin GSYİH ile enerji yoğunluğu arasındaki ilişkiyi değerlendirirken, p-değerleri üzerinden istatistiksel anlamlılık incelenmiştir. Anlamlı ilişkilerin bulunduğu ülkeler arasında Finlandiya, İrlanda, Yunanistan ve orta Avrupa ülkeleri yer almaktadır. Elde edilen bulgular ülkeler arasındaki enerji yoğunluğu ve ekonomik büyüme ilişkilerinin ekonomik yapı ve enerji politikalarındaki farklılıklardan kaynaklandığını göstermektedir. Finlandiya ve İsveç'te GSYİH artışı enerji tüketimini artırırken Hollanda, Almanya, Belçika, Danimarka, Lüksemburg, Almanya, Çekya ve Slovakya'daki etki ters yöndedir burada enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji politikaları ön plandadır. Türkiye, Yunanistan ve bazı Doğu Avrupa ülkelerinde ise enerji yoğunluğu ile GSYİH arasında anlamlı bir ilişki olmaması bu ülkelerdeki enerji tüketimi ile ekonomik büyüme bağlantısının zayıf olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda ülkelerin enerji politikaları ve ekonomik yapıları enerji yoğunluğu ile GSYİH arasındaki ilişkilerin belirleyici unsurlarıdır. Sürdürülebilir enerji kullanımı politikalarının GSYİH büyümesi ile enerji yoğunluğu arasındaki negatif ilişkilerin bulunduğu ülkelerde etkili olduğu pozitif ilişkilerin sürdüğü ülkelerde ise enerji yoğun sektörlerin ön planda olduğu anlaşılmaktadır.

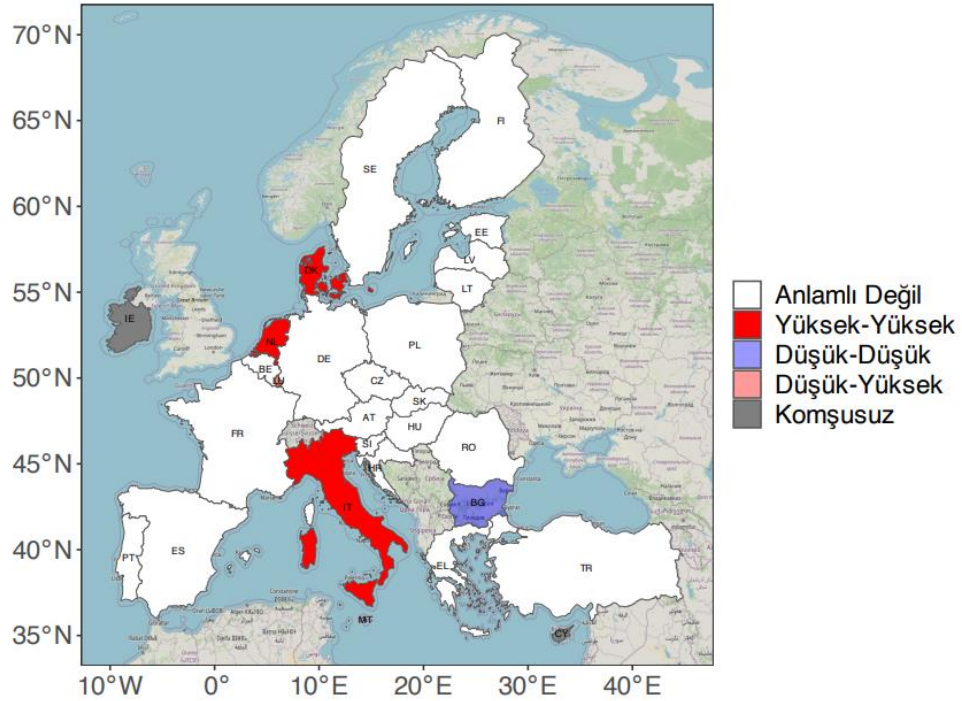


Şekil 5.5. Avrupa Birliği Ülkelerinde Ticaret Değişkeninin Enerji Yoğunluğuna Etkisi

Kısa vadede yükselen enerji fiyatları, enerji yoğunluğunun ve ithalata bağımlılığın yüksek olmasının yanı sıra enerji talebinin de esnek olmaması nedeniyle ithalat giderlerinin artmasındaki en önemli faktördür. Öte yandan gelirinin büyük bir kısmını enerji ihracatından sağlayan ülkeler için enerji fiyatlarının uzun süreli artışı enerji talep güvenliği sorunlarını beraberinde getirme ihtimali bulunmaktadır. Özellikle petrol ve diğer fosil yakıtlardaki fiyat artışlarının neden olduğu arz güvenliği kaygılarının çözümü fiyat artışının kaynağına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Enerji fiyatlarının düşük seviyelerde olması ekonomik açıdan avantajlı görünse de bazı akademisyenler uzun yıllar düşük enerji fiyatlarının enerji yoğunluğunun artmasına yol açtığını belirtmektedir (Erdal ve Karakaya, 2012:118).

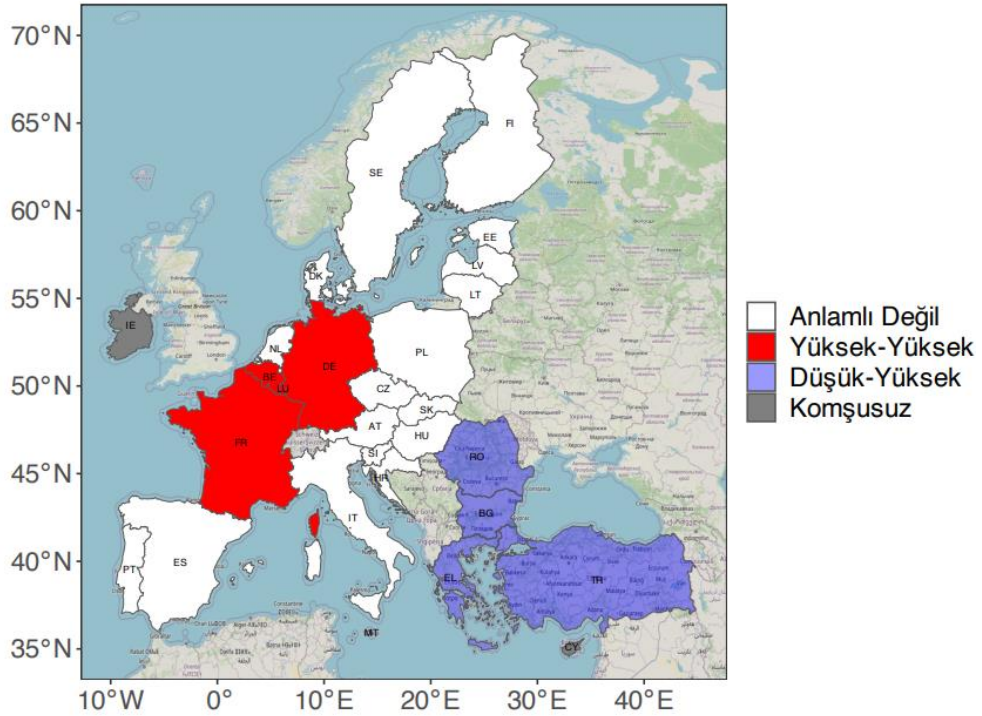
Şekil 5.5, ticaretin enerji yoğunluğu üzerindeki etkileri bölgesel düzeyde incelemekte ve mekansal farklılıkları vurgulamaktadır. Ticaret ile enerji yoğunluğu arasında güçlü pozitif etkiye sahip ülkeler Polonya, Slovakya ve Hollanda'dır. Bu ülkelerde ticaret enerji verimliliğini artırarak enerji yoğunluğunu düşürmektedir. Benzer şekilde Çekya, Danimarka, Belçika, Lüksemburg ve İrlanda'da pozitif etki gözlemlenmiş olsa da Macaristan, Letonya ve Romanya'da bu etki daha sınırlıdır. Ticaretin enerji yoğunluğunu artıran yani negatif etki gösteren ülkeler arasında ise İsveç ilk sırada yer almaktadır. İsveç'in ardından Türkiye, Kıbrıs, Yunanistan, İtalya, İspanya, Portekiz ve Finlandiya'da da ticaretin enerji yoğunluğunu olumsuz etkilediği görülmektedir. Fransa, Estonya, Sırbistan, Hırvatistan ve Bulgaristan'da ise ticaretin etkisi nötr veya çok sınırlı düzeyde kalmaktadır.

Sağ harita tahminlerin istatistiksel anlamlılık düzeyleri gösterilmektedir. İrlanda ve Orta Avrupa’da ticaretin enerji yoğunluğu üzerindeki etkisi anlamlı bulunarak bu ülkelerde ticaretin enerji verimliliğini artırdığı sonucuna varılmıştır. Şekil 5.5’te ticaretin enerji yoğunluğu üzerindeki etkilerini tamamlayıcı bir şekilde sunmaktadır. Polonya, Slovakya ve Hollanda gibi ülkelerde ticaretin enerji yoğunluğunu azaltıcı etkisi belirgindir. Orta Avrupa’da ticaretin enerji yoğunluğunu artırdığı görülmektedir. Bu bulgular ülkelerin sanayi yapıları, enerji politikaları ve ticaret stratejilerindeki farklılıkları yansıtabilir. İstatistiksel anlamlılık açısından Orta Avrupa ülkeleri ve İrlanda’da ticaretin enerji yoğunluğuna olan etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu diğer bölgelerde ise anlamlı olmadığı görülmektedir. Bu sonuçlar politika yapıcılar için önemli çıkarımlar sunmaktadır ticaretin enerji verimliliği üzerindeki etkisini optimize etmek için yerel dinamikler göz önünde bulundurulmalı ve bölgeye özgü stratejiler geliştirilmelidir. Özellikle enerji yoğunluğunun yüksek olduğu ve ticaretin pozitif etkisinin gözlemlendiği Orta Avrupa ülkeleri dışında kalan bölgelerde enerji verimliliğini artırmak için ticaret politikalarının yeniden yapılandırılması gerekebilir.



Şekil 5.6. Avrupa Birliği ülkelerinde Sağlık Harcamaları değişkeninin enerji yoğunluğu üzerindeki mekansal otokorelasyonu

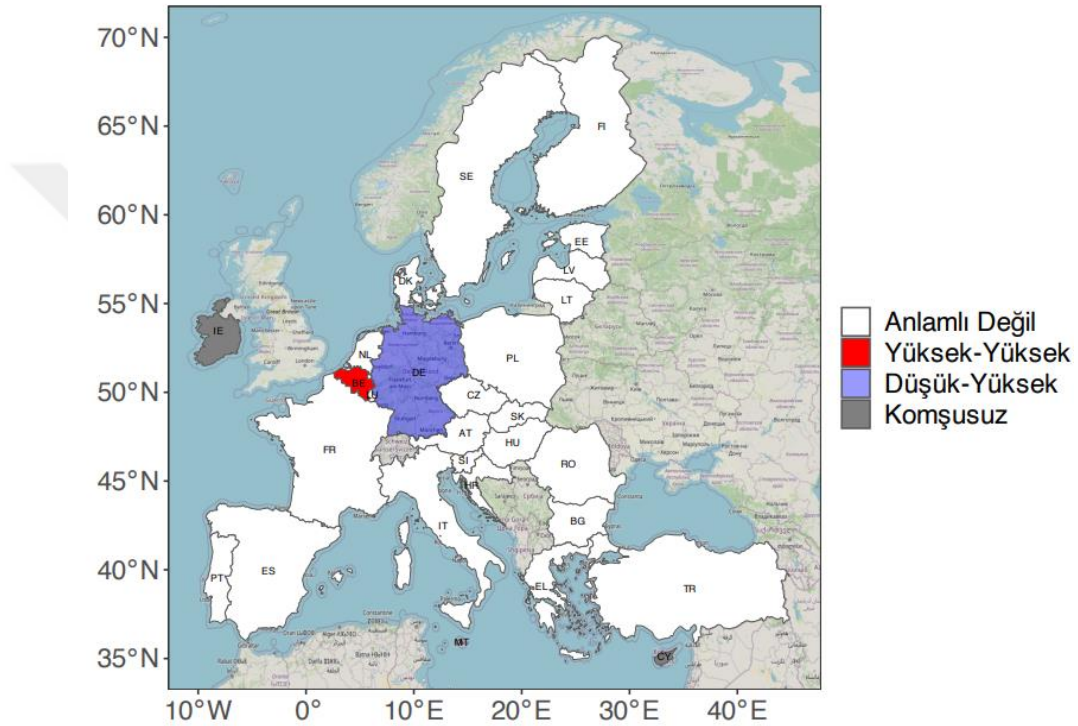
Şekil 5.6’da sağlık harcamaları ile enerji yoğunluğu arasındaki mekânsal ilişki, yerel Moran istatistiklerine göre analiz edilmiştir. İtalya, Malta, Hollanda ve Danimarka’da kırmızı ile gösterilen “Yüksek-Yüksek” etkisi bu ülkelerdeki yüksek değerlerin komşu ülkelerde de benzer şekilde yüksek değerlere sahip olduğu ve bu durumun mekansal olarak bir kümelenme oluşturduğunu göstermektedir. Öte yandan, Bulgaristan’da saptanan “Düşük-Düşük” etki, düşük sağlık harcamaları ile düşük enerji yoğunluğu arasında pozitif bir korelasyon olduğunu ve bu ülkede düşük değerlerin komşularında da aynı şekilde düşük olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.7. Avrupa Birliği ülkelerinde GSYİH’nin enerji yoğunluğu üzerindeki mekansal otokorelasyonu

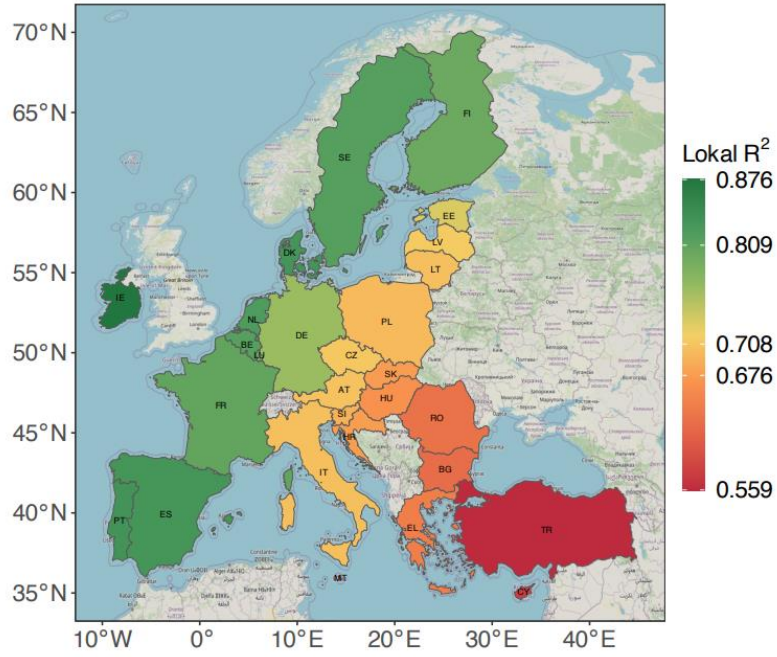
Avrupa Birliği ülkelerindeki GSYİH'nin enerji yoğunluğu üzerindeki mekansal otokorelasyonunu sunan Şekil 5.7’de Türkiye, Bulgaristan, Yunanistan ve Romanya'nın düşük-yüksek oranlarında yer aldığı görülmektedir. Bu ülkelerin enerji verimliliği açısından daha düşük performansa sahip olduğunu ve çevresindeki ülkelerle karşılaştırıldığında daha yüksek enerji yoğunluğu değerlerine sahip olma eğiliminde olduklarını ortaya koymaktadır. Fransa, Lüksemburg, Belçika ve Almanya gibi ülkelerde

yüksek-yüksek oranlarının yoğunlaşması kümelenen bu ülkelerin hem ekonomik açıdan daha gelişmiş hem de enerji verimliliği konusundaki başarılarının bir göstergesidir. Bu ülkeler sürdürülebilir enerji politikaları ve teknolojik yenilikler ile yüksek enerji verimliliği elde etmiştir. Sonuç olarak bu analizler, ülkeler arasındaki enerji yönetimi ve ekonomik kalkınma farklılıklarını anlamak için önemli bir zemin sağlamaktadır ve enerji politikalarının geliştirilmesinde dikkate alınması gereken kritik veriler sunmaktadır.



Şekil 5.8. Avrupa Birliği ülkelerinde Ticaret değişkeninin enerji yoğunluğu üzerindeki mekansal otokorelasyonu

Enerji yoğunluğu ile ticaret arasındaki mekansal otokorelasyonu inceleyen Şekil 5.8 Belçika'da yüksek-yüksek bir ilişki sergileyerek bu ülkenin enerji yoğunluğunun ticaret ile güçlü bir bağlantıya sahip olduğunu gösterse de komşu ülke Almanya'da gözlemlenen düşük-yüksek ilişki enerji yoğunluğunun ticaret hacmi ile zayıf bir mekansal otokorelasyona sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Belçika'nın yüksek ticaret hacminin enerji yoğunluğu üzerindeki etkisi ile Almanya'nın düşük ticaret hacminin enerji yoğunluğu üzerindeki etkileri arasında önemli bir farklılık olduğunu vurgulamaktadır.



Şekil 5.9. Avrupa Birliği ülkelerinde enerji yoğunluğunun yerel R^2 tahminleri

0,0 ile 1.0 arasında değere sahip olan yerel R^2 değerinin bağımlı değişkenle ne kadar uyumlu olduğunu göstermek için kullanılmaktadır. R^2 değeri 1.0'e ne kadar yaklaşırsa tahmin gücü o kadar artmaktadır (Yüzbaşı ve Görür, 2021:143). Şekil 5.9'a göre bağımlı değişkenin en iyi tahmin edilen bölgeleri çapraz olarak kuzeybatı bölgesinden güneydoğu bölgesine doğru uyum azalmaktadır. Daha geniş bir ifade ile haritada renklerle gösterilen R^2 değerleri, enerji yoğunluğunun ekonomik büyüme ile ilişkisini belirtmektedir. Yeşil renkli ülkelerde (İsveç, Finlandiya, İrlanda, İspanya, Portekiz, Danimarka, Hollanda, Belçika, Lüksemburg), R^2 değeri yüksektir ve enerji yoğunluğunun ekonomik büyüme ile güçlü bir ilişkisi vardır, bu da enerji verimliliği politikalarının etkili olduğunu gösterir. Sarı renkli ülkelerde (Polonya, Litvanya, Letonya, Estonya, Avusturya, Çekya, Slovakya, İtalya, Malta), R^2 değeri orta seviyededir ve bu da enerji verimliliği politikalarının etkili ancak iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu işaret eder. Turuncu ve kırmızı renkli ülkelerde (Romanya, Yunanistan, Bulgaristan, Türkiye), R^2 değeri düşüktür ve enerji yoğunluğunun ekonomik büyüme ile zayıf bir ilişkisi vardır, bu da enerji verimliliği politikalarının yeterince etkili olmadığını veya uygulanmadığını göstermektedir. Bu analiz, enerji verimliliği politikalarının ekonomik büyümeye olan etkilerini ve ülkeler arası farklılıklarını anlamada yardımcı olmaktadır.

TARTIŞMA ve SONUÇ

Enerji; endüstri, tarım, sanayi gibi birçok alanda zorunlu hale gelerek ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınmasında büyük bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, ülkeler ekonomik kalkınma planlarının yanı sıra güçlü enerji stratejileri de geliştirmektedir (Tarla ve Bayat, 2021:35). Enerji yoğunluğu bir ülkenin enerji tüketimini ekonomik verimlilikle ilişkilendiren önemli bir göstergedir ve genellikle toplam enerji kullanımının GSYİH ile oranı şeklinde ifade edilir. Bu kavram bireylerin ve toplumların ekonomik üretim ile tüketim süreçlerinde merkezi bir rol üstlenerek tarih boyunca emek odaklı enerji kullanımından günümüzdeki yüksek enerji talebine doğru bir evrim geçirmiştir. Enerji bireylerin günlük yaşamları ve sanayi, ulaşım gibi sektörlerdeki üretim süreçleri açısından hayati bir öneme sahiptir. Enerji yoğunluğunu değerlendirmeye yönelik farklı göstergeler bulunmaktadır bu göstergeler enerji kullanımının çeşitli aşamalarını ve biçimlerini yansıtmaktadır. Örneğin birincil enerji doğal kaynaklarda bulunan enerji miktarını ifade ederken nihai enerji tüketicilerin veya üreticilerin doğrudan kullandığı enerjiyi temsil etmektedir.

Enerji verimliliği belirli bir seviyede ekonomik faaliyet sürdürülürken daha az enerji girdisi kullanılması anlamına gelir. Bu durum enerji kaynaklarının daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını ifade eder. Enerji yoğunluğu bir birim ekonomik faaliyet başına tüketilen enerji miktarını gösterir bu nedenle enerji verimliliğinin değerlendirilmesinde sıkça başvurulan bir ölçüt olarak öne çıkmaktadır. Etkili göstergelerin temel nitelikleri arasında amaca uygunluk, anlaşılabilirlik, güvenilirlik ve veri erişilebilirliği yer almaktadır. Ancak enerji yoğunluğu yalnızca enerji verimliliğinin bir göstergesi olarak değerlendirilmelidir çünkü enerji yoğunluğundaki değişiklikler ülkenin ekonomik yapısı gibi birçok faktörün bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Ekonomik sektörlerin enerjiye olan bağımlılığı ve enerji kullanımı enerji yoğunluğunun değişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle enerji yoğunluğunu anlamak yalnızca verimlilikle değil aynı zamanda ekonominin genel dinamikleri ve yapısal özellikleri ile de ilişkilidir. Bu bağlamda enerji yoğunluğu ticaret, GSYİH ve sağlık harcamaları gibi çeşitli ekonomik ve sosyal göstergeler üzerinden incelenmiştir. Bu analizde çeşitli istatistiksel model seçme kriterleri kullanılarak EKK tahmin yöntemi ve CAR yöntemi karşılaştırılmıştır. Model seçiminde AIC , AIC_c , BIC , R^2 ve

düzeltilmiş R^2 gibi ölçütler dikkate alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda, CAR yönteminin mekânsal bağımlılığı ve otokorelasyonu daha iyi yakalayabilen bir teknik olduğu görülmüştür. Çalışma alanı olarak seçilen Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye'nin coğrafi ve ekonomik yakınlıkların güçlü olduğu düşünülürse bu yöntem ülkeler arasındaki mekânsal bağımlılıkları daha iyi modelleyebilmekte ve enerji yoğunluğu üzerindeki etkilerin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlamaktadır. AIC , AIC_c ve BIC gibi kriterler modelin uyumunu ve karmaşıklığını değerlendirirken R^2 ve düzeltilmiş R^2 ise modelin açıklayıcılığını göstermektedir. Analizler CAR modelinin bu kriterler açısından daha iyi performans göstermesi ile modelin hem daha uygun hem de daha açıklayıcı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle AIC ve BIC değerlerinin düşük olması modelin gereksiz parametrelerden arındırılmış ve daha verimli olduğunu göstermektedir. Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye, genellikle birbirine coğrafi olarak yakın ve ekonomik olarak entegre durumdadır. Bu ülkeler arasındaki ticaret hacmi yüksek olup ekonomik ve sağlık harcamaları gibi göstergeler de benzer eğilimler gösterebilmektedir. CAR yöntemi bu mekânsal ve ekonomik yakınlıkları dikkate alarak enerji yoğunluğunun belirleyicilerini daha iyi modelleyebilir bu da AB ülkelerinde enerji yoğunluğu ile ilgili politikaların ve stratejilerin daha doğru bir şekilde belirlenmesine yardımcı olabilir.

Bu çalışmada CAR modeli ile enerji yoğunluğunu etkileyen faktörlerin mekânsal bağımlılıklarını ve yerel farklılıklarını derinlemesine incelemeyi amaçlamaktadır. CAR modelinin tercih edilmesinin temel nedeni verinin mekânsal heterojenliğini göz önünde bulundurabilmesi ve farklı coğrafi bölgelerdeki değişkenler arasındaki ilişkileri daha doğru bir şekilde yansıtabilmesidir. Geleneksel EKK tahmin yöntemi ise tüm bölgeyi homojen bir yapı olarak ele alarak yerel farklılıkları ve mekânsal bağımlılıkları göz ardı ettiği için modelin tahmin gücünün sınırlı kalmasına neden olmaktadır. Çalışmanın temel hedefi enerji yoğunluğunu etkileyen başlıca faktörleri belirlemek ve bu etkilerin mekânsal dağılımlarını analiz etmektir. Bu amaç doğrultusunda hem EKK tahmin yöntemi hem de CAR modelleri kullanılarak verilerin analiz edilmesi sağlanmıştır. Bu araştırma kapsamında AB ülkeleri ve Türkiye'nin 2022 yılı enerji yoğunluğu verileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Enerji yoğunluğu bir ülkenin ekonomik faaliyetleri sırasında ne kadar enerji tükettiğinin bir göstergesi olarak kabul edilmekte ve enerji verimliliğinin dolaylı bir ölçüsü olarak değerlendirilmektedir.

Elde edilen bulgular bu iki yöntem arasındaki performans farklarını net bir şekilde ortaya koymaktadır. EKK ve CAR modellerinin karşılaştırılmasına yönelik yapılan analizler EKK tahmin yöntemi kullanılarak elde edilen R^2 değerinin 0.176 ile sınırlı kaldığını göstermektedir. Buna karşın CAR modeli kullanıldığında bu değer 0.743'e kadar yükselmesi CAR modelinin mekânsal bağımlılıkları daha iyi açıklayabildiğini ve değişkenler arasındaki ilişkileri daha güçlü bir şekilde ortaya koyduğunu göstermektedir. Bu durum CAR modelinin her bir gözlem noktasında yerel parametre tahminleri sunma kapasitesine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Yerel düzeyde yapılan bu tahminlerin mekânsal yapısına daha iyi bir uyum sağlamış ve özellikle enerji yoğunluğunu etkileyen yerel faktörlerin daha doğru bir şekilde analiz edilmesine olanak tanımıştır. Bu nedenle CAR yöntemi enerji yoğunluğu gibi mekânsal bağımlılığı yüksek değişkenlerin analizinde EKK tahmin yöntemine göre çok daha isabetli sonuçlar sunmaktadır.

Çalışmada kullanılan model seçimi kriterleri olan AIC , AIC_c ve BIC değerleri de CAR modelinin performansının EKK tahmin yöntemine göre daha üstün olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle AIC_c ve BIC değerlerinin daha düşük olması, CAR modelinin gereksiz parametrelerden arındırılmış daha verimli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, enerji verimliliği ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada CAR modelinin ne denli etkili bir araç olduğunu kanıtlamaktadır.

CAR modelinin mekânsal bağımlılıkları EKK tahmin yöntemine göre çok daha iyi yakaladığını ve enerji yoğunluğu üzerindeki etkilerin daha hassas bir şekilde tahmin edilebildiğini ortaya koymaktadır. Mekânsal bağımlılıkların enerji yoğunluğunu anlamada önemli bir rol oynadığı çalışmada CAR modelinin sağladığı esneklik de ön plana çıkmaktadır. Enerji yoğunluğunun coğrafi bölgeler arasında homojen bir yapıya sahip olmadığını aksine mekânsal olarak heterojen bir yapıda olduğunu gösteren bulgular bu farklılıkların analiz edilmesinde CAR yönteminin daha derinlemesine bir anlayış sunduğunu ortaya koymuştur. AB ülkeleri ve Türkiye arasında gözlemlenen enerji yoğunluğu farklılıkları yalnızca ekonomik yapı ve enerji politikalarına bağlı kalmamış aynı zamanda coğrafi ve bölgesel faktörlerin de önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulguya göre enerji yoğunluğu analizlerinde mekânsal faktörlerin göz ardı edilmemesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Enerji politikalarının şekillendirilmesinde CAR modelinin kullanılmasının önemini de açıkça ortaya koymaktadır. AB ülkeleri arasında güçlü bir coğrafi ve ekonomik entegrasyon söz konusudur ve bu entegrasyonun enerji yoğunluğunu etkileyen mekânsal faktörlerle birlikte modellenmesi gerekmektedir. EKK tahmin yönteminin sunduğu tekdüze yapıya kıyasla CAR modeli enerji tüketiminin bölgesel farklılıklarını daha doğru bir şekilde ortaya koyarak daha yerel odaklı enerji politikalarının geliştirilmesine katkı sunmuştur.

Ayrıca benzer çalışmaları yapan araştırmacıların araştırma sonuçlarına bakıldığında Rahman ve Alam (2022:255-257) Benelux ülkeleri (Belçika, Hollanda, Lüksemburg) üzerinde yaptıkları çalışmada yenilenebilir enerjinin sağlık harcamaları üzerinde pozitif etkiye sahip olduğunu saptamışlardır; Pehlivanoğlu vd. (2021:18-22) Finlandiya’da enerji verimliliği ile ekonomik büyüme arasında anlamlı bir ilişki olduğunun sonucuna varmışlardır; Kander vd. (2017:38-43) ise Almanya’da enerji yoğunluğu ve ticaret arasındaki ilişkinin pozitif olduğu sonucuna varmışlardır. İncelenen araştırmaların çalışmamızın bulgularını destekler nitelikte olup enerji yoğunluğunun ekonomik ve sosyal kalkınmadaki önemini bir kez daha vurgulamaktadır

Sonuç olarak bu araştırma, enerji yoğunluğu analizlerinde mekânsal bağımlılıkların dikkate alınmasının yalnızca mevcut durumun daha doğru bir şekilde değerlendirilmesine katkı sağlamadığını aynı zamanda gelecekteki enerji politikalarının daha etkili bir şekilde tasarlanmasına olanak verdiğini vurgulamaktadır. CAR modeli enerji yoğunluğu üzerindeki mekânsal etkileri daha doğru bir şekilde modelleyerek politika yapıcıların enerji verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için daha isabetli kararlar almasına imkân tanımaktadır. AB ülkeleri ve Türkiye'nin enerji politikalarının şekillendirilmesinde bu tür mekânsal analizlerin kullanımı sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir araç olarak değerlendirilmeli ve bu doğrultuda stratejiler geliştirilmelidir. Çalışmanın sonuçları enerji yoğunluğunun karmaşık ve çok boyutlu bir olgu olduğunu bu olgunun doğru bir şekilde anlaşılması için mekânsal analiz tekniklerinin kullanılmasının kaçınılmaz olduğunu ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdi, H. (2007). The Method of Least Squares. *Encyclopedia of Measurement and Statistics*, 1, 530-532.
- Akpınar, E., ve Başbüyük, A. (2011). Jeoekonomik Önemi Giderek Artan Bir Enerji Kaynağı: Doğalgaz. *Electronic Turkish Studies*, 6(3).
- Arbia, G. (2014). *A primer for spatial econometrics with applications in R*.
- Artun, E. S. (2024). Karbon Vergisinin Türkiye’de Yenilenebilir Enerjiye Yönlendirme Aracı Olarak Kullanılması. *Yaşar Hukuk Dergisi*, 6(1), 15-48.
- Aslantas Bostan, P., ve Ozgur, Ertuğrul. (2018). Spatial Distribution and Modelling of The Total Fertility Rate in Turkey Using Spatial Data Analysis Techniques. *Journal Of Geography-Cografya Dergisi*, (37).
- Atalay, A. Ç. (2024). D-8 Ülkeleri İçin Karbondioksit Emisyonun Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi: Levenberg-Marquardt Algoritması. *Sosyoekonomi*, 32(59), 363-382.
- Aydın, F. (2010). Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (35), 317-340.
- Aydın, O., Bostan, P. A., & Özgür, E. M. (2018). Mekânsal veri analizi teknikleriyle Türkiye’de toplam doğurganlık hızının dağılımı ve modellenmesi. *Coğrafya Dergisi*, (37), 27-45.
- Azam, M., Liu, L., ve Ahmad, N. (2021). Impact of Institutional Quality on Environment and Energy Consumption: Evidence From Developing World. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 1646-1667.
- Bayraç, H. N. (2010). Enerji Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi ve Önleyici Politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 229-259.
- Björck, Å. (1990). Least Squares Methods. *Handbook of Numerical Analysis*, 1, 465-652.
- Boz, F. Ç., ve Tuğba, Örs. (2024). Çevre Vergileri, Karbon Emisyonu ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: OECD Ülkeleri Üzerine Bir Analiz. *Sosyoekonomi*, 32(59), 325-342.

- Bozkurt, S., ve Tür, R. (2015). Dünyada ve Türkiye’de Hidroelektrik Enerji, Gelişimi ve Genel Değerlendirme. *Su Yapıları Sempozyumu Kitabı*. Antalya, 322-330.
- Brewer, M., Butler, A. ve Cooksley, S. (2016) The Relative Performance of AIC, AICc and BIC in The Presence of Unobserved Heterogeneity. *Methods in Ecology and Evolution*, 7. Doi: 10.1111/2041-210x.12541
- Chaabouni, S., ve Saidi, K. (2017). The Dynamic Links Between Carbon Dioxide (CO₂) Emissions, Health Spending and GDP Growth: A Case Study For 51 Countries. *Environmental Research*, 158, 137-144.
- Chen, I. C., Cheng, K. L., Ma, H. W., ve Hung, C. C. (2021). Identifying Spatial Driving Factors of Energy and Water Consumption in the Context of Urban Transformation. *Sustainability*, 13(19), 10503.
- Chen, S., Zhang, H., ve Wang, S. (2022). Trade Openness, Economic Growth, and Energy Intensity in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 179, 121608.
- Chenliang, W., Tianxiang, Y., ve Zemeng, F. (2014). Solar Radiation Climatology Calculation in China. *Journal of Resources and Ecology*, 5(2), 132-138.
- Çetin, G., ve Bahadır, Y. (2024). Van İlinde Göç Sonrası Uyum Sürecinde Kültürel Benzerliği Etkileyen Faktörlerin GWR Yöntemiyle İncelenmesi. *Coğrafya Dergisi*, (48), 137-154.
- Çınar, M. (2023). Yenilenebilir ve Yenilenemez Enerji Kaynakları ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensel İlişkinin Araştırılması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(1), 24-56.
- Çil, A. B. (2023). Türkiye İmalat Sanayinde Enerji Yoğunluğu: Firma Bazında Kanıtlar. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(4), 987-998.
- Çobanoğluları, G. (2024). Exploring the Link Between CO₂ Emissions, Health Expenditure, and Economic Growth in Türkiye: Evidence From the ARDL Model. *Environment, Development and Sustainability*, 1-15.

- Dehghan Shabani, Z., ve Shahnazi, R. (2021). Energy Intensity Convergence in Iranian Provinces: Evidence From Energy Carriers' Consumption Intensity. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 26697-26716.
- Erdal, L., ve Karakaya, E. (2012). Enerji Arz Güvenliğini Etkileyen Ekonomik, Siyasi ve Coğrafi Faktörler.
- Ergün, S., ve Polat, M. A. (2012). Nükleer Enerji ve Türkiye'ye Yansımaları. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(2), 35-58.
- Filipovic, S., Verbic, M., ve Radovanovic, M. (2015). Determinants of Energy Intensity in the European Union: A Panel Data Analysis. *Energy*, 92, 547-555.
- Fotheringham, A. S., Crespo, R., ve Yao, J. (2015). Geographical and Temporal Weighted Regression (GTWR). *Geographical Analysis*, 47(4), 431-452.
- Fotheringham, AS., vd., (2002) *Geographically Weighted Regression the Analysis of Spatially Varying Relationships*, John Wiley & Sons, İngiltere.
- Görür, Ç. (2024). Van İlinin Komşu İllerden ve İran'dan Aldığı Göçün Coğrafi Ağırlıklı Regresyon ile İncelenmesi. *Doktora Tezi*. İnönü Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Malatya.
- Göv, A., & Yılcı, V. (2023). Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi, Dış Ticaret Dengesi ve Finansal Gelişme İlişkisine Grafikselleştirilmiş Nedensellik Testi Yaklaşımı. *İstanbul İktisat Dergisi*, 73(1), 203-230.
- Gövdere, B., ve Muhlis, C. (2015). Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneğinde Eş Bütünleşme Analizi. *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 1(2), 101-114.
- Gujarati, D. N., ve Porter, D. C. (2012). *Temel Ekonometri* (Ü. Şenese ve GG Şenese, Çev.). İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Gültekin Tarla, E., ve Bayat, T. (2021). Türkiye Ekonomisinde Finansal Gelişme ve Enerji Tüketimi İlişkisinin Asimetrik ve Kayan Pencere Nedensellik Testleri ile Analizi. *Erciyes Akademi*, 35(1).

- Gyamfi, B. A., Kwakwa, P. A., ve Adebayo, T. S. (2023). Energy Intensity Among European Union Countries: the Role of Renewable Energy, Income and Trade. *International Journal of Energy Sector Management*, 17(4), 801-819.
- Harris, P., Fotheringham, A. S., ve Juggins, S. (2010). Robust Geographically Weighted Regression: A Technique For Quantifying Spatial Relationships Between Freshwater Acidification Critical Loads and Catchment Attributes. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(2), 286-306.
- Hou, H., ve Yang, S. (2022). Clean Energy, Economic Development and Healthy Energy Intensity: an Empirical Analysis Based on China's Inter-Provincial Panel Data. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(53), 80366-80382.
- Huang, B., Wu, B., ve Barry, M. (2010). Geographically and Temporally Weighted Regression For Modeling Spatio-Temporal Variation in House Prices. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(3), 383-401.
- Hüseyin, Ağır, Özbek, S., ve Türkmen, S. (2020). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belirleyicileri: Ampirik Bir Tahmin. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 6(4), 39-48.
- İncekara, Ç. Ö. (2019). Türkiye ve AB’nin Enerji Hedefleri. *Journal of Turkish Operations Management*, 3(2), 298-313.
- Isazade, V., Qasimi, A. B., Dong, P., Kaplan, G., ve Isazade, E. (2023). Integration of Moran’s I, Geographically Weighted Regression (GWR), and Ordinary Least Square (OLS) Models in Spatiotemporal Modeling of Covid-19 Outbreak in Qom and Mazandaran Provinces, Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 9(4), 3923-3937.
- Jivraj, S., Brown, M., ve Finney, N. (2013). Modelling Spatial Variation in the Determinants of Neighbourhood Family Migration in England With Geographically Weighted Regression. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 6, 285-304.
- Jung, M., Ko, W., Choi, Y., ve Cho, Y. (2019). Spatial Variations in Fertility of South Korea: A Geographically Weighted Regression Approach. *Isprs International Journal of Geo-Information*, 8(6), 262.

- Kamata, K. (2009). Spatial Variations in Fertility: Geographically Weighted Regression Analysis For Town-and Village-Level Tfr in Japan. *Journal of Population Studies (Jinkogaku Kenkyu)*, 45, 1.
- Kander, A., Warde, P., Henriques, S. T., Nielsen, H., Kulionis, V., ve Hagen, S. (2017). International Trade and Energy Intensity During European Industrialization, 1870–1935. *Ecological Economics*, 139, 33-44.
- Keyifli, N., ve Recepoğlu, M. (2020). Sağlık Harcamaları, Co2 Emisyonu, Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme: Bootstrap Panel Nedensellik Testinden Kanıtlar. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(20), 285-305.
- Kılıç, M. Y., ve Kurtaran, M. Sürdürülebilir Enerji Üretimi İçin Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Pvsyst Programı ile Simülasyonu: Bursa İli Örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 11(1), 239-248.
- Koç, T. (2022). Bandwidth Selection in Geographically Weighted Regression Models Via Information Complexity Criteria. *Journal of Mathematics*, 2022(1), 1527407.
- Koçoğlu, Ş. (2024). Avrupa Yenilenebilir Enerji Stoklarının Volatilite Karakteri: Eriş Endeksi Üzerine Bir Araştırma. *Fiscaoeconomia*, 8(1), 75-92.
- Leung, Y., Mei, C. L., ve Zhang, W. X. (2000). Statistical Tests for Spatial Nonstationarity Based on the Geographically Weighted Regression Model. *Environment and Planning A*, 32(1), 9-32.
- Lin, G., Jiang, D., Fu, J., Dong, D., Sun, W., ve Li, X. (2020). Spatial Relationships of Water Resources With Energy Consumption at Coal Mining Operations in China. *Mine Water and the Environment*, 39, 407-415.
- Lu, B., Charlton, M., Harris, P., ve Fotheringham, A. S. (2014). Geographically Weighted Regression With a Non-Euclidean Distance Metric: a Case Study Using Hedonic house Price Data. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(4), 660-681.

- Ma, X., Zhang, J., Ding, C., ve Wang, Y. (2018). A Geographically and Temporally Weighted Regression Model to Explore the Spatiotemporal Influence of Built Environment on Transit Ridership. *Computers, Environment and Urban Systems*, 70, 113-124.
- Marie-Pierre de Bellefon, J.M.F. (2018). Geographically Weighted Regression. *Handbook of Spatial Analysis: Theory and Application with R; Insee: Paris, France*.
- Meşter, I., Simuş, R., Meşter, L., & Bac, D. (2023). An Investigation of Tourism, Economic Growth, CO2 Emissions, Trade Openness and Energy Intensity Index Nexus: Evidence for the European Union. *Energies*, 16(11), 4308.
- Miller, S. J. (2006). The Method of Least Squares. *Mathematics Department Brown University*, 8(1), 5-11.
- Mucuk, M., ve Uysal, D. (2009). Türkiye Ekonomisinde Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme. *Maliye Dergisi*, 157(1), 105-115.
- Muhammad, B., Khan, M. K., Khan, M. I., ve Khan, S. (2021). Impact of Foreign Direct Investment, Natural Resources, Renewable Energy Consumption, and Economic Growth on Environmental Degradation: Evidence From Brics, Developing, Developed and Global Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 21789-21798.
- Mutlu, N. M., Akoğan, F., ve Süreyya, İmre. Solar Kaynaklı Sürdürülebilir Elektrik Tüketiminin Gayri Safı Yurtiçi Hasıla zerindeki Etkisi: Rassal Orman Regresyonu. *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, 16(1), 41-56.
- Naimoğlu, M. (2021). Fourier Yaklaşımıyla Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Enerji Kayıplarının Ekonomik Büyüme zerindeki Etkisi: Almanya rneği. *Journal of Economics and Research*, 2(1), 59-68.
- Naimoğlu, M., & zel, B. (2022). Enerji Kaynaklarının Enerji Yoğunluğu zerindeki Etkileri: Enerji İthalatçısı Yükselen Ekonomilerden Kanıtlar. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (47), 1-15.

- Nica, E., Poliakova, A., Popescu, G. H., Valaskova, K., Burcea, S. G., ve Constantin, A. L. D. (2023). The Impact of Financial Development, Health Expenditure, CO2 Emissions, Institutional Quality, and Energy Mix on Life Expectancy in Eastern Europe: CS-ARDL and Quantile Regression Approaches. *Heliyon*, 9(11).
- Özbek, S. (2023). Enerji İthalatçısı Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Yoğunluğunun Belirleyicileri. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(1), 114-126.
- Öztürk, Y. (2022). Jeotermal Enerji Üretimine Yönelik Faaliyetlerin Üreticiler Açısından Değerlendirilmesi: Aydın ve Manisa İli Örnekleri. *Master's Thesis*. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pan, X., Uddin, M. K., Saima, U., Jiao, Z., ve Han, C. (2019). How Do Industrialization and Trade Openness Influence Energy Intensity? Evidence From a Path Model in Case of Bangladesh. *Energy Policy*, 133, 110916.
- Pehlivanoglu, F., Kocbulut, O., Akdag, S., ve Alola, A. A. (2021). Toward a Sustainable Economic Development in the EU Member States: The Role of Energy Efficiency-Intensity and Renewable Energy. *International Journal of Energy Research*, 45(15), 21219-21233.
- Peker, A. E., ve Yüksel, A. (2022). Türkiye’de Çevre Harcamalarının İklim Değişikliği Üzerindeki Etkisinin Mekânsal Veri Analizi ile Modellenmesi. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 29(4), 643-659.
- Rahman, M. M., ve Alam, K. (2022). Life Expectancy in the ANZUS-BENELUX Countries: The Role of Renewable Energy, Environmental Pollution, Economic Growth and Good Governance. *Renewable Energy*, 190, 251-260.
- Romano, J. P., ve Wolf, M. (2017). Resurrecting Weighted Least Squares. *Journal of Econometrics*, 197(1), 1-19.
- Şaşmaz, M. U., Karamıklı, A., ve Akkucuk, U. (2021). The Relationship Between Renewable Energy use and Health Expenditures in EU Countries. *The European Journal of Health Economics*, 22(7), 1129-1139.

- Serrenho, A. C., Sousa, T., Warr, B., Ayres, R. U., ve Domingos, T. (2014). Decomposition of Useful Work Intensity: The EU (European Union)-15 Countries From 1960 to 2009. *Energy*, 76, 704-715.
- Shokoohi, Z., Dehbidi, N. K., ve Tarazkar, M. H. (2022). Energy Intensity, Economic Growth and Environmental Quality in Populous Middle East Countries. *Energy*, 239, 122164.
- Sultana, S., Pourebrahim, N., ve Kim, H. (2018). Household Energy Expenditures in North Carolina: A Geographically Weighted Regression Approach. *Sustainability*, 10(5), 1511.
- Şenol, Ü. (2017). Rüzgar enerjisi ve rüzgar enerjisi potansiyelinin yapay sinir ağıları yöntemiyle tahmini. *Doctoral dissertation*. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tanrıkulu, Y. S., ve Partigöç, N. S. Güneş Enerjisi Santrallerinin (GES) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile Yer Seçimi: Denizli İli Örneği. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (60), 401-418.
- Topal, M., ve Arslan, E. I. (2008). Biyokütle Enerjisi ve Türkiye. *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 17, 19.
- Wang, S., Fang, C., Ma, H., Wang, Y., ve Qin, J. (2014). Spatial Differences and Multi-Mechanism of Carbon Footprint Based on GWR Model in Provincial China. *Journal of Geographical Sciences*, 24, 612-630.
- Wei, Q., Zhang, L., Duan, W., ve Zhen, Z. (2019). Global and Geographically and Temporally Weighted Regression Models for Modeling Pm2. 5 in Heilongjiang, China From 2015 to 2018. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), 5107.
- Wu, B., Li, R., ve Huang, B. (2014). A Geographically and Temporally Weighted Autoregressive Model With Application to Housing Prices. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(5), 1186-1204.
- Yalçın, M. (2022). Fosil Yakıt Tüketimi, Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme. *Master's Thesis*. Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi.

- Yanar, R., ve Kerimoğlu, G. (2011). Türkiye’de Enerji Tüketimi, Ekonomik Büyüme ve Cari Açık İlişkisi. *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, 3(2), 191-201.
- Yanıktepe, B., Osman, Kara, ve Parlak, T. K. (2021). Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(3), 452-465.
- Yerdelen Tatoğlu, F. (2022), *Mekansal Ekonometri Stata Uygulamalı*, (1. Baskı), Beta Yayınları, İstanbul.
- Yüzbaşı, B., & Görür, Ç. (2023). Examining The Role of Job by Geographically Weighted Poisson Regression in The Post-Migration Adaptation Process: The Case of Van. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (Cumhuriyet Özel Sayısı), 11-27.
- Yüzbaşı, B., ve Görür, Ç. (2021). Exxamining Spatial Variability in the Association Between Some Factors and Number of Prisoners in Turkey: a GWR Analysis. *Mugla Journal of Science and Technology*, 7(1), 141-148.
- Zhang, J., ve Dong, Z. (2022). Assessment of Coupling Coordination Degree and Water Resources Carrying Capacity of Hebei Province (China) Based on Wresp2d2p Framework and GTWR Approach. *Sustainable Cities and Society*, 82, 103862.
- Zhang, L., ve Li, R. (2022). Impacts of Green Certification Programs on Energy Consumption and GHG Emissions in Buildings: a Spatial Regression Approach. *Energy and Buildings*, 256, 111677.
- Zhang, Y., Teoh, B. K., ve Zhang, L. (2023). Exploring Driving Force Factors of Building Energy Use and GHG Emission Using a Spatio-Temporal Regression Method. *Energy*, 269, 126747.
- Zhou, Q., Wang, C., ve Fang, S. (2019). Application of Geographically Weighted Regression (GWR) in the Analysis of the Cause of Haze Pollution in China. *Atmospheric Pollution Research*, 10(3), 835-846.