

**T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE KARBON DİOKSİT EMİSYONU
AZALTIM YÖNTEMLERİ: TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ
EĞİLİMLER VE GÜDÜLEYİCİ GÜÇLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NERİMAN KAYAALP

BOLU, MAYIS - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Neriman KAYAALP tarafından hazırlanan “**ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE KARBON DİOKSİT EMİSYONU AZALTIM YÖNTEMLERİ: TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ EĞİLİMLER VE GÜDÜLEYİCİ GÜÇLER**” adlı tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 15.05.2017 tarihinde Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri


Danışman
Prof. Dr. Fatih EVRENDİLEK
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Yrd. Doç. Dr. Fatma ÖZTÜRK
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Şeref KILIÇ
Ardahan Üniversitesi

İmza


.....

.....

.....

15.05.2017

Prof.Dr. Duran KARAKAŞ 

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Eşime ve çocuklarıma,

ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

1. Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 2. Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 3. Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 4. Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 5. Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Neriman KAYAALP



ÖZET

ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE KARBON DİOKSİT EMİSYONU AZALTIM YÖNTEMLERİ: TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ EĞİLİMLER VE GÜDÜLEYİCİ GÜÇLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
NERİMAN KAYAALP

ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. FATİH EVRENDİLEK)

BOLU, MAYIS - 2017

Hergün biraz daha artan sera gazı emisyonları küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır. Bu çalışmada ülkelerin çimento üretimi kaynaklı karbon dioksit emisyonlarının değişim trendleri incelenmiştir. Trend analizi için kullanılan metot Mann-Kendal metotudur. Ülkelerin ekonomilerinin lokomotif rolündeki çimento sektöründe CO₂ emisyon kaynakları ve günümüzdeki ve gelecekteki CO₂ emisyonlarının azaltım yöntemleri incelenmiştir. Karbon dioksit emisyonlarının arkasındaki nüfus artışı ve Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) gibi güdüleyici faktörlerin etkileri tartışılmıştır. Nüfus yoğunluğu, kişi başı GSMH (2017 ABD doları/kişi), kişi başı enerji kullanımı (petrol eşdeğeri kg/kişi) arttıkça, çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu da artmaktadır. Yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranı (%) ve kişi başı ekilebilir alan (hektar/kişi) arttıkça çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu azalmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Karbon Dioksit Emisyonları, Çimento, Mann- Kendal, Trend Analizi, Güdüleyici Faktörler

ABSTRACT

METHODS OF MITIGATING EMISSIONS OF CARBON DIOXIDE FROM CEMENT SECTOR: TRENDS AND DRIVING FORCES IN TURKEY AND WORLD

MSC THESIS

NERİMAN KAYAALP

**ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. FATİH EVRENDİLEK)**

BOLU, MAY 2017

Daily increasing emissions of greenhouse gases (GHGs) have been causing global climate change. This thesis explored national trends in emissions of carbon dioxide (CO₂) from cement production. The method used for trend analysis is the Mann-Kendal method. Sources of CO₂ emissions from cement sector that plays a locomotive role in economy of nations as well as present and future mitigative measures towards reducing CO₂ emissions were reviewed. Impacts of such driving factors as gross national product, and population growth behind emissions of GHGs were discussed. As population density, per capita GDP (US \$ 2017 / person), per capita energy use (oil equivalent kg / person) increase, CO₂ emissions from cement production also increase. As the share of renewable energy consumption to total final energy consumption (%) and arable land per capita (hectare / person) increases, CO₂ emissions from cement production decrease.

KEYWORDS: Emissions of Carbon Dioxide, Cement, Mann-Kendal, Trend Analysis, Driving Factors

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|-----------|
| ÖZET..... | v |
| ABSTRACT | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | viii |
| ÇİZELGE LİSTESİ..... | x |
| KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ..... | xi |
| TEŞEKKÜR | xii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ÖZETİ | 2 |
| 2.1 Çimento Üretim Süreci | 2 |
| 2.2 Çimento Üretiminde CO ₂ Emisyonları ve Azaltım Yöntemleri | 5 |
| 2.2.1 Çimento Üretim Sürecinde CO ₂ Kaynakları..... | 5 |
| 2.2.2 Çimento Üretim Sürecinde CO ₂ Azaltım Yöntemleri | 9 |
| 2.2.2.1 Katkılı çimento kullanım alanlarının genişletilmesi | 9 |
| 2.2.2.2 Elektrik enerjisi verimliliği | 10 |
| 2.2.2.3 Isıl enerji tüketimlerinin azaltılması..... | 11 |
| 2.2.2.4 Alternatif yakıtların kullanılması | 11 |
| 2.2.2.5 Alternatif hammaddelerin kullanılması..... | 12 |
| 2.2.2.6 Yeşil Çimento | 12 |
| 2.3 CO ₂ izleme, raporlama ve doğrulama süreçleri ve yasal mevzuat | 13 |
| 2.4 İmzalanan, Taraf Olunan Uluslararası Sözleşmeler | 15 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 17 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 20 |
| 4.1 Ülkelerin Çimento Üretiminden Kaynaklı CO ₂ Emisyon Eğilimleri | 20 |
| 4.2 Çimento Üretimi Kaynaklı CO ₂ Emisyonlarının Arkasındaki Güdüleyici Güçleri | 25 |
| 5. VARGILAR VE ÖNERİLER | 38 |
| 6. KAYNAKLAR..... | 39 |
| 7. ÖZGEÇMİŞ..... | 41 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 2.1.** Çimento üretim prosesine genel bakış (103, CEMBUREAU, 2006).....4
- Şekil 2.2.** Çimento üretim prosesi karbon dioksit kaynakları (Wang ve ark., 20136
- Şekil 2.3.** Kuru proses kullanmak suretiyle 1 kg çimento üretimi için kütle dengesi (103, CEMBUREAU, 2006)7
- Şekil 4.1.** 1990 ve 2013 yılları arasında 43 ülkenin çimento üretimi kaynaklı toplam CO₂ (×10⁶ ton CO₂/yıl) emisyonunun uzun vadeli eğilim.....24
- Şekil 4.2** 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye'nin çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu değişimi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (× 10³ ton CO₂/yıl) = -6270934 + 3171×yıl (1990-2013) (SH = 9981.97; r² = %84.1; n = 23; p < 0.001).....25
- Şekil 4.3.** 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için gayri safi milli hâsıla (GSMH) ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (×10³ ton CO₂/yıl) = 12602 + 5.756×kişi başı GSMH (2017 yılı ABD doları/kişi) (SH = 4453.64; r² = %96.8; n = 23; p < 0.001).....28
- Şekil 4.4.** 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için nüfus yoğunluğu ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (×10³ ton CO₂/yıl) = - 143802 + 2616×nüfus yoğunluğu (kişi sayısı/km²) (SH = 9742.42; r² = %84.8; n = 23; p < 0.001).....29
- Şekil 4.5** 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için kişi başı enerji kullanımı ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (×10³ ton CO₂/yıl) = - 71389 + 121.0×kişi başı enerji kullanımı (petrol eşdeğeri kg/kişi) (SH=6921.95; r²=%92.3; n=23; p<0.001)30
- Şekil 4.6** 1990 ile 2012 yılları arasında Türkiye için yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranı ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (× 10³ ton CO₂/yıl) = 151091 – 4231×yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranı (%) (SH=11984.3; r²=%71.7; n=22; p<0.001)31
- Şekil 4.7** 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için ekilebilir alan ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (×10³ ton CO₂/yıl) = 218261 – 389044×kişi başı ekilebilir alan (hektar/kişi) (SH = 9087.63; r² = %86.8; n = 23; p < 0.001)32

| | | |
|-------------------|--|----|
| Şekil 4.8 | 1990 ile 2013 yılları arasında Büyük Britanya için gayri safi milli hâsıla (GSMH) ile çimento üretimi kaynaklı CO ₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO ₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO ₂ /yıl) : $7235 - 0.05315 \times$ kişi başı GSMH (2017 yılı ABD doları/kişi) (SH: 760.496; r^2 : %33.2; n: 23; $p < 0.003$) | 33 |
| Şekil 4.9 | 1990 ile 2013 yılları arasında Büyük Britanya için nüfus yoğunluğu ile çimento üretimi kaynaklı CO ₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO ₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO ₂ /yıl) : $27195 - 87.53 \times$ nüfus yoğunluğu (kişi sayısı/km ²) (SH: 484.11; r^2 : %72.9; n: 23; $p < 0.001$) | 34 |
| Şekil 4.10 | 1990 ile 2013 yılları arasında Büyük Britanya için enerji kullanımı ile çimento üretimi kaynaklı CO ₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO ₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO ₂ /yıl) : $- 4191 + 2.728 \times$ kişi başı enerji kullanımı (petrol eşdeğeri kg/kişi) (SH: 500.11; r^2 : %71.1; n: 23; $p < 0.001$) | 35 |
| Şekil 4.11 | 1990 ile 2012 yılları arasında Büyük Britanya için yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranı ile çimento üretimi kaynaklı CO ₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO ₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO ₂ /yıl) : $6470 - 521.8 \times$ yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranı (%) (SH: 488.05; r^2 : %72.5; n: 23; $p < 0.001$) | 36 |
| Şekil 4.12 | 1990 ile 2013 yılları arasında Büyük Britanya için ekilebilir alan ile çimento üretimi kaynaklı CO ₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO ₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO ₂ /yıl) : $-2698 + 81117 \times$ kişi başı ekilebilir alan (hektar/kişi) (SH: 763.9; r^2 : %32.6; n: 23; $p < 0.001$) | 37 |

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

- Çizelge 2.1.** Faaliyet verileri ile ilgili belirsizlik değerleri ve kademeler 14
- Çizelge 4.1.** 1990-2013 yılları arası ülkelere göre çimento üretimi kaynaklı toplam CO₂ emisyonu 21
- Çizelge 4.2.** 1990 ve 2013 yılları arasında ülkelerin çimento üretimi kaynaklı karbondioksit emisyonlarının, zaman serisinde ($\times 10^3$ CO₂ / yıl) monoton eğilimlerin yönü (Z), oranı (Q) ve önemi (p) tablosu 22
- Çizelge 4.3.** 1990 ve 2013 yılları arasında 43 ülkenin çimento üretimi kaynaklı birim alan başına düşen toplam CO₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO₂/km²/yıl 23

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

| | |
|-----------------------------|---|
| AB | = Avrupa Birliđi |
| AB27 | = Avrupa Birliđi Ülkeleri |
| B | = Kesişim değeri |
| BAU | = Referans senaryo |
| CaCO₃ | = Kalsiyum karbonat |
| CaO | = Kalsiyum oksit |
| CEMBUREAU | = Avrupa Çimento Birliđi |
| CO₂ | = Karbon dioksit |
| ÇFT | = Çimento Döner Fırın Tozu |
| ÇKE | = Çevresel Kuznets Eğrisi |
| DOE | = ABD Enerji Bakanlığı |
| EF | = Emisyon Faktörü |
| EF_{klinker} | = Klinkerin Emisyon Faktörü |
| GSMH | = Gayri Safi Milli Hâsıla |
| Gt | = Gigaton |
| H_A | = Alternatif hipotez |
| H₀ | = Sıfır hipotezi |
| IPCC | = Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli |
| MET | = Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı |
| MK testi | = Mann-Kendall testi |
| n | = Örneklem sayısı |
| ORNL | = Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı |
| P | = Eğilimlerin önemi |
| Q | = Değişim hızı |
| r² | = Belirleme katsayısı |
| SG | = Sera Gazı |
| SH | = Standart hata |
| YEKDEM | = Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması |
| Z | = Eğilimin yönü |

TEŞEKKÜR

Öncelikli olarak bilgi ve birikimini hiçbir zaman esirgemeyen ve tezin ortaya çıkmasında büyük katkıları olan danışmanım Prof. Dr. Fatih EVRENDİLEK'e sonsuz teşekkür ederim. Yine tezin ortaya çıkmasında büyük katkıları olan Yrd. Doç. Dr. Fatma ÖZTÜRK 'e de çok teşekkür ederim.



1. GİRİŞ

Çimento sektörünün Türkiye 'deki mevcut durumu

Çimento üretiminde yarı mamul olan klinkerin üretimi sırasında hammaddenin kalsinasyonu, hammadde içerisindeki karbonat olmayan karbon ve yakıtların yanmasından kaynaklı doğrudan karbon dioksit (CO₂) emisyonları oluşur. Ayrıca elektrik enerjisi tüketimi de dolaylı olarak CO₂ emisyonlarının salımına neden olur. Çimento sektörü enerji yoğun bir sektör olduğundan dolayı enerji verimliliğinin sağlanması önemli bir işletme parametresidir. Bu nedenle enerji tüketiminin azaltılması ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır.

Hammadde içerisindeki karbonatların kalsinasyonu da hammaddenin doğal yapısı nedeniyle önüne geçilemez bir süreçtir. CO₂ emisyonlarının azaltılmasında alternatif yakıtların kullanılması büyük rol oynamaktadır. Daha düşük emisyon faktörlerine sahip alternatif yakıtlar ve biyokütle kullanımı tercih edildiğinde geleneksel yakıtlara göre (kömür, petrol koku vb.) daha az emisyon salımı gerçekleşir.

Yasal mevzuat gereği CO₂ emisyonlarının izlenmesi, raporlanması ve doğrulanması gerekmektedir. 2015 ve 2016 emisyon raporları mevzuatın öngördüğü tarihe kadar doğrulanarak resmi mercilere sunulmalıdır. Bu çalışmalar, ülkenin sanayi kaynaklı emisyon envanterinin oluşmasında kilit rol oynayacaktır. Yapılan tahmini emisyon değerlerinden daha doğru ve belirsizlik oranları daha düşük envantere ulaşmak böylece mümkün olacaktır. Nüfus artışı, ekonomik gelişmeler, tüketici ve üretici davranışları, sosyo-kültürel değerler gibi birçok faktör CO₂ emisyon değişimlerinin arkasındaki güdüleyici faktörlerdir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Çimento Üretim Süreci

Hammadde olarak kullanılan kireç ve kil mineralleri uygun oranda karıştırılıp ince öğütülür. Kuru ya da yaş ortamda hazırlanan bu ham karışım yüksek sıcaklıklara ısıtılarak kimyasal tepkimelere sokulur, elde edilen ara ürüne “klinker” denir (Kuleli, 2009). Klinker alçıtaşı ile birlikte öğütülerek ”çimento” olarak adlandırılan, hidrolik bağlama özelliği olan yapı malzemesi üretilir. Çimento su ile ya da su + kırma taş / kum ile karıştırıldığında sertleşen, suda çözünmeyen uzun ömürlü ve dayanıklı bir yapı malzemesidir. Çimento üretiminin ilk aşaması uygun hammaddelerin yerkabuğundan çıkartılması ve yüksek sıcaklıkta yapılacak tepkimelere hazırlanmasıdır. Bu aşamanın geleneksel madencilik ve mineral işleme / hazırlama süreçlerinden farkı yoktur. Yer kabuğundan çıkartılan m ve cm boyutlarındaki iri parçalar birbirleriyle iyi karışmaları, ısı ve kütle aktarım süreçlerine daha iyi girebilmeleri için mikron büyüklüğünde parçalara indirilirler. Patlatma, kırma ve öğütme işlemleri sonunda parçaların boyutları yaklaşık 100.000 kez küçültülür (Kuleli, 2009). Çevre sıcaklığında yapılan bu fiziksel dönüşümler sonrasında hazırlanan karışım ısıtılır, 1450 °C ye varan yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir dizi karmaşık tepkime sonunda klinker denen temel çimento bileşeni üretilir. En az iki (kireçtaşı ve kil) kimi zaman 4-5 bileşeni olan hammadde karışımının homojen hale getirilmesi için önceleri bunlara su eklenerek bir çamur yapılır ve bu çamur fırında önce ısıtılıp sonra pişirilir idi (Kuleli, 2009). Ancak sürece su katılması, daha sonra da bu suyun tekrar buharlaştırılarak süreçten ayrılmasının yol açtığı büyük enerji tüketimi bu “yaş sistem” üretiminin terk edilip ham madde karışımını tamamen kuru ortamda hazırlayan “kuru sistem” üretime geçilmesine yol açtı (Kuleli, 2009). Üretimin son aşamasında klinker alçı taşı ve gerekirse diğer katkı mineralleri ile karıştırılıp değirmenlerde öğütülür ve çimento üretilir. Üretilen mal paketli olarak, 50/25 kg'lık torbalarda, ya da dökme olarak müşterilere satılır. Kesiksiz yapılan üretim süreci özünde çok sayıda boyut küçültme işlemleri ve döner fırın adı verilen bir tepkime kabında yapılan kimyasal tepkimelerle özetlenebilir. Bitirme işlemi

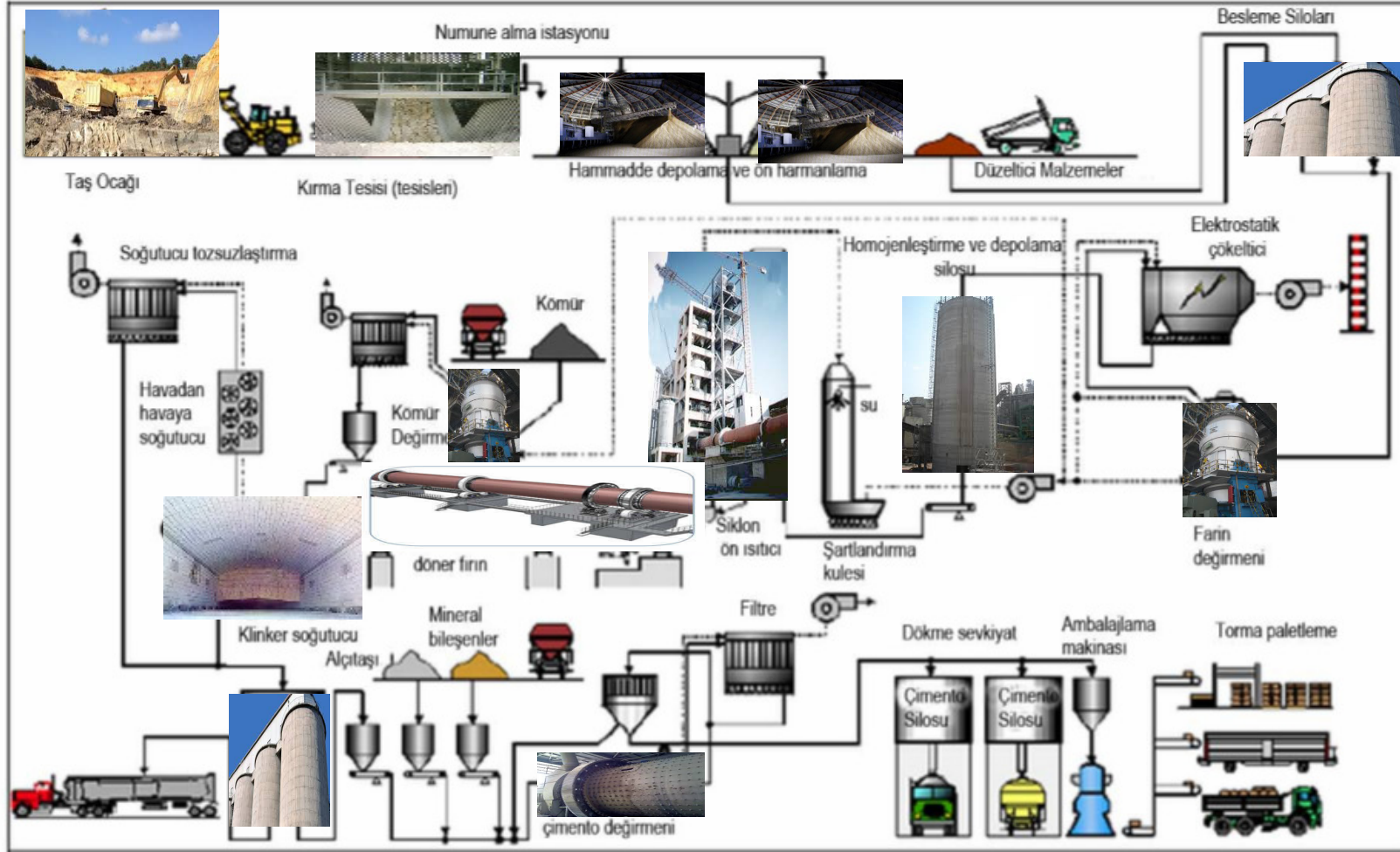
olarak yapılan çimento öğütme de aslında, çimento fabrikasının dışında bir yerde, (örneğin müşterinin inşaat şantiyesinde) yapılacak olan bir başka kimyasal tepkime için (çimento hidrasyonu) yapılan işlemdir. Burada su ile karıştırılan çimento kısa sürede sertleşir, dayanım kazanarak uzun yıllar dayanıklı olarak görev yapan bir yapı malzemesi olur. (Kuleli, 2009).

Çevresel etkilerini minimuma indirebilmek için giderek çok sayıda çimento fabrikası çevreye karşı duyarlıklarını ve yükümlülüklerini göstermek için Çevre Yönetim Sistemlerini kurmaktadır. (Kuleli, 2009)

Çimento üretim prosesinin temel kimyası kalsiyum karbonatın (CaCO_3) 900°C civarında ayrışması ile başlar ve kalsinasyon prosesi olarak bilinen bu işlem sırasında kalsiyum oksit (CaO , kireç) oluşur ve gaz halindeki CO_2 açığa çıkar. Bunu izleyen klinkerleşme prosesi esnasında kalsiyum oksit yüksek sıcaklıkta (genelde $1400 - 1500^\circ\text{C}$) silis, alümin ve demir oksit ile reaksiyona girerek klinkeri meydana getiren silikatları, alüminatları ve kalsiyum ferritlerini meydana getirir. Son aşamada klinker çimentoyu oluşturmak üzere alçı taşı ve diğer katkı maddeleri ile birlikte öğütülür veya değirmenden geçirilir. Çimento üretiminde kullanılan kuru, yarı-kuru, yarı-yaş ve yaş olmak üzere dört ana proses vardır:

- Kuru proste, hammaddeler akıcı toz şeklindeki farini oluşturmak üzere öğütülür ve kurutulur. Kuru farin ön ısıtıcıya veya prekalsinasyon fırınına veya nadiren uzun kuru fırına beslenir.
- Yarı-kuru proste farin su ile pelet haline getirilir ve fırından önce ızgaralı ön ısıtıcıya veya istavroz ile donatılmış uzun fırına beslenir.
- Yarı-yaş proste ilk önce çimento harcı filtre preslerinde susuzlaştırılır. Filtre pastası pelet haline getirilerek farin üretimi için ızgaralı ön ısıtıcıya veya doğrudan filtre pastası kurutucusuna beslenir.
- Yaş proste, hammaddeler (genellikle yüksek nem içerikli) pompalanabilir çimento harcı oluşturmak amacıyla suda öğütülür. Çimento harcı doğrudan fırına veya önce bir çimento harcı kurutucusuna beslenir. (Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı, Mayıs 2010)

Bir çimento fabrikasının tipik proses akış şeması Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Çimento üretim prosesine genel bakış [103, CEMBUREAU, 2006'dan uyarlanmıştır.]

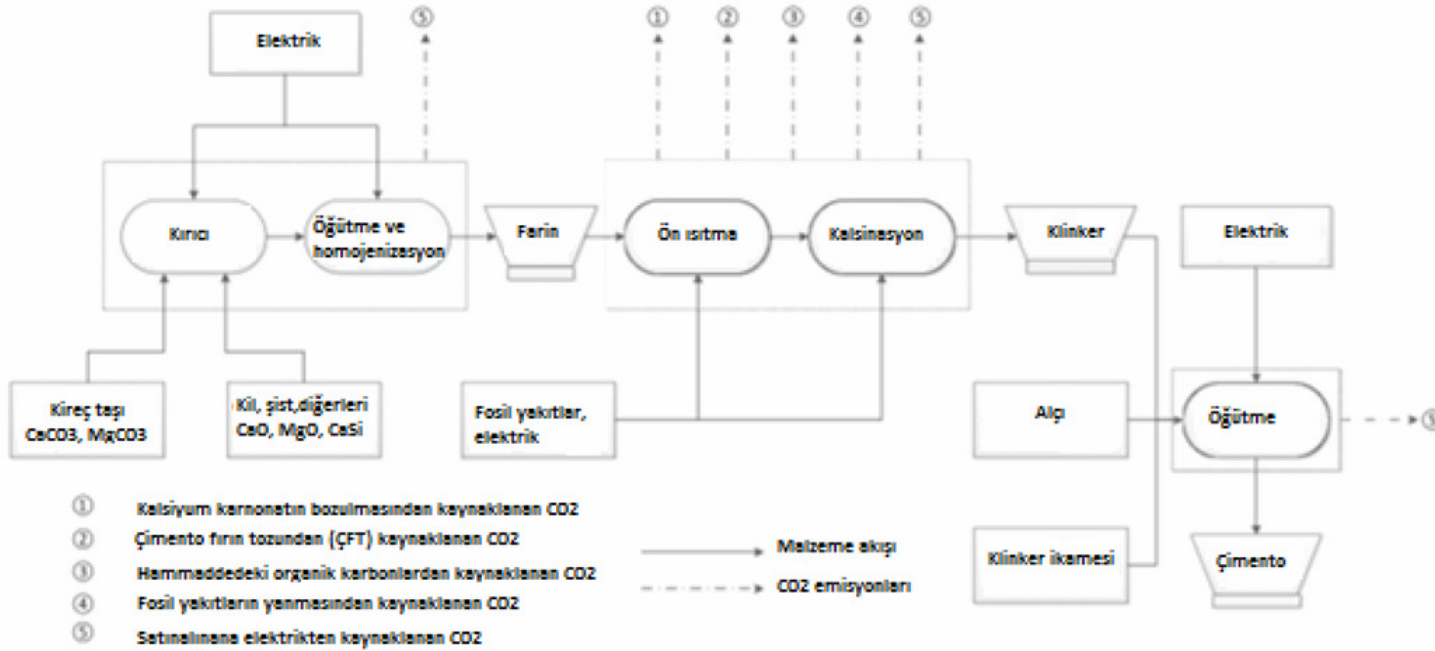
2.2 Çimento Üretiminde CO₂ Emisyonları ve Azaltım Yöntemleri

2.2.1 Çimento Üretim Sürecinde CO₂ Kaynakları

Çimento üretim sürecinde CO₂ kaynakları Şekil 2.2. de gösterilmiştir ve aşağıdaki gibi sıralanabilir.

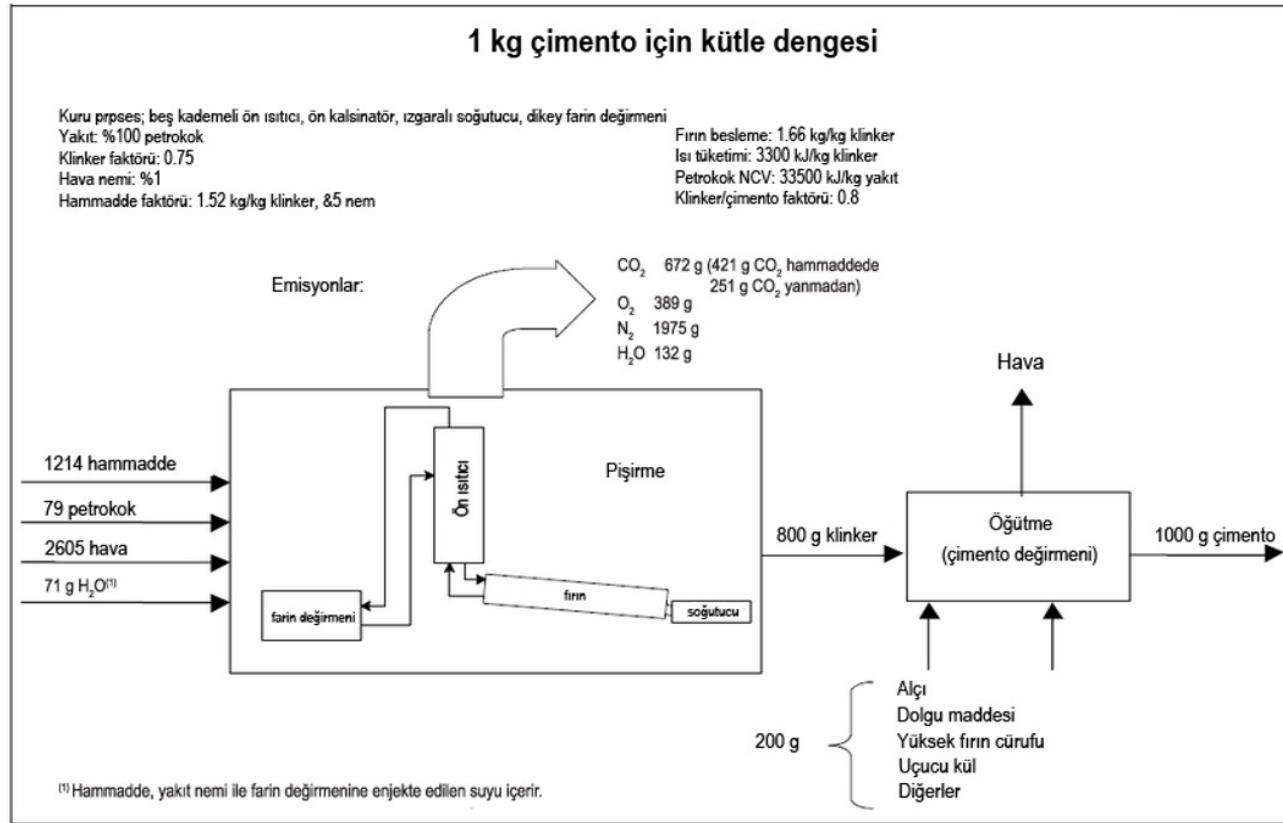
- Fosil yakıtların yanması (%40)
- Hammadde içerisindeki karbonatların dekarbonizasyonu sonucunda (%60)
- Hammadde içerisindeki karbonat olmayan karbonlar nedeniyle

Yukarıda sayılan maddeler klinker üretiminden kaynaklanan doğrudan CO₂ emisyonlarıdır. Ayrıca elektrik enerjisi kullanımı da (%6) dolaylı CO₂ emisyonlarının kaynağıdır.



Şekil 2.2: Çimento üretim prosesinde CO₂ kaynakları (Wang vd., 2013)

Bir çimento fabrikasında 1 kg çimento üretmek için 672 g CO₂ (421 gr hammadde kaynaklı ve 251 gr yakıt kaynaklı) oluşmaktadır ve 1 kg çimento için kütle dengesi Şekil 2.3 de gösterilmiştir.



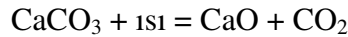
Şekil 2.3: Kuru proses kullanılmak suretiyle 1 kg çimento üretimi için kütle dengesi (CEMBUREAU, 2006)

CO₂ emisyonlarının %60'ı kalsinasyon prosesi esnasında oluşurken, %38'i ise yakıtın yanması ile ilgilidir. Yakıtın karbon içeriğinin yanması sonucunda oluşan CO₂ emisyonları hem özgül ısı ihtiyacı hem de yakıtın karbon içeriği ile kalorifik değerinin oranı ile doğrudan orantılıdır. Yanmadan kaynaklanan CO₂ emisyonları gittikçe artan oranda azaltılmış olup, esas olarak yakıt etkinliği daha fazla olan fırın proseslerinin uygulanması sonucunda son 25 yılda yaklaşık %30'luk azaltım olmuştur (MET, 2010).

Çimento genellikle büyük ve sermaye yoğun fabrikalarda üretilir. Bu fabrikalar çimento üretim prosesinde başlıca hammaddeler olan kalker ocaklarının ve diğer hammadde karbonat mineral kaynaklarının yakınında bulunurlar (IPCC, 2001). Üretim tesisleri pahalı olması nedeniyle, bir ülkedeki fabrika sayısı genellikle sınırlıdır (100'den az). Karbon dioksit, çimento üretiminde, kalsiyum karbonatın (CaCO₃) kalsine edildiği ve çimentonun ana bileşeni olan kireç haline getirildiği klinker üretiminin bir yan ürünü olarak ortaya çıkar. Karbon dioksit, çimento üretimi sırasında fosil yakıt yanmasıyla da açığa çıkar. Bununla birlikte, fosil yakıtlardan kaynaklanan CO₂, özellikle fosil yakıtlar için emisyon tahminlerinde hesaba katılır (IPCC, 2001).

Karbon dioksit, kalsiyum karbonatın (CaCO₃) döner fırın içerisinde bir dizi karmaşık kimyasal reaksiyonunu başlatmak için döner fırında ısıtıldığı klinker üretimi sırasında serbest kalır (IPCC, 2001). Özellikle, 600-900°C'lik sıcaklıklarda, fırının üst kısmında, soğutucu sonunda veya ön kalsinatörde meydana gelen kalsinasyon sırasında yan ürün olarak salınır ve karbonatların oksitlere dönüştürülmesine neden olur (IPCC, 2001).

Basitleştirilmiş stokiyometrik ilişki aşağıdaki gibidir:



IPCC klavuzları, üretilen klinker miktarını bir emisyon faktörü ile çarparak, klinker üretiminden oluşan CO₂ emisyonlarını tahmin etmek için genel bir yaklaşım sağlamaktadır (IPCC, 2001). Klinker üretiminden gelen CO₂ emisyonlarını tahmin etmek için kullanılan temel denklem şöyledir (çimento fırını tozunun bulunduğu fırınlarda):

$$\text{Faaliyet/Üretim Verisi} \times \text{Çimento Fırını Tozu (ÇFT) Düzeltme Faktörü} = \text{Klinker Üretiminden Kaynaklanan CO}_2 \text{ Emisyonu}$$

CO₂ Emisyonların tahmin edilmesi genellikle iki emisyon faktörünü içerir:

- (1) Klinker üretimi için bir emisyon faktörü ve (2) Çimento Fırını Tozu (ÇFT) üretimi için bir emisyon faktörü.

Klinker emisyon faktörü, klinkerdeki kireç fraksiyonu ile kireç birimi başına salınan CO₂ kütleinin çarpımıdır:

$$EF_{\text{clinker}} = \text{Fraksiyon CaO} \times (44.01 \text{ g/mole CO}_2 / 56.08 \text{ g/mole CaO})$$

Çarpım faktörü olan “0.785”, CO₂'nin, hammadde mineral kalsitin (CaCO₃) içindeki CaO'e moleküler ağırlık oranıdır (IPCC, 2001). CaO içeriği menşenin ve tesisin ülkesine göre değişiklik gösterebilir. IPCC kılavuzları, emisyon faktörünü hesaplamak için olası iki yöntem önermektedir. Kademe 1 yöntemi, yüzde 64,6 olan klinkerdeki kirecin fraksiyon değeri olan IPCC varsayılan değerini kullanır. Bu, 0.507 ton CO₂ / ton klinker emisyon faktörüne neden olur (IPCC, 2001).

Kademe 2 yöntemi, çimento tiplerinin kireç fraksiyonu ve klinker üretimi verilerini toplayarak, klinkerdeki ortalama kireç konsantrasyonunu hesaplamak içindir. IPCC, CO₂ emisyonlarını tahmin etmek için çimento verileri yerine klinker verilerinin kullanılmasını tavsiye eder. Bunun nedeni CO₂'nin çimento üretimi sırasında değil, klinker üretimi sırasında salınmasıdır (IPCC, 2001).

Ayrıca, eğer klinker uluslararası ticarete açıksa, çimento üretimi verilerinin kullanılması, taraflı emisyon tahminleri oluşturur çünkü çimento potansiyel olarak başka bir ülkede üretilen klinkerden üretilir (IPCC, 2001). Dahası, katkılı ve doğal çimento gibi diğer çimento türündeki klinker miktarı, oldukça değişken ve tahmin edilmesi güçtür. Çimento verileri hazırda mevcutsa ve klinker verileri mevcut değilse, önerilen yöntem çimentoda klinker oranından klinker üretimini tahmin etmektedir.

2.2.2 Çimento Üretim Sürecinde CO₂ Azaltım Yöntemleri

2.2.2.1 Katkılı Çimento Kullanım Alanlarının Genişletilmesi

Klinker / çimento oranı (klinkerin diğer klinker olmayan bileşenlerle karşılaştırıldığında yüzdesi) çimento özellikleri üzerinde etkili olduğundan, standartlar, kullanılacak alternatif ana bileşenlerin türünü ve oranını belirler (CEMBUREAU, 2013). Çimentoda diğer bileşenlerin kullanılması ve klinker /

çimento oranının azaltılması, daha düşük emisyon ve daha düşük enerji kullanımı anlamına gelir (CEMBUREAU, 2013).

Sıradan Portland çimentosu %95'e kadar klinker içerebilir (diğer %5'i alçıdır.) (CEMBUREAU, 2013). AB27'deki tüm çimento tiplerine göre mevcut ortalama klinker / çimento oranı %73.7'dir (CEMBUREAU, 2013). Kullanılabilecek diğer malzemeler şunlardır (CEMBUREAU, 2013):

- Killer ve bazı tortul kayalar gibi doğal puzolanlar.
- Kireç taşı (ince öğütülmüş), klinkere eklenebilir (ısıtılmadan kireç haline dönüştürülür).
- Silika dumanı, puzolanik bir malzeme ve silikon veya ferrosilikon alaşımlarının üretiminde bir yan ürün.
- Pıç demir / çelik üretim prosesinin bir yan ürünü olan granüle yüksek fırın cürufu
- Uçucu kül, Kömürle çalışan elektrik santrallerinin baca gazlarındaki tozdur.

2.2.2.2 Elektrik Enerjisi Verimliliği

Termal verimliliği artıran önlemler genellikle daha fazla elektrik enerjisine ihtiyaç duyar. Örneğin modern ızgaralı soğutucuların kurulması, termal enerji kullanımında bir azalma sağlar, ancak elektrik enerjisi tüketimini artırır (CEMBUREAU, 2013). Karbon Yakalama ve Depolama büyük ölçekte uygulanacaksa, çimento üretiminin güç tüketimi %50 artabilir - fabrika seviyesinde ise %120 artabilir (CEMBUREAU, 2013).

Çimento mukavemet geliştirme potansiyeli ne kadar yüksek olursa, o kadar hassaslaşır ve özgül güç tüketimi de o kadar büyük olur. Ayrıca, yüksek fırın cürufu gibi yan ürünlerin öğütülmesinde zorlanan bazı çimento türlerinin üretimi de daha fazla elektrik enerjisi gerektirir (CEMBUREAU, 2013).

Bir bütün olarak, Avrupa çimento fabrikaları, enerji açısından çok verimlidir ve elektrik enerjisi tüketiminde belirgin bir azalmaya ulaşmak için mevcut çimento üretim teknolojisinde köklü bir değişiklik olası değildir. Bununla birlikte, mevcut tesislerin modernizasyonu, eski tesislerin yerini alması ve yenilikleri sürekli tanıtarak ortalama elektrik kullanımının daha da düşürülebileceği tahmin edilmektedir (CEMBUREAU, 2013).

2.2.2.3 Isıl Enerji Tüketimlerinin Azaltılması

Çimento imalatı, hammaddelerin 1450°C'ye kadar ısıtılmasını gerektirir ve termal enerji çimento sanayisinin CO₂ emisyonlarının sadece yaklaşık %35'ini oluşturur (CEMBUREAU, 2013). Optimize edilmiş ve düzenli koşullar altında, en iyi enerji verimliliği olan yaklaşık 3.300 MJ / ton klinker, prekalsinatörlü ön ısıtıcı fırınlarla elde edilebilir. Modern prekalsinatörlü ön ısıtıcı fırınlar, eski tesislere göre daha yüksek bir üretim kapasitesine sahiptir ve bu da daha fazla enerji verimliliğine katkıda bulunur (CEMBUREAU, 2013).

2.2.2.4 Alternatif Yakıtların Kullanılması

Yüksek oranda atık ürünler de dâhil olmak üzere alternatif yakıtlar, AB Çimento sektöründe giderek daha fazla kullanılmaktadır (CEMBUREAU, 2013). Çimento üretimi, lastik, çamur, talaş gibi atıkların ve diğer atık tiplerinin alınması için idealdir.

Çimento üretimi enerji yoğun bir üretimdir ve kömür, petrolkoku, biyokütle ve atık maddelerin bir karışımı yakıt kaynağı olarak kullanılmaktadır. Biyokütle veya atık maddeler gibi alternatif yakıtların kullanımı, endüstrinin karbon profili üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir (CEMBUREAU, 2013). Diğer sektörlerle göre çimento endüstrisinde birçok yakıt karışımı alternatif yakıt olarak kullanılabilir.

Kömür veya gaz gibi fosil yakıtları atık maddeler, biyokütle ve endüstriyel yan ürünlerle karıştırma kabiliyeti, hem kaynak verimliliği hem de tedarik güvenliği açısından faydalıdır. Karbon yoğun fosil yakıtların düşük karbon yoğun alternatif yakıtlar ile yer değiştirilmesinin doğrudan etkileri dışında, dolaylı fayda da olabilir (CEMBUREAU, 2013). Bu faydalar;

- Atık maddeler, depolama alanı veya yakma yoluyla metan gibi kendi sera gazı emisyonlarına neden olur. Bu malzemeleri çimento fabrikalarında alternatif yakıtlar olarak kullanarak bozulmadan kaynaklanan emisyonlardan kaçınılmaktadır.
- Atıklar çimento fabrikalarında beraber yakılmaktadır. Aksi takdirde insinatörler de yakılırken zaten CO₂'e neden olacaktır. İnsinatörlerin yatırım ve işletme giderleri de yüksektir.

- Saf karbon nötr biyokütle yakıtları arasında ise hayvan yemi, atık odun, talaş ve kanalizasyon çamuru bulunmaktadır.

Kanalizasyon çamuru, atık su arıtımının bir yan ürünüdür. Yakın zamana kadar, kanalizasyon çamuru için ana çözümler arasında açık yığılma, düzenli depolama veya tarımda kullanma bulunmaktadır. Bununla birlikte, kanalizasyon çamurundaki organik kalıntılar ile ilgili olarak tarımdaki kullanımlar ile ilgili artan bir endişe vardır. Kanalizasyon çamuru, klinker üretiminde yüksek sıcaklıklarda hem alternatif hammadde hem de alternatif yakıt olarak kullanılabilir, böylece organik kalıntılar yok edilir (CEMBUREAU, 2013).

2.2.2.5. Alternatif Hammaddelerin Kullanılması

Çimento üretiminde kullanılan ana hammadde geleneksel olarak kalkerdir. Kireç taşı bol miktarda mevcuttur, ancak endüstrinin CO₂ emisyonlarının %60'ından fazlası kireçtaşının "dekarbonizasyon" olarak adlandırılan kireç haline dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Çimento sanayii, ham doğal kaynaklarının bir kısmı ile diğer endüstriyel proseslerden gelen atık ve yan ürünleri yer değiştirmektedir (CEMBUREAU, 2013). Linyit veya kömürden oluşan küller, granüle yüksek fırın cürufu, yıkım atığından alınan fraksiyonlar hâlihazırda dekarbonasyona uğramıştır ve 'ham' kireç taşına alternatif olarak kullanılabilir, böylece üretim sürecinde kireç haline dönüşürken CO₂ emisyonlarından kaçınılabılır (CEMBUREAU, 2013).

2.2.2.6 Yeşil Çimento

Avrupa çimento endüstrisi, düşük karbonlu veya çok düşük karbonlu çimento geliştirilmek üzere birçok ülkede araştırma geliştirme yapmakta ve patentli ürünler üretmektedir (CEMBUREAU, 2013). Çeşitli paralel yeni çimento türleri de geliştirilmekte olup, bu çimentolar şunları içerir (CEMBUREAU, 2013):

- Kireç taşından ziyade magnezyum silikatlar
- Kalsiyum sülfö-alüminat belit bağlayıcılar

- Kalsiyum ve magnezyum karbonatlar ile kalsiyum ve magnezyum hidroksitlerin bir karışımı.

Bu yeni çimentoların bazıları kısmen bir arz potansiyeli sunuyor olsa da küresel inşaat endüstrisinin talep ettiği hacimlerde henüz üretilmediğini de unutmamak gerekmektedir (CEMBUREAU, 2013).

2.3 Klinker Üretiminde CO₂ İzleme, Raporlama ve Doğrulama Süreçleri ile Yasal Mevzuat

22.07.2014 tarihinde, 29068 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan “Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Tebliği” inde klinker üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonları için hesaplama temelli izleme ve raporlama metodolojileri aşağıdaki gibidir. Hesaplanan CO₂ ve oluşturulan emisyon raporları da 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı resmi gazetede yayınlanan “Sera Gazı Emisyon Raporlarının Doğrulanması ve Doğrulayıcı Kuruluşların Yetkilendirilmesi Tebliği” gereğince CO₂ hesaplamalarında asgari olarak aşağıdaki potansiyel CO₂ emisyon kaynaklarını dahil edilir:

- Hammaddelerdeki kireçtaşının kalsinasyonu,
- Fosil döner fırın yakıtları,
- Alternatif fosil bazlı döner fırını yakıtları ve hammaddeler,
- Biyokütle döner fırın yakıtları (biyokütle atıkları),
- Döner fırın dışı yakıtlar,
- Kireç taşının ve atık gaz yıkamasında kullanılan şist ve hammaddelerin organik karbon içeriği.

Çimento üretimi boyunca salınan CO₂'nin %50'den fazlası; yani, yaklaşık 540 kg CO₂/t klinker kalsinasyon sürecinden kaynaklıdır ki bu süreçte kalsiyum karbonat (CaCO₃) kirece (CaO) dönüştürülür. Geriye kalan çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu ise kalsinasyon için gerekli termal enerjiyi sağlamaya yönelik yakıtların yakılması sonucunda ortaya çıkar.

Farin bileşenlerinden kaynaklanan proses emisyonları proses girdisinin karbonat içeriğine veya üretilen klinker miktarına dayanarak izlenir. Dikkate alınacak karbonatlar en az CaCO₃, MgCO₃ ve FeCO₃ içerir. Prosesten giderilen toz ve hammaddelerdeki organik karbon ile ilgili CO₂ emisyonları eklenir.

Hesaplama Yöntemi A: Girdi Bazlı Döner Fırın

Çimento döner fırın tozunun (ÇFT) ve bypass tozunun döner fırını terk ettiği durumlarda işletme ilgili hammaddeyi proses girdisi olarak değerlendirmez, ancak ÇFT 'den gelen emisyonları hesaplar.

Hesaplama Yöntemi B: Çıktı Bazlı Klinker

Aşağıdaki yollardan biri tercih edilerek, klinker üretimi tespit edilebilir.

- Klinkerin doğrudan tartılması;
- Klinker stok değişiminin yanı sıra klinker sevkinin ve klinker teminini dikkate alan malzeme dengesi vasıtası ile çimento teslimatlarına bağlı olarak aşağıdaki formül kullanılır:

Üretilen klinker [t] = ((teslim edilen çimento [t] – çimento stok değişimi [t]) × klinker / çimento oranı [t klinker / t çimento]) - (temin edilen klinker [t]) + (dağıtılan klinker [t]) - (klinker stok değişimi [t]).

Kademe 1'e göre işletme emisyon faktörü olarak 0.525 t CO₂/t klinker uygulanır. Farindeki karbonat olmayan karbondan kaynaklanan emisyonlar için asgari olarak kireç taşı, şist veya farinde kullanılan alternatif hammaddelerden (örneğin, uçucu kül) kaynaklanan emisyonlar belirlenir. Emisyon raporları izleme planına uygun olarak hazırlanır ve doğrulayıcılar tarafından ilgili mevzuata uygun olarak doğrulanmalıdır.

Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Tebliğinde Faaliyet verileri ile ilgili belirsizlik değerleri ve kademeler belirlenmiş ve Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Faaliyet verileri ile ilgili belirsizlik değerleri ve kademeler

| Faaliyet/kaynak akışı tipi | Belirsizliğin uygulanacağı parametre | Kademe 1 | Kademe 2 | Kademe 3 | Kademe 4 |
|--|---|----------|----------|----------|----------|
| Yakıtların yanması ve proses girdisi olarak kullanılan yakıtlar | | | | | |
| Ticari standart yakıtlar | Yakıt miktarı [t] veya [Nm ³] | ± %7.5 | ± %5 | ± %2.5 | ± %1.5 |
| Diğer gaz & sıvı yakıtlar | Yakıt miktarı [t] veya [Nm ³] | ± %7.5 | ± %5 | ± %2.5 | ± %1.5 |
| Katı yakıtlar | Yakıt miktarı [t] | ± %7.5 | ± %5 | ± %2.5 | ± %1.5 |
| Alevleme (Flaring) | Yakılan gazın miktarı [Nm ³] | ± %17.5 | ± %12.5 | ± %7.5 | |
| Yıkama: karbonat (Yöntem A) | Tüketilen karbonat miktarı [t] | ± %7.5 | | | |
| Yıkama: alçı taşı (Yöntem B) | Üretilen alçı taşı miktarı [t] | ± %7.5 | | | |
| Çimento klinkerinin üretimi | | | | | |
| Girdi bazlı fırın (Yöntem A) | İlgili her bir fırın girdisi [t] | ± %7.5 | ± %5 | ± %2.5 | |
| Klinker çıktısı (Yöntem B) | Üretilen klinker [t] | ± %5 | ± %2.5 | | |
| CKD (Çimento Fırın Tozu) | CKD veya bypass tozu [t] | ** | ± %7.5 | | |
| Karbonat dışı karbon | Her bir hammadde [t] | ± 15 % | ± %7.5 | | |

Yanma emisyonlarının hesaplanmasında, net kalorifik değer, emisyon faktörü, yükseltgenme faktörü ve biyokütle oranlarında kullanılması gereken kademeler Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi, ve Raporlanması Tebliğinde belirtilmiştir.

Tebliğe göre ilk raporlama dönemi olan 2016 yılından itibaren 2017 ve 2018 yıllarını da kapsayacak şekilde ilk üç yıl için işletmeler uygulayabildikleri en yüksek kademeye göre hesaplamalarını yapabilirler.

2.4 Sera Gazları Konusunda İmzalanan, Taraf Olunan Uluslararası Sözleşmeler

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin 2001 yılında Marakeş'de gerçekleşen 7. Taraflar Konferansı'nda alınan 26/CP.7 sayılı kararı ile Türkiye'nin adı Ek-II'den silinmiş ve Taraf ülkeler, Türkiye'yi diğer Ek-I ülkelerinden farklı bir konuma koyan Türkiye'nin özel koşullarını tanımaya davet edilmiştir. Bu kararın ardından, Türkiye Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne 24 Mayıs 2004 tarihinde taraf olmuştur. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne yönelik Kyoto Protokolü'ne Katılmamızın Uygun Bulduğuna Dair 5836 Sayılı Kanun 17 Şubat 2009 tarih ve 27144 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Türkiye'nin Kyoto Protokolü'ne taraf oluşunu bildiren "Katılım Belgesi" ilgili Bakanlar Kurulu Kararı'nın 13 Mayıs 2009 tarihli Resmi Gazete 'de yayımlanmasını müteakip, 28 Mayıs 2009 tarihinde BM Genel Sekreteri'ne tevdi edilmiş, Türkiye 26 Ağustos 2009 tarihinde Protokol'e resmen taraf olmuştur (Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023, s:4).

Paris Anlaşması; Birleşmiş Milletler nezdinde dört yıldır devam eden evrensel yeni bir iklim anlaşmasının hazırlanması müzakereleri, 30 Kasım – 12 Aralık 2015 tarihleri arasında Paris'te gerçekleştirilen İklim Konferansında tamamlanmıştır. 12 Aralık 2015 tarihinde yayımlanan son taslak anlaşma ve karar metni, 2020 sonrası iklim değişikliği rejimini belirleyen Paris Anlaşması olarak 12 Aralık 2015 tarihinde 195 ülkenin oybirliği ile kabul edilmiştir. Paris Anlaşması, 22 Nisan 2016-21 Nisan 2017 tarihleri arasında New York'taki Birleşmiş Milletler Genel Merkezde, taraf ülkelerin imzasına açık tutulacaktır. Paris Anlaşması, küresel

emisyonların en az %55'ini temsil eden en az 55 ülkenin taraf olmasından sonraki otuzuncu günde yürürlüğe girecektir. Paris Anlaşması, Kyoto Protokolünün uygulama döneminin sona ereceği 2020 yılından sonra yürürlüğe girecektir.

Ulusal katkı oranının açıklanması ve Türkiye yaklaşımı ile ilgili Ulusal katkımız 30 Eylül 2015 tarihinde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Sekretaryasına aşağıdaki gibi sunulmuştur:

Referans Senaryoya (BAU) göre sera gazı emisyonlarında 2030 yılında %21 oranına kadar azaltım sağlanacak ve uygulama dönemi 2021-2030 tarihleri arasında kapsayacaktır. (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016)



3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, 43 ülkenin 24 yıllık 1990-2013 dönemi için çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyon verileri (x10³ CO₂/yıl); ABD Enerji Bölümü'nde (Department of Energy-DOE) yer alan Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı'ndaki (ORNL) Karbon Dioksit Bilgi Analiz Merkezi'nden (Carbon Dioxide Information Analysis Center-CDIAC) temin edilmiştir. (http://cdiac.ornl.gov/CO2_Emission/timeseries/national) Bu değerler, Türkiye de dahil olmak üzere, Ek I de bulunan 41 ülkedeki çimento üretimi için kullanılmıştır. Ayrıca Ek I ülkesi olmasa da en yüksek emisyonu sahip olduğu düşünülen Çin ve Hindistan da çalışmaya dâhil edilmiştir (Öztürk vd., 2016). Söz konusu veri setindeki yıllık değerler karbon olarak sunulmuş olduğu için, CO₂'ye çevirmek için 3,667 ile çarpılmıştır.

1990 ile 2013 yılları arasındaki CO₂ emisyonlarının uzun vadeli eğilimlerini saptamak için parametrik olmayan istatistik testi olan Mann-Kendal (MK) testi kullanılmıştır. MK testi, eksik değerlere, aykırı değerlere ve istatistiksel dağılım türüne duyarlı değildir. MK, Sen "S" denklemi (3.1) kullanılarak hesaplanabilir (Öztürk vd., 2016).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de bulunan $\text{sgn}(x_j - x_k)$ terimi aşağıda Denklem (3.2)'de gösterildiği gibi $(x_j - x_k)$ 'nin işaretine göre -1, 0 and 1 değerini alan bir gösterge fonksiyonudur.

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} x_j - x_k > 0 \text{ ise } 1 \\ x_j - x_k = 0 \text{ ise } 0 \\ x_j - x_k < 0 \text{ ise } -1 \end{cases} \quad (3.2)$$

S'nin pozitif ve negatif işaretleri sırasıyla bir trendin/eğilimin aşağı ve yukarı yönünü temsil etmektedir. S'nin varyansı, aşağıda Denklem (3.3)'de sunulan verilerin tekrarlanan değerlerini hesaba katar (Öztürk vd., 2016).

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (3.3)$$

Burada “q” bağılı grupların sayısıdır ve “tp”, p grubundaki değerdir. Normal test istatistiği “Z”, aşağıda Denklem (3.4) kullanılarak belirlenir (Öztürk vd., 2016):

$$Z = \begin{cases} S > 0 \text{ ise } \frac{S-1}{[\text{VAR}(S)]^{\frac{1}{2}}} \\ S = 0 \text{ ise } 0 \\ S < 0 \text{ ise } \frac{S+1}{[\text{VAR}(S)]^{\frac{1}{2}}} \end{cases} \quad (3.4)$$

Z'nin pozitif ve negatif değerleri, sırasıyla, monoton artan veya azalan bir eğilimi belirtmektedir ve sıfır hipotez (H_0 : Belirgin olmayan bir trendin varlığı) ve alternatif hipotez (H_A : Önemli ölçüde artan veya azalan bir trendin varlığı) için iki uçlu bir test kullanılarak % 10 (+), 5 (*), 1 (**), ve 0.1 (***) önem seviyesinde (α) test edilir. Hesaplanan mutlak Z değerinin kritik değerden ($Z_{1-\alpha/2}$) daha büyük olması durumunda sıfır hipotezi alternatif hipotez lehine reddedilir. Kritik değer seçilen önem seviyesi ve veri setinin büyüklüğüne (n) bağılı olarak standart normal kümülatif dağılım tablolarından bulunabilir. Kendall (Griffin, 1980), Z testinin istatistiksel önemini belirlemek için standart kümülatif dağılım tablosunun kullanılmasının ancak veri noktalarının (n) sayısının mevcut çalışmada olduğu gibi $n \geq 10$ olması durumunda güvenilir olduğunu bildirmiştir. Aksi takdirde, Gilbert (1987) tarafından verildiği gibi S hesaplanmalı ve testin istatistiksel önemi buna göre değerlendirilmelidir (Öztürk vd., 2016).

MK testi ile belirgin bir eğilim saptanırsa, Sen tarafından geliştirilen Sen'in eğimini tahmin ederek CO₂ emisyonlarındaki değişim hızı hesaplanabilir. MK'a benzer şekilde, bu istatistiksel değerde veri setinde aykırı değerlerin varlığına, eksik değerlere ve istatistiksel veri dağılımına duyarlı olmayan parametrik olmayan bir testtir. Sen'in eğimi (Q), $j > i$ olmak üzere aşağıda verilen Denklem (3.5) kullanılarak hesaplanır (Öztürk vd., 2016):

$$Q_{ij} = \frac{(x_j - x_i)}{(t_j - t_i)} \quad (3.5)$$

Denklem (3.5)'de verilen Q_{ij} değeri $x_i(t_i)$ ve $x_j(t_j)$ bireysel veri çiftlerine ait eğimlerin medyanları alınarak hesaplanmaktadır ve dolayısıyla doğrusal regresyon denkleminin ($y(t)=Q*\Delta T+B$) parametrik olmayan bir türüdür. Sauvage vd. (2009) tarafından belirtildiği gibi, yıllık bazda yüzde azalma veya artma cinsinden ifade edilen ülkeye özgü değişim oranlarını (P) hesaplamak için Q (eğim) ve B (Mt CO₂ değeri'nde kesişim) değerleri aşağıda Denklem (3.6)'da verildiği gibi kullanılmıştır (Öztürk vd., 2016):

Q etrafındaki üst ve alt güven seviyeleri de %95 ve %99 güven aralığı için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Trendlerin ve ilgili çalışma süresindeki değişim oranlarının saptanması, Windows Excel ortamında çalışan bir makro olan "MakeSens" (Salmi vd., 2002) kullanılarak hesaplanmıştır.

Öte yandan, Türkiye'ye ait zaman serisi şeklindeki beş gösterge Dünya Bankasının istatistik (www.databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators) verilerinden elde edilmiştir. Bu beş değişken güdüleyici güçlerin vekil (proxy) değişkenleri olarak kullanılmış ve çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonları ile ilişkilendirilmiştir. Nedensellik ilişkileri en iyi uyumlu doğrusal regresyon modelleri yoluyla tespit edilmiştir. %95 güven aralığında ($p < 0,05$) uyumun iyiliği (goodness of fit) belirleme katsayısı (r^2) ile ifade edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Ülkelerin Çimento Üretiminden Kaynaklı CO₂ Emisyon Eğilimleri

- Saptanan eğilimlerin öneminden bağımsız olarak, çalışma süresi boyunca 43 ülkenin en büyük toplam CO₂ emisyon salımı yapanları; Çimento üretim süreci için; sırasıyla Çin, Hindistan ve ABD olmuştur ve Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.
- Çizelge 4.2’de; bu çalışmada değerlendirilen veri setine uygulanan MK, Sen’in eğimi ve yapılan analizin hangi önem seviyesinde anlamlı olduğunu gösteren sonuçlar verilmiştir. En yüksek Sen’in eğimleri, çimento üretimi için, sırasıyla, Çin, Hindistan, Türkiye, Rusya, ABD ve İspanya olmuştur. En düşük Sen’in eğimleri, çimento üretimi için, sırasıyla, Japonya, Almanya, Birleşik Krallık, Fransa, Portekiz, Çek Cumhuriyeti olmuştur. Çin ve Hindistan en büyük çimento üreticileridir.

43 ülkeden, 10 ülke çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonunda önemli bir azalma oranı elde etmiştir. Bu ülkelerden en başarılıları; Japonya (0,925 Gt/yıl) ve Almanya (0,13 Gt/yıl) olmuştur. 43 ülkeden, 29 ülke çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonlarını artırmıştır. Çin (40,94 Gt/yıl) ve Hindistan (4,66 Gt/yıl) çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonlarını artırmıştır.

Çizelge 4.1. 1990-2013 yılları arasında 43 ülkenin çimento üretimi kaynaklı toplam CO₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO₂/yıl) (Boden ve Andres, 2016)

| Ülke | CO ₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO ₂) | Periyot (n) |
|------------------|---|----------------|
| ÇİN | 11580408,0 | 23 |
| HİNDİSTAN | 1548904,1 | 23 |
| ABD | 989737,9 | 23 |
| JAPONYA | 890538,2 | 23 |
| TÜRKİYE | 496610,8 | 23 |
| RUSYA | 489716,8 | 21 |
| İTALYA | 449988,5 | 23 |
| İSPANYA | 395977,3 | 23 |
| ALMANYA | 382438,7 | 22 |
| FRANSA | 245553,3 | 23 |
| POLONYA | 169180,7 | 23 |
| YUNANİSTAN | 151964,1 | 23 |
| KANADA | 142316,2 | 23 |
| BİRLEŞİK KRALLIK | 132760,1 | 23 |
| UKRAYNA | 108642,2 | 21 |
| PORTEKİZ | 95448,3 | 23 |
| AVUSTRALYA | 90677,5 | 23 |
| BELÇİKA | 87113,2 | 23 |
| ROMANYA | 86442,1 | 23 |
| AVUSTURYA | 52757,1 | 23 |
| ÇEK CUMHURİYETİ | 46834,9 | 21 |
| SLOVEKYA | 35753,2 | 21 |
| MACARİSTAN | 35203,2 | 23 |
| HOLLANDA | 35027,1 | 23 |
| İRLANDA | 32958,9 | 23 |
| BELARUS | 31686,5 | 21 |
| BULGARİSTAN | 30494,7 | 23 |
| HIRVATİSTAN | 30051,1 | 21 |
| İSVEÇ | 28873,9 | 23 |
| DANİMRKA | 25914,6 | 23 |
| NORVEÇ | 18474,3 | 23 |
| KIBRIS | 15779,1 | 23 |
| FİNLANDİYA | 15170,3 | 23 |
| YENİ ZELANDA | 12090,1 | 23 |
| SLOVENYA | 11958,1 | 21 |
| LÜKSEMBURG | 10065,9 | 23 |
| LİTVANYA | 9160,1 | 21 |
| ESTONYA | 5584,8 | 21 |
| LETONYA | 3857,6 | 21 |
| İZLANDA | 1400,7 | 23 |
| LİHTENŞTAYN | 0 | 23 |
| MALTA | 0 | 23 |

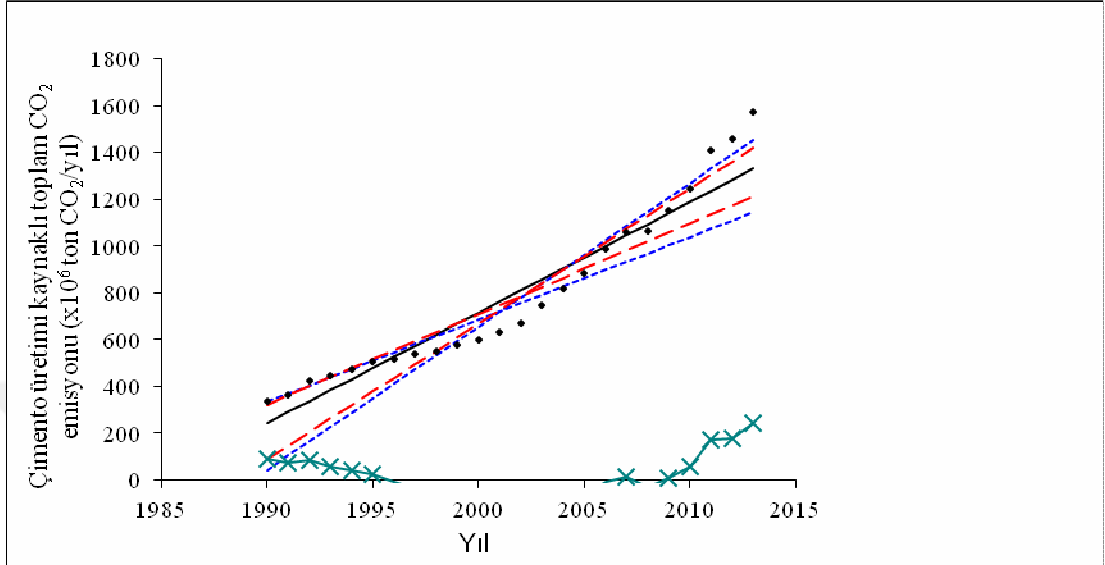
Çizelge 4.2. 1990 ve 2013 yılları arasında 43 ülkenin çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (×10³ ton CO₂ /yıl) monoton eğilimlerin yönü (*Z*), oranı (*Q*) ve önemi (*p*)

| Ülke | Eğilim Rejimi | | |
|------------------|---------------|-----------|----------|
| | <i>Z</i> | <i>Q</i> | <i>P</i> |
| ABD | 1,71 | 694,897 | + |
| ALMANYA | -3,41 | -129,262 | *** |
| AVUSTRALYA | 4,97 | 81,815 | *** |
| AVUSTURYA | 0,2 | 1,732 | - |
| BELARUS | 5,08 | 99,009 | *** |
| BELÇİKA | -2,68 | -33,003 | ** |
| BİRLEŞİK KRALLIK | -3,05 | -93,203 | ** |
| BULGARİSTAN | 0 | 0 | - |
| ÇEK CUMH. | -3,75 | -47,915 | *** |
| ÇİN | 6,82 | 40947,604 | *** |
| DANİMARKA | -1,02 | -6,02 | - |
| ESTONYA | 1,16 | 2,292 | - |
| FİNLANDİYA | 1,89 | 9,275 | + |
| FRANSA | -2,55 | -68,84 | * |
| HİNDİSTAN | 6,77 | 4665,035 | *** |
| HIRVATİSTAN | 2,37 | 31,924 | * |
| HOLLANDA | -4,02 | -26,821 | *** |
| İRLANDA | 2,58 | 45,634 | ** |
| İSPANYA | 1,41 | 383,202 | - |
| İSVEÇ | 0,65 | 5,5 | - |
| İTALYA | 0,12 | 15,207 | - |
| İZLANDA | 3,34 | 0,983 | *** |
| JAPONYA | -5,04 | -925,429 | *** |
| KANADA | 3 | 118,261 | ** |
| KIBRIS | 1,91 | 11,734 | + |
| LETONYA | 2,66 | 7,334 | ** |
| LİHTENŞTAYN | - | - | - |
| LİTVANYA | 1,13 | 4,715 | - |
| LÜKSEMBURG | 5,22 | 11,525 | *** |
| MACARİSTAN | 0,22 | 4,4 | - |
| MALTA | - | - | - |
| NORVEÇ | 1,49 | 3,667 | - |
| POLONYA | 2,93 | 95,566 | ** |
| PORTEKİZ | -0,87 | -55,199 | - |
| ROMANYA | 1,61 | 27,576 | - |
| RUSYA | 3,13 | 831,361 | ** |
| SLOVEKYA | 2 | 13,751 | * |
| SLOVENYA | 1,3 | 6,369 | - |
| TÜRKİYE | 5,68 | 885,733 | *** |
| UKRAYNA | 0,99 | 88,008 | - |
| YENİ ZELANDA | 5,79 | 9,504 | *** |
| YUNANİSTAN | -0,22 | -25,465 | - |

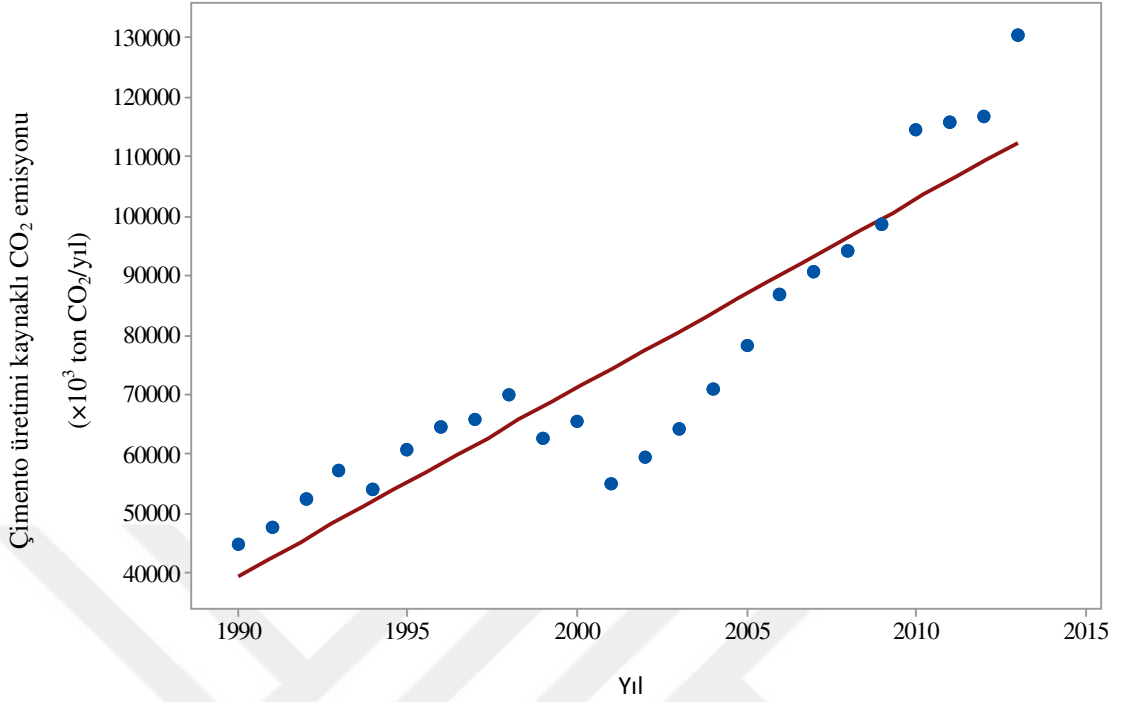
Çizelge 4.3. 1990-2013 yılları arasında 43 ülkenin çimento üretimi kaynaklı birim alan başına düşen toplam CO₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO₂/km²/yıl)

| Ülke | CO ₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO ₂ /km ²) | Periyot (n) |
|------------------|--|----------------|
| LİHTENŞTAYN | 0 | 23 |
| MALTA | 0 | 23 |
| ABD | 100,67 | 23 |
| PORTEKİZ | 1035,01 | 23 |
| ALMANYA | 1070,24 | 22 |
| AVUSTRALYA | 11,71 | 23 |
| YUNANİSTAN | 1151,6 | 23 |
| ÇİN | 1210,97 | 23 |
| ESTONYA | 123,48 | 21 |
| İZLANDA | 13,03 | 23 |
| KANADA | 14,25 | 23 |
| LİTVANYA | 140,28 | 21 |
| İTALYA | 1493,3 | 23 |
| BELARUS | 152,63 | 21 |
| KIBRIS | 1705,85 | 23 |
| UKRAYNA | 180,01 | 21 |
| JAPONYA | 2356,16 | 23 |
| BULGARİSTAN | 274,73 | 23 |
| RUSYA | 28,64 | 21 |
| BELÇİKA | 2853,37 | 23 |
| ROMANYA | 362,61 | 23 |
| MACARİSTAN | 378,41 | 23 |
| LÜKSENBURG | 3886,45 | 23 |
| FİNLANDIYA | 44,83 | 23 |
| FRANSA | 447,2 | 23 |
| YENİ ZELANDA | 45,16 | 23 |
| İRLANDA | 468,97 | 23 |
| NORVEÇ | 47,96 | 23 |
| HİNDİSTAN | 471,18 | 23 |
| HIRVATİSTAN | 531,03 | 21 |
| POLONYA | 541,1 | 23 |
| BİRLEŞİK KRALLIK | 544,97 | 23 |
| SLOVENYA | 589,94 | 21 |
| LETONYA | 59,82 | 21 |
| ÇEK CUMHURİYETİ | 593,83 | 21 |
| DANİMARKA | 603,85 | 23 |
| AVUSTURYA | 628,97 | 23 |
| TÜRKİYE | 632,34 | 23 |
| İSVEÇ | 64,53 | 23 |
| SLOVEKYA | 729,12 | 21 |
| İSPANYA | 782,66 | 23 |
| HOLLANDA | 843,22 | 23 |

Şekil 4.1’de çimento üretimi kaynaklı toplam CO₂ emisyonları (x10³ ton) yıllara göre artışları görülmektedir. Yıllar itibariyle çimento üretimindeki artış, dolayısıyla fosil yakıt kullanımındaki artışlar, CO₂ artışlarına da neden olmuştur.



Şekil 4.1 1990 ve 2013 yılları arasında 43 ülkenin çimento üretimi kaynaklı toplam CO₂ (x10⁶ ton CO₂/yıl) emisyonunun uzun vadeli eğilimi (%99 ve %95 güven seviyelerinde Sen'in "S" eğilimi): mavi kısa kesintili doğrular %99 güven aralığını, kırmızı uzun kesintili doğrular ise %95 güven aralığını belirtmektedir. Siyah kesintisiz doğru Sen "S" eğilimi kestirimini ve siyah noktalar ise verileri belirtmektedir. Turkuaz çapraz simgeler artıkları (residuals) ifade etmektedir.



Şekil 4.2. 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye'nin çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu değişimi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (×10³ ton CO₂/yıl) = -6270934 + 3171×yıl (1990-2013) (SH = 9981.97; r² = %84.1; n = 23; p < 0.001).

4.2 Çimento Üretimi Kaynaklı CO₂ Emisyonlarının Arkasındaki Güdüleyici Güçleri

Düşük karbon ekonomisi kavramı ilk kez 2003 yılında İngiltere'de "Geleceğin enerjisi: düşük karbon ekonomisi yaratma" başlıklı Enerji Beyaz Kitabı'nda ortaya atılmıştır (DTI, 2003). İngiltere'de enerji gelişiminin ana hedefi, düşük karbon ekonomisi ülkesi olmak, İngiltere'nin karbondioksit emisyonlarını 1990 yılından 2050 yılına kadar yüzde 60 azaltmak ve 2020'ye kadar gerçek bir ilerleme sağlamaktır (Zhuang, 2008). Dünya genelinde giderek daha fazla ülke, düşük karbon ekonomisi olma yolunda ilerlemektedir. Örneğin, Fransa, Japonya ve Kanada uygun politikalar oluşturmuş ve karbon emisyonlarını azaltmak için gerekli tedbirleri almıştır. Sera gazı emisyonlarının gelecekteki küresel artışı, kısa ve orta vadede sera gazı emisyonu azaltımının ekonomik potansiyelinin büyük olduğu gelişmekte olan ülkelere geleceği tahmin edilmektedir.

İklim değişikliğinin azaltılması sürdürülebilir sosyoekonomik gelişmeyi sağlayacaktır (IPCC, 2007). Gelecekteki 100 yıllık küresel sera gazı emisyonlarını göz önüne alan IPCC Senaryo Raporu 2000'e göre, başta gelişmekte olan ülkelerden olmak üzere, küresel sera gazı emisyonlarında artış eğilimi beklenmektedir. Ancak, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında kişi başına düşen CO₂ emisyonlarının zaman içinde bir birine yakınsama eğiliminde olduğu rapor edilmektedir (IPCC, 2000). Pan (2003)'a göre, gelişmiş ülkelerde bu trendin demografik değişiklikler, davranışsal değişimler ve teknolojik gelişmeler sonucunda istikrara kavuşma veya azalma yönünde hareket etmesi beklenirken, gelişmekte olan ülkelerde ise CO₂ emisyonu eğiliminin, ekonomik büyüme ve tüketim artışına bağlı olarak artması kaçınılmazdır.

Uzun vadede, bir ülkenin düşük karbonlu bir ekonomi olma yolunda ilerlemesi için süreç, sera gazı emisyonlarının ekonomik büyümeden giderek ayrılmasıyla ilgilidir (Zhuang, 2008). Sera gazı emisyonları ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki üzerine ampirik olarak yapılan çoğu bilimsel çalışma Çevresel Kuznets Eğrisi (ÇKE) hipotezini desteklemektedir. Çevresel Kuznets Eğrisi kişi başı gelir seviyesi ile çevresel tahribin derecesi arasında bir ilişki kurmaktadır. Diğer bir deyişle, ÇKE hipotezine göre ekonomik büyümenin ilk evrelerinde çevresel kirlilik ve tahrip göstergeleri artarken bu eğilimin ileri evrelerde tersine döneceği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla, çevresel tahrip kişi başı gelirin ters U şeklinde bir fonksiyonudur. Gelir dağılımı adaletsizliğinin de bu deseni takip ettiğini ilk öneren Kuznets (1955)'in adı ile bu hipotez anılmaktadır. Grossman ve Krueger (1995) ile Dünya Bankası (World Bank, 1992) şehirlerin hava ve su kalitesi verilerini kişi başı gayri safi milli hâsıla (GSMH) verilerinin polinomial bir fonksiyonu olarak regresyon yoluyla ilişkilendirmeleri sonucunda ÇKE hipotezini ilk kez popüler hale getirmişlerdir.

Kaya kimliği (Kaya, 1990), CO₂ emisyonlarının birincil güdüleyici güçlerini organize etmek ve tartışmak için ilk geliştirilmiştir. Kaya kimliğine göre (aşağıdaki denkleme bakınız), bir ülkenin toplam CO₂ emisyonu şu dört faktör kontrol etmektedir: nüfus, kişi başına GSMH, ekonomik kalkınmanın enerji kullanım yoğunluğu ve enerji kullanımındaki çevre dostu enerji kaynak tipi. Kullanılan yaklaşımlar ve CO₂ emisyonunu kontrol etme potansiyeli, yukarıdaki dört faktörü analiz ederek açıklanabilir.

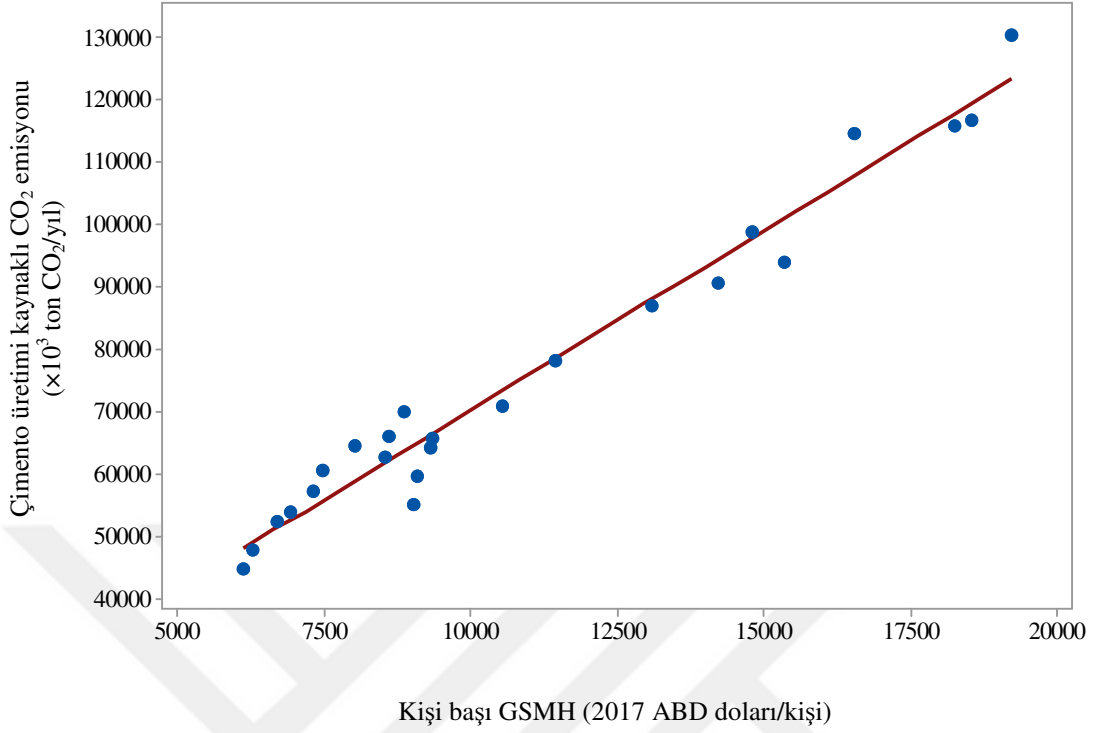
$$CO_2 \text{ Emisyonları} = Nüfus \times (GSMH/Nüfus) \times (Enerji/GSMH) \times (CO_2/Enerji)$$

Ekonomik büyüme üzerindeki ve doğal kaynakların miktarı ile kalitesi üzerindeki etkili sınırların bertaraf etmenin gerçekçi olmadığı göz önüne alındığında çevre sağlığı ve kalitesini zenginleştirmek için CO₂ emisyonlarını azaltmanın ana yolu enerji verimliliğini artırmak, yenilenebilir enerji kaynakları geliştirmek ve nüfus yoğunluğu artışını kontrol etmeye devam etmektir. Düşük karbonlu bir ekonomi izlemenin en uygun yolu, mevcut enerji tasarrufunu, verimliliğini ve çevreye uyumlu enerji teknolojilerini iyileştirmektir.

Kırsal iskân, kentsel iskân ve ticari bina zeminlerindeki m² başına çimento kullanımı (çimento yoğunluğu) ortalama olarak 0,15 t/m², 0,22 t/m² ve 0.212 t/m² oranında olduğu rapor edilmektedir. Kentsel iskan bina zeminlerindeki ortalama çimento yoğunluğunun 2030 yılında 0.247 t/m²'ye yükseleceği kestirilmektedir (Hu vd., 2010). Kentsel yollar ve otopanlar için ortalama çimento yoğunluğunun ise standart olarak 1080 kg/m² olduğu ifade edilmektedir (Hasanbeigi vd., 2017).

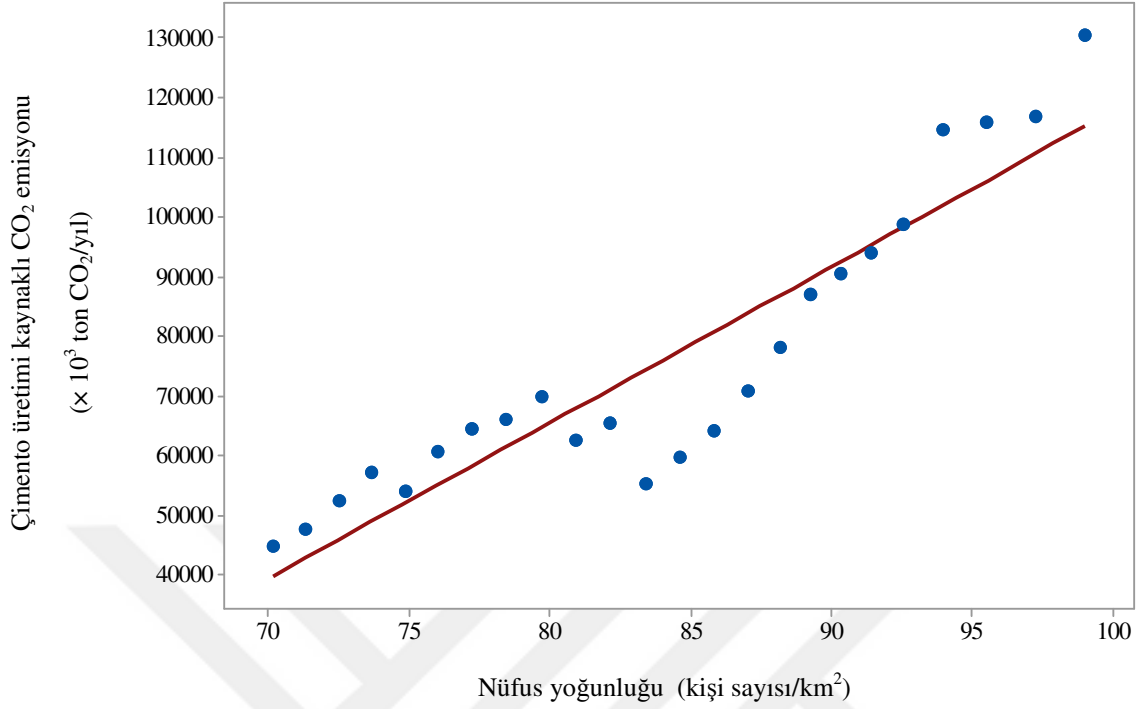
1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye'nin çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonlarının arkasındaki güdüleyici faktörler şu beş gösterge kullanılarak tespit edilmiştir: (1) kişi başı GSMH, (2) nüfus yoğunluğu, (3) kişi başı enerji kullanımı, (4) yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimindeki oranı ve (5) kişi başı ekilebilir alan. Nedensellik ilişkileri en iyi uyumlu doğrusal regresyon modelleri ile araştırılmıştır ve aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.3 ile 4.7).

Şekil 4.3'de 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için kişi başı GSMH (2017 ABD doları/kişi) ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi görülmektedir. 0,001 den küçük anlamlılık düzeyinde kişi başı GSMH (2017 ABD doları/kişi) arttıkça CO₂ emisyonu da artmaktadır. Modelimiz CO₂ emisyonundaki değişkenliğin %96,8'ini açıklıyor. Kişi başı GSMH (2017 ABD doları/kişi) da 5.756 artış CO₂ emisyonunda 1 artışa neden olmaktadır.



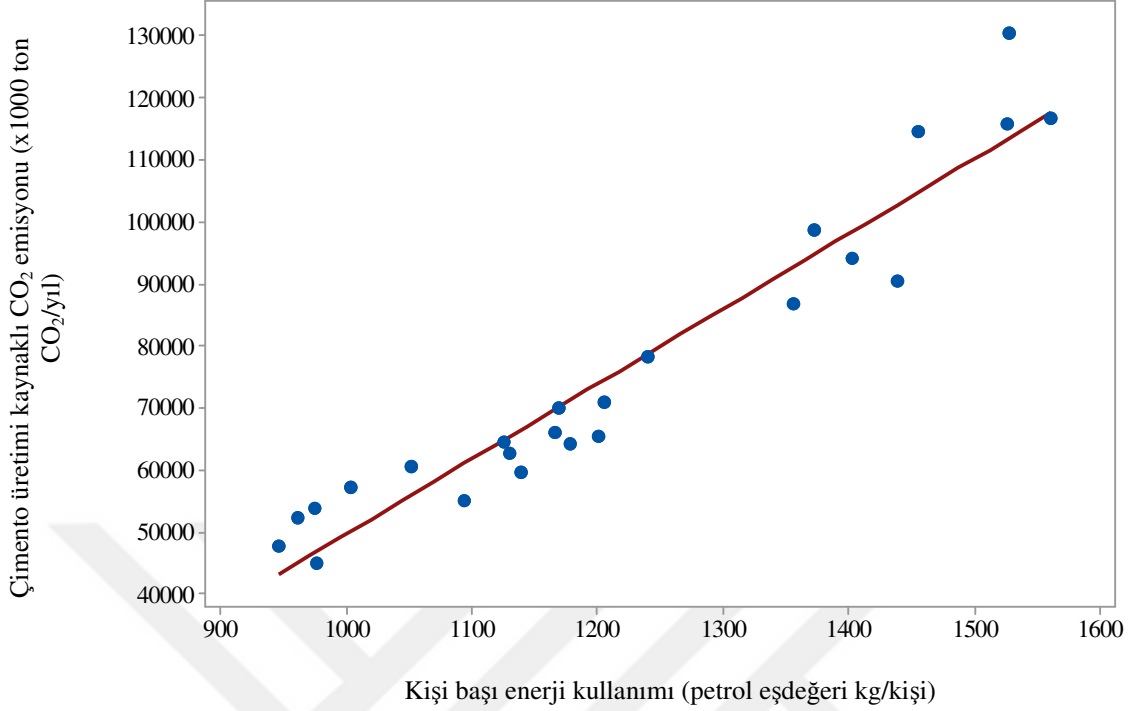
Şekil 4.3. 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için gayri safi milli hâsıla (GSMH) ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO₂/yıl) = 12602 + 5.756×kişi başı GSMH (2017 yılı ABD doları/kişi) (SH = 4453.64; $r^2 = \%96.8$; $n = 23$; $p < 0.001$).

Şekil 4.4’de 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için nüfus yoğunluğu ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi görülmektedir. 0,001 den küçük anlamlılık düzeyinde nüfus yoğunluğu arttıkça CO₂ emisyonu da artmaktadır. Modelimiz CO₂ emisyonundaki değişkenliğin %84,8’ini açıklıyor. Nüfus yoğunluğundaki 2616 artış CO₂ emisyonunda 1 artışa neden olmaktadır.



Şekil 4.4. 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için nüfus yoğunluğu ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (× 10³ ton CO₂/yıl) = - 143802 + 2616×nüfus yoğunluğu (kişi sayısı/km²) (SH = 9742.42; r² = %84.8; n = 23; p < 0.001).

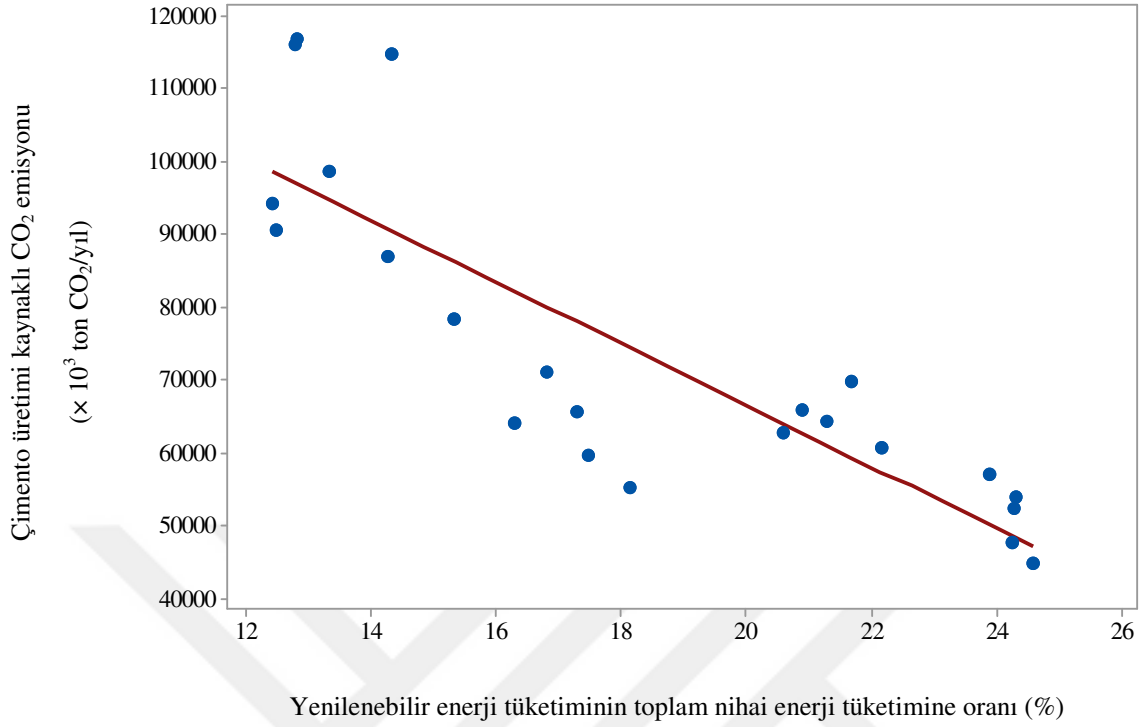
Şekil 4.5’de 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için kişi başı enerji kullanımı (petrol eşdeğeri kg/kişi) ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi görülmektedir. 0,001 den küçük anlamlılık düzeyinde kişi başı enerji kullanımı (petrol eşdeğeri kg/kişi) arttıkça CO₂ emisyonu da artmaktadır. Modelimiz CO₂ emisyonundaki değişkenliğin %92,3’ünü açıklıyor. Kişi başı enerji kullanımındaki 120 artış CO₂ emisyonunda 1 artışa neden olmaktadır.



Şekil 4.5. 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için kişi başı enerji kullanımı ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO₂/yıl) = - 71389 + 121.0×kişi başı enerji kullanımı (petrol eşdeğeri kg/kişi) (SH = 6921.95; $r^2 = \%92.3$; $n = 23$; $p < 0.001$).

Şekil 4.6’da 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranı ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi görülmektedir. 0,001 den küçük anlamlılık düzeyinde yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranı ile arttıkça CO₂ emisyonu azalmaktadır. Modelimiz CO₂ emisyonundaki değişkenliğin %71,7’sini açıklıyor. Yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranındaki 4231 azalış CO₂ emisyonunda 1 azalışa neden olmaktadır.

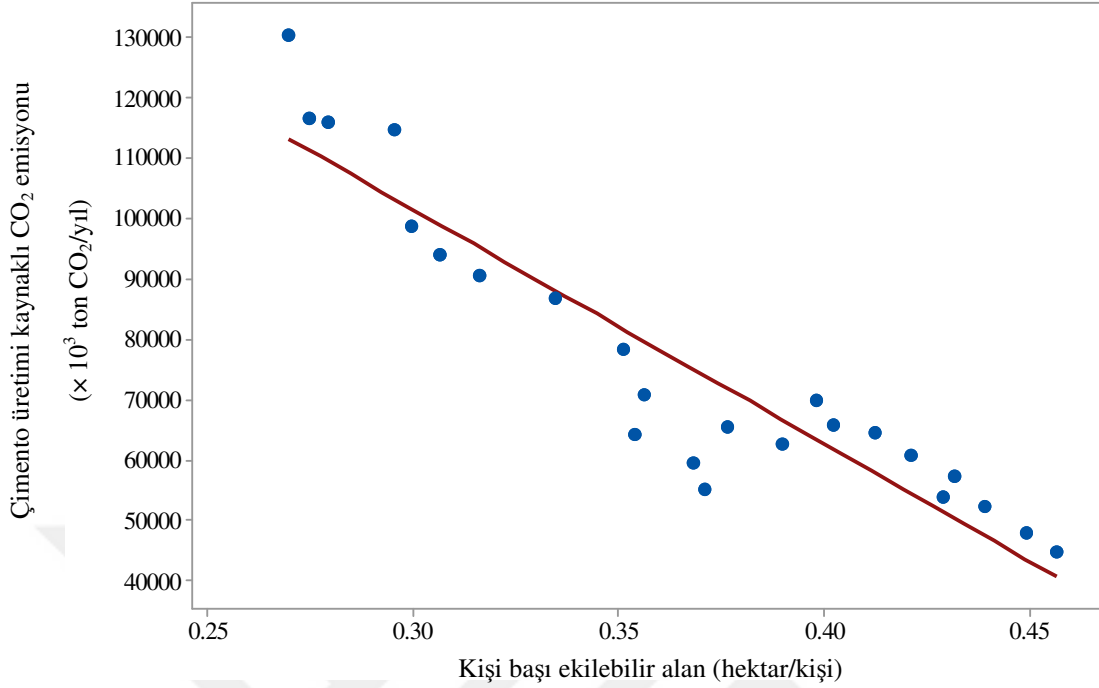
Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesi, 21 Temmuz 20011 tarih ve 28001 sayılı resmi gazetede yayınlanan “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin yönetmelik” kapsamında yürütülmektedir. Bu yönetmelik kapsamında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizmasının (YEKDEM) usul ve esasları belirlenmiştir.



Şekil 4.6. 1990 ile 2012 yılları arasında Türkiye için yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranı ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (× 10³ ton CO₂/yıl) = 151091 – 4231×yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranı (%) (SH = 11984.3; $r^2 = \%71.7$; $n = 22$; $p < 0.001$).

Şekil 4.7’de 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için Kişi başı ekilebilir alan (hektar/kişi) ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi görülmektedir. 0,001 den küçük anlamlılık düzeyinde kişi başı ekilebilir alan (hektar/kişi) arttıkça CO₂ emisyonu azalmaktadır. Modelimiz CO₂ emisyonundaki değişkenliğin %86,8’ini açıklıyor. Kişi başı ekilebilir alandaki (hektar/kişi) 389044 azalış CO₂ emisyonunda 1 azalışa neden olmaktadır.

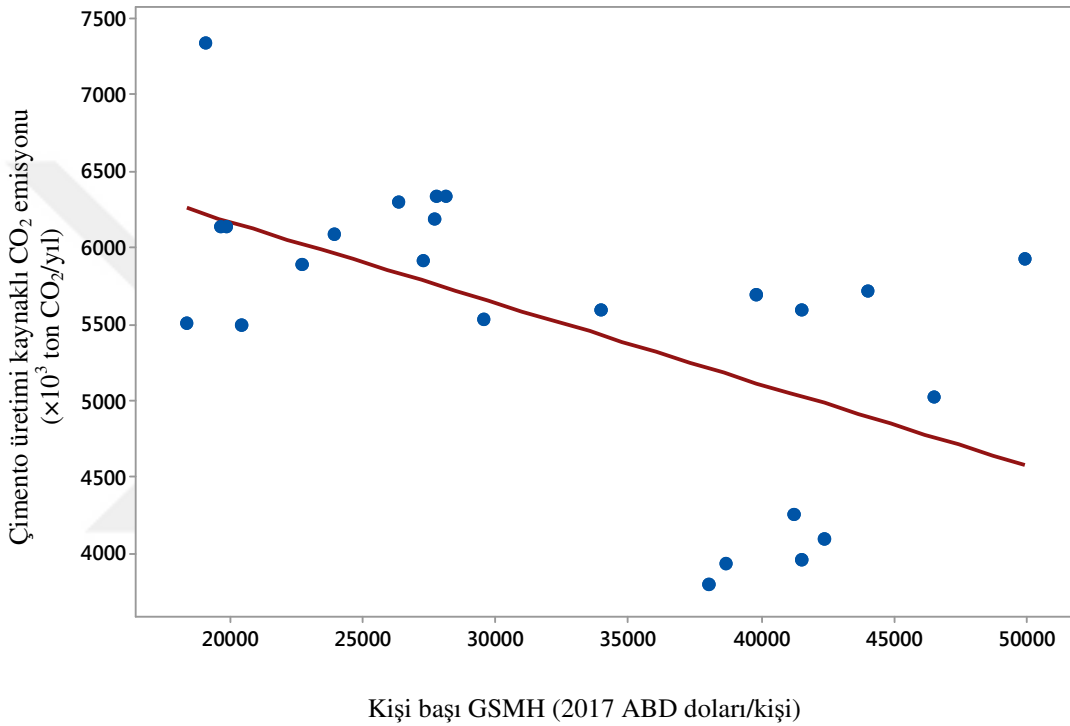
Nüfus artışı nedeniyle sanayi ve kentsel alanların artması, kişi başı ekilebilir alanların azalmasına ve CO₂ emisyonunun artmasına neden olmaktadır.



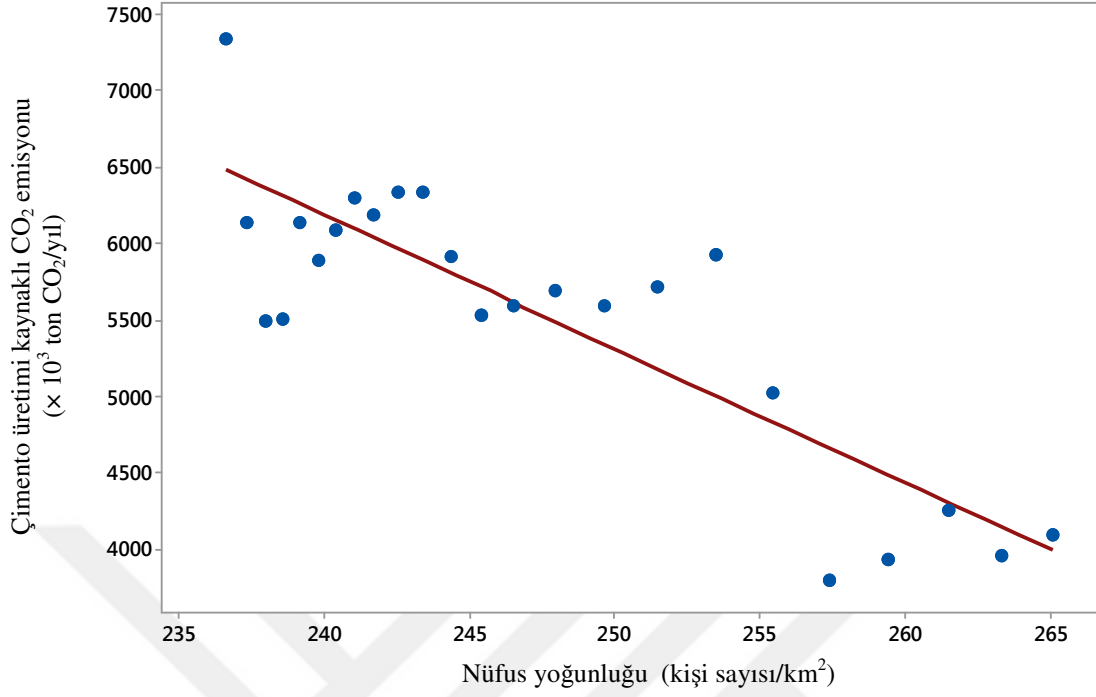
Şekil 4.7. 1990 ile 2013 yılları arasında Türkiye için ekilebilir alan ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (× 10³ ton CO₂/yıl) = 218261 – 389044×kişi başı ekilebilir alan (hektar/kişi) (SH = 9087.63; $r^2 = \%86.8$; $n = 23$; $p < 0.001$).

Bu beş güdüleyici faktörün birer fonksiyonu olarak çimento üretimi kaynaklı CO₂ salımının zamana bağlı değişimlerini kestirmeye yönelik Türkiye için geliştirilen regresyon modellerinin endüstrileşmiş ülkelere de genellenebilir olup olmadığı test edilmiştir. Bunun için 43 ülke endüstrileşmiş ve endüstrileşmekte olan olarak iki gruba ayrılmıştır. Endüstrileşmiş ülkeleri rassal olarak Büyük Britanya ülkesi seçilmiş ve bu ülke için aynı beş güdüleyici faktöre istinaden basit doğrusal regresyon modelleri inşa edilmiştir. Türkiye ve Büyük Britanya ülkelerine özgü geliştirilen regresyon modelleri birbiriyle karşılaştırıldığında beş güdüleyici güçten ikisinin (kişi başı enerji kullanımı ile yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranı) saptanan nedensellik ilişkilerinin şekli, yönü ve kuvveti bakımından benzer olduğu bulunmuştur (Şekil 4.8 ile 4.12). Ancak, geri kalan üç güdüleyici faktör için ise nedensellik ilişkisinin yönü bu iki ülke arasında birbirinin zıttı şeklinde bulunmuştur. “Kişi başı GSMH” ve “kişi başı ekilebilir alan” açıklayıcı faktörlerinin yer aldığı en iyi uyumlu basit doğrusal regresyon modellerinin r^2 (uyumun iyiliği) değerleri Büyük Britanya için oldukça düşük seviyede (yaklaşık

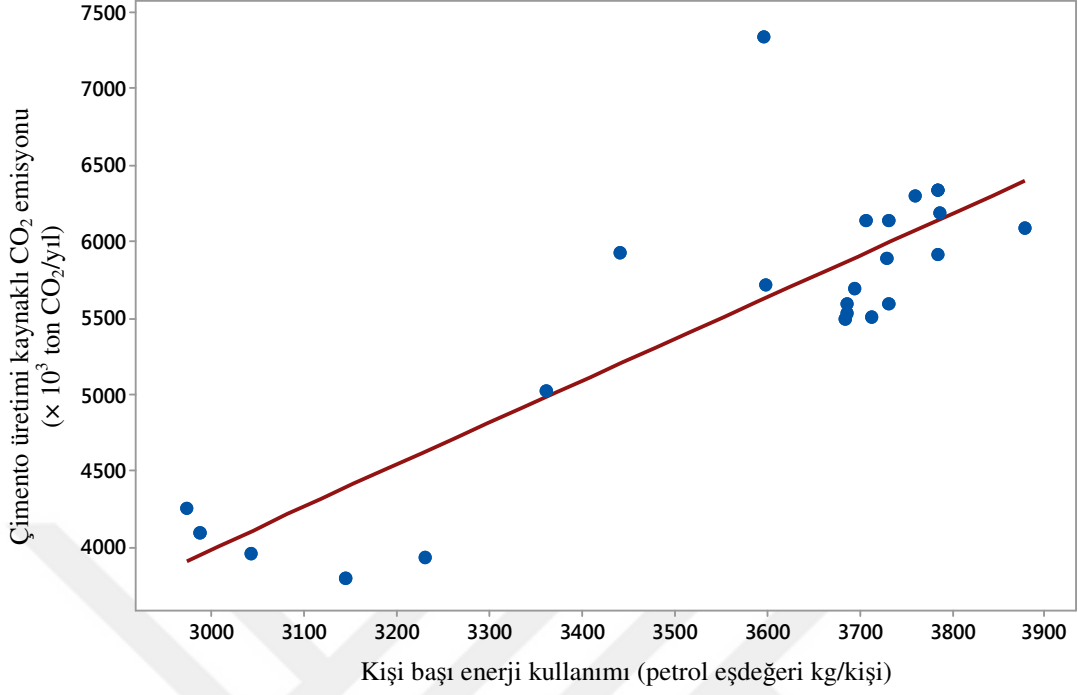
%33 olarak) çıkmıştır. Bir başka deyişle, Büyük Britanya için “kişi başı GSMH” ve “kişi başı ekilebilir alan” kestiricileri tek başına; çimento kaynaklı CO₂ salımlarındaki yıllık değişkenliğin (varyasyonun) yaklaşık %33’ünü açıklayabilmektedir. Endüstrileşme ve kalkınma dereceleri ile nüfus dinamikleri bakımından farkların varoluşu; bu üç ilişkinin yönü ve kuvvetini bu iki ülke arasında önemli derecede farklı kılması kuvvetle muhtemel gözükmektedir.



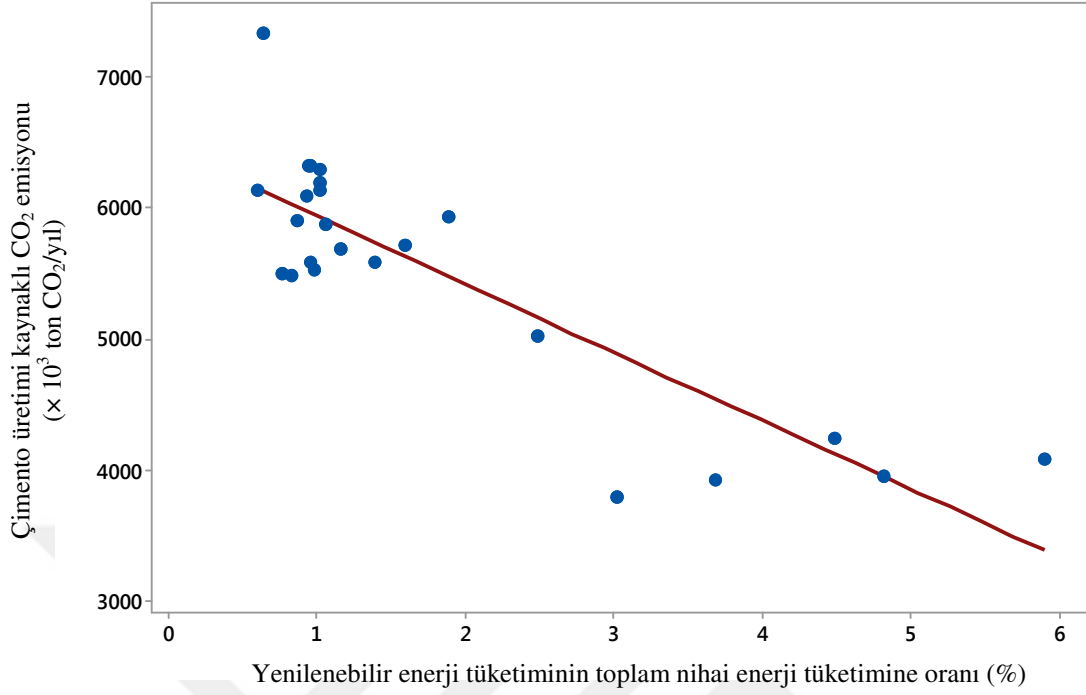
Şekil 4.8. 1990 ile 2013 yılları arasında Büyük Britanya için gayri safi milli hâsıla (GSMH) ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu ($\times 10^3$ ton CO₂/yıl) : $7235 - 0.05315 \times$ kişi başı GSMH (2017 yılı ABD doları/kişi) (SH: 760.496; r^2 : %33.2; n : 23; $p < 0.003$).



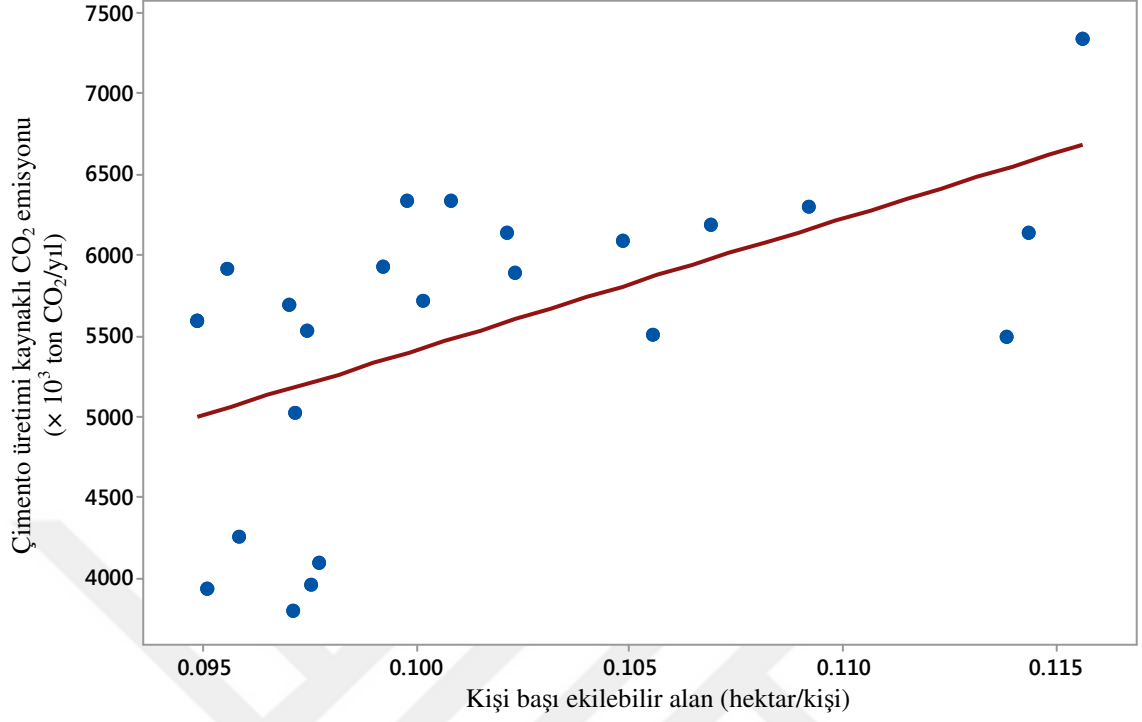
Şekil 4.9. 1990 ile 2013 yılları arasında Büyük Britanya için nüfus yoğunluğu ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (× 10³ ton CO₂/yıl) : 27195 - 87.53×nüfus yoğunluğu (kişi sayısı/km²) (SH: 484.11; r² : %72.9; n: 23; p < 0.001).



Şekil 4.10. 1990 ile 2013 yılları arasında Büyük Britanya için enerji kullanımı ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (× 10³ ton CO₂/yıl) : - 4191 + 2.728×kişi başı enerji kullanımı (petrol eşdeğeri kg/kişi) (SH: 500.11; r^2 : %71.1; n : 23; $p < 0.001$).



Şekil 4.11. 1990 ile 2012 yılları arasında Büyük Britanya için yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranı ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (×10³ ton CO₂/yıl) : 6470 – 521.8×yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimine oranı (%) (SH: 488.05; r^2 : %72.5; n : 23; $p < 0.001$).



Şekil 4.12. 1990 ile 2013 yılları arasında Büyük Britanya için ekilebilir alan ile çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu arasındaki nedensellik ilişkisi: Çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyonu (×10³ ton CO₂/yıl) : -2698 + 81117×kişi başı ekilebilir alan (hektar/kişi) (SH: 763.9; r^2 : %32.6; n : 23; $p < 0.001$).

5. VARGILAR VE ÖNERİLER

Son olarak; bu çalışmada kullanılan, ülkelerin çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyon verileri gerçek ölçümlerden değil kestirimler üzerinden olması belirsizlik oranlarının yükselmesine ve yerel bazlı (fabrika bazlı) tüm verilerin dahil edilmemiş olmasına neden olmuş olabilir. Bu kapsamda, Türkiye’de CO₂ emisyonlarını izleme ve raporlama süreci devam etmektedir. 2015 ve 2016 yılı çimento üretimi kaynaklı CO₂ emisyon doğrulanmış raporları yasal mercilere sunulacaktır. Ayrıca veri seti 1990-2013 yıllarını kapsamaktadır ancak bazı ülkelerin verileri 1991 veya 1992 yılından başlamaktadır. Bu durum da sonuçları değiştirebilir.

6. KAYNAKLAR

6.1 Makale

Grossman, G, and Krueger, A, 1995, Economic growth and the environment, Quarterly Journal of Economics 110, 353–77.

Hasanbeigi, A, Khanna, Na, and Price, L, 2017, Air Pollutant Emissions Projection for the Cement and Steel Industry in China and the Impact of Emissions Control Technologies, China Energy Group, Energy Analysis and Environmental Impacts Division, Lawrence Berkeley National Laboratory.

Hu, D, You, F, Zhao, Y, Yuan, Y, Liu, T, Cao, A, Wang, Z, and Zhang, J, 2010, “Inputs, stocks and output flows of urban residential building system in Beijing city, China from 1949–2008.” Resources, Conservation and Recycling 54: 1177–1188.

Kendall MG, 1980, Rank correlation methods, London: Charles Griffin.

Kuznets, S, 1955, “Economic growth and income inequality”, American Economic Review, 45, 1–28.

Ozturk, F, Keles, M, Evrendilek, F, (2016) “Quantifying rates and drivers of change in long-term sector-and country-specific trends of carbon dioxide-equivalent greenhouse gas emissions”, Renewable and Sustainable Energy Reviews,: 823

Sauvage, S, Plaisance, H, Locoge, N, Wroblewski, A, Coddeville, P, Galloo, JC., 2009, “Long term measurement and source apportionment of non-methane hydrocarbons in three French areas”, Atmospheric Environment, 43:2430-41

Salmi T, Maatta A, Anttila P, Ruoho-Airola T, Amnell T., 2002, Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the MannKendall test and Sen’s slope estimates- The excel template application MakeSens, RIVM, Bilthoven, The Netherlands.

Wang, Y, Zhu, Q, Geng, Y, (2013) “Trajectory and driving factors for GHG emissions in the Chinese cement industry”, Journal of Cleaner Production,:253

Zhuang, G, 2008, “How will China Move Towards Becoming a Low Carbon Economy?”, China & World Economy /93-105, Vol.16, No.3,2008;93

6.2 Bildiri

Kaya, Y, 1990, "Impacts of carbon dioxide emissions control on GDP growth: Interpretation of proposed scenarios," IPCC Energy and Industry Subgroup Response Strategies Working Group, Paris, France.

Pan, J, 2003, "Commitment to human development goals with low emissions: An alternative to emissions caps for post-Kyoto from a developing country perspective" Research Centre for Sustainable Development, Chinese Academy of Social.

6.3 Kitap

Kuleli Ö. (2009). Çimento Mühendisliği El Kitabı, 1. Baskı, TÇMB/AR-GE Enstitüsü, Ankara

6.4 İnternet

Boden, T., Andres, B., Carbon Dioxide Information Analysis Center, National CO₂ Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2013, 2016.

CEMBUREAU, The role of Cement in the 2050 Low Carbon Economy, <http://lowcarboneyconomy.cembureau.eu>, 2013).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İklim Değişikliği Müzakereleri, <http://www.csb.gov.tr/projeler/iklim/index.php?Sayfa=sayfa&Tur=webmenu&Id=12442>

www.databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators# , 14.04.2016

6.5 Yazarsız, sorumluluğu bir kuruluşa ait olan yayınlar

Avrupa Komisyonu, (Mayıs 2010), Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit İmalat Sanayilerinde, Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanı

DTI (Department of Trade and Industry), UK Energy White Paper: Our energy future -creating a low carbon economy, London: TSO, 2003

IPCC, Good Practice and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, CO₂ emissions from cement production,2001;175

World Bank, 1992, World Development Report 1992, New York: Oxford University Press.

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Neriman KAYAALP

Doğum Yeri ve Tarihi : Bolu 1976

Lisans Üniversite : İstanbul Teknik Üniversitesi

Elektronik Posta : kayaalp.neriman@gmail.com

İletişim Adresi : Beşkavaklar Mah. Necdet Gören Caddesi

Doğanay Sitesi C Blok D: 6 BOLU