



TR51 Bölgesi (Ankara)'nın Buğday, Patates ve Şeker Pancarı Üretimlerindeki Yakıt Kullanımına Yönelik Karbondioksit Emisyonlarının Tespiti ve Gelecek Projeksiyon Tahminleri

Determination of Carbon Dioxide Emissions From Fuel Use in Wheat, Potato, and Sugar Beet Production in TR51 Region (Ankara) and Future Projection Estimates

Ebubekir ALTUNTAŞ¹

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat
· ebubekir.altuntas@gop.edu.tr · ORCID > 0000-0003-3835-1538

Makale Bilgisi/Article Information

Makale Türü/Article Types: Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi/Received: 07 Ağustos/August 2025

Kabul Tarihi/Accepted: 16 Ekim/October 2025

Yıl/Year: 2026 | **Cilt-Volume:** 41 | **Sayfa/Pages:** 207-226

Atrf/Cite as: Altuntaş, E. "TR51 Bölgesi (Ankara)'nın Buğday, Patates ve Şeker Pancarı Üretimlerindeki Yakıt Kullanımına Yönelik Karbondioksit Emisyonlarının Tespiti ve Gelecek Projeksiyon Tahminleri "
Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 41, Ocak 2026: 207-226.

TR51 BÖLGESİ (ANKARA)'NİN BUĞDAY, PATATES VE ŞEKER PANCARI ÜRETİMLERİNDEKİ YAKIT KULLANIMINA YÖNELİK KARBONDİOKSİT EMİSYONLARININ TESPİTİ VE GELECEK PROJEKSİYON TAHMİNLERİ

ÖZ

Bu çalışmada, TR51 İstatistik Bölge sınıflamasına giren Ankara İli'nin 10 yıllık (2015-2024) süreçteki buğday, patates ve şeker pancarı üretimlerindeki yakıt kullanımlı CO₂ emisyonunun tespiti amaçlanmıştır ve 2025-2034 yıllarına yönelik projeksiyon tahminlemesi yapılmıştır. 2015-2024 yıllarındaki TR51 Bölgesindeki buğday, patates ve şeker pancarı üretimlerinin yakıt kullanımına yönelik toplam karbondioksit emisyon (TopCO₂E) değerleri ortalamaları sırasıyla 66.725 kt CO₂, 0.105 kt CO₂ ve 4.233 kt CO₂ olarak; özgül yakıt tüketimi (ÖzYAK) değerleri sırasıyla 19.533 g_{yakıt} kg_{buğday}⁻¹, 1.109 g_{yakıt} kg_{şeker pancarı}⁻¹, ve 1.734 g_{yakıt} kg_{patates}⁻¹ ve özgül karbondioksit emisyon (ÖzCO₂E) değerleri ise sırasıyla 66.78 gCO₂ kg_{buğday}⁻¹, 3.793 gCO₂ kg_{şeker pancarı}⁻¹ ve 5.927 g CO₂ kg_{patates}⁻¹ olarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalarda, prejeksiyon katsayılarına göre TR51 Bölgesinde 2025-2034 yıllarındaki buğday, patates ve şeker pancarı üretimlerinde TopCO₂E değerlerinde bir artış eğiliminin olacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: TR51, Ankara, Buğday, Patates, Şekerpancarı, Toplam Karbondioksit Emisyonu, Özgül Yakıt Tüketimi, Projeksiyon.



DETERMINATION OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM FUEL USE IN WHEAT, POTATO, AND SUGAR BEET PRODUCTION IN TR51 REGION (ANKARA) AND FUTURE PROJECTION ESTIMATES

ABSTRACT

This study aims to determine the fuel-related CO₂ emissions from wheat, potato, and sugar beet production in Ankara province, which falls under the TR51 Statistical Region classification, over a 10-year period (2015-2024), and to make projections for the years 2025-2034. The average total carbon dioxide emissions (TopCO₂E) values for wheat, potato, and sugar beet production in the TR51 Region between 2015 and 2024 were 66.725 ktCO₂, 0.105 ktCO₂, and 4.233 ktCO₂, respectively; the specific fuel consumption (ÖzYAK) values were 19.533 g_{fuel} kg_{wheat}⁻¹, 1.109 g_{fuel} kg_{sugar beet}⁻¹, and 1.734 g_{fuel} kg_{potato}⁻¹, and the specific carbon dioxide

emissions (ÖzCO₂E) values were determined to be 66.78 gCO₂ kg_{wheat}⁻¹, 3.793 gCO₂ kg_{sugar beet}⁻¹, and 5.927 gCO₂ kg_{potato}⁻¹, respectively. According to the calculations, an increase in TopCO₂E, values is expected in the TR51 Region for wheat, potato and sugar beet production between 2025 and 2034.

Keywords: TR51 (Ankara), Wheat, Potato, Sugar Beet, Total Carbon Dioxide Emissions, Specific Fuel Consumption, Projection.



1. GİRİŞ

Buğday, stratejik bir ürün olarak Türkiye’de en çok tüketilen gıda maddelerinden olan ekmeğin de ham maddesi olmasıyla büyük bir öneme sahiptir. TÜİK 2021 yılı verilerine göre yapılan hesaplamalarda, Toprak Mahsulleri Ofisi verilerine göre, Türkiye’de birey başına ekmek tüketimi 121 kg yıl⁻¹ iken, Türkiye Ziraat Odaları Birliği verilerine göre 140 kg yıl⁻¹ olarak verilmektedir. 2000 yılı sonrasında buğday üretiminde girdi fiyatlarının sürekli artması, başta kredi, yakıt, gübre ve tohum girdi desteklerinin çok düşük olması buna karşın piyasadaki ürün fiyatlarının istendiği düzeyde artmaması ve Toprak Mahsulleri Ofisi’nin destekleme alımını yapmaması nedeniyle buğday üretiminde ekim alanlarında azalmalar olmuştur. Bunun sonucunda, Türkiye’de rantabl olarak 8 milyon ha civarında buğday tarımı yapılabilir alan olmasına rağmen, üretim 2015-2024 yılları arasında 7 150 536 ha civarında kalmıştır. Bu açıdan bakıldığında Türkiye’de asgari 1 milyon ha buğday ekilebilecek alan boş bırakılmakta, bu alandan yılda en az 3 milyon tona yakın üretimde bir kayıp söz konusudur (TKV, 2022). TÜİK verilerine göre Türkiye’de 2024 yılında buğday toplam üretim alanı 7 023 808 ha ve 20 800 000 ton üretim söz konusu iken, buğday verimi 2024 yılında 248.5 kg da⁻¹ ile dünya verim ortalamasının (347 kg da⁻¹) altında kalmıştır. 2023/24 üretim sezonunda dünya buğday üretiminin yaklaşık %80’ini; Çin, AB, Hindistan, Kuzeybatı Asya, Rusya ve ABD karşılamaktadır. Türkiye, 2021 yılında, Dünya buğday üretiminin yaklaşık %2.2’sini, dünya buğday ekim alanının ise %3.1’ini oluşturmuştur (Anonim, 2024, TÜİK, 2025).

Şeker pancarı da önemli stratejik bir endüstri bitkisi olup, üretimiyle Türkiye tarımı ve ekonomisine önemli katkılar sağlamaktadır. Dünyada genelde şeker üretim ve tüketim miktarı birbirine yakın olup, 2023/24 üretim sezonunda şeker üretimi 187.8 milyon ton iken tüketim ise 180 milyon olarak gerçekleşmiştir. FAO, 2021 verilerine göre, Dünyada şeker pancarı üretimi 52 ülkede 4.6 milyon hektar alanda yapılmaktadır. Dünyada en fazla şeker pancarı ekim alanına sahip olan ülke Rusya %21.5 oranıyla ilk sırada yer alırken, Türkiye %6.2 oranla beşinci sırada bulunmaktadır. FAO 2021 yılı verilerine göre, şeker pancarı veriminde Dünya ortalaması 60.1 ton ha⁻¹ olup, Fransa 85.5 ton ha⁻¹ ile ilk sırayı alırken, Türkiye ise

63.2 ton ha⁻¹ ile dördüncü sırayı almıştır (Anonim, 2023). Türkiye, şeker pancarı üretiminde 2024 yılı verilerine göre 317 186 ha ekim alanına, 20 055 195 ton üretim miktarına ve 63.29 ton ha⁻¹ verim potansiyeline sahiptir (TÜİK, 2025).

Patates, Dünya'da buğday, mısır, çeltik üretiminden sonra dördüncü sırada yer alan önemli bir endüstri bitkisidir. Patates, Dünya'da farklı iklim koşullarında üretilmekte ve farklı kullanım alanlarına sahip bir bitkidir. 2024 yılı TÜİK verilerine göre, patates Türkiye genelinde 195 767.2 ha dikim alanında 6 900 000 ton üretime ve 35.25 ton ha⁻¹ verim potansiyeline sahiptir (TÜİK, 2025).

TR51 (Ankara alt bölgesi), Türkiye İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması içinde 26 istatistiki alt bölgeden birisidir. TR51 Bölgesi 25 706 km² yüz ölçüme, 200 kişi m⁻² yoğunluğa ve 5 045 083 nüfusa sahiptir (Anonim, 2025b) (Şekil 1).



Şekil 1. TR51 Ankara alt bölgesi (Anonim, 2025b).

Figure 1. TR51 Ankara sub-region (Anonymous, 2025b).

TR51 Bölgesinde 2024 yılı verilerine göre buğday, patates ve şeker pancarı üretim alanları sırasıyla 415 936.5 ha, 1632.5 ha ve 11 470.4 ha olmak üzere toplamda 429 039.4 ha olup, üretim miktarı açısından buğday, patates ve şeker pancarı üretim miktarları ise sırasıyla 1 033 530 ton, 60 982 ton ve 787 448 ton olarak toplamda 1 881 960 ton değerine sahiptir. TR51 Bölgesinde buğday, patates ve şeker pancarı verim değerleri sırasıyla 2.49 ton ha⁻¹, 37.355 ton ha⁻¹ ve 68.65 ton ha⁻¹ olarak görülmektedir (TÜİK, 2025). TR51 Bölgesinde 2015-2024 yılları arasında buğday üretimi için ekim alanı, üretim miktarı ve verim değerleri, Çizelge 1'de verilmiştir (TÜİK, 2025).

Çizelge 1. TR51 Bölgesinin buğday ekim alanı, üretim miktarı ve verim değerleri (TÜİK, 2025).

Table 1. Wheat cultivated area, production, and yield values of TR51 Region (TÜİK, 2025).

Yıllar	Ekili Alan (ha)	Üretim Miktarı (ton)	Verim (ton ha ⁻¹)
2015	456803.8	1150555	2.519
2016	459611.8	1205676	2.623
2017	467988.1	1090500	2.330
2018	464015.0	1093264	2.356
2019	416535.8	1053032	2.528
2020	361168.0	974528	2.698
2021	370424.7	609592	1.646
2022	366716.7	896418	2.444
2023	375826.4	1101654	2.931
2024	415936.5	1033530	2.485
Ortalama	415502.7	1020875	2.456

TR51 Bölgesi (Ankara ili)'nde 2015-2024 yılları arasında buğday ekim alanlarda %9.04 ve üretim miktarlarında %11.27 ve verim değerlerinde %2.50'lik bir azalış kaydedilmiştir. Türkiye geneli için 2024 yılı verilerine göre buğday ekim alanları, üretim miktarı ve verim değerleri sırasıyla 7 023 808 ha, 20 800 000 ton ve 2.961 ton ha⁻¹'dir. 2024 yılı verilerine göre TR51 Bölgesi buğday ekim alanları, Türkiye geneline göre %5.92 oranına ve üretim miktarı ise %4.97 oranına sahiptir (TÜİK, 2025) (Çizelge 1).

TR51 Bölgesi için 2015-2024 yılları arasında patates üretiminde dikim alanı, üretim miktarı ve verim değerleri de Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, TR51 Bölgesinde 2015-2024 yılları arasında patates dikim alanlarda %888.79 ve üretim miktarlarında %950.87 ve verim değerlerinde %6.28'lik bir artış kaydedilmiştir. Türkiye geneli için 2024 yılı verilerine göre patates dikim alanları, üretim miktarı ve verim değerleri sırasıyla 195 767.2 ha, 6 900 000 ton ve 35.246 ton ha⁻¹'dir. Türkiye geneline göre, 2024 yılı için TR51 Bölgesi patates dikim alanlarının %0.83 oranına ve üretim miktarı olarak %0.88 oranına sahip olduğu belirlenmiştir (TÜİK, 2025).

Çizelge 2. TR51 Bölgesinin patates dikim alanı, üretim miktarı ve verim değerleri (TÜİK, 2025).

Table 2. Potato planting area, production, and yield values of TR51 Region (TÜİK, 2025).

Yıllar	Dikim Alanı (ha)	Üretim Miktarı (ton)	Verim (ton ha ⁻¹)
2015	165.1	5803	35.148
2016	231.0	8012	34.684
2017	501.7	18595	37.064
2018	360.5	11755	32.607
2019	549.7	19155	34.846
2020	669.2	23803	35.569
2021	983.8	34573	35.142
2022	1176.5	43653	37.104
2023	1463.8	55421	37.861
2024	1632.5	60982	37.355
Ortalama	773.38	28175.2	35.738

TR51 Bölgesinde 2015-2024 yılları arasında şeker pancarı üretiminde üretim alanı, üretim miktarı ve verim değerleri, Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde, 2015-2024 yılları arasında şekerpancarı ekim alanlarda %23.01 ve üretim miktarlarında %41.78 ve verim değerlerinde %15.28'lik bir artış kaydedilmiştir. Türkiye'de 2024 yılı verilerine göre şeker pancarı ekim alanları 324 665.1 ha olup, hasat edilen alan 324 286.4 ha, üretilen ürün miktarı 23 000 000 ton ve verim ise 70.92 ton ha⁻¹ olarak belirlenmiştir. Buna göre, TR51 Bölgesinde şekerpancarı ekim alanı, Türkiye şeker pancarı alanlarının %3.53'ünü ve üretim miktarının %3.42'sini kapsamaktadır.

Çizelge 3. TR51 Bölgesinin şekerpancarı ekim alanı, üretim miktarı ve verim değerleri (TÜİK, 2025).

Table 3. Sugar beet cultivated area, production, and yield values of the TR51 Region (TÜİK, 2025).

Yıllar	Ekili Alan (ha)	Üretim miktarı (ton)	Verim (ton ha ⁻¹)
2015	9326.5	555404	59.55
2016	10556.5	684210	64.81
2017	10450.9	656905	62.86
2018	9972.8	629101	63.08
2019	11567.0	717886	62.06
2020	13371.5	859161	64.25
2021	11473.6	667896	58.21
2022	11960.5	716302	59.89
2023	14571.0	881915	60.53
2024	11470.4	787448	68.65
Ortalama	11472.07	715622.8	62.39

Tarımsal üretimde yapılan uygulamalardaki (toprak işleme, ekim-dikim-bakım, sulama, ilaçlama, hasat ve hasat sonrası işlemler) yakıt kaynaklı oluşan karbondioksit emisyonları da iklim değişikliğine neden olabilmektedir (Lal, 2004). Tarım sektöründeki teknolojik gelişmelere bağlı olarak hem karlılık hem verimlilik esas alındığı için bu amaçla daha güçlü traktörler ve değişik büyüklüklerdeki tarım makinaları kullanımları artmaya başlamıştır. Üretim içinde kullanılan farklı ve yeni teknolojik makinalar nedeniyle yakıt ve motor yağı tüketimi kaynaklı olarak egzoz emisyonlarında da nispi artışlar görülmekte ve dolayısıyla tarımsal üretimler bir taraftan iklimsel değişikliklere neden olurken, bir taraftan da iklimsel değişikliklerden önemli düzeyde etkilenmektedir (Vatansever Deviren ve Çelik, 2017; Küsek, 2018).

İklim değişikliği nedeniyle yağış rejimlerinde değişiklikler, sıcaklıklarda artışlar, kuraklık, çölleşme ve doğal afetler ve oluşabilecek olumsuz etkilerle; tarım sektörü, ekosistem ve ekonomi üçlüsü önemli düzeyde tehdit altındadır (Hayaloğlu, 2018). Dünya genelinde ve Türkiye’de küresel ısınma ve iklim değişikliği en önemli bir sorun olarak karşımızdadır ve etkileri her geçen gün, yıl artmakta hem Türkiye geneli hem bölgeler ve iller bazında bu etkiler farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle çok ciddi önlemler almak ve bu amaçla karbondioksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik yatırım planlamaları yapılması gereklidir (Aydın, 2023). IPCC (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli) 2013 yılı raporunda, Türkiye için gelecek yıllarda daha sıcak, kurak ve yağışların düzensizliğinin en fazla belirgin bir ülke olacağı vurgulanmıştır. Aydın ve Aktuz (2023), Türkiye’nin tarımsal

ekosisteminin önemli düzeyde iklim değişikliğinden etkilenmesi nedeniyle, çok ciddi adımlar atılmasının gerekliliğini vurgulamıştır.

Tarımsal üretimlerdeki karbondioksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik yapılması planlanan çalışmaların; Türkiye genelinde, bölgesel bazda ve daha küçük ölçekte il bazında yapılması, uygulanacak hesaplama yöntemlerinin IPCC'ye özgü yapılması gerekmektedir. IPCC, Dünya'nın iklim sistemindeki geldiği durumla alakalı olarak değerlendirme raporlarını sunmakta, bu raporları her 5 ve 7 yıl aralığında bir olmak üzere hazırlamaktadır. Bu raporların ilkinin 1990, ikincisini 1995, üçüncüsünü 2001, dördüncüsünü 2007 ve beşincisini de 2013-2014 yıllarında yayınlamıştır (Anonim, 2025a). IPCC, 2018 yılında '*İklim Değişikliği ve Arazi*' ile '*Değişen İklimde Okyanuslar ve Kriyosfer*' Özel Raporu'nu hazırlamıştır. Bu raporlar ışığında, karbon dioksit emisyonların hızlıca azaltılmasıyla, Dünyada ve Türkiye'de dahil olmak üzere iklim değişikliğinin sebep olacağı tüm bu risklerin azaltılması ve Türkiye'de dahil olmak üzere oluşabilecek gecikmelerin sebep olacağı bedellerden kaçınmanın mümkün olamayacağı vurgulanmıştır.

Öztürk (2017), sürdürülebilir tarım için kullanılacak enerjilerin tüm üretim periyotlarında daha etkin kullanılması, yakıt tüketiminin azaltılması, karbondioksit emisyonlarının azaltılması ve daha etkili tarımsal üretim sistemlerinin geliştirilmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Gözübüyük ve ark. (2012), tarımsal üretimde enerji kullanım etkinliğinin artırılabilmesinin üretimde kullanılan traktör ve tarım makinalarının tüketmiş olduğu yakıt-yağ ile birlikte üretimde pestisit ve gübre girdilerinin de azaltılmasının gerekliliğini vurgulamaktadırlar. Öztürk ve Vulkan (2017), karbondioksit emisyonlarının azaltılması için traktör ile tarım makinaları güç dengesinin kurulması ve motorların aşırı yüklenmemesi gerekliliğini açıklamıştır. Goİasa ve ark. (2021), Dünya ölçeğinde emisyonların azaltılmasına yönelik olarak ülke bazlı, bölgesel ve en küçük ölçekte il bazlı emisyon çalışmalarının yapılması ve bu çalışmaların artırılmasının gerekliliğinin büyük önem arz ettiğini açıklamışlardır. Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonlarının 523.9 MtCO₂ eşdeğerinde olduğu, tarım sektörü için de sera gazı emisyonlarının 2020 yılı için 73.2 MtCO₂ eşdeğerinde olduğu belirlenmiştir (TÜİK, 2020).

Türkiye'de farklı ürünlerin üretimleri için yakıt kaynaklı karbondioksit emisyonlarının hesaplanmasına yönelik birçok il, bölge ve Türkiye ölçeğinde çalışmalar yapılsa da çalışmaların hala sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar arasında; Baran ve Gokdogan (2016), Kırklareli ili şeker pancarı üretimi; Öztürk ve Vulkan (2017), Türkiye genelinde buğday ve mısır üretimi; Öztürk ve ark. (2017), Türkiye genelinde pamuk üretimi; Küsek (2018), Güneydoğu Anadolu Bölgesinde mercimek üretimi için; Bilgili ve ark. (2018), Doğu Akdeniz Bölgesinde zeytin üretimi, Eren ve ark. (2019), Türkiye genelinde arpa, nohut, mısır, pamuk, mercimek, acı bakla, pirinç, şeker pancarı, ayçiçeği, fiğ ve buğday üretimleri ve Kuzu ve ark.

(2024), Doğu Akdeniz Bölgesinde buğday ve mısır üretimi için yakıt kullanımına yönelik karbondioksit emisyonlarını incelemişlerdir.

Altuntaş (2024a), TR83 Bölgesinde çeltik üretimi, Altuntaş (2024b), TR71 Bölgesinde patates üretimi, Altuntaş ve Özgöz (2024), İç Anadolu Bölgesi-Sivas İli için buğday üretimi, Altuntaş (2024c), TR62 Bölgesi buğday ve mısır üretimleri için yakıt kullanımına yönelik karbondioksit emisyonlarını incelemişler ve gelecek yıllar için projeksiyon tahminlemesini yapmışlardır. Türkiye'deki daha farklı il, bölge ve ülke genelini kapsayacak farklı ürünlerin tarımsal üretim sistemlerinin irdelenmesi ve yakıtı dayalı karbondioksit emisyonlarının belirlenmesiyle bu yönde alınabilecek adımlar, çevreyi korumanın ve sürdürülebilir tarım yöntemlerinin algısının yaygınlaştırılması ve çiftçiye benimsetilmesi, bu yönde oluşturulacak üretim planlamalarının da ele alınmasını mümkün kılacaktır. Bu amaçla bu çalışmada, TR51 Bölgesi (Ankara) için önemli stratejik tarım ürünler olan buğday, patates ve şeker pancarı üretimlerindeki yakıt kullanımına yönelik karbondioksit emisyonları tespit edilme ve gelecek yıllara yönelik projeksiyon tahminleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Türkiye'nin buğday, patates ve şekerpancarı üretimlerinde yakıt kaynaklı CO₂ emisyonlarında hesaplamalarında toplam yakıt tüketim değerleri için referans değerler olarak sırasıyla Altuntaş ve Özgöz (2024); Altuntaş (2024b) ve Baran ve Gokdogan (2016)'ın açıkladığı değerler dikkate alınmıştır. Buna göre buğday, patates ve şekerpancarı üretimleri için birim alanda tüketilen yakıt değerleri sırasıyla 55.92 l ha⁻¹, 47.11 l ha⁻¹ ve 128.50 l ha⁻¹ hesaplamalarda kullanılmıştır. TR51 Bölgesinde buğday, patates ve şekerpancarı üretimleri için yağ tüketimi değerleri ise her bir üretimdeki toplam yakıt tüketiminin %4.5'i (Özcan, 1986; AlpKent, 1984) olacak şekilde hesaplamaya dahil edilmiş, buna göre buğday, patates ve şeker pancarı üretimleri için tüketilen toplam yağ miktarı ise sırasıyla 2.52 l ha⁻¹; 2.12 l ha⁻¹ ve 5.78 l ha⁻¹ olarak belirlenmiştir (Özgöz ve ark., 2017). TR51 Bölgesi için buğday, patates ve şekerpancarı üretimlerinde kullanılan yakıt ve yağın ısı değerleri ile CO₂ emisyon faktörleri, Çizelge 4'te verilmiştir (Öztürk ve ark., 2017; Bilgili ve Aybek, 2018; Küsek, 2018; Altuntaş, 2024a, Altuntaş, 2024b). TR51 Bölgesindeki buğday, patates ve şeker pancarı üretimleri için yakıtı dayalı CO₂ emisyonlarını hesaplariken, Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC, 1996)'inde açıklanan yakıt ve yağ kaynaklı toplam CO₂ emisyonu hesaplamaları göz önüne alınmış ve aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (IPCC, 1996; Öztürk ve ark., 2017; Bilgili ve Aybek, 2018; Küsek, 2018).

$$\text{TopCO}_2\text{E} = \text{YakCOE} + \text{YağCOE} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{YakCOE} = \text{TopDiz} \times \text{YakA} \times \text{YakEF} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{YağCOE} = \text{TopYağ} \times \text{YağA} \times \text{YağEF} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{TopCO}_2\text{E} = \text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu}$$

$$\text{YakCOE} = \text{Yakıt kullanımına ait CO}_2 \text{ emisyonu (kgCO}_2\text{)}$$

$$\text{YağCOE} = \text{Yağ kullanımına ait CO}_2 \text{ emisyonu (kgCO}_2\text{)}$$

$$\text{TopDiz} = \text{Toplam tüketilen dizel yakıt miktarı (l)}$$

$$\text{YakA} = \text{Yakıt alt ısı değeri (0.0371 GJ l}^{-1}\text{)}$$

$$\text{YakEF} = \text{Yakıt emisyon faktörü (74.01 kgCO}_2 \text{ GJ}^{-1}\text{)}$$

$$\text{YağA} = \text{Yağ alt ısı değeri (0.0382 GJ l}^{-1}\text{)}$$

$$\text{TopYağ} = \text{Toplam tüketilen yağ miktarı (l)}$$

$$\text{YağEF} = \text{Yağ emisyon faktörü (73.28 kgCO}_2 \text{ GJ}^{-1}\text{)}$$

TR51 Bölgesi için buğday, patates ve şekerpancarı üretimine yönelik olarak ürün bazlı yakıt tüketimi ve ürün bazlı CO₂ emisyonun belirlenmesinde; özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (Öztürk ve ark., 2017; Bilgili ve Aybek, 2018; Küsek, 2018). Toplam tüketilen yakıt miktarını gram birimine çevirirken dizel yakıtın yoğunluk değeri 0.84 g cm⁻³ dikkate alınmıştır (Beşergil, 2009).

$$\text{ÖzYAK} = \text{TüYAK} / \text{ÜrÜM} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{ÖzCOE} = \text{TopCOE} / \text{ÜrÜM} \dots\dots\dots(5)$$

Burada;

$$\text{ÖzYAK} : \text{Özgöl yakıt tüketimi (g}_{\text{yakıt}} \text{ kg}_{\text{ürün}}^{-1}\text{)},$$

$$\text{TüYAK} : \text{Tüketilen yakıt miktarı (g}_{\text{yakıt}}\text{)},$$

$$\text{ÜrÜM} : \text{Üretilen ürün miktarı (kg}_{\text{ürün}}\text{)},$$

$$\text{ÖzCO}_2\text{E} : \text{Özgöl CO}_2 \text{ emisyonu (gCO}_2 \text{ kg}_{\text{ürün}}^{-1}\text{)},$$

$$\text{TopCO}_2\text{E} : \text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu (gCO}_2\text{)}.$$

TR51 Bölgesi için buğday üretiminde 2025-2034 yıllarına yönelik toplam CO₂ emisyonu (TopCO₂E), özgül yakıt tüketimi (ÖZYAK) ve özgül CO₂ emisyonu (ÖzCO₂E) için 2025-2034 yılları arasındaki gelecek projeksiyon tahminlerinde, 2015-2024 yılları arasındaki hesaplanan TopCO₂E, ÖZYAK ve ÖzCO₂E değişimi değerleri dikkate alınmıştır. Projeksiyon katsayılarının hesaplamalarında ise Zincirleme İndeks yöntemi kullanılmıştır. Bu parametreler için yıllara göre değersel artış ve azalışlarına ait yüzde oranlar hesaplanmış, bu yüzde oranların projeksiyon ortalama katsayıları belirlenmiştir. 2015-2024 yılları için bir önceki yıla ait TopCO₂E, ÖZYAK ve ÖzCO₂E değerleri ile o parametreye ait projeksiyon katsayıları çarpılıp, katsayılardaki azalış veya artışları doğrultusunda hesaplamalar yapılmıştır (Altuntaş, 2020).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

TR51 Bölgesindeki buğday, şekerpancarı ve patates üretimlerinde yakıta dayalı CO₂ emisyonlarının hesaplamalarında metod bölümünde verilen IPCC (1996)'da belirtilen yakıt ve yağ kaynaklı toplam CO₂ emisyonuna ait eşitlikler ile özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu için de verilen eşitlikler kullanılmıştır. Tüm hesaplamalar buğday, şekerpancarı ve patates üretimleri için ayrı ayrı çizelge halinde sunulmuş, projeksiyon katsayılarının hesaplamalarında ise Zincirleme İndeks yöntemi kullanılmıştır.

3.1. Buğday Üretimine Yönelik Yakıt Kullanımına Dayalı Karbondioksit Emisyon Sonuçları Ve Projeksiyon Tahminleri

TR51 Bölgesi için buğday üretiminde 2015-2024 yıllarına yönelik toplam CO₂ emisyonu (TopCO₂E), özgül yakıt tüketimi (ÖZYAK) ve özgül CO₂ emisyonu (ÖzCO₂E) hesaplamaları Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde, TR51 Bölgesi için buğday üretiminin 2015-2024 yılları arasındaki TopCO₂E ortalaması 66.725 ktCO₂, ÖZYAK ortalaması 19.533 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve ÖzCO₂E ortalaması ise 66.778 gCO₂ kg_{ürün}⁻¹ olarak belirlenmiştir. 2015-2024 yılları arasında TopCO₂E, ÖZYAK ve ÖzCO₂E için en düşük değerler sırasıyla 2020 yılında 57.999 ktCO₂, 2023 yılında 16.025 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 2023 yılında 54.784 gCO₂ kg_{ürün}⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Buğday üretiminde 2015-2024 yılları arasında en yüksek TopCO₂E, ÖZYAK ve ÖzCO₂E değerler sırasıyla 2017 yılında 75.153 ktCO₂, 2021 yılında 28.543 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 2021 yılında 97.583 gCO₂ kg_{ürün}⁻¹ olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 4. TR51 Bölgesi için buğday üretiminde 2015-2024 yılları arasındaki toplam CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonunun değişimi.

Table 4. The changes of total CO₂ emissions, specific fuel consumption, and specific CO₂ emissions in wheat production in the TR51 Region between 2015 and 2024.

Yıllar	TopCO ₂ E (*)	ÖzYAK (**)	ÖzCO ₂ E (***)
2015	73.357	18.650	63.758
2016	73.808	17.906	61.217
2017	75.153	20.158	68.916
2018	74.515	19.937	68.158
2019	66.891	18.580	63.522
2020	57.999	17.409	59.515
2021	59.486	28.543	97.583
2022	58.890	19.216	65.695
2023	60.353	16.025	54.784
2024	66.794	18.904	64.627
Ortalama	66.725	19.533	66.778

(*): TopCO₂E: Toplam karbondioksit emisyonu (ktCO₂), (**): ÖzYAK: Özgül yakıt tüketimi (g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹), (***) : ÖzCO₂E: Özgül karbondioksit tüketimi (gCO₂ kg_{ürün}⁻¹)

Öztürk ve Vulkan (2017), Türkiye genelinde buğday üretiminde 2010-2015 yılları arasındaki yakıt kaynaklı toplam CO₂ emisyonu (TopCO₂E)'in 1.4 MtCO₂ yıl⁻¹ olduğunu açıklarken, Kuzu ve ark. (2024), Doğu Akdeniz Bölgesinde buğday üretiminde toplam CO₂ emisyonu değerlerinin en yüksek Adana ilinde 50.64 ktCO₂ ve en düşük Osmaniye ilinde 15.07 ktCO₂ değeri aralığında gerçekleştiğini açıklamışlardır. Altuntaş ve Özgöz (2024), İç Anadolu-Sivas yöresinde sera gazı karbondioksit emisyonunun 42.12 ktCO₂ olduğunu açıklamışlardır.

Buğday üretiminde özgül yakıt tüketimi (ÖzYAK) değerleri için Öztürk ve Vulkan (2017), Türkiye genelinde 2010-2015 yılları arasında bu değer 20.7 g_{dizel} kg_{buğday}⁻¹ olduğunu, Kuzu ve ark. (2024); Doğu Akdeniz Bölgesi içerisinde en yüksek değerlerin Hatay ilinde 154.27 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹, ve en düşük Adana için 107.81 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ aralığında yer aldığını açıklamışlardır. Koga ve ark. (2003) Japonya'da yakıt kaynaklı sera gazı emisyonunun geleneksel toprak işlemenin uygulandığı sistemde 826.2 kgCO₂ ha⁻¹; Khoshroo (2014), İran'da 2008 ile 2010 yılları arasında ÖzYAK değerlerinin 69.12-83.17 kgCO₂ ha⁻¹ aralığında gerçekleştiğini, Altuntaş ve Özgöz (2024), İç Anadolu Bölgesi Sivas örneğinde ÖzYAK değerlerinin 21.88 kgCO₂ ha⁻¹ olarak hesaplandığını açıklamaktadırlar.

Buğday üretiminde özgül karbondioksit emisyonu ($\text{ÖzCO}_2\text{E}$) değerleri için Öztürk ve Vulkan (2017), Türkiye genelinde 2010-2015 yılları arasında bu değerin $67.7 \text{ gCO}_2 \text{ kg}_{\text{ürün}}^{-1}$ olduğunu belirtmişlerdir. Kuzu ve ark. (2024), Doğu Akdeniz Bölgesi illeri bazında $\text{ÖzCO}_2\text{E}$ değerlerinin Hatay ilinde $327.49 \text{ gCO}_2 \text{ kg}_{\text{ürün}}^{-1}$ ve Adana için $228.87 \text{ gCO}_2 \text{ kg}_{\text{ürün}}^{-1}$ değerleri aralığında olduğunu; Altuntaş ve Özgöz (2024), İç Anadolu Bölgesi Sivas örneğinde $\text{ÖzCO}_2\text{E}$ değerlerinin $74.81 \text{ kgCO}_2 \text{ ha}^{-1}$ olarak hesaplandığını açıklamaktadırlar. TR51 Bölgesi için buğday üretiminde 2015-2024 yıllarına ait TopCO_2E , ÖZYAK ve $\text{ÖzCO}_2\text{E}$ değerleri dikkate alınarak 2024- 2033 yıllarına ait projeksiyonları tahminleri hesaplanarak, Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. TR51 Bölgesi için buğday üretiminde 2015-2024 yıllarına bağlı olarak 2025-2034 yıllarına ait TopCO_2E , ÖZYAK ve $\text{ÖzCO}_2\text{E}$ değerlerine ait projeksiyon tahminleri.

Table 5. Projected estimates of TopCO_2E , ÖZYAK , and $\text{ÖzCO}_2\text{E}$ values for wheat production in the TR51 region for the years 2025-2034 based on the years 2015-2024.

Yıllar	TopCO_2E (*)	ÖZYAK (**)	$\text{ÖzCO}_2\text{E}$ (***)
2015	73.357	18.650	63.758
2016	73.808	17.906	61.217
2017	75.153	20.158	68.916
2018	74.515	19.937	68.158
2019	66.891	18.580	63.522
2020	57.999	17.409	59.515
2021	59.486	28.543	97.583
2022	58.890	19.216	65.695
2023	60.353	16.025	54.784
2024	66.794	18.904	64.627
Projeksiyon Katsayısı	-0,802	3,003	3,003
2025	67.728	18.907	64.638
2026	68.675	18.910	64.648
2027	69.636	18.913	64.658
2028	70.609	18.916	64.669
2029	71.597	18.919	64.679
2030	72.598	18.922	64.689
2031	73.613	18.925	64.700
2032	74.642	18.928	64.710
2033	75.686	18.931	64.720
2034	76.744	18.934	64.731

(*): TopCO_2E : Toplam karbondioksit emisyonu (ktCO_2), (**): ÖZYAK : Özgül yakıt tüketimi ($\text{g}_{\text{yakıt}} \text{ kg}_{\text{ürün}}^{-1}$), (***) : $\text{ÖzCO}_2\text{E}$: Özgül karbondioksit tüketimi ($\text{gCO}_2 \text{ kg}_{\text{ürün}}^{-1}$)

Çizelge 5 incelendiğinde, TR51 Bölgesi için buğday üretiminde TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E değerlerinin projeksiyon hesaplamalarında bulunan projeksiyon katsayıları TopCO₂E için -0.802 iken, ÖzYAK ve ÖzCO₂E için 3.003 olarak bulunmuştur. 2025-2034 yılları projeksiyon tahminlerinde TopCO₂E değerlerinin 67.728 ile 76.744 değerleri arasında %13.31 oranında artış eğiliminde olduğu, ÖzYAK değerlerinin 18.907 ile 18.934 aralığında %0.143 oranında artış eğiliminde ve ÖzCO₂E değerlerinin 64.638 ile 64.731 değerleri aralığında %0.144 oranında bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. 2034 yılında TR51 Bölgesi için patates üretiminde TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E değerlerinin sırasıyla 76.744 ktCO₂, 18.934 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 64.731 gCO₂ kg_{ürün}⁻¹ olacağı ön görülmektedir.

3.2. Patates Üretimine Yönelik Yakıt Kullanımına Dayalı Karbondioksit Emisyon Sonuçları Ve Projeksiyon Tahminleri

TR51 Bölgesi için patates üretiminde 2015-2024 yıllarına yönelik toplam CO₂ emisyonu (TopCO₂E), özgül yakıt tüketimi (ÖzYAK) ve özgül CO₂ emisyonu (ÖzCO₂E) hesaplamaları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. TR51 Bölgesi için patates üretiminde 2015-2024 yılları arasındaki toplam CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonunun değişimi.

Table 6. The changes of total CO₂ emissions, specific fuel consumption, and specific CO₂ emissions in potato production in the TR51 Region between 2015 and 2024.

Yıllar	TopCO ₂ E (*)	ÖzYAK (**)	ÖzCO ₂ E (***)
2015	0.022	1.126	3.849
2016	0.031	1.141	3.901
2017	0.068	1.068	3.650
2018	0.049	1.214	4.149
2019	0.074	1.136	3.882
2020	0.091	1.113	3.803
2021	0.133	1.126	3.850
2022	0.159	1.067	3.646
2023	0.198	1.045	3.573
2024	0.221	1.059	3.622
Ortalama	0.105	1.109	3.793

(*): TopCO₂E: Toplam karbondioksit emisyonu (ktCO₂), (**): ÖzYAK: Özgül yakıt tüketimi (g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹), (***) : ÖzCO₂E: Özgül karbondioksit tüketimi (gCO₂ kg_{ürün}⁻¹)

Çizelge 6 incelendiğinde, TR51 Bölgesi için patates üretiminin 2015-2024 yılları arasındaki TopCO₂E ortalaması 0.105 ktCO₂, ÖzYAK ortalaması 1.109 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve ÖzCO₂E ortalaması ise 3.793 gCO₂ kg_{ürün}⁻¹ olarak belirlenmiştir. 2015-2024 yılları arasında TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E için en düşük değerler sırasıyla 2015 yılında 0.022 ktCO₂, 2023 yılında 1.045 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 2023 yılında 3.573 gCO₂ kg_{ürün}⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Patates üretiminde 2015-2024 yılları arasında en yüksek TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E için en yüksek değerler sırasıyla 2024 yılında 0.221 ktCO₂, 2019 yılında 1.136 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 2018 yılında 4.149 gCO₂ kg_{ürün}⁻¹ olduğu hesaplanmıştır.

Mohammadi ve ark. (2008), İran Erdebil yöresinde patates üretiminde toplam enerji girdileri içinde yakıt enerjisi kullanımının %15.8 olduğunu, Hamedani ve ark. (2011), İran Hamedan yöresinde patates üretiminde yakıt enerjisinin %21 oranında bir girdiye sahip olduğunu, Özgöz ve ark. (2017), Nevşehir Ürgüp yöresinde patates üretiminde yakıt+yağ enerjisi girdisinin toplam enerji girdileri arasında kimyasal gübre ile tohumdan sonra üçüncü sırada bulunduğunu açıklamışlardır.

Pishgar-Komleh ve ark. (2012), İran-İsfahan yöresindeki patates üretimindeki en yüksek enerji kullanımının kimyasal gübre (%49), ve %24 oranında tohumluk girdisi olduğunu, patates üretiminde enerji tüketimlerini ve CO₂ emisyonlarının ise sırasıyla 47 GJ ha⁻¹ ve 992.88 kg CO₂ ha⁻¹ eşdeğerinde olduğunu açıklamışlardır. Bahktiari ve ark. (2015) ise İran'ın Doğu Azerbaycan eyaletinde patates üretiminde yakıt enerjisinin toplam girdi enerjileri içinde %18.71 oranında olduğunu, toplam ortalama enerji girdisi tüketimi ve sera gazı emisyonlarını sırasıyla 131 608.14 MJ ha⁻¹ ve 4542 kgCO₂ ha⁻¹ eşdeğeri olarak hesaplamışlardır. TR51 Bölgesi için patates üretiminde 2015-2024 yılları arasındaki yakıta dayalı karbondioksit emisyon değerleri ortalamasının 0.105 ktCO₂ olduğu hesaplanmıştır. TR51 Bölgesi için patates üretiminde 2015-2024 yıllarına ait TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E değerleri dikkate alınarak 2024- 2033 yıllarına ait projeksiyonları tahminleri hesaplanarak, Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. TR51 Bölgesi için patates üretiminde 2014-2023 yıllarına ait TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E değerleri dikkate alınarak 2024- 2033 yıllarına ait projeksiyonları tahminleri.

Table 7. Projections for 2024-2033 based on TopCO₂E, ÖzYAK, and ÖzCO₂E values for potato production in the TR51 Region for the years 2014-2023.

Yıllar	TopCO ₂ E (*)	ÖzYAK (**)	ÖzCO ₂ E (***)
2015	0.022	1.126	3.849
2016	0.031	1.141	3.901
2017	0.068	1.068	3.650
2018	0.049	1.214	4.149
2019	0.074	1.136	3.882
2020	0.091	1.113	3.803
2021	0.133	1.126	3.850
2022	0.159	1.067	3.646
2023	0.198	1.045	3.573
2024	0.221	1.059	3.622
Projeksiyon Katsayısı	33.969	-0.510	-0.510
2025	1.0140	1.0002	1.0002
2026	0.2239	1.0595	3.6223
2027	0.2271	1.0597	3.6228
2028	0.2303	1.0599	3.6234
2029	0.2335	1.0600	3.6240
2030	0.2367	1.0602	3.6246
2031	0.2400	1.0604	3.6252
2032	0.2434	1.0605	3.6257
2033	0.2468	1.0607	3.6263
2034	0.2503	1.0609	3.6269

(*): TopCO₂E: Toplam karbondioksit emisyonu (ktCO₂), (**): ÖzYAK: Özgül yakıt tüketimi (g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹), (***) : ÖzCO₂E: Özgül karbondioksit tüketimi (gCO₂ kg_{ürün}⁻¹)

Çizelge 7 incelendiğinde, TR51 Bölgesi için patates üretiminde TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E değerlerinin projeksiyonları hesaplamasında hesaplanan projeksiyon katsayıları toplam karbondioksit emisyonu için 33.969, özgül yakıt tüketimi ve özgül karbondioksit emisyonu için -0.510 değerinde bulunmuştur. 2025-2034 yılları projeksiyon tahminlerinde TopCO₂E değerlerinin 1.0140 ile 0.2503 değerleri arasında %75.32 oranında artış eğiliminde olduğu, ÖzYAK değerlerinin 1.0002 ile 1.0609 aralığında %6.07 oranında artış eğiliminde ve ÖzCO₂E değerlerinin 1.0002 ile 3.6269 değerleri aralığında %262.62 oranında oldukça yüksek oranlarda artış eğiliminde olduğu görülmektedir. 2034 yılında TR51 Bölgesi için patates üre-

timinde TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E değerlerinin sırasıyla 0.2503 ktCO₂, 1.0609 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 3.6269 gCO₂ kg_{ürün}⁻¹ olacağı ön görülmektedir.

3.3. Şeker Pancarı Üretimine Yönelik Yakıt Kullanımına Dayalı Karbondioksit Emisyon Sonuçları Ve Projeksiyon Tahminleri

TR51 Bölgesi için şeker pancarı üretiminde 2015-2024 yıllarına yönelik toplam CO₂ emisyonu (TopCO₂E), özgül yakıt tüketimi (ÖzYAK) ve özgül CO₂ emisyonu (ÖzCO₂E) hesaplamaları Çizelge 8'de verilmiştir. Çizelge 8 incelendiğinde, TR51 Bölgesi için şeker pancarı üretiminin 2015-2024 yılları arasındaki TopCO₂E ortalaması 4.233 ktCO₂, ÖzYAK ortalaması 1.734 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve ÖzCO₂E ortalaması ise 5.927 gCO₂ kg_{ürün}⁻¹ olarak belirlenmiştir. 2015-2024 yılları arasında TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E için en düşük değerler sırasıyla 2015 yılında 3.442 ktCO₂, 2024 yılında 1.572 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 2024 yılında 5.375 gCO₂ kg_{ürün}⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Şeker pancarı üretiminde 2015-2024 yılları arasında en yüksek TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E için en yüksek değerler sırasıyla 2023 yılında 5.377 ktCO₂, 2021 yılında 1.854 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 2021 yılında 6.339 gCO₂ kg_{ürün}⁻¹ olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 8. TR51 Bölgesi için şeker pancarı üretiminde 2015-2024 yılları arasındaki toplam CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonunun değişimi.

Table 8. The changes of the total CO₂ emissions, specific fuel consumption, and specific CO₂ emissions change in sugar beet production in the TR51 Region between 2015 and 2024.

Yıllar	TopCO ₂ E (*)	ÖzYAK (**)	ÖzCO ₂ E (***)
2015	3.442	1.813	6.197
2016	3.896	1.665	5.693
2017	3.857	1.717	5.871
2018	3.680	1.711	5.850
2019	4.268	1.739	5.946
2020	4.934	1.680	5.743
2021	4.234	1.854	6.339
2022	4.414	1.802	6.162
2023	5.377	1.783	6.097
2024	4.233	1.572	5.375
Ortalama	4.233	1.734	5.927

(*): TopCO₂E: Toplam karbondioksit emisyonu (ktCO₂), (**): ÖzYAK: Özgül yakıt tüketimi (g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹), (***) : ÖzCO₂E: Özgül karbondioksit tüketimi (gCO₂ kg_{ürün}⁻¹)

Baran ve Gökdoğan (2016), Kırklareli ilinde şeker pancarı üretiminde enerji girdisi ve çıktısının sırasıyla 34 201.75 ve 285 600 MJ ha⁻¹ olduğu açıklanmıştır. Enerji girdileri içinde en yüksek girdi kaleminin ilk sırasını %41.97 ile kimyasal gübre ve %21.16 ile yakıt enerjisi oluşturduğu açıklanmıştır. Şeker pancarı üretiminde özgül enerji ve net enerji değerleri de sırasıyla 0.50 MJ kg⁻¹ ve 251 398.25 MJ ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

TR51 Bölgesi için şeker pancarı üretiminde 2015-2024 yıllarına ait TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E değerleri dikkate alınarak 2024- 2033 yıllarına ait projeksiyonları tahminleri hesaplanarak, Çizelge 9'da verilmiştir. Çizelge 9 incelendiğinde, TR51 Bölgesi için şeker pancarı üretiminde TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E değerlerinin projeksiyonları hesaplamasında hesaplanan projeksiyon katsayıları toplam karbondioksit emisyonu için 3.311, özgül yakıt tüketimi ve özgül karbondioksit emisyonu için -1.382 bulunmuştur. 2025-2034 yılları projeksiyon tahminlerinde TopCO₂E değerlerinin 4.292-4.863 değerleri arasında %13.30 oranında artış eğiliminde olduğu, ÖzYAK değerlerinin 1.573-1.575 aralığında %0.12 oranında çok küçük artış eğiliminde ve ÖzCO₂E değerlerinin 5.376-5.384 aralığında %0.15 oranında çok düşük değerlerde artış eğiliminde olduğu görülmektedir. 2034 yılında TR51 Bölgesi için şeker pancarı üretiminde TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E değerlerinin sırasıyla 4.863 ktCO₂, 1.575 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 5.384 gCO₂ kg_{ürün}⁻¹ olacağı ön görülmektedir.

Çizelge 9. TR51 Bölgesi için şeker pancarı üretiminde 2015-2024 yıllarına bağlı olarak 2025-2034 yıllarına ait TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E değerlerine ait projeksiyon tahminleri.

Table 9. Projected estimates of TopCO₂E, ÖzYAK, and ÖzCO₂E values for the years 2025-2034 based on sugar beet production in the TR51 region for the years 2015-2024.

Yıllar	TopCO ₂ E (*)	ÖzYAK (**)	ÖzCO ₂ E (***)
2015	3.442	1.813	6.197
2016	3.896	1.665	5.693
2017	3.857	1.717	5.871
2018	3.680	1.711	5.850
2019	4.268	1.739	5.946
2020	4.934	1.680	5.743
2021	4.234	1.854	6.339
2022	4.414	1.802	6.162
2023	5.377	1.783	6.097
2024	4.233	1.572	5.375

<i>Projeksiyon Katsayısı</i>	3.311	-1.382	-1.382
2025	4.292	1.573	5.376
2026	4.352	1.573	5.377
2027	4.413	1.573	5.378
2028	4.475	1.573	5.379
2029	4.537	1.574	5.380
2030	4.601	1.574	5.380
2031	4.665	1.574	5.381
2032	4.730	1.574	5.382
2033	4.796	1.575	5.383
2034	4.863	1.575	5.384

(*): TopCO₂E: Toplam karbondioksit emisyonu (ktCO₂), (**): ÖzYAK: Özgül yakıt tüketimi (g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹), (***) : ÖzCO₂E: Özgül karbondioksit tüketimi (gCO₂ kg_{ürün}⁻¹)

4. SONUÇ

Çalışmada, TR51 Bölgesi (Ankara ili)'ndeki buğday, patates ve şeker pancarı üretimlerindeki yakıtla dayalı karbondioksit emisyonu belirlenerek, gelecek yıllara ait projeksiyonları tahminlenmiştir.

TR51 Bölgesi için buğday, patates ve şeker pancarı üretimlerin 2014-2023 yıllarına ait TopCO₂E, ÖzYAK ve ÖzCO₂E değerlerinden 2025- 2034 yılları aralığındaki projeksiyonlara bakılırsa TopCO₂E, parametresi için artış eğiliminin olduğu gözlenmektedir. TR51 Bölgesi için buğday, patates ve şeker pancarı üretimleri için toplam karbondioksit emisyon değerlerini düşürmek için yakıt tüketimlerinin azaltılması gerekmektedir. Bu amaçla üretimin her aşamasında (toprak işleme sistemleri, ekim, gübreleme, bakım, sulama, ilaçlama, hasat- hasat sonrası) çevreye duyarlı alternatif tekniklerinin planlanması ve bu konuda çiftçilerin eğitilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. TR51 Bölgesinin buğday, patates ve şeker pancarı üretimlerinde çevreyi kirleten ve karbondioksit emisyonuna neden olan yakıtlara alternatif olabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını sağlamak, özellikle üretimin önemli girdi kalemlerinden olan kimyasal gübre ve pestisit kullanımının mümkün olduğu ölçüde kısıtlı kullanımının sağlanması gereklidir. Sürdürülebilirlik ve çevresel korumanın sağlanması açısından tarımsal üretimin vazgeçilmez olan lokomotif görevi yapan traktörlerin arazi büyüklükleri ve ihtiyaçlar noktasında seçilmesi ve buna uygun tarım alet ve makinası kullanımının sağlanması da önemlidir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Etik

Bu çalışma etik kurul onayı gerektirmez.

KAYNAKLAR

- Altuntaş, E., 2020. Türkiye'deki tarım makineleri kullanım projeksiyonunun tahmini. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (UTYHBD)*, 6(3): 506-516.
- Altuntaş, E., 2024a. TR83 Bölgesinde çeltik üretiminde yakıt kaynaklı karbondioksit emisyonunun belirlenmesi gelecek projeksiyon tahmini. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 13(2): 39-51.
- Altuntaş, E., 2024b. TR71 Bölgesinin patates üretiminde yakıt kaynaklı karbondioksit emisyonu ve projeksiyon tahmini. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2): 30-38. <https://doi.org/10.54975/sduzfd.1557890>
- Altuntaş, E., 2024c. Determination of CO₂ emission based on fuel consumption in wheat and corn production in TR62 Region and projection estimate. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 41(3): 148-156. <https://doi.org/10.55507/gopzfd.1537852>
- Altuntaş, E., Özgöz, E., 2024. Buğday üretiminde fosil yakıt tüketim kaynaklı karbondioksit emisyonu ve projeksiyon tahmini-Sivas ili örneği. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(3): 156-170.
- Alpkent, N., 1984. Tarımda Enerji Kullanımı ve Enerji Tasarrufu. Milli Produktivite Merkezi Yayınları No: 296. Ankara.
- Anonim, 2023. Ürün raporu şeker pancarı ve şeker 2023. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPGE. Hazırlayan, Dr. Zeynep KANAT, Ankara.
- Anonim, 2024. Buğday tarım ürünleri piyasaları raporu Temmuz-2024. Buğday tarım ürünleri piyasaları raporu Temmuz-2024-v4.PDF (arastirma.tarimorman.gov.tr). <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/belgeler>. (Erişim tarihi: 31.07.2025)
- Anonim, 2025a. Ankara Alt Bölgesi. https://tr.wikipedia.org/wiki/Ankara_alt_b%C3%B6lgesi#/media/Dosya:Ankara_Subregion.png. (Erişim tarihi: 01.08.2025).
- Anonim, 2025b. IPCC Özel Raporları. 15 Ekim 2019, <https://cygm.csb.gov.tr/ipcc-ozel-raporlari/> <https://report.ipcc.ch/srocc> (Erişim Tarihi: 01.08.2025).
- Aydın, A., Aktuz, N.C., 2023. Sürdürülebilir tarım için iklim değişikliğine ekosistem tabanlı uyum faaliyetleri. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*, 2(3): 132-157.
- Aydın, A., 2023. Tarım sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonlarının hesaplanması; Enterik fermentasyon. *Uluslararası Gıda, Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi (IJFAA)*, 3(1): 40-54.
- Bakhtiar, A.A., Hematian, A., Moradipour, M., 2015. Energy, economic and GHG emissions analysis of potato production. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 6(2): 398-406.
- Baran, M.F., Gokdogan, O., 2016. Determination of energy balance of sugar beet production in Turkey: A case study of Kırklareli Province. *Energy Efficiency* 9, 487-494. <https://doi.org/10.1007/s12053-015-9375-x>
- Beşergil, B., 2009. Yakıtlar yağlar. Ege Üniversitesi Basımevi; İzmir, 2009.
- Bilgili, M.E., Aybek, A., 2018. Doğu Akdenizde zeytin üretiminde yakıt tüketimi sonucunda oluşan karbondioksit emisyonu durumu. 3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018), Çukurova University, Congress Center, October 24-26, 2018, Adana.
- Eren, Ö., Gokdogan, O., Baran, M.F., 2019. Determination of Greenhouse Gas Emissions (Ghg) in The Production of Different Plants in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(2A): 1040-1043.
- Gołasa, P., Wysokiński, M., Bieńkowska-gołasa, W., Gradziuk, P., Golonko, M., Gradziuk, B., Siedlecka, A., Gromada, A., 2021. Sources of greenhouse gas emissions in agriculture, with particular emphasis on emissions from energy used. *Energies*, 14(13): en14133784
- Gözbüyük, Z., Çelik, A., Öztürk, İ., Demir, O., Adıgüzel, M.C., 2012. Buğday üretiminde farklı toprak işleme-ekim sistemlerinin enerji kullanım etkinliği yönünden karşılaştırılması. *Tarım Makineleri Bilimi Dergisi*, 8(1): 25-34.
- Hayaloğlu, P., 2018. İklim değişikliğinin tarım sektörü ve ekonomik büyüme üzerindeki etkileri. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(25): 51-62.
- Hamedani, S.R., Sahabani, Z., Raffee, S., 2011. Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran. *Energy*, 36: 2367-2371.
- IPCC, 1996. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 2, Section 1.
- IPCC, 2013. The physical science basis. contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, 2013.
- Khoshroo, A., 2014. Energy use pattern and greenhouse gas emission of wheat production: A case study in Iran. *Agricultural Communications*, 2(2), 9-14.

- Koga, N., Tsuruta, H., Tsuji H., Nakano, H., 2003. Fuel consumption-derived CO₂ emissions under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 99, 213-219.
- Kuzu, H., Bilgili, M.E., Aybek, A., Özekin, M., 2024. Doğu Akdeniz Bölgesinde patates ve mısır üretiminde yakıt tüketiminden kaynaklı karbondioksit emisyonunun belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2): 684-693.
- Küsek, G., 2018. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde mercimek üretiminde yakıt tüketimine bağlı olarak gerçekleşen karbondioksit emisyonlarının değerlendirilmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22(4): 572-584.
- Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30(7): 981-990.
- Mohammadi, A., Tabatabaeefer, A., Shahin, S., Rafiee, S., Keyhani, A., 2008. Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy Convers Manag*, 49: 3566-3570.
- Özcan, M.T., 1986. Mercimek hasat ve harman yöntemlerinin iş verimi kalitesi. Enerji tüketimi ve maliyet yönünden karşılaştırılması ve uygun bir hasat makinası geliştirilmesi üzerine araştırmalar. Türkiye Ziraat Donatım Kurumu (TZDK) Yayınları Ankara.
- Özgöz, E., Altuntaş, E., Asiltürk, M., 2017. Effects of soil tillage on energy use in potato farming in Central Anatolia of Turkey. *Energy*, 141: 1517-1523.
- Öztürk, H.H., Vulkan, E.V., 2017. Türkiye'de patates ve mısır üretiminde yakıt tüketimine bağlı olarak gerçekleşen karbondioksit emisyonlarının değerlendirilmesi. 4. Uluslararası Multidisipliner Avrasya Kongresi (IMCO-FE), 23-25 Ağustos 2017, s:13-23, Roma.
- Öztürk, H.H., 2017. Energetic and environmental comparison of rapeseed cultivation systems. LAMBERT Academic Publishing, Deutschland, 2017.
- Öztürk, H.H., Gözübüyük, Z., Atay, U., 2017. Türkiye'de pamuk üretiminde yakıt tüketimine bağlı olarak gerçekleşen karbondioksit emisyonlarının değerlendirilmesi. 3. Uluslararası Tarım ve Çevre Kongresi, 16-18 Kasım 2017, sayfa no: 21-30, Antalya.
- Pishgar-Komleh, S.H., Ghahderijani, M., Seefedpari, P., 2012. Energy consumption and CO₂ emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 33: 183-191.
- TÜİK, 2020. Sera gazı emisyon istatistikleri, 1990-2020. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2020-45862#>. (Erişim tarihi: 10.08.2024).
- TÜİK, 2025. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel üretim istatistikleri, 2024. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=1346-locale=tr> (Erişim tarihi: 02.08.2025)
- TKV, 2022. Buğday Özet Raporu, Türkiye Kalkınma Vakfı, Rahim Yeni, Mayıs, 2022 / Ankara.
- Vatansever Deviren, N., Çelik, N., 2017. Dünyada ve Türkiye'de organik tarımın ekonomik açıdan değerlendirilmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(48): 669-678.