



## Araştırma Makalesi / Research Paper

# Tarımda Karbon Ayak İzi ve İklim Değişikliğine Etkisi

Gülây ÖNCAR ŞENTÜRK<sup>1</sup>, Gülden GÖK<sup>1</sup>, Hasan KOÇYİĞİT<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, TÜRKİYE  
gulay.oncar@gmail.com, gokgulden@gmail.com, kocyigit Hasan@hotmail.com

Received/Geliş Tarihi: 28.03.2023

Accepted/Kabul Tarihi: 20.06.2023

**Özet:** Günümüzde teknolojiyle birlikte gerçekleşen değişim/gelişim her alanda inanılmaz boyutlara ulaşmaktadır. Bu değişim, popülasyon artışıyla birlikte enerji ve gıda arzını arttırmaktadır. Sürdürülebilir gelecek açısından yaşam alanlarımızın antropojenik olarak kirlenmesi hem karbon emisyonunu hem de küresel ısınmayı arttırmaktadır. Karbon salınımlarındaki dengesizlikler (iklim değişikliği, sera gazları vb.) süreci hızlandırmakta ve gelecekte yaşam döngüsünü olumsuz yönde etkileyecektir. İklim değişikliği, sera gazları ve diğer faktörler karbon salınımını etkilediği için karbon ayak izi önem arz etmektedir. Özellikle son yıllarda tüm ülkelerde karbon ayak izinin izlenmesi ve ölçülmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Tarım sektöründeki çalışmalar karbon salınımına doğrudan etki etmektedir. İklim değişikliğinin sebeplerinden biri de olan tarımsal faaliyetler sera gazı emisyonlarına sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, ulusal ölçekte tarımsal üretimdeki sera gazı emisyonları ve karbon ayak izi dağılımı araştırılmıştır. Araştırmanın ana hedefleri: (i) tarım alanlarının karbon yutağı işlevini, (ii) karbon emisyonlarına göre, tarımsal su kullanımının potansiyel etkisini, (iii) uygun modelleme çalışmalarının yapılarak tarımsal alanda karbon ayak izi takibini belirlemek.

**Anahtar Kelimeler:** İklim Değişikliği, Karbon Ayak İzi, Tarım, Toprak.

## Carbon Footprint in Soil and Its Impact on Climate Change

**Abstract:** Today, the change/development that takes place with technology reaches incredible dimensions in every field. This change increases the energy and food supply with population growth. In terms of a sustainable future, anthropogenic pollution of our living spaces increases both carbon emissions and global warming. Imbalances in carbon emissions (climate change, greenhouse gases, etc.) accelerate the process and will negatively affect the life cycle in the future. Carbon footprint is important because climate change, greenhouse gases and other factors affect carbon emissions. In recent years, monitoring and measuring carbon footprint in all countries has become an important issue. Studies in the agricultural sector directly affect carbon emissions. Agricultural activities, which are one of the causes of climate change, cause greenhouse gas emissions. Within the scope of this study, greenhouse gas emissions and carbon footprint distribution in agricultural production on a national scale were investigated. The main objectives of the research are: (i) to determine the carbon sink function of agricultural areas, (ii) to determine the potential impact of agricultural water use according to carbon emissions, (iii) to monitor the carbon footprint in the agricultural area by making appropriate modeling studies.

**Keywords:** Climate Change, Carbon Footprint, Agriculture, Soil.

### 1. Giriş

Doğadaki en önemli besin elementlerinin dönüştürüldüğü depo-kaynağı olan toprak; hava (atmosfer), su (hidrosfer) kayalar (litosfer) ve canlılar (biyosfer) arasında kalan, insan ve canlılar yaşamsal alanı oluşturan en önemli ekosistemdir (WWF 2021). Toprağın en üst kısmı canlıların yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirebilmesi için önemli bir yere sahiptir (Karaca ve Turgay, 2012). Toprak

dünyanın en büyük karasal karbon kaynağı olup küresel gıda üretiminin yaklaşık olarak %95'ini sağlamaktadır (Anonymous, 2019). Mikroorganizmalar, karbon, azot ve kükürt vd. gibi elementleri ayrıştırarak ekosistemin döngüsü için dönüşümlere katkı sağlamaktadır (Okur ve Kayıkçıoğlu, 2008). Yaşamımızı sürdürülebilirlik için hayat kaynağı olan su gibi bileşikler toprakta tutulur ve atmosfere salınarak sirkülasyon sürecini sağlamaktadır.

İnsanın hayatta devamlılığı ve sürdürülebilir kalkınması için önemli kaynaklardan biri de su kaynağıdır (Eliasson, 2015; Houria vd., 2020; Sepehri ve Sarrafzadeh, 2018; Çadraku, 2021). Bunun beraberinde, iklim değişikliği ve insan faaliyetleri nedeniyle su kıtlığı giderek ön plana çıkmaktadır (Lv vd., 2022; Zou vd., 2020). Gıda üretimi üzerinde de etkili olan CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub> gibi sera gazları (GHG), hızlı küresel iklim değişikliğinin önemli itici güçleri arasında yer almaktadır (Stocker vd., 2013). Tarım faaliyetleri, antropojenik emisyonlar üzerinde %30'a varan oranda bir tutma etkisine katkıda bulunur (Tubiello vd., 2013). Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonları, karbon ayak izi yöntemi kullanılarak nicel olarak değerlendirilmektedir (Hertwich ve Peters, 2009; Pandey vd., 2011). Karbondioksitin bir eşdeğeri olarak, karbon ayak izi (ISO 14067 2013), son dönemlerde sera gazı emisyonlarının ve tarımsal ürünlerle ilgili azaltımların toplamını ölçmek için kullanılan uluslararası kabul görmüş bir standart olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır (Cheng vd., 2011; Gan vd., 2012; Wang vd., 2016). Daha düşük ayak izine sahip uygun ve yeterli gıda imkanı sağlamak için yakın gelecekte tarım ürünlerinde zorunlu bir "karbon etiketlemesi" olarak bile kullanılacağı düşünülmektedir (Gan vd., 2012; Wang vd., 2016).

Nüfus artışı ve geliştirilmiş yaşam standartları, tarımsal su kaynaklarının kıtlığını daha da ilerletmektedir. Bu nedenle gıda talebindeki artış, gıda güvenliği için büyük bir sıkıntı teşkil etmektedir. Bu nedenle, su kaynaklarının arz ve talebi arasındaki problemi ele almak son derece önemlidir. Ayrıca hızlı sosyal büyüme, karasal ekosistemlerin karbon döngüsünü yok ederek atmosferik CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun ve küresel sıcaklığın artmasına sebep olmuştur. İklim değişikliği sebebiyle hissedilen, çölleşme, kuraklık ve arazi tahribatı ve bunlara bağlı ekosistem döngüsünün gerçekleşmemesi, sosyal ve ekonomik sorunlara sebep olarak tarım da zamanla artarak risk meydana getirmektedir (Wu vd., 2021).

Tarım/Toprak arazisi ekosistemi, Dünya'nın karbon döngüsünün en önemli bir parçasıdır ve karbon bütçesi, tarımsal üretimin yapısı ve yönetim tarzından önemli ölçüde etkilenmiştir. Bu nedenle, tarımsal su ve toprak kaynaklarının bilimsel ve makul yönetim stratejilerinin formülize edilmesi, su miktarı ve su kalitesi de dahil olmak üzere su talebi arz çelişkisini gidermek, karbon emisyonlarını düzenlemek ve karbon nötralizasyonunu sağlamak için etkili önlemlerden biridir.

Tarımsal su ve toprak kaynakları yönetimi stratejisinin formülasyonu, çok amaçlı ve çok çatışmalı bir süreçtir. Karar vericiler, tarımın gelişimini garanti altına almak için düzenli olarak sosyal, ekonomik ve ekolojik faktörleri dikkate almalıdır. Optimizasyon modeli bu sorunu çözmek için önemli bir araçtır (Lence vd., 2017).

Bazı bilim adamları, sulama suyu dağıtım ve dikim yapısının optimizasyonu üzerinde çalıştılar. Tarımsal gelişimin ekolojik çevre ile rekabet ettiğine inanmaktadır. Tarımsal ve ekolojik su kullanımı ile tarımsal üretim süreçleri arasındaki karbon emisyonları arasındaki çatışmaya odaklandılar), ancak karbon tutulmasında önemli bir rol oynayabilecek tarım arazisi ekosisteminin karbon yutağı ve iklim değişikliğinin azaltılması gibi ekolojik işlevi görmezden geldiler (Li vd., 2018).

CO<sub>2</sub>'nin ekinler gibi arazi bitki örtüsü tarafından emilmesi, kısa karbon tutma periyodu ve büyük birikim özellikleri ile en güvenli ve en etkili karbon tutma yöntemi olarak kabul edilir. Bu arada, diğer ekosistemlerle karşılaştırıldığında, tarım arazisi ekosistemleri en çok insan faaliyetlerinden etkilenir (Baker ve Griffis, 2005).

Bu çalışma kapsamında, ulusal ölçekte tarımsal üretimdeki sera gazı emisyonları ve karbon ayak izi dağılımı araştırılmıştır. Araştırmanın ana hedefleri; tarım alanlarının karbon yutağı işlevini, karbon emisyonlarına göre, tarımsal su kullanımının potansiyel etkisini ve uygun modelleme çalışmalarının yapılarak tarımsal alanda karbon ayak izi takibini belirlemektir.

## 2. Türkiye’de Tarım/Toprağın Durumu

Ülkemizde yaklaşık 5 milyon hektar arazi de tarıma uygun olmadığı halde tarımsal üretim amaçlı kullanılması sonucu erozyona uğruyor (ÇMUSEP, 2019).

Kayaçların toprak haline dönüşmesi yıllarca ve zorlu bir süreçtir. Bununla birlikte her geçen gün erozyon sebebiyle toprak kaybı olurken; tüketilen kimyasal kaynaklar nedeniyle de topraktaki biyolojik canlılığa zarar vermekteyiz. Sağlıklı toprağın en önemli ölçütü organik madde miktarıdır. Organik madde potansiyelinin ise Ülkemiz topraklarının yaklaşık %88’inde oldukça az olması, topraklarımız için tehlikenin yaklaştığını göstermektedir. Ülkemizde, toprakların yapılarına uygun kullanılmaması nedeniyle meydana gelen ciddi sorunlar arasında tarım arazilerindeki tahribat, kuraklık, çölleşme ve tuzlanma yer almaktadır. İç Anadolu Bölgesi, bitki örtüsünün zarar verildiği, aşırı toprak işleme ve nadaslı buğday tarımının yapıldığı bunun yanı sıra rüzgar erozyonu şiddetinin de en fazla olduğu bölgedir. (WWF, 2021).

Yıllarca giderek artan, yer altı sularının kontrolsüz tüketimi sonucu ortaya çıkan büyük toprak çöküntüleri oluşmaktadır. Özellikle Konya bölgesinde su ve rüzgar erozyonlarının yanı sıra obruklar oluşmaktadır (TMO, 2019).

## 3. İklim Değişikliği, Karbon Ayak İzi, Karbon Ayak İzinin Türkiye’de Durumu

Artan dünya nüfusu gelişen endüstriyel faaliyetler sonucunda küresel sera gazı emisyonları sanayi devriminden itibaren dramatik bir şekilde artmıştır. Enerji kullanımı, ulaşım, sanayi, tarım, arazi kullanımında, artan fosil yakıt kullanımı en önemli sebeptir (Avcıoğlu ve Ayten 2016). Karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine yanı sıra, doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan farklar iklim değişikliği olarak tarif edilmektedir (Gündoğan vd., 2015).

Sera gazı emisyonları kısmen insan faaliyetlerinden kaynaklanması nedeniyle son 100 yıl içinde küresel iklim ortalama 0,5<sup>0</sup>C ısınmıştır. Bu konuda yapılan araştırmalara göre; küresel sıcaklığın, gelecek on yıl içinde 0,5<sup>0</sup>-1<sup>0</sup>C artmaya devam edeceğini vurgulamakta ve ayrıca, uygulanan iklim modelleri; bu emisyonların önemli ölçüde azaltılması için önlem alınmadığı takdirde, gelecek yüzyıl da dünyanın 1,4<sup>0</sup> ila 5,8<sup>0</sup>C daha ısınacağını öngörülmektedir. Bu değişiklikler sonucunda, yerkürede hidrolojik döngüyü olumsuz yönde etkileyecek, yağışlar ve su akışlarında önemli derecede değişikliklere ve aşırı hidrolojik olayların görülmesine neden olacağı tespit edilmiştir. Ayrıca, iklimdeki bu değişimler, ekonomik ve sosyal etkilere neden olmaktadır. Altyapı (binalar, ulaşım, enerji ve su temini) sektörü de bu bağlamda iklim değişikliğinden etkilenmekte ve bu durum yoğun nüfusa sahip yerler için ayrı bir tehdit oluşturmaktadır.

Sera gazları içerisinde önemli bir yere sahip olan karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), nitroksit (N<sub>2</sub>O), hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs) ve sülfürheksaflorit (SF<sub>6</sub>) küresel ısınma potansiyeli açısından en tehlikeli gazlar olarak belirlenmiştir. Bu sera gazları içerisinde atmosferdeki oran/etki değerlendirmesinde CO<sub>2</sub> çok yüksek orana sahip olmasına rağmen küresel ısınma potansiyeli en az, SF<sub>6</sub> en az atmosfere salınımı olan endüstriyel bir gaz olmasına rağmen ise en çok küresel ısınmaya sebep olan gazların başında gelmektedir. Farklı sera gazlarının farklı küresel

ısınmaya etkileri de farklılık göstermektedir. Örneğin metan gazının CO<sub>2</sub>'e göre 28 kat daha fazla ısı tutma kapasitesine sahip olması sera gazları arasında belirli katsayılar ile gösterilmesini ortaya çıkarmaktadır. Bu katsayıları kullanarak sera gazları salınımlarını karbondioksit eşdeğeri (CO<sub>2</sub> eşd.) ile ifade edilmektedir.

1992 yılında Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansında (Rio Dünya Zirvesi), United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi-BMİDÇS) 3-14 Haziran tarihleri arasında imzaya açılmıştır (IPCC, 2006). Bu sözleşmenin amacı; iklim üzerindeki antropojenik etkisine engel olmak adına atmosferde serbest haldeki sera gazı birikimlerini olabildiğince azaltmak ve önlemektir. Bununla birlikte ekosistemin iklim değişikliğine doğal bir şekilde uyum sağlaması, tarım üretiminin zarar görmemesi ve ekonomik kalkınmanın sürdürülebilir şekilde devam etmesi de göz önünde bulundurulmuştur (DSİ, 2016).

Paris Anlaşması, 2015 yılında Paris'te COP21'in gerçekleştiği sırada üzerinde anlaşmaya varılan uluslararası bir iklim antlaşması. Kyoto Protokolü'nden sonra iklim konusundaki en önemli antlaşma olarak kabul ediliyor. Bu antlaşma ile iklim değişikliğiyle mücadeleye yardımcı olacak hedefler belirlendi. En önemli hedefler şunlar: Üretilen zararlı sera gazlarının miktarını azaltmak, Rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kullanımını artırmak ve Küresel sıcaklık artışını 2<sup>0</sup>C'nin altında tutmaktır.

2021 yılı Temmuz ayında Yeşil Mutabakat Eylem Planı yayımlanmıştır. Eylem planında iklim değişikliği ile mücadele, yeşil finansman, AB sınırda karbon düzenlemesi, yeşil ve döngüsel bir ekonomi, temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı, sürdürülebilir tarım, sürdürülebilir akıllı ulaşım ve diplomasi başlıklarında olmak üzere çok geniş bir alanda atılacak adımlar yer almaktadır. Planda, 2021 yılında çevre etiketi ve atık yönetimi konularında başta Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (KOBİ) olmak üzere firmaların bilgilendirilmesi, yemek artığı ve atıklarının geri dönüşümünün sağlanmasına yönelik farkındalık yaratma ve tüketicinin bilinçlendirilmesi çalışmalarının yapılması hedeflenmiştir.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)'nin en üst düzey karar alma organı olan COP, 1995 yılından itibaren ise uluslararası düzeyde iklim değişikliğiyle mücadele yollarının tartışıldığı bir platform olarak düzenleniyor. BMİDÇS'ne taraf olan ülkelerin katıldığı COP'da, Türkiye dâhil 197 taraf (196 ülke ve Avrupa Birliği) bulunuyor. COP27 , Kasım 2022'de yapılmıştır.

İklim Şûrası, 2022 yılında gerçekleştirilmiştir. Ülkemizin 2053 net sıfır emisyon ve yeşil kalkınma hedefleri doğrultusunda tüm paydaşların aktif katılımıyla kısa, orta ve uzun vadeli stratejik hedefleri belirleyecek, iklim konusunda geliştirilecek mevzuata katkı sağlayacak, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliğine uyum bağlamında temel politikalarla öncelikli eylemleri içeren bir yol haritası oluşturacaktır (İklim Şûrası, 2022).

Avrupa Yeşil Mutabakatı, 11 Aralık 2019 tarihinde yayımlanmıştır . Günümüze kadar da yeni yasa teklifleri ve güncellemeler yer almaktadır. İklim değişikliği ve çevresel bozulma Avrupa ve dünya için var oluştural bir tehdittir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için Avrupa Yeşil Mutabakatı, AB'yi modern, kaynakları verimli kullanan ve rekabetçi bir ekonomiye dönüştürecektir. Bunun için aşağıdaki temel hedeflere ulaşılması amaçlanmaktadır: (1) 2050'ye kadar net sıfır sera gazı emisyonunun sağlanması, (2) ekonomik büyümenin kaynak kullanımından ayrıştırılması (URL-1).

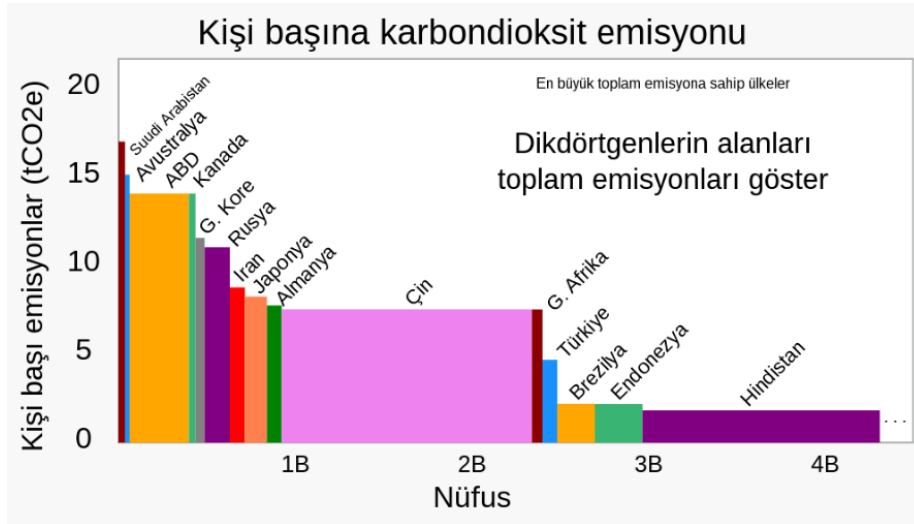
Küresel ısınmayı azaltabilmek için bugüne kadar yapılmış olan sözleşmelerin temelinde atmosferik sera gazlarının azaltımına yönelik faaliyetler yer almıştır. Prensip açısından azaltım, adaptasyon, veri değerlendirmesi, teknoloji transferi emisyon azaltımına yönelik ana başlıklar karşımıza çıkmaktadır. Azaltım çalışmaları içerisinde yer alan düşük karbon ekonomisine geçiş sürecinde, karbon yönetimi

temel bir yaklaşım olarak benimsenmiştir. Bir ürün veya hizmetin ham maddeden bertarafına kadar olan bütün süreçleri kapsayan döngü boyunca oluşan CO<sub>2</sub>'nin miktarının belirlenmesine karbon ayak izi olarak ifade edilmektedir.

Karbon ayak izi, birim CO<sub>2</sub> olarak hesaplanan veya ölçülen, üretilen sera gazı miktarı açısından bireysel, bölgesel insan etkinliklerinin çevreye etki ettiği kötü sonuçların tespiti. Basit olarak karbon ayak izi yıllık olarak şu şekilde hesaplanabilir:

$$\text{Karbon ayak izi (CO}_2 \text{ salınımı, ton)} = \text{Antropojenik Aktiviteler (sektörel ve bireysel uygulamalar)} \times \text{Emisyon Faktörü} \quad (1)$$

Formül ile hesaplanan CO<sub>2</sub> salınımı temelde insan odaklı faaliyetlerin birer sonucudur. Bu sonuç iklim değişikliği ve küresel ısınmanın ana faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır. Salımlar, yeryüzünün fazla ısınmasına, biyolojik kapasite verimliliğini yitirmesine ve doğal hayatı tehlikeye sokması gibi sorunlara neden olabilir. Son zamanlarda karbon ayak izi araştırmaları önemli derecede artmış ve sektörlerin, şehirlerin ve ülkelerin hesapları yapılabilmektedir. Bu hesaplara bakarak dünya haritasında ekonomik ve sosyolojik çıkarımlar yapılabilir. Bütünün bir parçasını temsil eden C salınımı tüm dünyada en yüksek konsantrasyonu ifade etmektedir. Son yıllarda enerji sektöründeki gelişmeler fosil yakıtların olumsuzluklarını ön plana çıkarmaktadır. Hem ekonomik bağımlılık hem de çevre kirliliği açısından bu tür yakıtların kullanımının yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliği avantaj sağlayacaktır. Türkiye ise bu kaynakları da üretmek için potansiyeli yüksek ülkeler arasında yer almaktadır (Şekil 1). Mevcut sorununun (karbon ayak izi, CO<sub>2</sub>) tümevarım mantığı çerçevesinde incelenip çözümler üretilmesi sera gazı salınımlarını düşürecektir.



Şekil 1. En yüksek emisyon salınımı olan ülkeler için "kişi başına" sera gazı emisyonları (URL-2)

Türkiye de yapılan bir çalışmaya göre 2018 yılında kişi başına düşen ekolojik ayak izi 2.55 kha, biyolojik kapasitesi 1.31 kha'dır. Bu verilere göre Türkiye de üretimin ekolojik ayak izi 2 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Başka bir ifadeyle, İnsan faaliyetleri sonucunda tüketilen 1 yıllık doğal kaynakların yeniden üretimi ve atmosfere saldıkları CO<sub>2</sub>'nin tutulması için en az 2 yıl geçmesi gerekmektedir. Bu durum, mevcut üretim ve tüketimde Türkiye'nin sürdürülebilir olmadığını göstermektedir. Türkiye'nin toplam ekolojik ayak izinde en büyük payı %46 gibi yüksek bir oranla karbon ayak izi almaktadır (WWF 2012).

2019 yılı sera gazı emisyon miktarı 50.9 MtCO<sub>2e</sub> ve kişi başına düşen karbon ayak izi 3.3 tCO<sub>2e</sub> olarak hesaplanmıştır. İstanbul'un 2019 Yılı Sera Gazı Envanteri, GPC Basic düzeydeki standartlara göre C40 tarafından onaylanmıştır. %63'lük kısmın sabit enerjiye, %28'lik kısmın ulaşıma ve %9'lük kısmın atık sektörüne ait olduğu görülmüş ve bu nedenle İBB ulaşım, atık, bina-enerji ve su-atıksu sektörlerine odaklanmıştır. (İstanbul İklim Değişikliği Eylem Planı, 2021).

Küresel sıcaklık artışının 2<sup>0</sup>C'ye ulaşması halinde, Türkiye'nin de içinde yer aldığı Akdeniz Havzası'nda beklenenler, iklim değişikliğinin etkilerine karşı alınması gereken önlemlerin ne ölçüde programlı olması gerektiğini göstermektedir. IPCC Dördüncü Değerlendirme Raporu'nda, Akdeniz Havzası'nda genel sıcaklık artışının 1<sup>0</sup>-2<sup>0</sup>C'ye ulaşacağı, kuraklığın geniş bölgelerde hissedileceği ve özellikle iç kesimlerde sıcak hava dalgalarının ve aşırı sıcak günlerin sayısının artacağı ifade edilmektedir. Türkiye'de ise yıllık ortalama sıcaklığın gelecek yıllarda 2.5<sup>0</sup>-4<sup>0</sup>C artacağı, Ege ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nde 4<sup>0</sup>C'yi, iç bölgelerinde ise bu artışın 5<sup>0</sup>C'yi bulacağı tahmin edilmektedir. Gerek IPCC raporu, gerekse yürütülen bir dizi ulusal ve uluslararası bilimsel model çalışmaları, Türkiye'nin yakın gelecekte daha sıcak, daha kurak ve yağışlar açısından daha belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağını ortaya koymuştur. 2007 yılında hazırlanan Türkiye'nin İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi'nde; iklim değişikliğinin Türkiye'deki etkilerinin; artan yaz sıcaklıkları, batı illerinde azalan kış yağışları, yüzey sularının kaybı, artan sıklıkta kuraklık, toprak bozulması, kıyı erozyonu ve sel şeklinde olacağı belirtilmektedir (İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı, 2011-2023).

Türkiye'nin Paris İklim Anlaşmasına taraf olarak taahhütleri vardır. Doğal çevrenin korunması hem küresel hem de ulusal ölçekte gelecek kuşaklara karşı bir sorumluluk olarak görülmektedir. Bu sorumluluğun gereği olarak Türkiye, emisyon artışını 2030 yılı itibarıyla yüzde 21 oranında azaltma taahhüdünde bulunmuştur. COP 27'de %27 olan Ulusal Katı Atık beyanımız %41 olarak güncellenmiştir. Bu taahhüdün gereği olarak Türkiye, gerçekleştirdiği faaliyetleri ve kat ettiği mesafeyi her beş yılda bir hazırlanacak "Ulusal Katı Atık Beyanlarında" açıklayacağını bildirmiştir. Türkiye'nin çevrenin korunması ve yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması konusunda somut adımlar atması bekleniyordu. 11 Ekim 2021 tarihinde yapmış olduğu açıklamada T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının adının T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı olarak değiştirileceğini ifade etti. Bu değişiklik Türkiye, ekolojik sorunlar karşısında kurumsal anlamda bir adım atmış oldu. Paris İklim Anlaşması enerjiden ulaşıma, kentleşmeden sanayiye tüm sektörleri ilgilendiriyor ve iş yapma biçimlerini değiştiriyor. Türkiye, Paris İklim Anlaşması'nı imzalayarak öncelikli olarak çevresel bozulmanın önüne geçecek bir ekonomik sistemi tasarlama imkânına sahip olmuştur. Bu doğrultuda fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi, enerji bağımlısı bir ülke olan Türkiye'nin cari açığının azalması anlamına geliyordu. Böylece yenilenebilir enerji, atık yönetimi ve akıllı şehirler gibi alanlarda bütünsel kamu politikalarının hayata geçirilmesi mümkün olacaktır. Hayata geçirilen kamu politikaları sayesinde geleceğin yaşam alanları oluşturulacaktır.

2022 yılında Ulusal Döngüsel Ekonomi Eylem Planı hazırlanması öngörülmektedir. Bu kapsamda geri kazanılmış ikincil ürün ve malzeme kullanımı için teknik kriterlerin belirlenmesi hedeflenmektedir. Yeşil OSB ve Yeşil Endüstri Bölgesi Sertifikasyon sisteminin uygulamaya alınmasına yönelik olarak teknik ve idari çalışmaların tamamlanmasının da aynı zaman diliminde gerçekleştirilmesi öngörülmektedir. Çevre etiketi sisteminin 2023 yılında yaygınlaştırılması, tarımsal üretimde atık ve artıkların tekrar değerlendirilmesi konusunda AR-GE çalışmalarının 2024 yılında tamamlanması planlanmaktadır. 2022-2027 yılları arasında ise IPA fonları ve uluslararası finansman kaynakları kullanılarak sanayinin yeşil ve döngüsel ekonomiye geçişine ve emisyon azaltımına katkı sağlanması ele alınacaktır. İklim değişikliğinin azaltılması için 2016 yılında yürürlüğe giren Paris Anlaşması, 2021 yılı Ekim ayında ülkemizde de onaylanmıştır. İnsan kaynaklı sera gazı salımlarının sonucu olan küresel sıcaklık artışının sanayi öncesi döneme kıyasla 2<sup>0</sup>C'nin altında tutulması anlaşmanın başlıca hedefi olmakla birlikte, sıcaklık artışının 1.5<sup>0</sup>C'nin altında tutulmasına odaklanılması hususu da vurgulanmaktadır. Paris Anlaşması'nda ayrıca iklim değişikliğine karşı

uyum sağlama yeteneğinin arttırılması, gıda üretimini olumsuz etkilemeyecek şekilde düşük sera gazı emisyonlarının teşvik edilmesi, düşük sera gazı emisyonu ve iklim değişikliğine dayanıklı kalkınma doğrultusunda finans akışlarının oluşturulması hedeflenmektedir (United Nations, 2015).

#### 4. Tarımda Karbon Ayak İzi

İklim değişikliğinin kara ve deniz sıcaklıklarını artırması, yağış miktarı ve biçimlerini değiştirmesi sonucunda, küresel ortalama deniz seviyesinin yükselmesi ve kıyılardaki erozyon riskleri de artmakta, hava ile bağlantılı doğal afetlerin şiddetinde artışlara şahit olunmaktadır. Değişen su seviyeleri, sıcaklığı ve debisi; gıda arzı, tarım, sağlık, sanayi, turizm ve ulaşım gibi birçok sektörün yanı sıra, ekosistem bütünlüğünü de etkilemektedir. Bugün dünyanın bazı bölgelerinde toplumlar iklim değişikliğinin olumsuz etkileri ile daha fazla ve daha sık karşılaşmaya başlamışlardır (İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı, 2011–2023).

Sera gazlarının en büyük payından biri de tarım sektörüdür. (GHG'ler) toprak organik maddelerinin doğrudan kayıplarıyla ilgili emisyonlar küresel olarak CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub>O formlarında karbon salımına sebep olmaktadır. Uygun olmayan çiftçilik operasyonları önemli miktarda sera gazı salacak ve böylece nihayetinde iklim değişikliğine yol açan karbon ayak izini arttıracaktır (Seed vd., 2022).

Tohumlar, gübreleme, toprak işleme, ekim, sulama, hasat ve depolama vb. dahil olmak üzere çiftlik girdileri gibi tüm tarımsal uygulamalar, sera gazı emisyonları üzerinde çarpıcı etkiler yaratabilir. N<sub>2</sub>O emisyonlarının %60'ından fazlasının, büyük bir kısmı organik ve inorganik gübrelerin kullanımına atfedilen tarımsal faaliyetlerden geldiği tahmin edilmektedir

Dünya nüfusunun %18'ine sahip olan Çin, 2000'den 2015'e kadar mahsul veriminde %46.3'lük bir artışla dünyanın en büyük tarım pazarına sahip ve küresel mahsul veriminin %19.9'unu oluşturuyor (Zhang vd., 2021).

Dünya Bankası'na (2015) göre, 2000–2013 döneminde Çin'de sera gazı emisyonları sürekli arttı ve ileri teknolojilerin uyarlanması, çevrenin incelenmesi ve optimize edilmesi yoluyla tarımdaki sera gazı emisyonlarının büyüklüğünü azaltmak için büyük önemden yaklaşık %16'lık bir artış tahmin edildi (Zhang vd., 2021).

Yine de, azotlu gübrelerin miktarını azaltarak ve büyük çiftlikleri etkin bir şekilde yöneterek başlıca tahıl ürünlerinden (pirinç, buğday ve mısır) kaynaklanan büyük sera gazı emisyonlarının yoğunluğunu azaltmak için büyük bir potansiyel vardır. Ancak bu, uzun vadede dengeye bağlı olacaktır. Yoğun olarak gübrelenen ve sulanan gıda ürünleri ana ürünlerdir. N<sub>2</sub>O emisyon kaynakları ve farklı tarımsal ekosistemler kapsamlı bir şekilde teyit edilmiştir. Bu nedenle, bu gıda ürünlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının karmaşık dinamiklerini anlamak, tarım için iklime dayanıklı stratejilerin formüle edilmesine yardımcı olabilir. Sentetik gübrelerin, organik takviyelerin ve diğer çiftçilik işlemlerinin uzun süreli uygulanması, N birikiminde farklılıklara neden olabilir ve bazı durumlarda, N'nin zamanla GHG formlarında net kayıplarına yol açabilir. Her ne kadar bazı stratejiler bol miktarda topraklarda organik karbon ve N ve böylece sera gazlarının ortadan kaldırılmasına yardımcı olur (Sun vd., 2019).

Bununla birlikte, bu faydalı etkilerin büyük olasılıkla SOC'nin doyma seviyelerine yaklaştığı durumlarda artan N<sub>2</sub>O emisyonları ile dengelenmesi muhtemeldir.

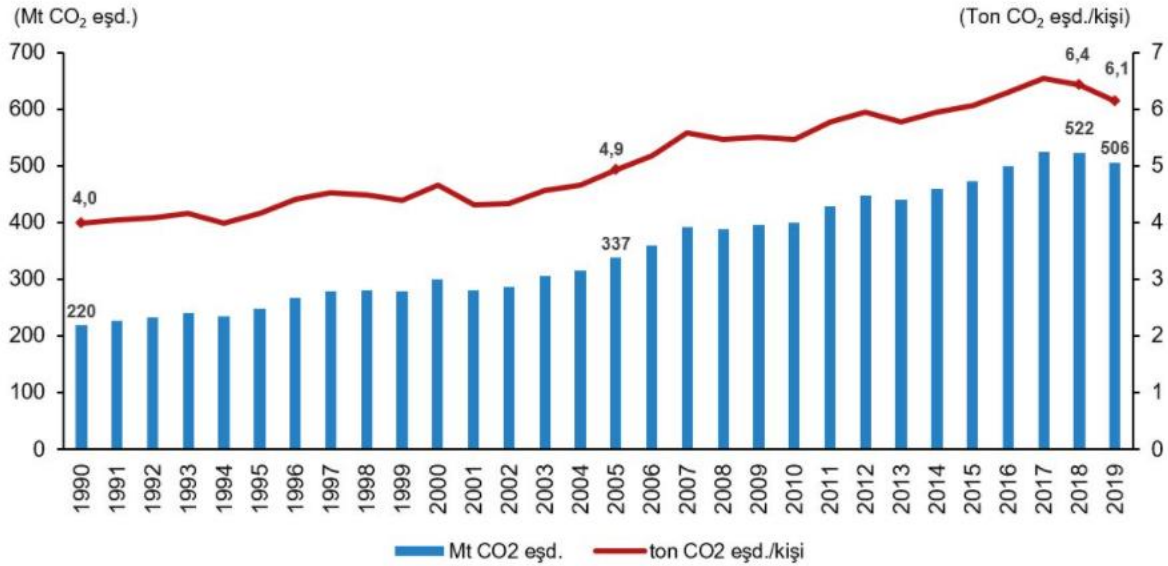
Bu nedenle, uzun vadede tarımsal üretimi sürdürmek için belirli bir yönetim stratejisinin değerlendirilmesi için SOC sekestrasyonu, potansiyel N<sub>2</sub>O emisyonları ve ürün verimliliğindeki dinamik değişiklikleri kapsamlı bir şekilde değerlendirmek zorunlu hale geliyor. Bununla birlikte,

özellikle iklim değişikliği geri bildirim bağlamında iklim, toprak özellikleri ve inorganik N mevcudiyeti gibi eşzamanlı olarak hareket eden değişkenler kümesi nedeniyle, tarla koşullarında bu tür uzun vadeli değişiklikleri pratikte gözlemlemek genellikle zordur (Sun vd., 2019).

Karbon ayak izi, ölçülebilir bir çevresel göstergedir. Daha temiz ve iklime dayanıklı teknolojileri belirlemek için kullanılabilir ve böylece yönetim stratejilerinin veya ürün yetiştirme sistemlerinin azaltma potansiyellerini ölçmeyi kolaylaştırır. Uzun vadeli tarla deneyleri, mahsuller, yönetim stratejileri, artan girdiler ve iklim dalgalanmaları arasındaki karmaşık dinamikleri anlamada hayati bir rol oynar. Sera gazlarının emisyonlarındaki farklılıklar ve yağmurla beslenen ve sulanan mahsul şemaları altındaki ayak izleri geçmişte Çin'de ihmal edildi.

Bildiğimiz kadarıyla, sulu (kış buğdayı-yaz mısır) ve yağmurla beslenen (kış buğdayı-yaz nadası) mahsul sistemlerinde büyük mahsul üretiminin CF üzerindeki uzun vadeli gübrelemenin etkilerini değerlendiren hiçbir çalışma yoktur (Sun vd., 2019).

1990-2019 yılları arası CO<sub>2</sub> eşdeğeri toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu Şekil 2'de görülmektedir (TUİK, 2019).



Şekil 2. CO<sub>2</sub> eşdeğeri toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu

Şekil 2'de 2019 yılında toplam sera gazı emisyonu 506.1 milyon ton (Mt) CO<sub>2</sub> eşdeğeri (eşd.) olarak görülmektedir. 2018 yılında bu değer 522 Mt CO<sub>2</sub> eşd. ölçülürken 2019 yılında %3.1 azalma gözlenmiştir. Kişi başı sera gazı emisyonuna baktığımızda 1990 yılında 4, 2018 yılında 6.4 ve 2019 yılında ise 6.1 ton CO<sub>2</sub> eşd. olarak tespit edilmiştir.

Sektörlere göre sera gazı emisyonları, 1990-2019 yılları arasında ölçülen değerler ve değişimler Tablo 1'de verilmiştir (TUİK 2019).



**Tablo 1.** Sektörlere göre sera gazı emisyonu(Mt CO<sub>2</sub> eşd.)

	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	1990- 2019 değişim (%)	2018- 2019 değişim (%)
<b>Toplam Emisyon</b>	<b>219.6</b>	<b>299.0</b>	<b>399.1</b>	<b>473.3</b>	<b>498.9</b>	<b>525.0</b>	<b>522.5</b>	<b>506.1</b>	<b>130.5</b>	<b>-3.1</b>
Enerji	139.6	216.1	287.0	340.9	359.7	379.9	373.1	364.4	161.0	-2.3
Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	22.8	26.2	48.1	57.2	61.4	64.0	65.9	56.4	147.1	-14.3
Tarım	46.1	42.3	44.4	56.1	58.9	63.3	65.3	68.0	47.7	4.1
Atık	11.1	14.3	19.5	19.0	19.0	17.8	18.1	17.2	55.7	-5.0

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

Sera gazı salınımlarına göre CO<sub>2</sub> eşd. Konsantrasyonlarında göz görülebilir artış 1990-2019 yılları arasında enerji sektöründe gerçekleşmiştir. Tarım sektöründe ise 2018-2019 yılları arasında %4.1'lik değişim gözlenmiştir. Sektörel bazda enerji ve tarım sektörleri sera gazı salınımlarında ve iklim değişikliğinde aktif rol oynamaktadırlar. Ayrıca CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ve F-gazlarına göre oluşan sera gazı emisyonları Tablo 2' de verilmiştir (TUİK 2019).

**Tablo 2.** Gazlara göre sera gazı emisyonu(Mt CO<sub>2</sub> eşd.)

	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	1990- 2019 değişim (%)	2018- 2019 değişim (%)
<b>Toplam Emisyon</b>	<b>219.6</b>	<b>299.0</b>	<b>399.1</b>	<b>473.3</b>	<b>498.9</b>	<b>525.0</b>	<b>522.5</b>	<b>506.1</b>	<b>130.5</b>	<b>-3.1</b>
CO <sub>2</sub>	151.5	229.8	314.4	381.3	401.2	425.3	419.4	399.3	163.6	-4.8
CH <sub>4</sub>	42.5	43.7	51.4	51.6	54.5	54.8	58.1	60.3	41.8	3.8
N <sub>2</sub> O	25.0	24.8	29.8	35.4	37.7	39.1	39.3	40.2	61.2	2.4
F-gazlar	0.6	0.7	3.6	5.0	5.5	5.7	5.7	6.2	898.2	10.1

CH<sub>4</sub> emisyon oluşumunun sektörlere göre dağılımı, tarım %62.4, enerji %19.5, atık %18.1 ve endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı %0.03'dir. N<sub>2</sub>O emisyonlarının ise %72.5'i tarım, %15.7'si atık, %8.8'i enerji ve %3'ü de endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen kaynaklandığı görülmektedir. CO<sub>2</sub> salınımları 1990-2019 yılları arasındaki değişim % 163.6 iken 2018-2019 yılları arasındaki değişim miktarı -4.8'dir.

İklim değişikliği ile ilgili Türkiye’ de Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca yapılan ve yapılacak eylem planları da konunun önemini ele almaktadır (İklim Değişikliği Eylem Planı. 2011 – 2023). 3 Mayıs 2010 tarihinde Yüksek Planlama Kurulu tarafından onaylanarak yürürlüğe giren Türkiye’nin “Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi”nde Ulusal Vizyon aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

*“Türkiye’nin iklim değişikliği kapsamındaki ulusal vizyonu, iklim değişikliği politikalarını kalkınma politikalarıyla entegre etmiş; enerji verimliliğini yaygınlaştırmış; temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmış; iklim değişikliğiyle mücadeleye özel şartları çerçevesinde aktif katılım sağlayan ve yüksek yaşam kalitesiyle refahı tüm vatandaşlarına düşük karbon yoğunluğu ile sunabilen bir ülke olmaktadır”.*

İklim değişikliğinin, gezegen dönüşüm süreci üzerinde, beklenen doğal etkilerin ötesinde bir sonuç yaratacak olması, karşımıza çıkan olumsuz sonuçların hafifletilmesi için bir an önce önlem alınmasını gerekli kılmaktadır. Küresel ölçekte bir çevre sorununun ötesinde bir mesele olan iklim değişikliği, uzun dönemde dünyayı etkilemeye devam edecektir. Gelecek birkaç on yıl içinde gezegenin sıcaklıkta artış ve yağış biçimlerinde değişikliklerle karşı karşıya kalacağı bugün bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır.

Ulusal İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı 2011-2023, Türkiye’de iklim değişikliğinden etkilenebilirlik alanlarını, teknik ve bilimsel çalışmaların desteklediği ve katılımcı süreçler ile kabul edilen beş önemli alana odaklanmıştır. Bunlar: (1) Su Kaynakları Yönetimi, (2) Tarım ve Gıda Güvencesi, (3) Ekosistem Hizmetleri, Biyolojik Çeşitlilik ve Ormancılık, (4) Doğal Afet Risk Yönetimi ve (5) İnsan Sağlığıdır.

Ayrıca 2018 yılında, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından İklim Değişikliği Eylem Planı için, kapsamlı bir iklim değişikliği tehlikeleri risk değerlendirmesi hazırlanmıştır. Bu değerlendirmede mevcut iklim değişikliği riskleri, 2100’e kadar olan potansiyel iklim değişikliği ve etkileri ele alınmıştır (İstanbul İklim Değişikliği Eylem Planı, 2021).

## 5. Sonuç ve Öneriler

İklim değişikliği gezegenimizin sürdürülebilirliği açısından önlem alınması gereken konular arasında yer almaktadır. Ekosistemin antropojenik faaliyetler (sera gazı emisyonları ve iklim değişikliği ilişkisi) sonucu olumsuz yönde etkilenmesi son yıllarda yoğun bir şekilde artmaktadır.

CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ve F grubu gazların salınımı hayvan ve gıda üretimi sektörlerinde yüksek seviyelerde ortaya çıkmakta olup, bu durum diğer sektörlerle kıyasla göz ardı edilemeyecek noktaya ulaşmıştır. Sektör bazlı salımları minimize etmek için farklı süreçler olmakla birlikte, hayvancılık ve tarımsal üretim odaklı alanlar bu konuda başrol oynamaktadır. Bu kapsamda;

1. Küresel arenada enerji ve enerji kaynaklı çevresel olumsuzlukların ön planda olduğu bir süreç günümüzde bulunmaktadır. Her ülke ve Türkiye’de enerji dönüşümü ekonomik değer açısından (dış piyasaya bağımlılık) karbon minimizasyonu ile hedeflenmektedir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de farklı ayak izlerinin (karbon ayak izi-su ayak izi vb.) etkili ve sürdürülebilir kullanımlarla dengeleneceği öngörülmektedir.
2. Ülkemizde, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak elektrik üretimi %30 dan fazla hedeflenmelidir. Ayrıca fosil yakıtların kullanımını en aza indirmelidir.
3. Sıfır karbon üretimli enerji kullanımı için farklı alternatifler önerilmeli ve yetki dahilinde yasal uygulamalar planlanmalıdır.

4. Ülkemizde doğal enerji uygulamaları halihazırda bölgesel olarak gerçekleştirilmektedir. Ancak, uygulama bazlı ekonomik desteklerin artırılması sağlanmalı ve bölge bazlı dağılımın daha hassas yapılması gerekmektedir.

Tarım arazisi, bitki örtüsünün karbon yutağı işlevini ve üretim malzemelerinin girdisinden üretilen karbon emisyonlarını göz önünde bulundurulmalıdır. Tarımsal su kullanımının, ekoloji üzerindeki potansiyel etkisi olan su kıtlığı ve karbon ayak izi endeksleriyle birlikte ele alınmalıdır. Bu konu hakkında uygun modelleme çalışmalarının yapılması da tarımsal alanda karbon ayak izi takibini kolaylaştıracaktır.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

Anonymous. (2019). Sürdürülebilir Toprak Yönetimi Gönüllü Kılavuz İlkeleri. Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/3/i6874tr/I6874TR.pdf>, (Erişim tarihi:28.11.2022).

Avcioğlu O., ve Ayten Ş.G. (2016). Tarımsal Üretimde Sera Gazları ve Karbon Ayak İzi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal Of Agricultural Machinery Science)*, 12(3), 157-162157.

Baker J.M., and Griffis T.J. (2005). Examining strategies to improve the carbon balance of corn/soybean agriculture using eddy covariance and mass balance techniques. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128 (3), 163–177.

Cheng K., Pan G., Smith P., Luo T., Li L., Zheng J., and Yan M. (2011). Carbon footprint of China's crop production—an estimation using agro-statistics data over 1993–2007. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142 (3-4), 231–237.

Çadraku H.S. (2021). Groundwater quality assessment for irrigation: case study in the Blinaja River Basin, Kosovo. *Civil Engineering Journal*, 7 (9), 1515–1528.

ÇMUSEP (2019). Çölleşmeyle Mücadele Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı 2019-2030. *Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları*, Ankara.

DSİ (2016). Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı, İklim Değişikliği Birimi İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. *Kyoto Protokolü ve Türkiye*.

Eliasson J. (2015). The rising pressure of global water shortages. *Nature*, 517 (7532), 6.

Gan Y.T., Liang C., Huang G.B., Malhi S.S., Brandt S.A. and Katepa-Mupondwa F. (2012). Carbon footprint of canola and mustard is a function of the rate of N fertilizer. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17, 58–68.

Gündoğan A.C., Baş D., ve Sayman R.Ü. (2015). A'dan Z'ye İklim Değişikliği Başucu Rehberi. *Bölgesel Çevre Merkezi - REC Türkiye*. ISBN: 978-975-6180-43-3.

Hertwich E.G., and Peters G.P. (2009). Carbon footprint of nations: a global, trade-linked analysis, *Environmental. Science Technology*, 43 (16), 6414–6420.

Houria B., Mahdi K., and Zohra T.F. (2020). Hydrochemical characterisation of groundwater quality: Merdja plain (Tebessa town,Algeria). *Civil Engineering Journal*, 6 (2), 318–325.

IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

İklim Değişikliği Eylem Planı 2011 – 2023. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara – 2012. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/banner/banner591.pdf>.

İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı 2011–2023. [https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/uyum\\_stratejisi\\_eylem\\_plani\\_TR.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/uyum_stratejisi_eylem_plani_TR.pdf)

İstanbul İklim Değişikliği Eylem Planı. (2021). İstanbul Büyükşehir belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, İstanbul. [https://cevre.ibb.istanbul/wp-content/uploads/2022/01/ist\\_iklim\\_degisikligi\\_eylem\\_plani.pdf](https://cevre.ibb.istanbul/wp-content/uploads/2022/01/ist_iklim_degisikligi_eylem_plani.pdf)

İklim Şurası, (2022). <https://iklimsurasi.gov.tr/sayfa/hakkimizda/iklim-degisikligine-uyum-komisyonu>

Karaca A., and Turgay O.C. (2012). Toprak kirliliği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 1(1), 13-19.

Lence B., Moosavian N., and Daliri H. (2017). Fuzzy programming approach for multiobjective optimization of water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE 143 (7), 04017020.

Li C., Cai Y., and Qian J., (2018). A multi-stage fuzzy stochastic programming method for water resources management with the consideration of ecological water demand. *Ecological Indicators*, 95, 930–938.

Lv A., Qi S., and Wang G. (2022). Multi-model driven by diverse precipitation datasets increases confidence in identifying dominant factors for runoff change in a subbasin of the Qaidam Basin of China. *Science Total Environment*, 802, 149831. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149831>.

Okur N., and Kayıkçıoğlu H.H. (2008). Toprak Mikroorganizmaları Tarafından Üretilen Küresel Gazlar. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45 (1), 49-55, ISSN 1018 – 8851.

Pandey D., Agrawal M., and Pandey J.S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring Assessment*, 178 (1-4), 135–160.

Seed Q., Zhang A., Mustafa A., Sun B., Zhang S and Yang X. (2022), Effect of Long-Term Fertilization On Greenhouse Gas Emissions and Carbon Footprints İn Northwest China: A Field Scale Investigation Using Wheat-Maize-Fallow Rotation Cycles, *Journal Of Cleaner Production*. 332: 130075.

Sepahri A., and Sarrafzadeh M.H. (2018). Effect of nitrifiers community on foulingmitigation and nitrification efficiency in a membrane bioreactor. *Chemical Engineering and Processing*, 128, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.04.006>.

Stocker T.F.D., Qin G.K., Plattner M., Tignor S.K., Allen J., Boschung A., et al. (2013). IPCC, 2013: Climate Change: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Sun M., Zhan M., Zhao M., Tang I.I., Qin M.G., Cao C.G., Cai M.L., Jiang Y. and Liu Z.H. (2019). Maize and Rice Double Cropping Benefits Carbon Footprint and Soil Carbon Budget İn Paddy Field. *Field Crops Research*, 243, 107620.

Tubiello F.N., Salvatore M., Rossi S., Ferrara A., Fitton N., and Smith P. (2013). The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters*, 8 (1), 015009.

TMO (2019). Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü, Hububat Sektör Raporu, <https://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/sektorraporlari/hububat2019.pdf>

TUİK (2019). Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Greenhouse-Gas-Emissions-Statistics-1990-2019-37196>.

United Nations (2015). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamındaki Paris İklim Anlaşması.

Wang Z.B., Zhang H.L., Lu X.H., Wang M., Chu Q.Q., Wen X.Y., and Chen F. (2016). Lowering carbon footprint of winter wheat by improving management practices in north china plain. *Journal of Cleaner Production*, 112, 149–157.

Wu H., Guo S., Guo P., Shan B. and Zhank Y. (2021). Agricultural Water and Land Resources Allocation Considering Carbon Sink/ Source and Water Scarcity/Degradation Footprint. *Science of the Total Environment*, 819,152058.

WWF (2021). Türkiye’de Tarım Topraklarının Dünü, Bugünü ve Geleceği. *WWF-Türkiye (Doğal Hayatı Koruma Vakfı)*, İstanbul, Türkiye, 2021.

WWF (2012). Türkiye’nin Ekolojik Ayak İzi Raporu. [https://www.footprintnetwork.org/content/images/article\\_uploads/Turkey\\_Ecological\\_Footprint\\_Report\\_Turkish.pdf](https://www.footprintnetwork.org/content/images/article_uploads/Turkey_Ecological_Footprint_Report_Turkish.pdf)

Zhang F., Cai Y., Tan Q., Engel B.A. and Wang X. (2021). An Optimal Modeling Approach For Reducing Carbon Footprint İn Agricultural Water-Energy-Food Nexus System. *Journal Of Cleaner Production*. 316, 128325.

Zou M., Kang S., Niu J., and Lu H. (2020). Untangling the effects of future climate change and human activity on evapotranspiration in the Heihe agricultural region, Northwest China. *Journal of Hydrology*, 585, 124323.

URL-1, Avrupa Yeşil Mutabakatı EEAS European Union. [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en), Erişim Tarihi: 22.05.2023.

URL-2, Sera gazı emisyonları. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Sera\\_gazı\\_emisyonları](https://tr.wikipedia.org/wiki/Sera_gazı_emisyonları), Erişim Tarihi: 17.05.2023.