



11. Kalkınma Planı Çerçevesinde Sektörel CO₂ Salımı Değerleri Projeksiyonu^{*}

Projection of Sectoral CO₂ Emission Values with Input-Output Models in the Framework of 11th Development Plan

Ahmet SEL^a✉, Ziya Gökalp GÖKTOLGA^b

MAKALE BİLGİSİ

<i>Makale Geçmişi</i>	
Başvuru	10 Mart 2020
Kabul	31 Mayıs 2020
Online Gösterim	20 Kasım 2020
Makale Türü	Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler

Karbon Emisyonu,
Girdi Çıktı Analizi,
Hedef Programlama,
Kalkınma Planı.

ARTICLE INFO

<i>Article History</i>	
Received	10 March 2020
Accepted	31 May 2020
Available Online	20 November 2020
Article Type	Research Article

Keywords

Carbon Emission,
Input Output Analysis,
Target Programming,
Development plan.

ÖZ

Karbon salımı son yıllarda artış göstermekte ve küresel ısınmanın en önemli sebeplerinden biri olarak gösterilmektedir. Türkiye karbon salımının temel nedeni ise enerji sektöründeki kullanımlardır. Bu çalışmada girdi çıktı tablosu ile hedef programlama modeli kurulmuştur. Uygulamada 11. Kalkınma Planı çerçevesinde sektörel enerji kullanımları ve CO₂ salımları araştırılmıştır. RAS yöntemi kullanılarak 2012 girdi çıktı tablosu 2017 yılına güncellenmiştir. Hedef programlama modelinde 2021,2022 ve 2023 yılları için GSYH değerleri hedef olarak alınmıştır. Programlamada yer alan kısıtlar; işgücü, sabit sermaye kullanımı, arz ve talep tutarları ve katsayılarıdır. Hedeflerin gerçekleşmesi için gereken sektörel üretim değerleri çözüm olarak bulunmuştur. Sektörel üretim değerleri yardımıyla sektörel enerji tüketimleri hesaplanarak CO₂ salımları tahmin edilmiştir. Sektörel üretim değerleri kullanılarak sektörel enerji tüketimleri ve CO₂ salımları tahmin edilmiştir.

ABSTRACT

Carbon emissions have increased in recent years and are cited as one of the most important causes of global warming. The main reason for Turkey's carbon emissions is the use in the energy sector. In this study, the target programming model has been established with the input-output table. In practice, sectoral energy uses and CO₂ emissions were investigated within the framework of the 11th Development Plan. 2012 input output table was up dated to 2017 by using RAS method. In the target programming model, GDP values for 2021, 2022 and 2023 were taken as targets. Constraints in the programming; labor, fixed capital usage supply and demand amounts and coefficients. The sectoral production values required for the realization of the targets were found as solutions. Sectoral energy consumption and CO₂ emissions were estimated by using sectoral production values.

1. Giriş

Ülkeler planlı ve programlı olması adına ekonomik gelişmelerini belirli bir yol haritasında yürütmektedirler. Karar vericiler tarafından ilan edilen bu programlar kısa, orta ve uzun vade ekonomik ve sosyo-kültürel hedefleri içermektedir. Böylelikle toplumu her yönüyle ilgilendiren bir plan otoritelerce halka açıklanmış olur (Sel, 2019:3). Özellikle gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkeler açısından ekonomik büyüme temel bir hedeftir. Temel doğal kaynakların korunarak ekonomik büyümenin gerçekleştirilmesi sürdürülebilir büyüme açısından önemi yadsınmaz (Munasinghe, 2001: 43).Günümüzde ekonomik

nedenlerinde tetiklediği ve bu konuda kendini gösteren en önemli sorunlardan biri küresel ısınmadır. Bu sorunun en önemli nedeni ise karbondioksit (CO₂) salımında meydana gelen artışlardır.

Son yıllarda küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği sorunları, ekonomik büyüme ve çevre tahribatı arasındaki ilişkiye yönelik ilgiyi artırmıştır. Ülkelerin enerji taleplerinin büyük bir bölümünü fosil yakıtlardan karşılaması atmosferdeki sera gazı miktarını yükselterek küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu nedenle CO₂ emisyonunun azaltılması ülkelerin çevre politikalarında öncelikli hedef haline gelmiştir. Küresel ısınma ve sera gazı konuları her bir

* 20. Ekonometri, Yöneyim ve İstatistik Sempozyumunda özet bildiri olarak sunulmuştur.

✉ Sorumlu Yazar/Corresponding Author

^a Dr., Matematik Öğretmeni, MEB Bakanlığı, **E-Posta:** selahmet43@gmail.com **ORCID:** https://orcid.org/0000-0003-1914-5878

^b Prof.Dr., Cumhuriyet Üniversitesi, İİBF, Ekonometri Bölümü, Sivas, **E-Posta:** goktolga@cumhuriyet.edu.tr **ORCID:** https://orcid.org/0000-0003-4438-4096

△ Yazar(lar) bu çalışmanın tüm süreçlerinin araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu, etik kurallara ve bilimsel atf gösterme ilkelerine uyduğunu beyan etmiştir. Aksi bir durumda Akdeniz İİBF Dergisi sorumlu değildir.

ülke ekonomisini yakından ilgilendirmekle birlikte bu alanda etkin çözümlere ulaşmak, ülkelerin küresel ölçekte birlikte hareket etmelerini gerektirmektedir (Doğan ve Topalli, 2016:107). Birleşmiş Milletler (BM) tarafından Ekim 2015'te yayımlanan, "İklim Bağlantılı Doğal Afetlerin İnsani Maliyeti" isimli raporda, 20 yılda kayıtlara geçen küresel olarak toplam 6,457 doğal afetin %90'ı sel, fırtına, sıcak hava dalgası, kuraklık ve diğer aşırı iklim hareketlerinden kaynaklandığı; 1995 yılından bu yana aşırı iklim hareketleri kaynaklı afetler nedeniyle 606 bin kişinin yaşamını yitirdiği, 4,1 milyar insanın ise etkilendiği belirtilmektedir (Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı, 2020). Karşılaşılan maliyet ve sonuçlar dikkate alındığında küresel ısınma Dünya için çok önemli bir sorun olarak görülmektedir. Bu yüzden ülkelerin ekonomik ve sosyal programlarının yanında iklim değişikliği ve küresel ısınmanın çözümü için politikaların geliştirilmesi gerekmektedir.

Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli (IPCC) Küresel İklim Modelleri ile yaptığı projeksiyonlara göre Türkiye'de sıcaklıklar kışın 2 °C, yazın ise 2-3 °C artarak 2030 yılında oldukça kuru ve sıcak bir iklim etkisine girebilir. Yağışlar kışın az bir artış gösterirken yazın %5-%15 azalabilir. Söz konusu senaryolara göre, Akdeniz Havzasındaki su seviyesinde 2030 yılına kadar 18-12 cm, 2050 yılına kadar 38-14 cm ve 2100 yılına kadar 65-35 cm yükselme beklenmektedir. Küresel iklim değişikliğinden Türkiye olumsuz şekilde etkilenecektir. Bu olumsuzluklar hazırlanan çeşitli senaryolara ve IPCC projeksiyonlarına göre Türkiye'nin de içinde bulunduğu enlemlerde, sıcaklıklardaki artışların; yağış rejiminde değişimler, deniz suyu seviyesinde yükselmeler ve toprak su içeriğinde önemli azalmalar şeklinde olacağı tahmin edilmektedir. Bunların sonuçları aşağıda özetlenmiştir (Özmen, 2009).

- Yazın yağışlarda büyük azalma olacak, buharlaşma artabilecek,
- Yağışların mevsimsel dağılımı ve şiddeti değişecek, anti sellerde artışlar olabilecek,
- 1987' den beri ortalamanın altında gerçekleşen kar örtüsü, daha da azalabilecek,
- Akım, miktarları azalacak ve pik zamanları değişebilecek,
- Kuraklığın sıklığı ve şiddeti artabilecek,
- Uluslararası, ulusal ve yerel su kaynağının paylaşımında sorunlar çıkabilecek,
- Yüksek basınç kuşağının kuzeye kayması ile ülkemizde hâkim olabilecek tropikal iklime benzer birkuru hava; daha sık uzun süreli kuraklıklara, orman yangınlarına ve tropikal hastalıklarda artışlara neden olabilecek,
- Milli parklar, çevre ve canlılar zarar görebilecektir.

Her ülkede sürdürülebilir kalkınmanın temel eksenlerinden biri, çevrenin enerji sektörü ile ekonomi arasındaki etkileşimin kalitesidir. Ekonomik faaliyetler ve çevre arasındaki ilişki önemli ve karmaşık konular arasındadır. İnsanlık faaliyetlerinin bir sonucu olarak çevre üzerindeki baskı, birçok ülkenin karşı karşıya olduğu önemli bir küresel konudur. Mesele sadece biyolojik çevre açısından değil, aynı zamanda ekonomik bakış açısından da önemlidir, çünkü ekonomik faaliyetler insanların uzun vadeli refahını ve yaşamını etkileyebilir. Son yıllarda biyolojik çevre riskleri

ve zararları belirgin bir şekilde varlığını kanıtlamıştır. Bu zararlar, istihdam, yatırım, endüstriyel faaliyetlerin enerji tüketimi ve ekonomik büyüme gibi bazı ekonomik faktörlerin ve endekslerin etkisinden kaynaklanmaktadır. Her ülkenin makro düzeydeki ekonomik politikaları üretim ve istihdam artışı, enflasyonun azaltılması, piyasaların düzenlenmesi gibi hedeflerle, uzun vadede geçici bir ufukta toplumun refahındaki artışı gerçekleştirmeyi çalışmaktadır (Zahra, Seyed ve Bahaeddin, 2019).

Ekonominin tamamını ilgilendiren analizlerde girdi çıktı tabloları etkin olarak kullanılabilir. Girdi çıktı modelleri ilk olarak Amerikan ekonomisinin yapısal analizinde W.W. Leontief tarafından 1930 yılında incelenmiştir. Girdi çıktı analizinde bir bölgede yer alan sektörlerin birbirleriyle olan ilişkilerini inceler. Herhangi bir mali yılda sektörlerin aramal kullanımlarını ve miktarını para birimi cinsinden verir. Özellikle bir ülkede sektörel olarak GSYH'nın dağılımı bu tablolar ile rahatlıkla görülebilir (Sel, 2019:268). Ayrıca girdi çıktı modelleri, doğrusal programlama modelinin özel bir durumu olarak söylenebilir. Özellikle etkinlik planlamasında girdi çıktı modelleri optimizasyon modeli olarak ifade edilebilir (Aydoğuş, 2010:6).

Sera gazı emisyonlarının azaltılması için ekonomik göstergeler ile enerji tüketimi ve CO₂ salımlarının arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekir. Özellikle girdi çıktı tabloları sayesinde ekonomin tamamında arz ve talep döngüsü içerisinde enerji kullanımlarının neden olduğu karbon emisyonları belirlenebilir. Ayrıca ekonomik hedefler için doğrusal programlama yardımıyla gereken enerji kullanımları sonucu oluşan CO₂ emisyonları belirlenebilir. Girdi çıktı tabloları sayesinde elde edilen CO₂ emisyonları sektörel olarak belirlenebilecek olup karar vericiler için ekonomik programları yönlendirici olabilir. Böylece elde edilen sonuçlar ekonomi genelindeki emisyon hedeflerinde dikkate alınabilir.

Bu çalışmada bir doğrusal programlama modeli olan hedef programlama yöntemi ile girdi çıktı modeli bir arada kullanılmıştır. 2012 yılında TÜİK tarafından yayınlanan girdi çıktı tablosu öncelikle 2017 sektörel enerji kullanımları dikkate alınarak 17 sektöre toplulaştırılmıştır. 2017 girdi çıktı tablosu 2017 Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH) değerleri kullanılarak RAS yöntemiyle güncellenmiştir. Çalışmada kullanılan hedefler ise Kalkınma Bakanlığı tarafından yayınlanan 11. Kalkınma Planı çerçevesinde oluşturulmuştur. Hedef olarak programda belirlenen 2021-2022-2023 yılları GSYH değerlerini gerçekleştirecek sektörel üretim, enerji tüketimleri ve buna bağlı oluşan karbon salım değerleri hesaplanmıştır.

2. Literatür Taraması

Literatür incelendiğinde karbon salımının incelendiği çalışmalara fazlasıyla rastlanmıştır. Ancak incelemelerde karbon konusunda farklı analizler uygulandığı görülmüştür.

Çalışmalar incelendiğinde kümeleme analizi kullanarak Çemrek, Şentürk ve Terlemez (2010) OECD ülkelerinin fosil yakıt kullanımından kaynaklanan CO₂ salım göstergeleri kullanarak bulanık kümeleme analizi uygulamıştır. Analiz sonuçlarına göre 4 küme elde edilmiştir. Birinci kümede, Kanada, Meksika, Avustralya, Kore, Fransa, İtalya, Polonya, İspanya ve Büyük Britanya'dan oluştuğu belirlenmiştir. İkinci kümede sadece Amerika Birleşik Devletleri yer almış, üçüncü kümede yer alan ülkeler ise, Japonya ve Almanya

olduğu görülmüştür. Son kümede yer alan ülkeler ise, Yeni Zelanda, Avusturya, Belçika, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Finlandiya, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, Hollanda, Norveç, Portekiz, Slovakya, İsveç, İsviçre ve Türkiye olarak belirlenmiştir. Kuşkaya ve Gençoğlu (2017), çalışmasında OECD ülkelerinin 1995-2015 yıllarına ait emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Kümeleme analizi için Ward yöntemi tercih edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, ülkeler sera gazı emisyonu açısından dört kümede gruplaşmışlardır. Genel olarak, ülkelerin uygulamış oldukları çevre ve iklim politikaları ve taraf oldukları uluslararası sözleşmelerin yükümlülüklerini yerine getirmelerine bağlı olarak aynı küme grubunda yer aldıkları sonucuna ulaşılmıştır.

Ekonometrik açıdan incelemelerde; Arı ve Zeren (2011) çalışmalarında CO₂ ile kişi başı gelir arasındaki ilişkiyi sorgulayarak Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezini test etmiştir. Bunun için Akdeniz ülkeleri 2000–2005 dönemi, panel veri yöntemi ile analiz edilmiştir. Sonuçlarda CO₂ emisyonu ile kişi başı gelir arasındaki ilişkinin, yani CO₂ emisyonunun, yüksek ekonomik büyüme düzeylerinde artabileceği görülmüştür. Bayramoğlu ve Yurtkur (2016), çalışmasında Türkiye’de karbon emisyonu ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi doğrusal ve doğrusal olmayan eşbütünleşme yöntemleriyle analiz etmiştir. Çalışmada 1960-2010 dönemi için doğrusal Engle-Granger eşbütünleşme ve Kapetanios, Shin ve Shell (KSS 2006) tarafından geliştirilen doğrusal olmayan eşbütünleşme yöntemleri uygulanmıştır. Ekonometrik analiz sonuçlarına göre Türkiye’de karbon emisyonu ile ekonomik büyüme arasında doğrusal bir ilişki bulunamazken doğrusal olmayan bir eşbütünleşme ilişkisi tespit edilmiştir. Özdemir ve Koç(2020), çalışmasında Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerliliğini Türkiye için uygulamıştır. Bu amaç doğrultusunda, kişi başına CO₂ emisyonları, kişi başına reel GSYH, kişi başına enerji kullanımı, kişi başına yenilenebilir enerji kullanımı ve ticari dışa açıklık değişkenleri ile kübik formda bir model kurulmuştur. Uzun dönem katsayı tahminlerine göre bağımlı değişken olan kişi başına CO₂ emisyonu üzerinde tamamı istatistiksel anlamlılığa sahip olmak üzere, enerji kullanımının pozitif, yenilenebilir enerjinin negatif, ticari dışa açıklığın da pozitif etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Pakdemirli(2020), çalışmasında iklim değişikliğinin Türkiye’de tarım üzerindeki etkilerini 1961-2018 dönemi için araştırmaktadır. Değişkenler arasındaki bağılantıyı belirlemek için, eş-bütünleşmeye bir gecikmesi dağıtılmış otoregresif (ARDL)sınır testi yaklaşımı ve vektör otoregresif (VAR) analiz uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, CO₂ emisyonlarının tarım üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Türkiye'nin nüfusu artışı ile beraber, gıda yeterliliği ve güvenliğinin gelecek on yıl içinde daha önemli konular olarak ortaya çıkacağını ve iklim değişikliğinin etkilerini göz önünde tutan önlemlerin alınmasının elzem olacağını belirtmiştir.

Karbon ve yeşil enerji konusunda; Bekiroğlu (2014), karbon salımının azaltılması adına Türkiye’de yapılması gereken çalışmaları incelemiş ve emisyonların azaltılmasında kullanılan sertifikaların elde edildiği sektörlerde yaşanacak gelişmelerin kalkınmayı sağlayacağını belirtmiştir. Aynı şekilde Özsoy (2015), çalışmasında Türkiye’de yeşil ekonomi için hidrolik, güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça yüksek bir potansiyele sahip olduğunu belirtmiştir. Yenilenebilir enerji konusunda Ünlü (2019), çalışmasında

biyoyakıtları incelemiştir. Küresel enerji kullanımının yaklaşık%80'ini oluşturan fosil yakıtların yanması, özellikle CO₂ başta olmak üzere sera gazı emisyonları salınımının artışına sebep olacağı belirtilmiştir. Sonuçlarda; Türkiye’nin sahip olduğu biyoetanol tesislerinden maksimum miktarda faydalanarak enerji ihtiyacını sağlamak için, biyoetanol hammaddesi üreticilerine destek olunması ve tarımsal atıklardan biyoetanol üretimi konusunda çiftçilere kolaylıklar sağlanması, selülozik atıkların toplanarak, biyoetanol tesislerine götürülmesinde teknolojik ve lojistik destekler verilmesi gerektiğini belirtmiştir.

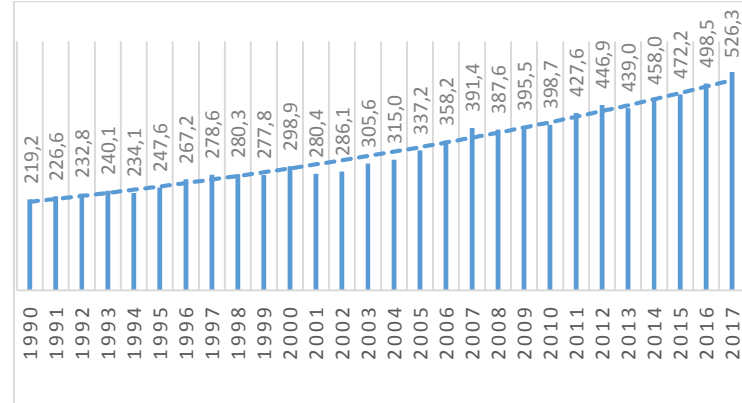
Girdi çıktı tabloları yardımıyla yapılan araştırmalar incelendiğinde; Alcántara ve Padilla (2006), çalışmasında CO₂ emisyonu için üretken yani kilit sektörlerin İspanya ekonomisini ele alarak araştırmıştır. İncelenen sektörlerin katma değerindeki artışın toplam CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda karbon emisyonu için kilit sektörlerin sırasıyla elektrik ve gaz, kara taşımacılığı, bazik metal imalatı, metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, kimyasal madde üretimi, kok kömürü üretimi, rafine petrol ürünleri ve nükleer yakıt, toptan ve perakende ticaret ve tarım olduğu görülmüştür. Ekonomik büyüme ve aynı zamanda gelir artışı gibi konularda toplam emisyonun azaltılması adına bu kilit sektörlerle yoğunlaşılması gerektiği belirtilmiştir. Oran ve RíoGonzález (2007), çalışmasında CO₂ emisyonları açısından ana üretken faaliyet dallarını İspanya ekonomisi için araştırmıştır. Bu faktörleri ise duyarlılık analizi ve doğrusal programlama ile birlikte bir girdi çıktı tablosu vasıtasıyla incelemiştir. Sonuçlarda ise toplam emisyonların önemli ölçüde azaltılması için enerji, konut ve ulaştırma sektörlerinde emisyonların yüksek olduğunu göstermiştir. Buna göre, CO₂ emisyon kaynaklarının çeşitliliği ve karmaşıklığı, kilit sektörlerde uygulanan farklı araç türlerini birleştiren bir politika stratejisine işaret etmiştir. Perese (2010), çalışmasında CO₂ salımının düzenlenmesini adına ABD ekonomisi için özel girdi-çıkıtı modeli kurmuştur. Çalışmada bir ton CO₂ emisyonuna getirilecek 20 \$'lık verginin etkisini girdi çıktı modelleri ile araştırmıştır. Uygulama sonucunda CO₂ emisyonları getirilecek ek verginin doğal gaz, elektrik ve benzin gibi enerji mallarının fiyatında yaklaşık %10 artışa sebep olacağı belirtilmiştir. Xu, vd. (2011), çalışmada 2002 yılından 2008 yılına kadar Çin'in ihracatında ortaya çıkan yıllık CO₂ emisyonlarını çevresel girdi çıktı analizini kullanarak incelenmiştir. Yapısal ayrışma analizi (SDA) tekniği kullanılarak, emisyon yoğunluğu, ekonomik üretim yapısı, ihracat bileşimi ve toplam ihracat hacmi dahil olmak üzere dört itici güç, somutlaştırılmış CO₂ emisyonlarının artışına katkıları için karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak emisyon yoğunluğunun azaltılmasının var olan emisyonları aşağı çekmesine rağmen, diğer üç faktördeki, özellikle ihracatta ki değişikliklerin emisyonların artmasına yol açtığını göstermiştir. Mi, vd. (2015), çalışmasında endüstriyel yapının enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu üzerindeki potansiyel etkilerini araştırmıştır. Yöntemde girdi çıktı modeline dayalı bir optimizasyon modeli kurularak Pekin için uygulanmıştır. Sonuçlar, endüstriyel yapı uyumunun enerji tasarrufu ve karbon salımını azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. GSYİH'nin yıllık ortalama büyüme oranı 2010'dan 2020'ye kadar %8,29 olduğunda, endüstriyel yapı ayarlaması ile enerjiyi %39,42 (50,06 milyon ton standart kömür eşdeğeri) tasarruf edilebileceğini ve CO₂ emisyonunu 2020'de Pekin'de

%46,06 (96,31 milyon ton) azaltılabileceğini göstermiştir. Zahra, Seyedve Bahaeddin (2019), çalışmasında yeşil vergi ile birlikte karbon dioksit ve GSYH'da meydana gelen değişiklikleri araştırmaktadır. 2016 yılında İran'da kömür, petrol, gaz ve petrol ürünleri gibi sektörlerin bir değerlendirmesini yapılmıştır. Doğrudan ve dolaylı katsayılar (Leontief tersi) ve biyo-çevresel kirleticilerin çoğaltan katsayıları girdi-çıkıttı matris tablosu kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, yeşil verginin kömür sektöründeki %0,19 azalmaya neden olduğu görülmüştür. En yüksek kirliliğin tarım ve maden sektörlerinde büyük ölçüde benzin tüketiminin bir sonucu CO₂'den kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu nedenle, hükümetin ithalat yaparak modern küresel teknolojilere erişim imkânı sağlaması önerilmiştir. Jirajariyavech, Kunnoot ve Iemthanon (2020), çalışmada ticaret programı için optimum CO₂ emisyonlarının kota sistemi ile tahsis edilmesi amaçlanmıştır. Araştırılan sektörler; elektrik, petrokimya, çimento, demir-çelik ve havacılık gibi yoğun enerji sektörleridir. Ekonomik etkiler, girdi-çıkıttı modeli tarafından üretilen ters Leontief matrisi ile hesaplanan ileri ve geri bağlantı etkileridir. Sonuçlar, ekonomik verimliliğin ve CO₂ emisyon kotalarına optimum tahsis yöntemi uygulanmasıyla yaklaşık%10,78'lik ekonomik maliyet tasarrufu elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, elektrik sektörüne diğer dört endüstriden daha büyük bir kota tahsis edilmelidir. Dong ve diğ., (2020), çalışmada ülkeler arası panel modeli geliştirerek CO₂ emisyonu ile ekonomik gelişimin ilişkisi incelenmiştir. Sonuçlar, endüstriyel yapı değişikliğinin CO₂ emisyonları üzerinde önemli ölçüde olumsuz bir etkisi olduğunu göstermiştir. Sektörel olarak; imalat sektörü ve hizmet sektörünün bağlantısında 0,1 birim artış, kişi başına CO₂ emisyonu başına 0,94 metrik ton (Mt) düşüşe yol açarak, endüstriyel yapının iyileştirilmesinin karbon azaltımına ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca, kentleşme, teknoloji ve ticaretin CO₂ emisyonları üzerinde önemli olumsuz etkileri olurken, ekonominin büyümesi ve enerji kullanımına olumlu etkileri görülmüştür. Özellikle, kişi başına gelirdeki%1'lik bir artış, kişi başına CO₂ emisyonlarının 8,6 Mt bir artışa sebep olacağı belirtilmiştir. Banerjee, (2020), çalışmasında 2015 yılı için girdi-çıkıttı modeline dayalı bir analiz kullanarak Hindistan ve İngiltere arasındaki ikili ticarete yer alan CO₂ emisyonlarını ölçmeye çalışmıştır. Sonuçlar; İngiltere'ye ihraç edilecek olan Hindistan emtia üretimi, her yıl milyon dolarlık ihracat başına 1.053 kilo ton CO₂ emisyonu üretimine sebep olacağı belirtilmiştir. Aynı şekilde İngiltere'den Hindistan'a ithal edilen emtia üretimi ise sadece 0.141 kilo tonCO₂ emisyonu sebep olmaktadır. Bunun nedeni, Hindistan'ın sanayi üretiminde kömür ve kömür ürünleri İngiltere'den daha fazla kullanması ile orantılı olarak artan CO₂ emisyonudur. Kang, Ng ve Su (2020), çalışmasında girdi-çıkıttı doğrusal programlama modeli ile ekonomi genelinde CO₂ emisyonlarının azaltılması için uygun maliyetli bir strateji belirlemeye çalışmıştır. Çin için yapılan modelleme sonuçları, kömür hedefli ve hidro üretim teknolojilerinin 2020'den 2050'ye kadar büyük ölçüde geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir. Genel ekonomi çapındaki CO₂ emisyonlarını %30 azaltmak için elektrige çeşitli temiz üretim teknolojilerinin yani; gaz yakıtlı, hidro, nükleer, güneş, rüzgâr ve biyokütle dahil edilmesini önermiştir.

3. Türkiye'de Sera Gazı Emisyonları

Dünyada nüfus yoğunluğunun aşırı bir şekilde artması, yoğun göç ve kentleşme hareketleri, yaşam standartlarının yükselmesi, Endüstri Devrimi'nden günümüze kadar yoğunlaşan sanayi üretimindeki artışların sonuçları olarak yaklaşık son 150 yıldır gittikçe artan ve aşırı miktarda tüketilen petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtları ve arazi örtüsündeki değişimler nedeniyle, büyük miktarda zararlı gaz ve parçacıkların atmosfere salınması, küresel ısınmaya neden olan önemli etkenlerdir.

Türkiye'de sera gazı emisyonları ve değerleri değerlendirmeleri için TÜİK tarafından Nisan 2019'da yayınlanan "Sera gazı emisyon istatistikleri" kullanılmıştır. Sera gazları; sera etkisini destekleyen, atmosferde bulunan ve en çok ısı tutma özelliğine sahip olan bileşikler olup doğrudan sera gazları olan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazotmonoksit (N₂O) ve F-gazları ile dolaylı sera gazları olan azotoksitler (NO_x), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC), karbonmonoksit (CO) ve kükürtdioksit (SO₂) emisyonlarını kapsamaktadır (TÜİK, 2019). Grafik 1'de Türkiye için CO₂, CH₄ ve N₂O gazlarının toplam emisyon değerlerinin CO₂ eşdeğeri görülebilir.

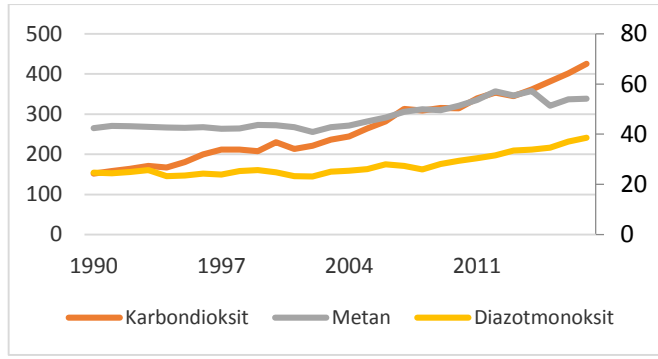


Grafik 1. Sera Gazı Emisyonları (CO₂Eşdeğeri), (Milyon Ton)

Kaynak: TÜİK, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri,(2019)

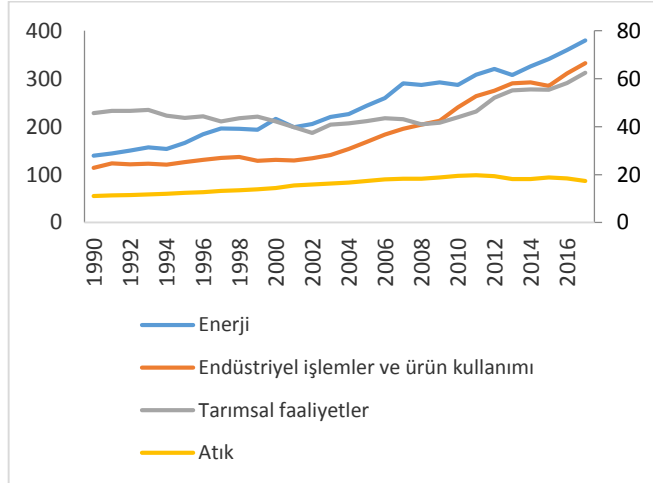
CO₂ eşdeğeri; salımı gerçekleşen tüm sera gazları için küresel ısınmaya etki etme derecelerininCO₂cinsinden belirlenmesidir. Grafik 1. incelendiğinde toplam sera gazı emisyonlarının yıllar itibariyle arttığı görülebilir. Ayrıca ekonomik krizin sektörel etkilerinden dolayı 1994, 1999, 2001 ve 2008 yıllarında sera gazı salımında azalışlar görülmektedir. Sera gazı emisyonlarının CO₂ eşdeğeri değerleri incelendiğinde, 2017 yılında toplam sera gazı emisyonu ton (Mt) olmak üzere 2018 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %0,5 azalarak 520,9 milyon ton (Mt) olarak gerçekleşmiştir. Doğrudan küresel ısınmaya destekleyen gazlar olan CO₂,CH₄ ve N₂O için emisyon değerleri Grafik 2'de görülebilir.

Sera gazlarının yıllar içinde dağılımı incelendiğinde Grafik 2 için CO₂ değerindeki artışın diğerlerine göre fazla olduğu görülebilir. Ayrıca miktar olarak artış hızının CH₄ ve N₂O için daha düşük olduğu grafikten görülebilmektedir. Bunun en temel nedeni ise emisyonların gerçekleştiği kaynaklar ve bu kaynakların günlük hayatta kapsadığı alanlar olarak açıklanabilir. En fazla salım değerine sahip olan CO₂ emisyonlarının ana sektörler bazında dağılımı Grafik 3.'te görülebilir.



Grafik 2. Sera Gazlarına Göre Emisyon Değerleri (milyon ton)

Kaynak: TÜİK, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, (2019)

Grafik 3. Sektörel CO₂ Emisyonları (Milyon Ton)

Kaynak: TÜİK, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, (2019)

Toplam CO₂ emisyonlarının 2018 yılında %35,5'i elektrik ve ısı üretiminden olmak üzere %85,8'i enerji sektöründen, %13,9'u endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen, %0,3'ü ise tarım ve atık sektörlerinden kaynaklanmıştır. CH₄ emisyonlarının %63,1'i tarım, %20,3'ü atık, %16,6'sı enerji ve %0,03'ü endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektörlerinden; N₂O emisyonlarının ise %70,1'i tarım, %15,7'si atık, %9,5'i enerji ve %4,7'si de endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen kaynaklanmıştır (TÜİK, 2019). Grafik 3. incelendiğinde özellikle enerji kullanımı için CO₂ salım miktarının diğer sektörlerle göre daha fazla olduğu görülebilmektedir. Atık faaliyetleri dışında miktar olarak artışların tüm sektörler için gerçekleştiği söylenebilir. CH₄ ve N₂O emisyonlarının çoğunluğu ise tarımsal faaliyetler sonucunda açığı çıkmıştır.

4. Veri ve Değişkenlerin Tanımlanması

Girdi çıktı tabloları genellikle devlet kurumları tarafından açıklanan resmi istatistiklerdir. Türkiye'de girdi çıktı tabloları TÜİK tarafından resmî sitesinde açık erişimli olarak yayınlanmaktadır. Çalışmada girdi çıktı tablosunun güncellenmesi için kullanılan veriler aynı şekilde TÜİK'in resmî sitesinden alınmıştır.

4.1 Girdi Çıktı Tablosunun Güncellenmesi

Yapılan işlemlerin güncel olabilmesi için öncelikle en son yayınlanan girdi çıktı tablosu ele alınmıştır. TÜİK tarafından yayınlanan en son girdi çıktı tablosu 2012 yılına aittir. Bu tablo 64 sektörlü CPA (Statistical Classification of Products by Activity) 2008 standartları kullanılarak hazırlanmıştır.

Elektrik tüketimlerinin sektörel olarak verildiği tablo ise 2017 yılında NACE (Statistical classification of economic activities in the European Community) Rev. 2 Kısım – Section kullanılarak 17 sektörlü olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

Tablo 1

Sektörlere Göre Toplam Enerji Tüketimi ve CO₂ Salımı (Ton)

Sektör Kodu	Ekonomik faaliyetler	Enerji Tüketimi (Petrol)	CO ₂ Salımı
X1	B-Madencilik	1.436.460	4.527.578
X2	C-İmalat	45.263.232	142.665.181
X3	D-Elektrik, gaz	42.874.298	135.135.501
X4	E-Su, kanalizasyon	683.088	2.153.024
X5	F-İnşaat	1.828.572	5.763.478
X6	G-Toptan, perakende	1.967.524	6.201.438
X7	H-Ulaştırma, depolama	10.994.031	34.652.085
X8	I-Konaklama, yiyecek	741.485	2.337.087
X9	J-Bilgi, iletişim	217.337	685.024
X10	K-Finans, sigorta	188.623	594.522
X11	L-Gayrimenkul	432.969	1.364.674
X12	M-Mesleki, bilimsel	88.840	280.014
X13	N-İdari, destek hizmet	94.096	296.581
X14	P-Eğitim	148.930	469.412
X15	Q-İnsan sağlığı	247.985	781.624
X16	R-Kültür, sanat, spor	39.438	124.306
X17	S-Diğer hizmetler	18.485	58.262
Toplam		107.265.393	338.089.791

Kaynak: Sektörel Enerji Tüketim İstatistikleri, TÜİK(2019)

64 sektörlü 2012 girdi çıktı tablosu NACE Rev. 2 dikkate alınarak 17 sektöre toplulaştırılmıştır. Tahmin edilecek sektörlerin en son elektrik kullanım değerleri 2017 yılına aittir. Bundan dolayı 2012 girdi çıktı tablosu RAS metodu kullanılarak 2017 yılına güncellenmiştir. RAS yönteminin ana hedefi, bu tabloları güncellerken, girdi-çıkta ara girdi hücrelerini dengelemektir. İterasyon sayısı bu hücrelerin oluşturduğu matris büyüklüğüne bağlıdır. İterasyon denklemi Eşitlik 1 gibi tanımlanır;

$$X_C^{yeni}(t_n) \cdot X_C^{yeni}(t_{n-1}) \dots X_C^{yeni}(t_1) \cdot A \cdot X_R^{yeni}(t_1) \dots X_R^{yeni}(t_{n-1}) \cdot X_R^{yeni}(t_n) = A^{yeni} \quad (1)$$

Eşitlik 1 için;

$X_C^{yeni}(t_i)$: vektörü sütunun t_i kez iterasyonu sonucu oluşan yeni çıktı değeri,

A: doğrudan girdi katsayı matrisi,

$X_R^{yeni}(t_i)$: vektörü satırın t_i kez iterasyonu sonucu oluşan yeni çıktı değeridir (Trinh ve Phong, 2013:133). Bu yöntem A matrisinin değerlerinin toplam sütun ve satır değerlerine orantılanması sonucu oluşan değerlerin yeni toplam sütun (X_C^{yeni}) ve toplam satır (X_R^{yeni}) değerleriyle çarpılması işlemidir. Bu döngü A matrisinin toplam satır ve sütunlarının yeni değerler ile dengelenmesine kadar t_i kez devam eder. Sonunda oluşan yeni matris (A^{yeni}) olarak adlandırılır. RAS yöntemi, gerçekleşmiş bir tablo üzerinden güncelleme yapıldığı için tabloda yer alan işaretler korunarak bir öncekine yakın değerler içeren tablo elde edilir. Ayrıca RAS yönteminin uygulanması ve hesaplanması diğer yöntemlere göre nispeten daha kolaydır (Lecomber, 1975:45).

RAS yöntemini kullanarak güncelleme yapabilmek için TÜİK tarafından 2017 yılı verilerin göre hazırlanan Gayri

Safi Yurtiçi Hasıla ekonomik faaliyet tablosu kullanılmıştır. Bu toplada yer alan değerler yardımıyla ilgili yıllar için toplam sütun ve satır değerleri elde edilerek RAS yöntemiyle güncellenmiştir.

4.2. Tüketilen Petrol için Varil Başına CO₂ Salımının Hesaplanması

Ham petrolün varili başına karbondioksit emisyonları, karbon muhtevasının katları ile çarpılan sıcaklık muhtevası

çarpılarak, karbon dioksitin moleküler ağırlığının karbona oranının (44/12) çarpımı ile belirlenir. Ham petrolün ortalama ısı içeriği varil başına 5.80 mmbtu'dur. Buna göre ham petrolün ortalama karbon katsayısı mmbtu başına 20,31 kg karbon şeklindedir (EPA, 2018). Ayrıca oksitlenen fraksiyon yüzde 100'dür (IPCC, 2006). Buna göre bir varil petrolün yanması sonucunda elde edilen CO₂ salımı Eşitlik 2 gibidir.

$$5,80 \text{ mmbtu} / \text{varil} \times 20,31 \text{ kg C} / \text{mmbtu} \times 44 \text{ kg CO}_2 / 12 \text{ kg C} \times 1 \text{ Mt} / 1,000 \text{ kg} = 0,43 \text{ Mt CO}_2 / \text{varil} \quad (2)$$

Çalışmada kullanılan hesaplamaların tutarlı olması adına 1 ton petrol için CO₂ salımı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

1 varil = 0,43 Mt CO₂ ve 1 ton petrol 7,33 varil olmak üzere 1 ton petrol için 0,43x7,33=3,1519 Mt CO₂/ ton çıkışı olacaktır.

5. Girdi Çıktı Tabloları ve Hedef Programlama

Girdi-çıkıtı tabloları, arz ve kullanım tablolarından elde edilir. Satır ve sütun sayısı eşit simetrik bir kare matris şeklindedir. Girdi-çıkıtı tabloları, arz ve kullanım tablolarından ürün, sanayi veya karma teknoloji varsayımları kullanılarak elde edilebilmektedir. Kullanılan varsayım gereği, girdi-çıkıtı tablolarından elde edilen değerler arz ve kullanım tablolarındaki değerlerden farklılık gösterebilmektedir. Girdi-çıkıtı tabloları, ekonominin yapısal analizi ve planlaması, üretimin analizi, talep yapısının analizi, fiyat ve maliyet analizi, ithalat ve ihracatın analizi, yatırımların analizi, verimlilik analizi, duyarlılık analizi ve etki analizi için kullanılmaktadır (TÜİK,2019).

Hedef programlama modeli, doğrusal programlama modeli gibi kısıtlayıcı kümesi ve amaç fonksiyonu şeklinde iki bölümde incelenebilir. Bir doğrusal programlama modelinde yer alan bütün fonksiyonlar hedef programlama modelinin sadece kısıtlayıcı kümesini oluşturur. Hedef programlama modelinde, amaç fonksiyonları için ulaşılmak istenen erişim değerlerini karar vericinin belirlemesi gerekir. Bunun doğal bir sonucu olarak, erişim değerli amaç fonksiyonları bir eşitlik halinde kısıtlayıcı kümesine eklenir. Bu işlem her bir hedef fonksiyonu için sapma değişkenlerinin tanımlanmasını gerektirir. Sapma değişkenleri, hedef fonksiyonlarının erişim düzeylerinden ne kadar uzaklaştığının ölçülmesini sağlar. Hedef programlama modelinde, hedefler için belirlenen erişim düzeylerinden oluşabilecek sapmalar minimize edilir (Özkan, 2003:155).

Hedef programlama modelinde bir hedef üzerine çalışmalar yapılabileceği gibi birden fazla hedef çerçevesinde de işlemler yapılabilir. Bir ekonomide üretilen tüm mal ve hizmetlerin bir göstergesi olan GSYH değeri modelde "Z_{GSYH}" şeklinde hedef olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada ekonomik programda yer alan 2021-2022-2023 GSYH hedefleri için gereken sektörel üretimler ile meydana gelecek karbon salımları araştırılmıştır. Ayrıca modelde işgücü,

sabit sermaye kullanımı, arz ve talep kısıtları kullanılmıştır. Bu tanımlamalar altında sektörel üretim değerleri (X_j) olmak üzere GSYH hedefinden sapmaları minimum yapan hedef programlama modeli Eşitlik 3 gibi düzenlenebilir.

$$\begin{aligned} \min &= d_1^- + d_1^+ \\ Z_{GSYH} &= \sum_{j=1}^n g_j X_j + d_1^- - d_1^+ \\ C1; C17 &: \sum_{j=1}^n (1 - a_{ij}) X_j \geq Y_i \\ C18 &: \sum_{j=1}^n l_j X_j \geq L \\ C19 &: \sum_{j=1}^n l_j X_j \leq \check{L} \\ C20 &: \sum_{j=1}^n k_j X_j \geq K \\ C21 &: \sum_{j=1}^n k_j X_j \leq \check{K} \end{aligned} \quad (3)$$

X_j ≥ 0

X_j: j. sektörün sektörel üretim seviyesi

a_{ij}: Bir birim mal üretmek için gerekli j sektörü çıktı miktarı

Y_i: i sektörünü nihai yurtiçi tüketimi,

g_j: j sektörünün bir birim mal üretebilmek için ihtiyacı olan GSYH miktarını,

l_j: Bir birim j sektörü üretimi için gerekli olan işgücü,

L: Ekonomide var olan işgücü değeri,

k_j: Bir birim j sektörü üretimi için gerekli olan sabit sermaye,

K: Ekonomi içerisinde ulaşılabilecek sermaye miktarı.

⌚: Hedef yılı için tahmini işgücü üst limit

⌚: Hedef yılı sabit sermaye kullanımı için üst limit olmak üzere,

d₁⁻: Gayri safi yurtiçi hasıla hedefi için negatif yönlü sapma değeri,

d₁⁺: Gayri safi yurtiçi hasıla hedefi için pozitif yönlü sapma değeri

Şeklinde var olan değişkenler tanımlanmıştır.

5. Uygulama

Uygulama sırasında RAS yöntemi için Pyio2.1 programı ile hedef programlama çözümlerinde Excel Solver, Matlab ve Winqsb programları kullanılmıştır. Girdi çıktı tablosu ile hedef programlama uygulama adımıyla öncelikle modelde eşitsizliklerin sağ tarafında yer alan hedef ve kısıt değerlerin belirlenmiştir. Daha sonra eşitsizliklerin sol tarafında yer katsayılar hesaplanarak 2021-2022-2023 yılları için ayrı ayrı çözüm değerlerine ulaşılmıştır.

5.1 Kalkınma Planı Çerçevesinde Hedef ve Kısıtların Belirlenmesi

Çalışmada uygulanan hedefler Kalkınma Bakanlığı tarafından yayınlanan 11. Kalkınma Planında yer alan sayısal değerleri kapsamaktadır. İlgili plan incelendiğinde Madde 214. yer alan ifade doğrultusunda reel GSYH'nın yıllık ortalama %4,3 oranında artması hedeflenmektedir. Buna göre planda yer alan 2023 hedefi Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2
Kalkınma Planı Çerçevesinde Cari GSYH Hedefi (TL)

Yıllar	2018	2023
GSYH	3.701.000.000	7.453.000.000

Kaynak: 11. Kalkınma Planı, Kalkınma Bakanlığı (2019)

Tablo 2'de yer alan 2023 hedefinin gerçekleşmesi için yıllık %4,3 artış dikkate alındığında 2021-2022-2023 yıllarında olması gereken GSYH hedef değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'te birinci sütunda GSYH değerleri tüm sektörleri kapsarken TÜİK enerji istatistiklerinde yer alan 17 sektörün GSYH içindeki payı ikinci sütunda yer almaktadır.

Tablo 3
Hedef yıllar için GSYH ve Sektörlerin Payı (TL)

Yıllar	GSYH Hedefi	Sektörlerin GSYH Payı (Z_{GSYH})
2021	6.825.822.597	6.018.883.608
2022	7.132.521.000	6.289.324.565
2023	7.453.000.000	6.571.916.995

Sektörlerin GSYH içinde payı hesaplanırken enerji istatistiklerin açıklandığı 2017 yılı dikkate alınmıştır. İkinci sütunda yer alan değerler hedef programlama da yer alan " Z_{GSYH} " hedef değerleridir. Kısıtların belirlenmesi adımında öncelikle istihdam kısıtı incelenmiştir. Kalkınma planında yer alan istihdam değişim yüzdeleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4
İstihdam ve Çalışma Hayatı Hedefleri 2018

Yıllar	2018	2023
İşgücüne Katılma Oranı (%)	53,2	56,4
İşgücü (Milyon Kişi)	32,3	36,7
İstihdam (Milyon Kişi)	28,7	33,0
İstihdam Oranı (%)	47,4	50,8
İşsizlik Oranı (%)	11,0	9,9

Kaynak: 11. Kalkınma Planı, Kalkınma Bakanlığı (2019)

Tablo 4 değerleri ile birlikte Madde 216.'da yer alan plan döneminde, yıllık ortalama yüzde 2,8 oranında artışla, 4,3 milyon ilave istihdam yaratılması öngörülmektedir. İşgücü kısıtının belirlenmesi için plan döneminde istihdama yapılan ödemelerin tutarının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için Madde 179'da yer alan para politikası fiyat istikrarı kısmında enflasyonun bugünden başlayarak 2023 yılına kadar %5 hedefine kademeli bir şekilde yakınsayacağı belirtilmektedir. İstihdama yapılan ücret ödemesi hesaplanmasında ücretlerin her yıl enflasyon oranında artacağı kabul edilmiştir. İlgili hedef yıllar için kademeli olarak azalan enflasyon değeri ve işgücüne yapılması beklenen ödemeler Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5 incelendiğinde ikinci sütunda yer alan değerler bir çalışanın yıllık aldığı ortalama ödeme tutarıdır. Bu tutar 2017-2018-2019 yılları için işgücüne yapılan toplam ödeme tutarının istihdam sayısına oranı ile elde edilmiştir. Üçüncü sütunda bulunan enflasyon değerleri planda yer alan %5 enflasyon hedefine göre kademeli olarak eşit oranda azaltılarak bulunmuştur. İkinci sütunda yer alan ve 2020-2021-2022-2023 yıllık ödeme tutarları üçüncü sütunda ilgili yıllar için enflasyon değerleri oranında yapılan artışlar ile hesaplanmıştır. Dördüncü sütunda toplam işgücü ödemeleri; Tablo 4 istihdam değerleri ve %2,8 istihdam artışı ile Tablo 5'te bulunan yıllık ödeme tutarlarının çarpılması sonucunda elde edilmiştir. Değerlerin yanında yer alan (L) alt kısıtı göstermek üzere, (\tilde{L}) değerleri incelenen yıllar için işgücü üst ödeme kısıtıdır.

Tablo 5
Kalkınma Planı Beklenen İşgücü Ödemeleri (TL)

Yıllar	Yıllık Ödeme	Enflasyon (%)	Toplam İşgücü Ödemesi
2017	29.413	11,92	829.128.570 (L)
2018	32.919	20,30	944.025.289
2019	39.602	17,24	1.172.003.621
2020	46.429	14,18	1.418.026.870
2021	53.013	11,12	1.670.914.379 (\tilde{L})
2022	58.908	8,06	1.916.135.100 (\tilde{L})
2023	63.656	5,00	2.136.834.008 (\tilde{L})

Hedef programlama modeli için sermaye tüketimi kısıtı ile ilgili planda yer alan bilgiler değerlendirilmiştir. Buna göre kalkınma planında Madde 220' de yer alan sabit sermaye yatırımlarının plan döneminde ortalama %5,3 oranında artacağı öngörülmektedir. Bu bilgi doğrultusunda 2017 yılı sabit sermaye tüketimi baz alınarak ilgili yıllar için yıllık %5,3 oranında artışla elde edilen sabit sermaye tüketimi değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Sabit sermaye tüketimi, muhasebe dönemi boyunca fiziksel yıpranma, normal kullanım dışı olma veya normal kaza zararı sonucu olarak bir üretici tarafından sahip olunan veya kullanılan sabit aktif stoklarının cari değerlerindeki düşme olarak tanımlanabilir (TÜİK, 2019). Tablo 6 incelendiğinde hedef programlama modeli olan Eşitlik 3'te 2017 yılı sermaye tüketim değeri alt kısıt (K) olmak üzere üst kısıtlar (\tilde{K}) olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 6
Sermaye Tüketimi Hedef Yıllar

Yıllar	Sermaye Tüketimi
2017	417.897.361 (K)
2021	513.787.002 (\tilde{K})
2022	541.017.713 (\tilde{K})
2023	569.691.652 (\tilde{K})

5.2. Hedef Programlama Kısıt Katsayıları

Kısıt katsayılarının belirlenmesi adımında hedef programlama modelinde yer alan eşitsizliklerin sol tarafında bulunan değerler hesaplanmıştır. Arz ve talep kısıtı olarak denklemde yer alan $\sum_{j=1}^n (1 - a_{ij}) X_j \geq Y_i$ eşitsizlik için sağ taraf incelenen sektörlerin 2017 yılında girdi çıktı tablosunda bulunan sektörel talep tutarlarıdır. Eşitsizliğin sol yanı $(1 - a_{ij})$ katsayıları 17 sektör için Leontief matrisinde yer alan değerlerden oluşmaktadır. 2017 girdi çıktı tablosundan elde edilen ve $(1 - a_{ij})$ katsayılarını ifade eden Leontief matrisi değerleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

$$C20: 0,0002 \cdot X_1 + 0,0002 \cdot X_2 - \dots + 0,2416 \cdot X_{17} \\ \geq 417.897.361$$

$$C21: 0,0002 \cdot X_1 + 0,0002 \cdot X_2 - \dots + 0,2416 \cdot X_{17} \\ \leq 513.787.002$$

2021 yılı için kurulan model diğer yıllar içinde aynı şekilde kurularak her yıl için ayrı ayrı " X_j " $j = 1..17$ çözümlerini göstermektedir.

6. Bulgular

Her yıl için ayrı ayrı elde edilen " X_j " $j = 1..17$ çözümlerinin Tablo 8'de yer alan "Enerji(petrol) Katsayı" değerleriyle çarpılması sonucunda ton cinsinden petrol enerji tüketim değerleri elde edilmiştir. Buna göre hedef yıllar için sektörel enerji eşdeğeri petrol tüketimleri Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9 sonuçları incelendiğinde 2021-2022-2023 yılları için Kalkınma Planı çerçevesinde sektörlerin beklenen enerji tüketimlerinin petrol cinsinden değerleridir. Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2018 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne sunulan Türkiye'nin Yedinci Ulusal Bildirimi (TYUB) raporunda Türkiye'nin nihai enerji tüketimi 1990 yılında 42.2 MTep'den (Milyon ton petrol eşdeğeri) 2016 yılında 104,5 MTep'e yükselmiştir (TYUB, 2018). 2017 yılında ise bu değer sektörel toplam olarak 107,3 MTep olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2019). Sektörel CO₂salım değerlerinin hesaplanmasında Eşitlik 2'de yer alan formül kullanılmıştır. Buna göre elde edilen petrol tüketim değerleri Tablo 10'da gösterilmiştir.

Türkiye'nin en son sera gazı envanterine göre, toplam sera gazı emisyonları, 2016 yılında 496,1 Mt CO₂ eşdeğeri'dir. Bu değer 1990 seviyesine kıyasla %135,4 oranında bir artışı temsil etmektedir (TYUB, 2018). Sektörel bazda değerlendirildiğinde bu değer 2017 yılı için 338,1 MtCO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Tablo 10' da hedef yılları için hesaplanan CO₂salım değerleri dikkate alındığında 2017 yılına göre ortalama %152,3 artış beklenmektedir. Bu artışların ise sektörel bazda oranları incelendiğinde %40,0'ı elektrik-gaz, %39,3'ü imalat ve %14,8 ulaştırma-depolama hizmetler olarak belirlenmiştir. En fazla artışa sahip olan sektörler ise %264,2 ulaştırma-depolama, %236,2 konaklama-yiyecek ve %206,0 toptan-perakende şeklindedir.

7. Sonuç ve Öneriler

Kalkınma planına göre 2017 yılından 2021 yılına GSYH artışı %140 iken, çalışma sonucunda CO₂salımlarında %162 bir artış olacağı tahmin edilmiştir. 2021 dikkate alınır 2022 için CO₂salım değerinde ise %4 bir azalış olacağı belirlenmiştir. 2023 yılında ise 2022 yılına göre %8'lik CO₂salım artışı öngörülmüştür. Arı ve Zeren (2011), Bayramoğlu ve Yurtkur (2016), Özdemir ve Koç (2020) çalışmalarında belirtildiği gibi ekonomik büyüme ile CO₂ emisyonları arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Bundan dolayı incelenen yıllarda meydana gelen CO₂ emisyonları artışlarının üretimde meydana gelen artışların bir sonucu olduğu söylenebilir. GSYH artışının bir sonucu olarak planda yer alan yıllar için CO₂ emisyonlarında 2017 yılına göre ortalama %152,3 artış beklenmektedir.

Toplam CO₂ emisyonları içindeki sektörlerin payı incelendiğinde ilk iki sektör %40,0 ile elektrik-gaz ve %39,3

ile imalat olarak belirlenmiştir. Buradan Türkiye'nin enerji üretimi ve tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının toplamın yaklaşık %80'ine tekabül ettiği söylenebilir. Ayrıca toplamdaki payı %14,8 ile üçüncü olan ulaştırma-depolama sektörü imalat sektörü ile doğrudan bağlantılıdır. Elde edilen sonuçlardan görülebildiği gibi enerji konusunda yapılacak olacak yeşil enerji yatırımları diğer sektörler nazaran daha yüksek oranlarda CO₂ emisyonlarının düşmesine sebep olacaktır.

Kalkınma planı çerçevesinde en fazla oranda emisyon artışı gerçekleşen sektörler %264,2 ile ulaştırma-depolama, %236,2 ile konaklama-yiyecek ve %206,0 ile toptan-perakende şeklindedir. Ulaştırma-depolama sektörü hem toplam içindeki payı hem de artış oranı dikkate alındığında kritik sektör olarak değerlendirilebilir. Bu sektörde CO₂

Tablo 8

Hedef Programlama Katsayıları ve Talepler

Sektör Kodu	g_j	l_j	k_j	Enerji(petrol) Katsayı	Y_j (Tl)
X1	0,0999	0,0559	0,0002	0,0117	2.359.412
X2	0,5167	0,0813	0,0002	0,0256	601.155.446
X3	0,8082	0,0365	0,0001	0,2945	32.623.943
X4	0,3323	0,1125	0,2666	0,0139	16.505.595
X5	0,6023	0,1057	0,0000	0,0037	121.875.247
X6	0,3617	0,2137	0,0004	0,0045	273.577.180
X7	0,4752	0,1125	0,0001	0,0329	173.949.923
X8	0,4658	0,2559	0,0024	0,0065	116.030.203
X9	0,3593	0,1689	0,0460	0,0024	49.142.417
X10	0,3431	0,2255	0,0001	0,0016	52.164.072
X11	0,1706	0,0180	0,0000	0,0022	210.191.734
X12	0,3614	0,2449	0,1468	0,0010	10.470.948
X13	0,3343	0,3332	0,0033	0,0009	41.268.836
X14	0,1482	0,6290	1,4034	0,0014	124.025.917
X15	0,4022	0,4338	1,0677	0,0027	111.162.963
X16	0,3868	0,1931	0,3219	0,0012	33.297.012
X17	0,4690	0,2518	0,2416	0,0005	45.063.370

emisyonlarının azaltılması için elektrik, güneş enerjisi gibi alternatif kaynakların kullanım yoğunluğunun artırılması etkili olacaktır. Diğer artış oranları incelendiğinde konaklama-yiyecek ve toptan-perakende sektörleri için nüfus artışından doğrudan etkilenen sektörler olduğu görülebilir. Bu konuda ev ve işyerlerinin güneş enerjisi panelleri yardımıyla ısı ve ışık elde edilmesi, geri dönüşüm alt yapısının güçlendirilmesi ve ambalajlama faaliyetlerindeki teknolojilerin geliştirilmesi CO₂ emisyonlarının azaltılmasında etkili olabilir.

11. Kalkınma Planı çerçevesinde karbon salımı konusunda hedefleri olduğu görülmüştür. Plana göre 2018-2023 yılları arasında kümülatif olarak CO₂ salımında 18 milyon ton azalma beklenmektedir. Ancak hesaplanan toplam karbon salımı dikkate alındığında bu hedef toplam karbon salımının %0,70'ine tekabül etmektedir. Var olan enerji kullanım alanları ve potansiyellerinin değerlendirilerek bu oranın daha da artmasının sağlanması gerekmektedir.

Türkiye için sera gazları emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir bir dünya adına yeraltı kaynaklarımızdan olan toryum, uranyum, bitümlü şistler, asfaltit, ham petrol, doğal gaz, taş kömür ve linyit gibi fosil yakıt rezervleri ile biyokütle, jeotermal, hidrolik, rüzgâr, güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynak potansiyellerini kullanılmalıdır (Deveci, 2019:202). Ayrıca Türkiye'nin sahip olduğu

Tablo 9
Hedef Yılları için Petrol Kullanım Değerleri (Ton)

Sektör Kodu	Yıllar			
	2017	2021	2022	2023
X1	1.436.460	1.508.283	1.381.443	1.651.929
X2	45.263.232	107.276.238	101.971.795	109.695.082
X3	42.874.298	106.209.371	108.153.139	109.958.345
X4	683.088	717.242	1.656.867	785.551
X5	1.828.572	1.920.001	4.915.016	2.102.858
X6	1.967.524	7.624.969	2.559.159	7.880.336
X7	10.994.031	42.762.691	33.677.674	43.682.013
X8	741.485	850.845	3.707.426	2.920.936
X9	217.337	228.204	260.352	256.080
X10	188.623	198.054	188.531	595.302
X11	432.969	818.324	493.517	497.914
X12	88.840	99.611	176.360	171.631
X13	94.096	109.237	337.926	327.079
X14	148.930	156.376	162.741	171.269
X15	247.985	260.384	238.303	285.183
X16	39.438	41.410	40.088	45.354
X17	18.485	19.409	18.686	21.257
Toplam	107.265.393	270.800.650	259.939.024	281.048.119

biyoetanol tesislerinden maksimum miktarda faydalanarak enerji ihtiyacını sağlamak için, biyoetanol hammaddesi üreticilerine destek olunması ve tarımsal atıklardan biyoetanol üretimi konusunda çiftçilere kolaylıklar sağlanması gerekmektedir (Ünlü, 2019:37). Sera gazı emisyonlarının azaltılması adına önerilen diğer bir yöntem Perese (2010), Zahra, Seyedve Bahaeddin (2019) çalışmalarında yer alan karbon emisyonlarının vergilendirilmesi sonucu oluşan olumlu etkilerdir.

Tablo 10
Hedef Yılları için CO₂ Salım Değerleri (Ton)

Sektör Kodu	Yıllar			
	2017	2021	2022	2023
X1	4.527.578	4.753.957	4.354.171	5.206.715
X2	142.665.181	338.123.938	321.404.869	345.747.892
X3	135.135.501	334.761.283	340.887.845	346.577.671
X4	2.153.024	2.260.675	5.222.279	2.475.977
X5	5.763.478	6.051.651	15.491.637	6.627.999
X6	6.201.438	24.033.137	8.066.214	24.838.028
X7	34.652.085	134.783.711	106.148.651	137.681.324
X8	2.337.087	2.681.778	11.685.435	9.206.497
X9	685.024	719.275	820.604	807.138
X10	594.522	624.248	594.231	1.876.331
X11	1.364.674	2.579.274	1.555.517	1.569.375
X12	280.014	313.965	555.867	540.963
X13	296.581	344.305	1.065.109	1.030.920
X14	469.412	492.883	512.943	539.824
X15	781.624	820.705	751.106	898.868
X16	124.306	130.521	126.355	142.952
X17	58.262	61.175	58.895	67.001
Toplam	338.089.791	853.536.481	819.301.726	885.835.473

Günümüzde meydana gelen Covid-19 salgının ekonomik etkisinden dolayı CO₂ emisyonlarının yeniden toparlanma olana kadar Dünya’da ve Türkiye’de düşmesi beklenmektedir. Bu süre zarfında özellikle yeşil enerji olarak bilinen ve karbon salımın olmadığı enerji türlerinin yaygınlaştırılarak artması sağlanabilir. Ayrıca kalkınma planlarında sera gazı emisyonları konusunda ekonomik hedeflerin yanında çevresel hedeflerinde daha belirgin ifade edilmesi toplumsal alanda farkındalık yaratmada etkili olacaktır.

Kaynakça

- Alcántara, V., & Padilla, E. (2006). “An Input-Output Analysis of The " Key" Sectorsin CO₂ Emissions Froma Production Perspective: An Application to The Spanish Economy.”
- Arı, A , Zeren, F . (2011). “CO₂ Emisyonu ve Ekonomik Büyüme: Panel Veri Analizi”, Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18 (2), 37-47.
- Aydoğuş, Osman. (2010). “Girdi-Çıktı Modellerine Giriş”, Efil Yayınevi, Ankara.
- Banerjee, S. (2020). Carbon Emissions Embodied in India–United Kingdom Trade: A Case Study on North–South Debate. *Foreign Trade Review*, 55(2),199–215. <https://doi.org/10.1177/0015732519894149>
- Bekiroğlu, O. (2014). “Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi”, II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi.
- Çemrek, F, Şentürk, S, Terlemez, L. (2010). “Bulanık Kümeleme Analizi ile OECD Ülkelerinin CO₂ Emisyonları Bakımından İncelenmesi. *PhysicalSciences*,5 (3), 52-69. Retrievedfrom<https://dergipark.org.tr/tr/pub/nwsaphysic/issue/20033/213536>
- Deveci, E. (2019). “Termik Santrallerin MRV Sistemi Sera Gazı Emisyon Hesabı ve Emisyonların İyileştirilmesi”. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22 (4) , 199-214. DOI: 10.17780/kusjyes.645575
- Dogan, I., & Topalli, N. (2016). “Milli Gelir, Karbon Emisyonu ve Enerji Tüketimi: Türkiye için Dogrusal ve Dogrusal Olmayan Nedensellik Analizi”, *Business and Economics Research Journal*, 7(1), 107.
- Dong, J., He, J., Li, X., Mou, X., & Dong, Z. (2020). TheEffect of Industrial Structure Change on Carbon Dioxide Emissions: A Cross-Country Panel Analysis, *Journal of Systems Science and Information*, 8(1), 1-16. doi: <https://doi.org/10.21078/JSSI-2020-001-16>
- EPA (2018). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissionsand Sinks: 1990-2016. Annex 2 (Methodology for estimating CO₂ emissions from fossil fuel combustion), Table A-41 and Table A-50. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. U.S. EPA #430-R-18-003 (PDF) (101 pp, 3 MB, About PDF) (Erişim: 22/11/2019)
- IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2 (Energy). Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland. (Erişim: 22/11/2019)
- Jirajariyavech, I., Kunnoot, S., & Iemthanon, K. (2020). Accounting for External Costs in the Allocation of Carbon Emissions Quotas for Selected Industries in Thailand. *Environment Asia*, 13(1).
- Kalkınma Bakanlığı, (Temmuz, 2019). Türkiye Cumhuriyeti Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2019). “On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)”. (Erişim: 02/12/2019)
- Kang, J., Ng, T. S., & Su, B. (2020). “Optimizing electricity mix for CO₂ emissions reduction: A robust input-output linear programming model”. *European Journal of Operational Research*.
- Kuşkaya, S., & Gençoğlu, P. (2017). “OECD Ülkelerinin 1995-2015 Yılları İtibariyle Sera Gazı Salımları Açısından Karşılaştırılması: İstatistiksel Bir Analiz”, *International Journal of Disciplines Economics & Administrative Sciences Studies*, 3(3), 177-188.
- Leontief, Wassily (2008). “Input-output analysis”, Palgra ve Macmillan UK, 3073-3078.
- Lecomber, J. R. C. (1975) A critique of methods of adjusting updating and projecting matrices, in:R. I. G. Allen& W. F. Gosling (eds) *Estimating and Projecting Input–Output Coefficients* (London, Input–Output Publishing Company), pp. 43–56.
- Mi, Z. F., Pan, S. Y., Yu, H., & Wei, Y. M. (2015). Potential impacts of industrial structure on energy consumption and CO₂emission: a case study of Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 103, 455-462.
- Morán, M. A. T., & del RíoGonzález, P. (2007). A combined input–output and sensitivity analysis approach to analyse sector linkage sand CO₂ emissions. *Energy Economics*, 29(3), 578-597.
- Munasinghe, M. (2001), “Towards Sustainomics”, *The Sustainability of Long Term Growth*, Eds. Mohan Munasinghe, Osvaldo Sunkel, Carlos de Miguel, Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA, 43-44.

Özdemir, B. K., & Koç K. (2020).“Türkiye’de Karbon Emisyonları, Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme”. Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, 11(1), 66-86.

Özkan, M. M. (2003). “Bulanık Hedef Programlama”, Bursa: Ekin Kitabevi.

Özmen, M. T. (2009). “Sera Gazı-Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü”. İMO Dergisi, 453(1), 42-46.

Özsoy, C. E. (2015). Düşük karbon ekonomisi ve Türkiye’nin karbon ayak izi. Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi, 4(9), 198-215.

Pakdemirli, B. (2020). CO₂ Emisyon Değerlerinin Tarım Üzerindeki Etkileri: Türkiye Örneği. Derim, 33-43. DOI: 10.16882/derim.2020.700482

Perese, K. (2010). Input-Output model analysis: Pricing carbondioxide emissions. Tax Analysis Division, Congressional Budget Office Working Paper Series, Washington, DC.

Sel, A. (2019). “Bulanık Girdi Çıktı Analizi ile Doğrusal ve Hedef Programlama: Türkiye Örneği”, Doktora Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Sel, A. (2019).“Girdi Çıktı Analizi ile Bulanık Hedef Programlama: Sektörel Üretim ve Elektrik Tüketim Değerleri Projeksiyonu”, *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 267-284.

Tay Bayramoğlu, A, Koç Yurtkur, A . (2016). “Türkiye’de Karbon Emisyonu ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Doğrusal Olmayan Eşbütünlüşme Analizi”, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 16 (4), 31-46. DOI: 10.11616/basbed.vi.455402

Trinh, B., and Phong, N. V.(2013).“A Short Note on RAS Method”, *Advances in Management and Applied Economics*, 3(4), 133.

Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2018). “Türkiye’nin YedinciUlusalBildirimini”.

(<https://www.undp.org/content/dam/turkey/UNDP-TR-7NC-TUR-2019.pdf>) (Erişim: 28/05/2020)

Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı, (2020). “İklim Değişikliğiyle Mücadelenin Önemi”. (mfa.gov.tr) (Erişim: 20/11/2019)

Türkiye İstatistik Kurumu,(2019).“Sera Gazı Emisyon Bülteni”,(www.tuik.gov.tr) (Erişim: 05/12/2019)

Türkiye İstatistik Kurumu, (2019).Ulusal Hesaplar, “Girdi Çıktı Tabloları”.(www.tuik.gov.tr) (Erişim: 03/12/2019)

Türkiye İstatistik Kurumu, (2019). Yıllık Hesaplar, “Yıllık Gayrisafi Yurt İçi Hasıla”.(www.tuik.gov.tr) (Erişim: 02/12/2019)

ÜnlüD. (2019). “Fosil Yakıtlara Çevre DostuYenilenebilir Bir Alternatif: Biyoyakıtlar”. Uluslararası Enerji Ekonomi ve Güvenlik Kongresi, Tam Metin Bildiriler Kitabı, 30-39.

Xu, M., Li, R., Crittenden, J. C., &Chen, Y. (2011). CO₂EmissionsEmbodiedin China's Exports From2002 to 2008: A Structural Decomposition Analysis. *EnergyPolicy*, 39(11), 7381-7388.

Zahra, Z. G., Seyed Nematollah, M., & Bahaeddin, N. (2019). Economic evaluation of the effects of exerting green tax on the dispersion of bioenvironmental pollutants based on multi-regional general equilibrium model (GTAP-E). *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-12.