



Effects of Agricultural Applications on CO₂ Emission and Ways to Reduce

Caner Yerli^{1,a,*}, Üstün Şahin^{2,b}, Talip Çakmakçı^{1,c}, Şefik Tüfenkci^{1,d}

¹Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Van Yüzüncü Yıl University, 65090 Van, Turkey

²Department of Agricultural Structures and Irrigation, Faculty of Agriculture, Ataturk University, 25030 Erzurum, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 12/06/2019 Accepted : 07/08/2019</p> <p>Keywords: Global warming Greenhouse gases Irrigation Soil tillage Wastewater</p>	<p>Global warming, which has been increasing in recent years, is due to the increasing amount of greenhouse gases in the atmosphere. The agricultural sector, which has a 25% share in greenhouse gas formation, plays an important role in global warming. CO₂, which has a share of 82% among greenhouse gases, is shown as the most important greenhouse gas. It is estimated that 10% of the CO₂ in the atmosphere is missioned from the soil. When soil organic carbon, which is an indicator of soil fertility, is released into the atmosphere as CO₂, N and S compound gases return to the earth and it causes inefficient soil as well as global warming. Organic carbon is a source of CO₂ emissions when the soil is mismanaged. The organic carbon in the soil is transformed into CO₂ with loosening of the soil and accumulates in the atmosphere, after it exposure to temperature and oxygen. Unconscious tillage and irrigations increase the physical and biological activity of the soil and cause CO₂ emissions from the soil. CO₂ emission, which is the main cause of drought, needs to be reduced with low cost, easy and practical applications. At the beginning of these applications, can be listed reduced tillage, deficit irrigation, reduction of fertilizer usage, reuse of agricultural wastes and agricultural management of wastewater. In this review, it is aimed to investigate CO₂ emission effect of soil tillage depth and tools, exhaust gases of the vehicles used in soil tillage, the amount of irrigation water and irrigation methods, deficit irrigation, irrigation with wastewater, precipitation, plant factor, fertilization, properties and temperature of soil. In addition, approaches that can be applied to reduce CO₂ emission are mentioned.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(9): 1446-1456, 2019

Tarımsal Uygulamaların CO₂ Salınımına Etkileri ve Azaltılmasının Yolları

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 12/06/2019 Kabul : 07/08/2019</p> <p>Anahtar Kelimeler: Küresel ısınma Sera gazı Sulama Toprak işleme Atık sular</p>	<p>Son yıllarda etkisi artarak devam eden küresel ısınma, atmosferde sera gazlarının artan miktarından kaynaklanmaktadır. Sera gazı oluşumunda %25'lik paya sahip olan tarım sektörü küresel ısınmada önemli bir rol oynamaktadır. Sera gazları arasında %82'lik oranla CO₂ en önemli sera gazı olarak gösterilmektedir. Atmosferdeki CO₂ miktarının %10'unun topraktan salınım yoluyla ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Toprak verimliliğinin bir göstergesi olan toprak organik karbonu, atmosfere yayıldığında CO₂, N ve S bileşimli gazlar ile yeryüzüne dönmekte ve toprakları verimsizleştirmenin yanı sıra küresel ısınmaya neden olmaktadır. Organik karbon, toprağın yanlış yönetildiği durumlarda CO₂ salınımı için bir kaynak oluşturmaktadır. Toprakta bulunan organik karbon toprağın gevşetilmesi ile sıcaklık ve O₂'ye maruz kaldıktan sonra CO₂ formuna dönüşerek atmosferde birikmeye başlar. Bilinçsiz toprak işleme ve sulamalar toprağın fiziksel ve biyolojik faaliyetini artırarak topraktan CO₂ salınımına neden olmaktadır. Kuraklığın ana sebebi olan CO₂ salınımının düşük maliyetli, kolay ve pratik uygulamalar ile azaltılması gerekmektedir. Bu uygulamaların başında azaltılmış toprak işleme, kısıntılı sulama, gübre kullanımının azaltılması, tarımsal atıkların tekrar değerlendirilmesi ve atık suların tarımsal yönetimi sıralanabilir. Bu derlemede; toprak işleme derinliği ve aletlerinin, işlemede kullanılan taşıtların egzoz gazlarının, sulama suyu miktarı ve sulama yöntemlerinin, kısıntılı ve atık sular ile sulamanın, yağışların, bitki faktörünün, gübrelemenin, toprak özellikleri ve sıcaklığının CO₂ salınımına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca CO₂ salınımının azaltılması kapsamında uygulanabilecek yaklaşımlardan bahsedilmiştir.</p>

^a caneryerli@yyu.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0002-8601-8791>

^c ustunshahin@atauni.edu.tr

^d <https://orcid.org/0000-0002-1924-1715>

^e talipcakmakci@yyu.edu.tr

^f <https://orcid.org/0000-0001-5815-1256>

^g sefiktufenkci@yyu.edu.tr

^h <https://orcid.org/0000-0002-3350-1085>



Giriş

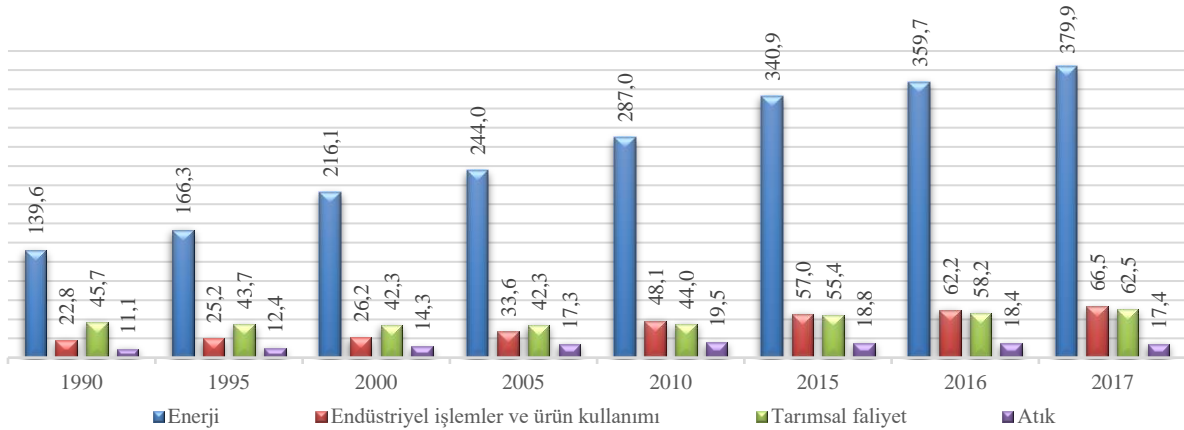
Hızla artan dünya nüfusu, kontrolsüz sanayileşme, fosil yakıtların aşırı kullanımı, şehirleşmenin ve betonarme yapıların artması, çevreye olan duyarsızlık ve ormanlık alanların tahrip edilmesi, yanlış arazi kullanımı, tarım ilaçlarının ve gübrelerin aşırı tüketimi atmosferin bileşimini değiştirmektedir (Korkmaz, 2007; Atabey ve Yokaş, 2016). Bunun sonucu olarak tarım ve sosyal yaşam üzerinde önemli etkileri olan küresel ısınma ve buna bağlı olarak da iklim değişiklikleri görülmektedir. Küresel ısınma, sera gazlarının atmosferde ki miktarının artması ile yeryüzünün ısınması olarak tanımlanabilir. Aslında atmosferde bulunan temel sera gazlarının (CO₂, CH₄ ve N₂O) doğal olarak var olan miktarları küresel ısınmayı etkilemezken bu gazların miktarlarındaki artış tehlike oluşturmaktadır. Küresel ısınmanın %25'lik payının tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığı belirtilmektedir (Houghton, 2005; Pathak ve Wassmann, 2007). Tarım sektörünün %25'lik payı hayvansal faaliyetler, yoğun toprak işlemler ve işlemede kullanılan taşıtların egzoz gazları, aşırı gübre kullanımı, sulama şekli ve miktarı, toprak özellikleri ve toprakların organik karbon içerikleri gibi birçok bileşenden oluşmaktadır (Tubiello ve ark., 2015; Vurarak ve Bilgili, 2015).

Sera gazları arasında en önemlisi olarak gösterilen, karbon ve oksijenin bir gaz formu olan CO₂ bitki yapısının %50'den fazlasını oluşturmaktadır olup, karbonun temel kaynağıdır (Gültekin ve Örgün, 1994). Sera gazları içerisinde %82'lik bir paya sahip olan CO₂ gazının yıllık artış miktarı %0,2 ile %0,8 arasında değişiklik göstermektedir (Aksay ve ark., 2005). Atmosferde bulunan CO₂ miktarının yaklaşık %10'unun topraktan salınım yolu ile geçtiği tahmin edilmektedir (Raich ve Potter, 1995). Toprakta bulunan organik karbon toprağın gevşetilmesi ile daha fazla O₂ ile karşılaşır ve CO₂ formuna dönüştükten sonra atmosferde birikmeye başlar (West ve Marland, 2002). Toprak verimliliğinin temelini oluşturan organik karbon atmosfere yayıldığında CO₂, N ve S bileşikli gazlar ile yeryüzüne dönmekte ve topraklara zarar verip verimsizleştirmenin yanı sıra (Senyigit ve Akbolat, 2010) küresel ısınmaya neden olmaktadır. Uluslararası iklim değişikliği paneli raporuna göre; CO₂ salınımı bakımından Dünya'yı en çok kirleten ilk üç ülke sırasıyla ABD (5,5

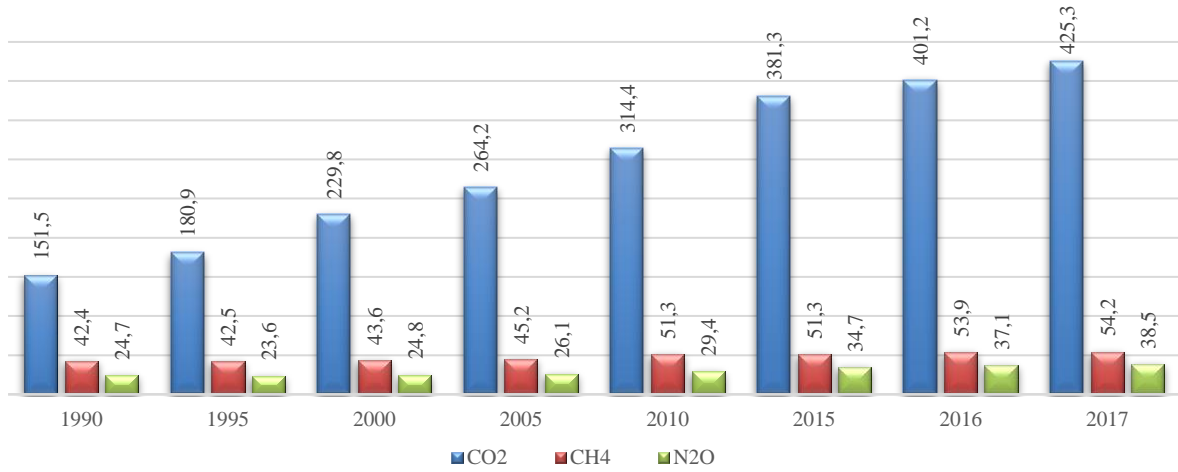
milyar ton), Rusya (2,8 milyar ton) ve Japonya (1.3 milyar ton)'dır (Kadioğlu, 2008). Türkiye'nin bu raporda on üçüncü sırada yer aldığı ve CO₂ salınım miktarının yaklaşık 300 milyon ton olduğu belirtilmiştir. Fakat son yıllarda %73'lük bir artış kat ederek (Vurarak ve Bilgili, 2015), en hızlı artış kaydeden ülkeler arasında gösterilmiş olması son derece endişe vericidir (Anonim, 2018).

TÜİK (2019), verileri kullanılarak Türkiye'nin sektörlere göre yıllık sera gazı salınım değerleri ile temel sera gazlarının yıllara göre dağılım miktarları Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 1'de 2005 yılından sonra tarım sektöründen kaynaklanan sera gazı salınımının sürekli artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 2'de de CO₂ salınımının yıllara göre büyük bir oranla artış gösterdiği, diğer temel sera gazlarına nazaran artış miktarının ve yıllara göre salınım miktarının daha yüksek olduğu görülmekte olup, başta CO₂ salınımı olmak üzere tüm sera gazlarının salınım miktarının azaltılması gerekmektedir. Bunun için karbon salınımını azaltıcı ve karbon tutulumunu artırıcı uygulamalara ihtiyaç vardır. Bu uygulamalar azaltılmış toprak işleme, kısımlı ve/veya kontrollü sulama, aşırı gübre kullanımının azaltılması, tarımsal artıkların tekrar değerlendirilmesi ve toprak organik madde miktarının artırılması olarak belirtilmiştir (Six ve ark., 2004; Sainju ve ark., 2008; Mancinella ve ark., 2010).

Artan CO₂ miktarıyla kuraklığın şiddetinin artacağı ve buna bağlı olarak su kaynaklarının azalması ile sulama suyu bulmakta problemler yaşanacağı açık bir gerçektir. Türkiye'nin su sıkıntısı çeken bir ülke konumunda olması dikkate alındığında, CO₂ salınımını azaltıcı uygulamaların gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Su kaynaklarının azalması ile tarım alanlarında tuzluluk problemlerinin ortaya çıkacağı ve tuzluluğa bağlı olarak verimi arttırmaya yönelik aşırı gübre kullanımı ile daha fazla toprak ve su kirliliği problemlerinin yaşanacağı, toprakların verimsizleşeceği, ağır metal birikiminin söz konusu olacağı ve tarımda üretimin azalacağı düşünülmektedir (Akın, 2006). Bu nedenle son yıllarda özellikle CO₂ salınımı olmak üzere, sera gazlarının etkileri ve tarımsal uygulamalardan kaynaklanan CO₂ salınımı ile ilgili çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır.



Şekil 1 Türkiye'de sera gazı salınımının sektörlere göre yıllık dağılım miktarları (milyon ton CO₂ eşdeğeri) (TÜİK, 2019)
Figure 1 Amount of greenhouse gas emissions by sector in Turkey as annually (CO₂ equivalent million tonnes)



Şekil 2 Türkiye’de temel sera gazlarının yıllara göre salınım miktarları (milyon ton CO₂ eşdeğeri) (TÜİK, 2019)
Figure 2 Amount of basic greenhouse gases emissions in Turkey as annually (CO₂ equivalent million tonnes)

Topraktaki karbonun verimlilik açısından önemi açıktır. Ancak toprak yanlış yönetildiğinde atmosferde artan CO₂’in önemli bir kaynağı olabilmektedir. Toprakta CO₂ salınımı toprak işleme, toprak nemi ve toprak sıcaklığı ile (Evans ve Burke, 2013) toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri gibi birçok değişkene bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Haddaway ve ark., 2016). Tüm bu değişkenler dikkate alınarak düşük maliyetli, kolay ve pratik uygulamalar ile toprakta karbon depolanmasının artırılmasına yönelik yaklaşımların geliştirilmesi ve ayrıca topraktan CO₂ salınım mekanizmasının detaylı olarak anlaşılması gerekmektedir.

Bu derlemede; CO₂ salınım mekanizmasına etki eden faktörlerin tam olarak anlaşılması için başta toprak neminin topraktan CO₂ salınımı üzerindeki etkileri olmak üzere, kısıntılı ve atık sular ile sulamanın, toprak işlemenin ve işlemede kullanılan taşıtların, yağışların, bitki faktörünün, gübrelemenin, toprak özellikleri ve toprak sıcaklığının CO₂ salınımına olası etkileri konu ile ilgili yapılmış olan bazı önemli çalışmalar referans alınarak değerlendirilmiştir ve önlemler konusunda çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Toprak işlemenin CO₂ salınımına etkisi

Toprak işlemede kullanılan aletler ve bu aletlerin toprağa etkileri sonucunda topraktan atmosfere CO₂ salınımı gerçekleşmektedir (Claderon ve Jackson, 2002). Toprak işlemeden hemen sonra CO₂ salınımında artış görülmekte daha sonra ise salınım miktarı azalma eğilimi göstererek standart değerlere ulaşmaktadır. Tarla toprağından CO₂ salınım miktarının günlük 0,5-10 mg m⁻² olması standart bir değer olarak kabul edilmektedir. (Haktanır ve Arcak, 1997)

Akbolat ve ark. (2007), toprak işleme için rototiller ve disko kullandıkları çalışmada CO₂ salınımının toprak işlemeden sonra ki 4,8 saat içinde yüksek değerlere ulaştığını daha sonra ise azalma eğilimi gösterdiğini bildirmişlerdir (Şekil 3). Bu durum toprak işleme ile toprak porozitesinin ve yüzey alanının artışından kaynaklanmaktadır (Reicosky, 1997).

Toprakta mikrobiyal aktivite sonucu organik maddenin ayrışmasıyla organik karbon azalmakta, CO₂ salınımı artmaktadır (Okur ve Kayıkcıoğlu, 2008). Toprak işleme,

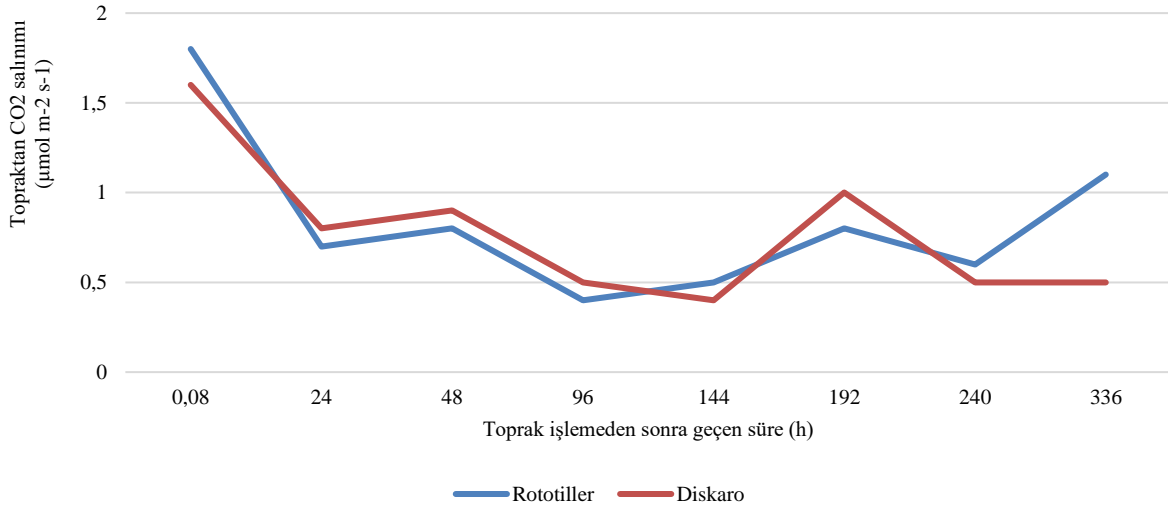
hem toprağın O₂ seviyesini arttırarak hem de yüzey artıklarının toprak partikülleri ile daha yakın temasını sağlayarak, mikrobiyal faaliyetler için uygun ortam sağlamakta ve bu faaliyetlerin hızını arttırmaktadır (Vurarak ve Bilgili, 2015). Aynı zamanda toprak işleme, toprağın fiziksel özelliklerine etki ettiğini için CO₂ salınımına neden olmaktadır (De-Oliveira Silva ve ark., 2019). Bu nedenle, yoğun toprak işleme organik maddenin parçalanmasını arttırarak atmosferdeki CO₂ için kaynak oluşturan önemli bir tarımsal uygulama olarak değerlendirilmektedir. Hâlbuki minimum toprak işleme veya doğrudan ekim bu salınımların azalmasını sağlamakta ve dolayısıyla toprakta karbon korunumunu sağlayarak toprak verimliliğini de aynı zamanda arttırmaktadır (Kocuyiğit, 2008).

Jacinte ve ark. (2002), geleneksel toprak işlemenin doğrudan ekime göre %43 daha fazla CO₂ salınımına neden olduğunu belirtmişlerdir. Akbolat ve ark. (2016), geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim koşullarında CO₂ salınımının sırasıyla 0,036 ve 0,025 g m⁻² h⁻¹ olduğunu bildirmişlerdir. Barut ve ark. (2012), doğrudan ekim uygulamasında, CO₂ salınımının geleneksel ve minimum toprak işlemeye göre yaklaşık %50 ve %15 daha az olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 4). Doğrudan ekimde, toprağa O₂ girişi ve sıcaklığın etkisi daha az olacağı için topraktan H₂O kaybı ve CO₂ salınımı daha az olmaktadır (Akbolat ve ark., 2016). Reicosky ve Archer (2007), farklı derinliklerde pullukla yapılan toprak işleme ile doğrudan ekim sistemini karşılaştırdıkları çalışmada, CO₂ salınımını toprak işlemeden hemen sonra ölçmüşler ve elde ettikleri sonuçlara göre 10,2, 15,2, 20,3 ve 28 cm derinliklerden pullukla yapılan toprak işlemede CO₂ salınımı doğrudan ekim sistemine göre sırasıyla 3,8, 6,7, 8,2 ve 10,3 kat daha fazla olmuştur. Talantimur (2014), artan toprak işleme derinliği ile topraktan CO₂ salınım miktarının paralel olduğunu belirtmiştir. Bu sebeple, gömücü ayakların açtığı çizilere tohumları yerleştirerek, toprak işlemenin daha az yapıldığı doğrudan ekim uygulamasının kullanılması ile topraktan CO₂ salınımının azaltılmasının yanı sıra daha az yakıt tüketimi gerçekleştiği için ekonomik kazanç da sağlanabilmektedir.

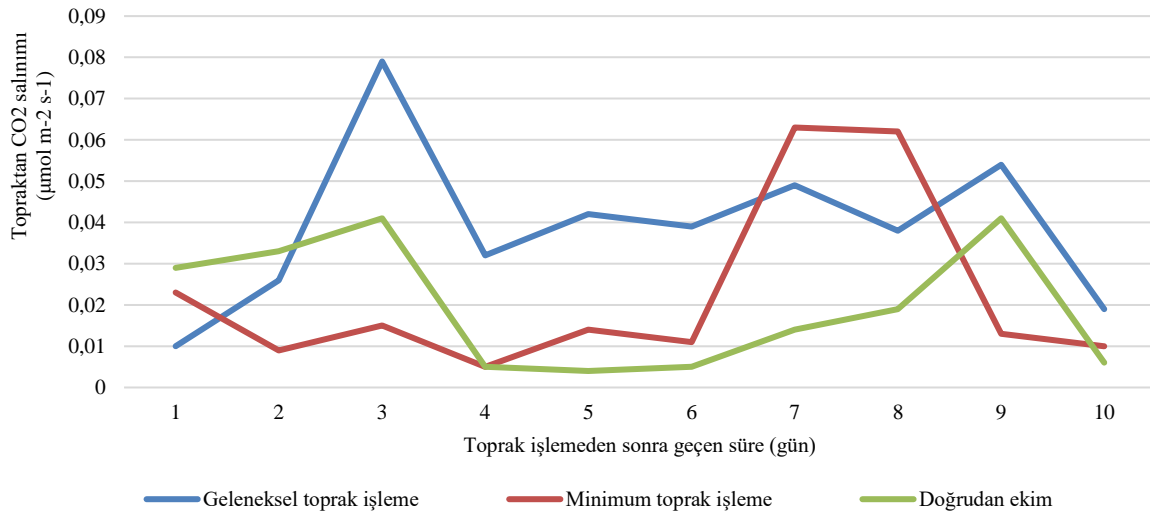
Toprakta CO₂ salınımı toprak işleme derinliğine ilaveten toprak işleme aletinin ağırlığına ve toprak işleme sırasında toprak yüzeyinden traktörün geçiş sayısına bağlı

olarak da değişiklik gösterebilmektedir. Jensen ve ark. (1999), toprağın sıkışık olduğu durumda CO₂ salınım miktarının minimum seviyelerde olduğunu belirtmişlerdir. Ball ve ark. (2008), 1 kPa ve 6 kPa değerlerindeki sıkıştırmanın topraktan CO₂ salınımına etkilerini inceledikleri çalışmada, toprak sıkışıklığının artışıyla CO₂ salınımının azaldığını bildirmişlerdir. Bu durum toprak sıkışıklığıyla toprak yüzeyinin hava geçirgenliğinin azalmasından dolayı toprağa O₂ girişinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Akbolat (2009), farklı ağırlıklarda tapanların kullanılmasının topraktan CO₂ salınımına etkisini inceledikleri çalışmada, tapan kullanılmadan tohum yatağı hazırlığı ile 45 ve 60 kg ağırlığında tapanlar kullanıldığında CO₂ salınımını sırasıyla 0,104, 0,043, 0,037 g m⁻² ha⁻¹ olarak belirtmiştir. Bu durum toprağın sıkışması ve artan sıkışma seviyesi ile toprak gözenekliliği ve mikroorganizma faaliyetinin azalması ve buna bağlı olarak da CO₂ salınım miktarının azalması ile açıklanabilir (Altıkat, 2013).

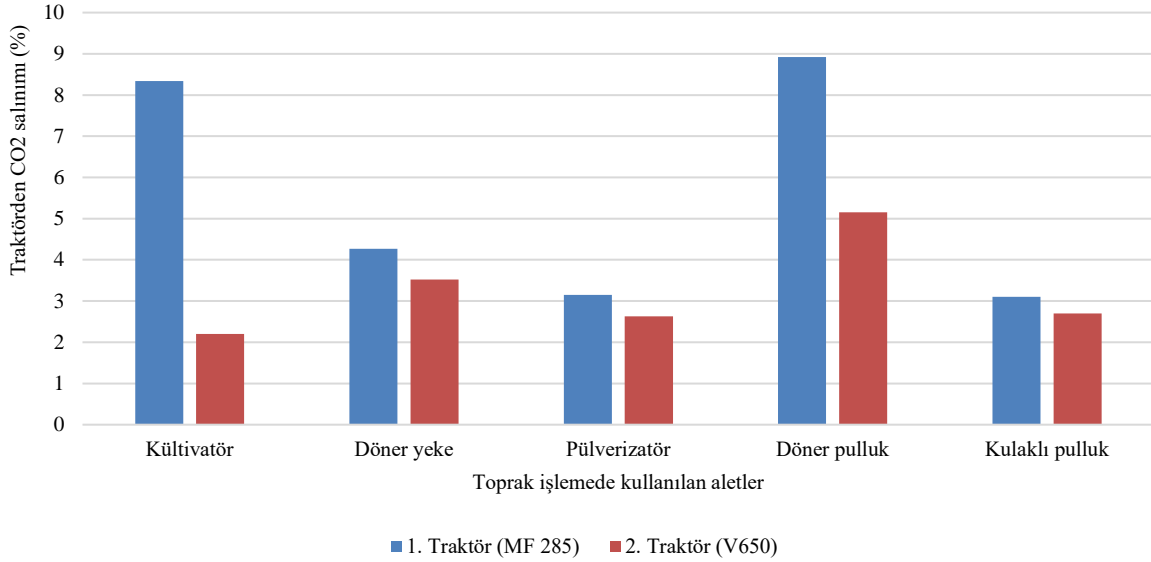
Toprak işlemede kullanılan taşıtlar, tarımsal sera gazı oluşumunda önemli bir faktördür. Traktörün yakıtının yanması ile egzozdan salınan sera gazı miktarı temel olarak traktörün çalışma hızına ve traktöre bağlanan toprak işleme aletine göre değişkenlik göstermektedir (Rashid ve ark., 2013). Ayrıca kullanılan traktöre ve yakıtın kalitesine göre de salınım miktarlarında farklılıklar görülebilmektedir (Al-lwayzy, 2012). Toprak işleme sırasında traktörün egzozundan salınan CO₂ miktarı toprağın işleme derinliğine, toprak nemine ve toprak bünyesine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir (Munoz ve ark., 2010). Rashid ve ark. 2013, farklı toprak işleme aletlerinin kullanıldığı koşullarda iki farklı traktörün egzozlarından salınan CO₂ miktarını inceledikleri çalışmada, en yüksek CO₂ salınımının döner pulluk ile toprak işlemeden gerçekleştiğini, traktörler ve toprak işleme aletleri arasında traktör egzozundan salınan CO₂ miktarının farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir (Şekil 5).



Şekil 3 Rototiller ve diskaro ile toprak işlemeden sonra topraktan CO₂ salınımı (Akbolat ve ark., 2007)
Figure 3 CO₂ emissions from soil after soil tillage with rotary tiller and disc harrow



Şekil 4 Farklı toprak işleme uygulamalarından kaynaklanan CO₂ salınımları (Barut ve ark., 2012)
Figure 4 CO₂ emissions arising from different soil tillage applications



Şekil 5 Farklı toprak işleme aletlerinin ve farklı traktörlerin kullanıldığı durumlarda traktör egzozundan CO₂ salınımları (Rashid ve ark., 2013)

Figure 5 CO₂ emissions arising from tractor exhaust when different soil tillage tools and different tractors are used

Tablo 1 Yüzey üstü ve yüzey altı damla sulama yöntemlerinde tam ve kısıntılı sulamanın sezonluk CO₂ salınımına etkisi (Maris ve ark., 2015).

Table 1 The effect of full and deficit irrigation on seasonal CO₂ emissions in surface and sub-surface drip irrigation methods.

Sulama yöntemleri ve su kısıntıları	CO ₂ salınım miktarı (kg ha ⁻¹)
Yüzey üstü damla sulama (%100)	771
Yüzey üstü damla sulama (%50)	681
Yüzey altı damla sulama (%100)	801
Yüzey altı damla sulama (%50)	645

Toprak neminin CO₂ salınımına etkisi

Bilinçsiz ve aşırı sulamalar, taban suyunun yükselmesi ve tarım alanlarında tuzlulaşma, toprak yapısının bozulması ve erozyon gibi bitkisel üretimin olumsuz etkilenmesine neden olacak problemleri ortaya çıkarabildiği gibi (Üzen ve ark., 2013) toprağın fiziksel ve biyolojik faaliyetini arttırarak topraktan sera gazı salınımı için bir kaynak oluşturmaktadır (Akbolat ve Senyigit, 2012). Claderon ve Jackson (2002), sulama yapıldıktan sonra topraktan CO₂ salınımının sulama öncesine göre artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu durumu Entry ve ark. (2008), toprağa su sağlanmasının bitki gelişimini arttırarak köklerden ve ölü bitki artıklarından toprağa daha fazla karbon kazanılması ile açıklamışlardır. Aynı zamanda, toprağa su uygulanması ile artan toprak nemi mikrobiyal aktiviteyi teşvik ederek organik maddenin bozulmasıyla CO₂ salınımını arttırmaktadır (Liu ve ark., 2008; Jabro ve ark., 2008).

Artan toprak nemi ile CO₂ salınımının artış göstermesinin yanı sıra sulama yöntemine bağlı olarak da değişiklik gösteren CO₂ salınımının en düşük düzeyi toprağın daha az ıslatıldığı damla sulama yönteminden elde edilmektedir. Şenyigit ve Akbolat (2010), damla, salma ve yağmurlama sulama yöntemlerinin CO₂ salınımına etkisini

inceledikleri çalışmada, en düşük CO₂ salınımının damla sulama yönteminden elde edildiğini belirtmişlerdir. Şenyigit ve Akbolat (2010), damla, yağmurlama ve salma sulama yöntemlerinin uygulandığı parsellerde ortalama CO₂ salınımının sırasıyla 0,065, 0,071 ve 0,084 g m⁻² ha⁻¹ olduğunu bildirmişlerdir (Şekil 6). Araştırmacılar, daha az su kullanımı ile toprak nemini daha uzun süre koruyan damla sulama yönteminin daha az CO₂ salınımına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Maris ve ark. (2015), yüzey üstü ve yüzey altı damla sulama yöntemlerinde su kısıntısının sezonluk CO₂ salınımına etkisini inceledikleri çalışmada, uygulanan su kısıtı ile CO₂ salınımının azaldığını ve bitki su ihtiyacının tamamının karşılandığı koşullarda yüzey altı damla sulama yönteminin daha yüksek CO₂ salınımına neden olduğunu bildirmişlerdir (Tablo 1). Akbolat and Senyigit (2012), %100, %50 ve %25 sulama suyu kısıntılarının CO₂ salınımı üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, %100, %50 ve %25 sulama suyu miktarları için CO₂ salınımlarını sırasıyla 0,152, 0,106 ve 0,073 g m² h⁻¹ olarak belirtmişlerdir. Kısıntılı sulama ile toprak daha az miktarda ıslatılacağından dolayı salınan CO₂ miktarının azalması mümkün olmaktadır. Sinaie ve ark. (2019), artan sulama suyu miktarıyla mikroorganizma faaliyetlerinin hızlandığını ve buna bağlı olarak CO₂ salınımının arttığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Zornoza ve ark. (2016), kısıntılı sulama uygulamasının topraktan CO₂ salınımını azalttığını bildirmişlerdir.

Yağışlar ve toprak sıcaklığının CO₂ salınımına etkisi

Toprak yüzeyine düşen yağışlar toprak nemini arttıracığı için CO₂ salınımına neden olmaktadır. Yağışlar, toprak porlarını tıkayarak CO₂ salınımını belirli bir süre azalttıktan sonra toprak neminin artışı ile CO₂ salınımı yağış öncesine göre artış göstermektedir (Patton, 2008). Bu nedenle yağışların miktarı ve şekli CO₂ salınımı için önemli bir etken olarak değerlendirilebilir.

Toprağa su girişi ile toprak sıcaklığı azalabileceği için özellikle yüzey toprağının serinletilmesi ile CO₂ salınımı ortam sıcaklığına bağlı olarak artma veya azalma eğilimi gösterebilmektedir (Mancinelli ve ark., 2015). Sainju ve ark. (2008), CO₂ salınımı ve toprak sıcaklığı arasında pozitif lineer bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuşlardır. Rastogi ve ark. (2002), toprak sıcaklığında 1°C'lik artış ile topraktan CO₂ salınımının %10 oranında artış gösterdiğini belirtmişlerdir. CO₂ salınımının sıcaklıkla sürekli bir artış gösterdiğini belirten Sainju ve ark. (2008), Jabro ve ark. (2008) ve Nosalewicz ve ark. (2013)'ün aksine Mariko ve ark. (2007) ile Gonzalez-Mendez ve ark. (2015), mikroorganizma aktivitesinin belli sıcaklıklar arasında daha aktif olduğunu ve CO₂ salınımı ile sıcaklık arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığını belirtmişlerdir. Chapman ve Thurlow (1996), kuru ve sulu tarım koşullarında aylara göre topraktan CO₂ salınımlarının değişiklik gösterdiğini ve sıcak geçen aylarda CO₂ salınımının daha yüksek değerler aldığını bildirmişlerdir (Şekil 7). Araştırmacılar, toprak sıcaklığının CO₂ salınımında önemli bir etken olduğunu ve 30°C'lik sıcaklık artışına kadar CO₂ salınımının sürekli artış gösterdiğini, 30°C'den sonra mikroorganizma faaliyetinin olumsuz etkilenmesinden dolayı topraktan CO₂ salınımının azalma eğilimi gösterdiğini belirtmişlerdir.

Bitki ve toprak özelliklerinin CO₂ salınımına etkisi

Topraktan CO₂ salınımı, bitki ve toprak faktörlerine göre farklılık gösterebilmektedir. Lee ve ark. (2009), geleneksel ve minimum toprak işleme koşullarında silajlık mısır, nohut ve ayçiçeği bitkilerinin yetiştirildiği topraklardan CO₂ salınımını inceledikleri çalışmada, bitki faktörünün CO₂ salınımı açısından önemli bir etken olduğunu bildirmişlerdir (Şekil 8). Araştırmacılar, silajlık mısır yetiştiriciliğinde sulama ile topraktan CO₂ salınımının doğrusal bir ilişkiye sahip olduğunu, nohut ve ayçiçeği bitkilerinde bu doğrusal ilişkinin sağlanmadığını ve nohut yetiştiriciliğinde toprak işlemenin CO₂ salınımında önemli bir faktör olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca bitki çeşitleri arasında da kök faaliyetleri farklılık göstereceğinden dolayı CO₂ salınımı açısından değişkenlikler görülebilmektedir (Rastogi ve ark., 2002).

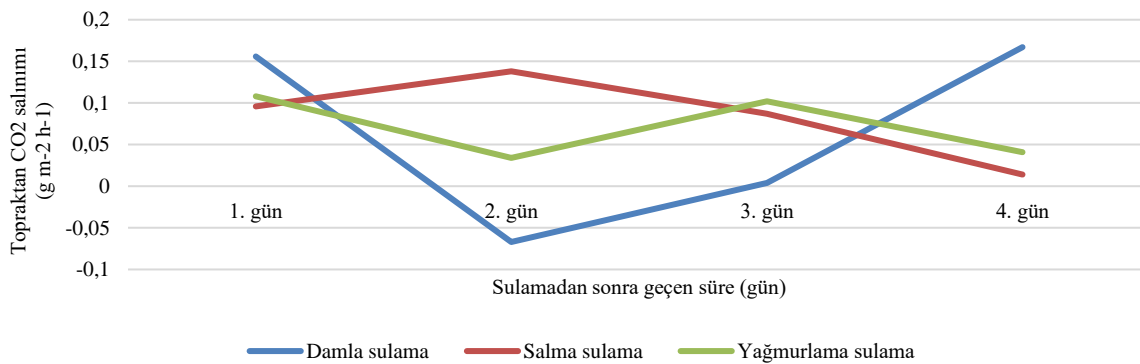
Arazi yüzeyinde bitkinin varlığı veya arazi yüzeyinin çıplak olması CO₂ salınımında önemli bir etken olarak

değerlendirilmektedir. Arazi yüzeyinde bitkinin olduğu yani ekili arazilerde CO₂ salınımının, nadasa bırakılan arazilere göre 2 veya 3 kat daha fazla olabileceği Rastogi ve ark. (2002) tarafından bildirilmiştir. Bu durum, arazinin çıplaklığı veya ekili olmasına göre, oksijen ve sıcaklığın toprağa etkisinin farklılık göstermesi ve dolayısıyla toprak organik maddesinin parçalanma faaliyetinin değişkenlik göstermesi ile açıklanabilir.

Toprak bünyesi, mikroorganizmaların faaliyeti için önemli bir etmendir. Bundan dolayı farklı toprak bünyelerinden salınan CO₂ miktarı değişkenlik gösterebilmektedir (Rastogi ve ark., 2002). Kowalenko ve Ivarson (1978), killi-tınlı topraklardan CO₂ salınımının (6.2 kg ha⁻¹ gün⁻¹) kumlu topraklara (3.3 kg ha⁻¹ gün⁻¹) göre yaklaşık 2 kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Toprak bünyesi ve toprak organik maddesi arasındaki ilişki tam olarak açık olmamasına rağmen toprak agregatlarının toprak organik maddesini fiziksel olarak koruduğu ve böylece toprakta kalma sürelerini arttırdığı yaygın olarak kabul edilen bir yaklaşımdır (Rao ve Pathak, 1996). Bu durumda, biyolojik faaliyeti zengin olan toprakların, CO₂ salınım miktarının daha fazla olduğu net olarak söylenebilir.

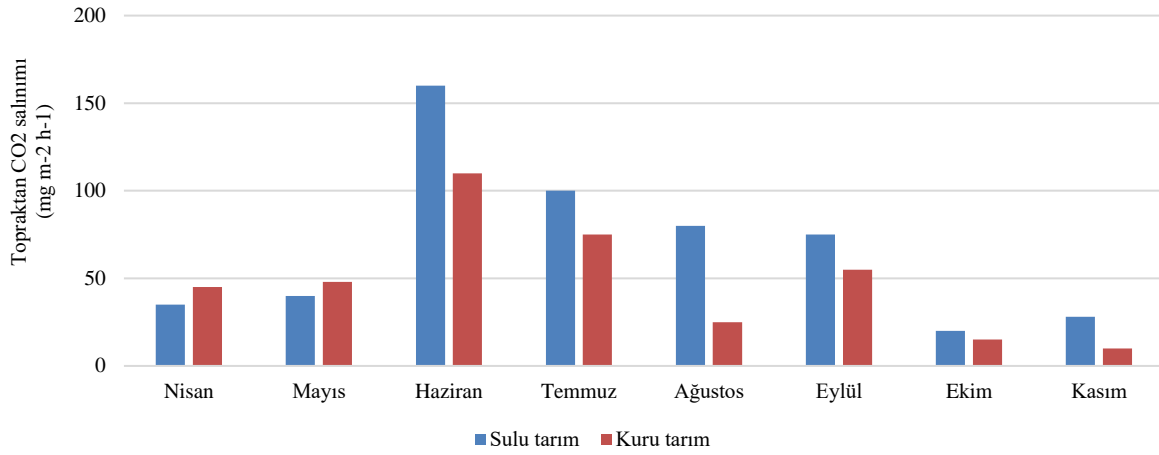
Toprak pH'ı toprak mikroorganizmalarının aktivitelerini etkilediğinden dolayı CO₂ salınımında belirgin bir etkiye sahiptir. Sitaula ve ark. (1995), topraktan CO₂ salınımı ve toprak pH'ı arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmada, pH'ı 4 olan topraklarda CO₂ salınımının pH'ı 3 olan topraklardan 2 ile 12 kat daha fazla olabileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu düşük pH'a sahip toprakların toprak solunum hızının daha düşük olması ile açıklamışlardır. Kowalenko ve Ivarson (1978), toprağın pH'ının artışı ile CO₂ salınımının paralel olarak artış gösterdiğini fakat bu artışın pH'ın 7'nin üstünde olduğu durumlarda olumsuz etkilendiğini belirtmişlerdir.

Pathak ve Rao (1998), artan toprak tuzluluğu ile topraktan CO₂ salınımının doğrusal ilişkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Toprak tuzluluğu, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerinin işlevselliğinin azalmasına, C ve N mineralizasyonu ile enzim aktivitesinin olumsuz etkilenmesine neden olduğu gibi toprak organik maddesinin parçalanmasına ve böylece CO₂ salınımına sebep olabilmektedir.



Şekil 6 Sulama yöntemlerine göre topraktan CO₂ salınımları (Şenyiğit ve Akbolat, 2010), (*Damlama sulamanın 2. gününde ki negatif değer topraktan CO₂ salınımının dış ortamdan daha az olduğunu göstermektedir)

Figure 6 CO₂ emissions arising from soil according to irrigation methods



Şekil 7 Sulu ve kuru tarım yapılan koşullarda aylara göre topraktan CO₂ salınımları (Chapman ve Thurlow, 1996)
Figure 7 CO₂ emissions from the soil according to months under irrigated and rainfed farming conditions

Gübrelemenin CO₂ salınıma etkisi

Aşırı ve bilinçsiz gübreleme, topraklarda tuzluluk ve ağır metal birikimine, mikroorganizma etkinliğinin ve toprak yapısının bozulmasına, besin maddesi dengesizliklerine, su kaynaklarının kirlenmesine ve ötrofikasyona neden olabildiği gibi atmosfere N ve S içerikli gazların salınması ile küresel ısınmada da büyük rol oynamaktadır (Sönmez ve ark., 2008). Tarımsal uygulamalardan kaynaklanan sera gazı salınımlarında büyük payın gübre üretimi ve gübrelemelerden kaynaklandığı belirtilmiştir (Lqbal ve ark., 2009; Pittelkow ve ark., 2013).

Cole ve ark. (1997), toprağa gübre girişi ile topraktan CO₂ salınımlarının artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Fakat Sitaula ve ark. (1995), amonyum nitrat gübresinin toprağa uygulanması ile topraktan CO₂ salınımlarının %30-40 oranında azalma gösterdiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, bu durumu uygulanan gübre ile toprak pH'nın artış göstermesine bağlı olarak CO₂ salınımlarının azalması ile açıklamışlardır. Gübreleme, doğrudan mikrobiyal aktiviteyi teşvik ederek veya dolaylı olarak toprak pH'nı ve tuzluluğunu etkileyerek CO₂ salınımlarında değişikliklere yol açmaktadır (Lal ve Singh, 2000). Zhai ve ark. (2011), mısır ile buğday yetiştirilen ve nadase bırakılan parsellere organik gübre ile N-P-K, N-P, N-K gübreleri uygulanan ve gübrenin uygulanmadığı koşullarda, topraktan CO₂ salınımlarını inceledikleri çalışmada; en yüksek CO₂ salınımlarının organik gübre uygulanan, en düşük CO₂ salınımlarının gübre uygulanmayan parsellerden elde edildiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, uzun süre inorganik gübre uygulanmasının toprak pH'nı düşürmesine bağlı olarak, CO₂ salınımlarında önemli bir etken olduğunu ve gübrelemenin doğrudan CO₂ salınıma neden olmadığına, gübreleme ile toprak özelliklerinin değişmesine bağlı olarak CO₂ salınımlarında artış veya azalma görülebileceğine dikkat çekmişlerdir. Bu durumda, uygulanan gübre çeşidine göre CO₂ salınımlarının değişiklik gösterdiği ve gübrelemenin dolaylı olarak CO₂ salınıma neden olduğunu söylemek mümkündür.

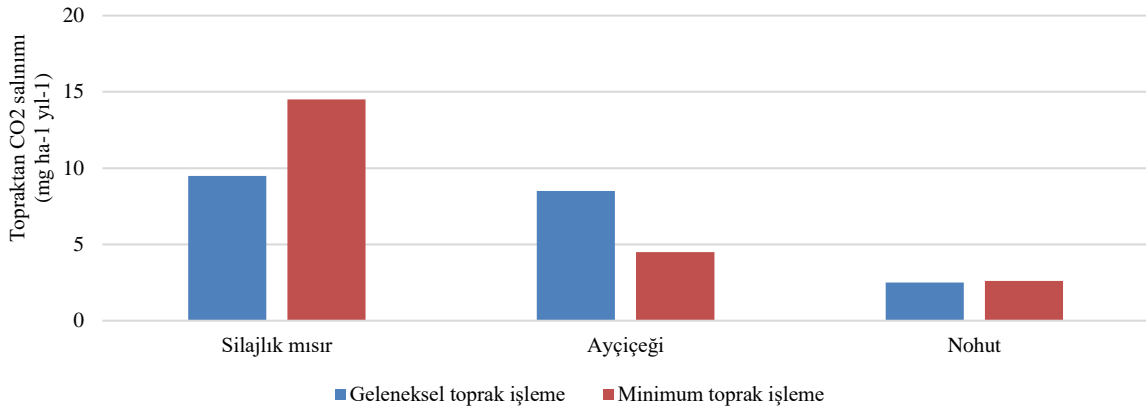
Atık sular ile sulamanın CO₂ salınıma etkisi

Su kaynakları, yenilenebilir olarak düşünülse de kıt bir kaynak olduğundan ve artan küresel ısınma etkisinden

dolayı yetersiz kalmaktadır (Yerli ve ark., 2019). Bu durum sulamada temiz su kaynaklarının yerine marjinal su kaynaklarının kullanılmasını bir gereklilik haline getirmiştir. Marjinal su kaynaklarının başında gelen atık sular çeşitli kullanımlar sonucu kirlenmiş, özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sular olarak tanımlanabilir (Polat, 2013).

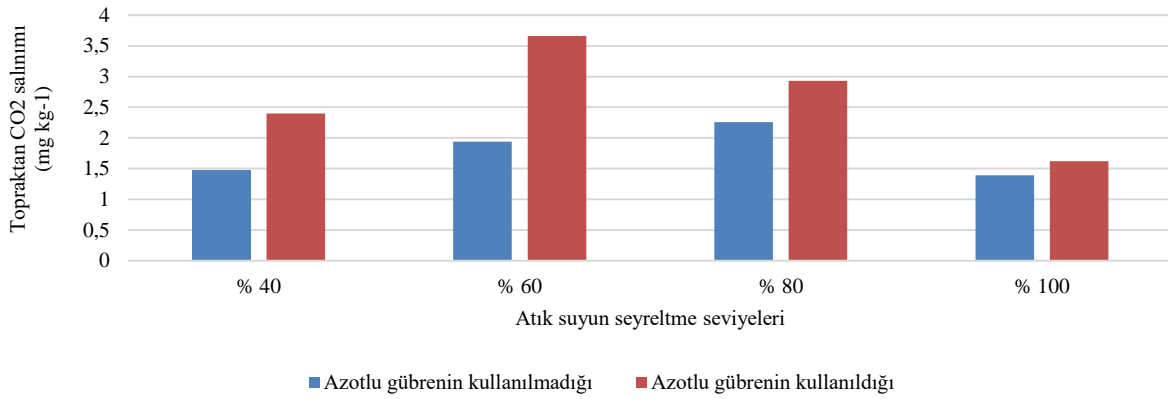
Atık sular, zengin organik madde ve azot içerikleri nedeniyle diğer sulardan ayrılmakta ve sulamada kullanımı ile bitki ve toprak verimini arttırmaktadırlar (Rivas ve ark., 2017). Demir ve Şahin (2017), atık su ile yapılan sulamalarda bitki verim ve verim parametrelerinde artış sağlandığını; Kudal ve Müftüoğlu (2014), atık su ile sulanan topraklarda organik karbon miktarının artarak toprak verimliliğinin olumlu yönde etkilendiğini belirtmişlerdir. Biswas ve Mojid (2018), atık su ile sulanan topraklarda, temiz su ile sulanan topraklara göre organik karbon miktarının yaklaşık %24 daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Bu katkılar bitkisel üretimin arttırılmasında önemli avantajlar oluşturmaktadır. Fakat bu unsurların sera gazı salınımları açısından negatif yansımaları da dikkate alınmalıdır (Rosso ve Stenstrom, 2008; Thangarajan ve ark., 2012). Bu konuda Gonzalez-Mendez ve ark. (2015), atık suyla sulanan topraklarda CO₂ salınımlarının arttığını ortaya koymuşlardır. Fernandez-Luqueno ve ark. (2010), atık su ile sulanan topraklardan CO₂ salınımlarının (1,74 µg kg⁻¹ h⁻¹) temiz su ile sulanan topraklara (0,74 µg kg⁻¹ h⁻¹) göre yaklaşık 2,4 kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Bu artışın sebebi sulamadan birkaç gün sonra atık suyun içeriğinde bolca bulunan azot ve karbon kaynaklarının oksidasyonu ile açıklanmıştır (Mahmoud ve ark., 2012).

Xue ve ark. (2012), azotlu gübrenin kullanıldığı ve kullanılmadığı koşullarda, farklı seviyelerde temiz su ile seyreltilmiş atık suyun CO₂ salınımları üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, atık suyun kullanılması ile CO₂ salınımlarının arttığını ve azotlu gübre kullanımı ile daha yüksek miktarlarda CO₂ salınımlarının gerçekleştiğini belirtmişlerdir (Şekil 9). Araştırmacılar, atık suyun içeriğinde bulunan organik karbon miktarının toprakta artması ile CO₂ salınımlarının artacağını ve dolayısıyla atık suyun temiz su ile seyreltme miktarının arttırılması ile CO₂ salınımlarının azalacağını bildirmişlerdir.



Şekil 8 Farklı toprak işleme koşullarında silajlık mısır, ayçiçeği ve nohut yetiştirilen topraklardan CO₂ salınımları (Lee ve ark., 2009)

Figure 8 CO₂ emissions from soils farming in silage maize, sunflower and chickpea under different soil tillage conditions



Şekil 9 Azotlu gübrenin ve farklı seviyelerde temiz su ile seyreltilmiş atık suyun topraktan CO₂ salınımı üzerine etkisi (Xue ve ark., 2012)

Figure 9 Effect of nitrogen fertilizer and wastewater diluted with fresh water at different levels on CO₂ emissions from soils

Aslında atık sular ile sulamanın CO₂ salınımı üzerindeki etkisi, gübrelemenin CO₂ salınımı üzerindeki etkisine benzerlik göstermektedir. Çünkü atık sular, zengin organik madde içerikleri ile topraklara gübreleme etkisi sağlamaktadırlar. Fakat atık sular, gübreleme etkisinin yanı sıra toprağın nem artışına da neden olacağı için, atık suyun CO₂ salınımı üzerindeki etkisi gübreleme ve sulamanın CO₂ salınımı üzerindeki etkisinin kombinasyonu olarak düşünülmelidir. Atık sular ile sulamada, bir organik madde olan organik karbonun toprakta artan miktarı, toprağa uygulanan müdahaleler ile birleşince organik karbonun parçalanmasına ve böylece atmosfere CO₂ salınımına neden olmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

Toprakların fiziksel, kimyasal, hidrolik ve biyolojik özelliklerine etki eden tarımsal uygulamalar, CO₂ salınımının potansiyel bir kaynağıdır. Toprak ve atmosfer arasında CO₂ salınımı açısından bir denge kurulması ve toprakta organik karbon tutulumunun artırılması, CO₂ salınımının azaltılmasını sağlayabilecektir.

Toprak kaynaklı CO₂ salınımının azaltılması için toprak işleme derinliğinin azaltılması hatta minimum toprak işleme veya doğrudan ekimin yaygınlaştırılması

gerekmektedir. Doğrudan ekim uygulamasında, toprağa minimum işlem yapıldığı için toprak işleme ve toprak işleme taşıtlarından kaynaklanan CO₂ salınımı düşük miktarlarda olmaktadır. Toprak işleme aletlerinin ve toprak yüzeyinden traktör geçişinin toprağı sıkıştırma veya gevşetme etkisine bağlı olarak değişen CO₂ salınımını azaltmak için en pratik ve ekonomik uygulamanın doğrudan ekim uygulaması olduğu söylenebilir. Doğrudan ekim uygulamasında, toprağa sıcaklığın ve oksijenin etkisi çok düşük miktarlarda olacağından, toprak nemi daha uzun süre korunabilecek ve böylece bitki-toprak verimliliği artırılabilir. Ayrıca doğrudan ekim uygulamasında yakıt tüketimi azalacak, böylece ekonomik açıdan ve iş gücü bakımından da yararlar sağlanabilecektir.

Mikroorganizma faaliyetini artırarak CO₂ salınımlarına neden olan sulama, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretimde vazgeçilmez bir unsurdur. Fakat alışagelmış sulamaların yerine planlı ve kontrollü sulamaların yapılması ile CO₂ salınımının azaltılması mümkündür. Diğer sulama yöntemlerine göre daha az su kullanımı ile toprak nemini daha uzun süre koruyan, az miktarda ve sık aralıklar ile sulama yapılmasına imkan sağlayan damla sulama yöntemiyle, CO₂ salınımının azaltılmasının yanı sıra bitkisel üretimde artmaktadır. Yapılan kısıtılı sulamalar ile CO₂ salınımının

azaldığı birçok çalışmada belirtilmiştir. Tam sulamalara göre toprağın daha az ıslatıldığı kısıntılı sulamalar veya atlamalı sulama tekniği ile yapılacak olan sulamalar, mikroorganizma aktivitesinin daha düşük seviyelerde olmasından dolayı CO₂ salınımının azaltılmasında önemli bir yaklaşımdır. Artan nüfusa karşı azalan su kaynakları atık suyun sulamada kullanılmasını ön plana çıkarmıştır. Fakat zengin organik karbon ve azot içeriğinden dolayı atık suyun gübreleme etkisine bağlı olarak topraklardan CO₂ salınımına neden olduğu göz ardı edilmemelidir. Eğer atık sular ile sulama yapılırsa atık suyun temiz su ile seyreltilmesi ve böylece salınan CO₂ miktarının azaltılabileceği düşünülmektedir.

Aşırı gübre kullanımıyla bitkilerin yararlanmadığı ve arta kalan gübreler, su ve toprak kaynaklarının kirlenmesi ile çevre kirliliklerine neden olduğu gibi CO₂ ve diğer temel sera gazlarının salınımında da önemli rol oynarlar. Gübre tüketiminin azaltılması ve bitkilerin gübrelerden yararlanma etkinliğinin artırılması, CO₂ salınımını azaltacak ve sürdürülebilir tarımın gelişmesine katkı sağlayacaktır. CO₂ salınımı ve sıcaklık arasındaki ilişki birçok çalışmada farklı sonuçlar ile değerlendirilmiş ve tam anlamı ile açıklanamamıştır. Ancak CO₂ salınımını etkileyen bitki, toprak, su ve çevre faktörlerinin detaylı olarak incelenmesi ve salınım mekanizmasının tam olarak anlaşılması ile küresel ısınmayla mücadele edilebilir. Fakat, damla sulama ve doğrudan ekim uygulamasının kullanıldığı koşullarda toprağa daha az O₂ ve su girişi olacağı için CO₂ salınımı azalacağından dolayı toprak kaynaklı CO₂ salınımının azaltılması için en pratik uygulanan damla sulama ve doğrudan ekim kombinasyonu olduğu söylenebilir. Bu nedenle bu kombinasyonun tarımsal üretimde yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, toprak kaynaklı CO₂ salınımının azaltılması için uygulanacak stratejilerin çok net olmaması, CO₂ salınımının birçok etmene bağlı olarak değişkenlik göstermesi ve araştırmacılar arasında kesin bir fikir birliğinin sağlanamaması CO₂ salınımının azaltılması yönünde politikaların geliştirilmesini engellemektedir. Fakat bu durum CO₂ salınımının çevre, insan ve tarım üzerine etkisinin önemini azaltmamaktadır. Gelecek için büyük kaygılar doğuran kuraklığın önlenmesi açısından toprak kaynaklı CO₂ salınımı ile ilgili çalışmaların yapılmasıyla, CO₂ salınım mekanizmasının daha iyi anlaşılması sağlanabilir. Sürdürülebilir tarım ve çevre için önemi büyük olan topraktan CO₂ salınımını azaltmaya ve CO₂ salınım mekanizmasına etki eden etmenleri araştırmaya yönelik çalışmaların yapılması ile daha kapsamlı bilgilerin elde edilebileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

Akbolat D. 2009. Tohum yatağı hazırlığında tapan kullanımının topraktan CO₂ çıkışına etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 8(1): 23-30.

Akbolat D, Barut Z, Turgut MM, Çelik İ. 2016. Soil CO₂ emissions under conventional and conservational tillage methods in soybean cultivation in Cukurova Plain of Turkey. Agronomy Series, 59: 15-20.

Akbolat D, Ekinci K, Uysal S, Onursal E. 2007. Elma bahçelerinde yabancı ot kontrolünde yaygın olarak kullanılan toprak işleme aletlerinin yabancı ot gelişimi ve topraktan CO₂ çıkışı üzerine etkisi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 3(2): 87-96.

Akbolat D, Senyigit U. 2012. Short-term effect of different irrigation water levels on soil carbon dioxide (CO₂) emission. Fresenius Environmental Bulletin, 21(12): 3869-3873.

Akın G. 2006. Küresel ısınma, nedenleri ve sonuçları. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih- Coğrafya Fakültesi Dergisi, 46(2): 29-43.

Aksay CS, Ketenoğlu O, Latif K. 2005. Küresel ısınma ve iklim değişikliği. Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi, 1(25): 29-42.

Al-lwayzy SH, Yusaf T, Jensen T. 2012. Evaluating tractor performance and exhaust gas emissions using biodiesel from cotton seed oil. Materials Sci. and Engineering, 36: 1-9.

Altıkat S. 2013. Effects of aggregate size and compaction level on CO₂-C fluxes and microbial populations. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30(2): 55-61.

Anonim. 2018. Tema. Toprağı Koruyun, Küresel Isınmaya El Koyun, Erişim Tarihi: 25/10/2018, www.panel.org/tema

Atabey S, Yokaş İ. 2016. Küresel ısınmanın artış nedenlerinin su kaynakları ve turist sağlığı üzerindeki yansımaları. Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler E-Dergisi, 54: 188-203.

Ball BC, Crichton I, Horgan GW. 2008. Dynamics of upward and downward N₂O and CO₂ fluxes in ploughed or no-tilled soils in relation to water-filled pore space, compaction and crop presence. Soil and Tillage Research, 101(1-2): 20-30.

Barut BZ, Turgut MM, Akbolat D, Celik I. 2012. Effects of tillage systems on CO₂ emissions from soil. International Con. of Agr. Eng., Indonesia, 8-12 July. CIGR-Ageng: 8-12.

Biswas S K, Mojid MA. 2018. Changes in soil properties in response to irrigation of potato by urban wastewater. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 4(7): 828-839.

Chapman SJ, Thurlow M. 1996. The influence of climate on CO₂ and CH₄ emissions from organic soils. Agricultural Forest Meteorology, 79: 205-217.

Claderon F, Jackson LE. 2002. Rototillage, disking, and subsequent irrigation: Effects on soil nitrogen dynamics, microbial biomass and carbon dioxide efflux. Journal Environmental Quality, 31: 752-758.

Cole C, Duxbury V, Freney J, Heinemeyer O, Minami K, Mosier A, Paustian K, Rosenberg N, Sampson N, Zhao Q. 1997. Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 49(1-3): 221-228.

Demir AD, Sahin U. 2017. Effects of different irrigation practices using treated wastewater on tomato yields, quality, water productivity, and soil and fruit mineral contents. Environmental Science and Pollution Research, 24 (32): 24856-24879.

De-Oliveira Silva B, Moitinho M R, de Araujo Santos GA, Teixeira DDB, Fernandes C, La Scala-Jr N. 2019. Soil CO₂ emission and short-term soil pore class distribution after tillage operations. Soil and Tillage Research, 186: 224-232.

Entry JA, Mills D, Mathee K, Jayachandran K, Sojka RE, Narasimhan G. 2008. Influence of irrigated agriculture on soil microbial diversity. Applied Soil Ecology J., 40: 146-154.

Evans SE, Burke IC. 2013. Carbon and nitrogen decoupling under an 11-year drought in the shortgrass steppe. Ecosystems, 16: 20-33.

Fernandez-Luqueno F, Reyes-Varela V, Cervantes-Santiago F, Gomez-Juarez C, Santillan-Arias A, Dendooven L. 2010. Emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide from soil receiving urban wastewater for maize (*Zea mays L.*) cultivation. Plant and soil, 331(1-2): 203-215.

Gonzalez-Mendez B, Webster R, Fiedler S, Loza-Reyes E, Hernandez JM, Ruiz-Suarez LG, Siebe C. 2015. Short-term emissions of CO₂ and N₂O in response to periodic flood irrigation with wastewater in the Mezquital Valley of Mexico. Atmospheric Environment, 101: 116-124.

Gültekin AH, Örgün Y. 1994. Tarım toprağında bitki besleyici elementlerin rolü. Ekoloji Dergisi, 13: 27-32.

- Haddaway N R, Hedlund K, Jackson LE, Katterer T, Lugato E, Thomsen IK, Jorgensen HB, Isberg PE. 2016. How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, 5 (1): 1-8.
- Haktanır K, Arcaç S. 1997. *Toprak Biyolojisi*. Ankara. Ank. Üni. Zir. Fak. Yayınları. 1486.
- Houghton J. 2005. Global warming. *Reports on Progress in Physics*, 68: 1343-1403.
- Jabro JD, Sainju U, Stevens WB, Evans RG. 2008. Carbon dioxide flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops. *Journal of Environmental Management*, 88(4): 1478-1484.
- Jacinte PA, Lal R, Kimble JM. 2002. Carbon dioxide evolution in runoff from simulated rainfall on long-term no-till and plowed soils in Southwestern Ohio. *Soil Tillage Research*, 66(1): 23-33.
- Jensen LS, Queen DJ, Shepherd TG. 1999. Effect of soil Compaction on N mineralization and microbial C and N. *Soil and Tillage Research*, 38: 175-188.
- Kadioğlu M. 2008. Küresel İklim Değişimi ve Etik. TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu. Ankara, 14-15 Mart. TMMOB: 13-14.
- Koçyiğit R. 2008. Karasal ekosistemde karbon yönetimi ve önemi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 25(1): 81-85.
- Korkmaz K. 2007. Küresel ısınma ve tarımsal uygulamalara etkisi. *Alatarım*, 6(2): 43-49.
- Kowalenko CG, Ivarson K C. 1978. Effect of moisture content, temperature and nitrogen fertilization on carbon dioxide evolution from field soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10(5): 417-423.
- Kudal M, Müftüoğlu NM. 2014. Kentsel atık su ile sulanan topraklarda bazı verimlilik özelliklerinin incelenmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üni. Zir. Fak. Dergisi.*, 2(1): 77-81.
- Lal M, Singh R. 2000. Carbon sequestration potential of Indian forests. *Environmental Monitoring and Assessment*, 60(3): 315-327.
- Lee J, Hopmans JW, Van-Kessel C, King AP, Evatt KJ, Louie D, Rolston DE, Six J. 2009. Tillage and seasonal emissions of CO₂, N₂O and NO across a seed bed and at the field scale in a Mediterranean climate. *Agr. Ecosystems & Environment*, 129(4): 378-390.
- Liu C, Holst JJ, Brüggemann N, Bahl KB, Yao Z, Han S. 2008. Effects of irrigation on nitrous oxide, methane and carbon dioxide fluxes in an Inner Mongolian Steppe. *Advances in Atmospheric Sciences*, 25(5): 748-756.
- Lqbal J, Hu R, Lin S, Hatano R, Feng M, Lu L, Ahamadou B, Du L. 2009. CO₂ emission in a subtropical red paddy soil as affected by straw and N-fertilizer applications: A case study in Southern China. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 131(3-4): 292-302.
- Mahmoud M, Janssen M, Peth S, Horn R, Lennartz B. 2012. Long-term impact of irrigation with olive mill wastewater on aggregate properties in the top soil. *Soil and Tillage Research*, 124: 24-31.
- Mancinelli R, Campiglia E, Di-Tizio A, Marinari S. 2010. Soil carbon dioxide emission and carbon content as affected by conventional and organic cropping systems in Mediterranean environment. *Applied Soil Ecology*, 46(1): 64-72.
- Mancinelli R, Marinari S, Brunetti P, Radicetti E, Campiglia E. 2015. Organic mulching, irrigation and fertilization affect soil CO₂ emission and C storage in tomato crop in the Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 152: 39-51.
- Mariko S, Urano T, Asanuma J. 2007. Effects of irrigation on CO₂ and CH₄ fluxes from Mongolian steppe soil. *Journal of Hydrology*, 333(1): 118-123.
- Maris SC, Teira-Esmatges MR, Arbones A, Rufat J. 2015. Effect of irrigation, nitrogen application, and a nitrification inhibitor on nitrous oxide, carbon dioxide and methane emissions from an olive orchard. *Science of the Total Environment*, 538: 966-978.
- Munoz C, Paulino L, Monreal C, Zagal E. 2010. Greenhouse gas (CO₂ and N₂O) emissions from soils: a review. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(3): 485-497.
- Nosalewicz M, Stępniewska Z, Nosalewicz A. 2013. Effect of soil moisture and temperature on N₂O and CO₂ concentrations in soil irrigated with purified wastewater. *International Agrophysics*, 27(3): 299-304.
- Okur N, Kayıkçıoğlu H. 2008. Toprak mikroorganizmaları tarafından üretilen küresel gazlar. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45(1): 49-55.
- Pathak H, Rao DLN. 1998. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(6): 695-702.
- Pathak H, Wassmann R. 2007. Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. genotation of technical coefficients. *Agricultural Systems*, 94: 807-825.
- Patton JC. 2008. Soil CO₂ flux during and after rainfall events in Iowa. Iowa State University, Department of Geological and Atmospheric Sciences, PhD Thesis.
- Pittelkow CM, Adviento-Borbe MA, Hill JE, Six J, Van Kessel C, Linquist BA. 2013. Yield-scaled global warming potential of annual nitrous oxide and methane emissions from continuously flooded rice in response to nitrogen input. *Agr. Eco. & Env.*, 177: 10-20.
- Polat A. 2013. Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için artırılan atık suların yeniden kullanımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 1: 58-62.
- Raich JW, Potter CS. 1995. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 9(1): 23-36.
- Rao DLN, Pathak H. 1996. Ameliorative influence of organic matter on biological activity of salt-affected soils. *Arid Land Research and Management*, 10(4): 311-319.
- Rashid G, Hekmat R, Nejat LA, Payam J, Farzad J. 2013. Analysis and comparison exhaust gas emissions from agricultural tractors. *Int. Journal of Agr. and Crop Sci.*, 5(7): 688-695.
- Rastogi M, Singh S, Pathak H. 2002. Emission of carbon dioxide from soil. *Current science*, 82(5): 510-517.
- Reicosky DC. 1997. Tillage induced CO₂ emission from soil. *Nutrient Cycling in Agroecosyst*, 49(1): 273-285.
- Reicosky DC, Archer DW. 2007. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil and Tillage Research*, 94(1): 109-121.
- Rivas RMF, De-Leon GS, Leal JAR, Ramirez JM, Romero FM. 2017. Characterization of dissolved organic matter in an agricultural wastewater irrigated soil, in semi arid Mexico. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33(4): 575-590.
- Rosso D, Stenstrom MK. 2008. The carbon-sequestration potential of municipal wastewater treatment. *Chemosphere*, 70(8): 1468-1475.
- Sainju UM, Jabro JD, Stevens WB. 2008. Soil carbon dioxide emission and carbon content as affected by irrigation, tillage, cropping system, and nitrogen fertilization. *Journal of Environmental Quality*, 37(1): 98-106.
- Sinaie S, Sadeghi-Namaghi H, Fekrat L. 2019. Effects of elevated CO₂ and water stress on population growth of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (*Acari: Tetranychidae*) on sweet pepper under environmentally controlled conditions. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 22(1): 96-102.
- Sitaula BK, Bakken LR, Abrahamsen G. 1995. N-fertilization and soil acidification effects on N₂O and CO₂ emission from temperate pine forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(11): 1401-1408.
- Six J, Ogle SM, Breidt FJ, Conant RT, Mosier AR, Paustian K. 2004. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. *Global Change Biology*, 10:155-160.

- Sönmez İ, Kaplan M, Sönmez S. 2008. Kimyasal gübrelerin çevre kirliliği üzerine etkileri ve çözüm önerileri. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Derg.*, 25(2): 24-34.
- Şenyigit U, Akbolat D. 2010. Farklı sulama yöntemlerinin topraktan CO₂ çıkışı üzerine etkisi. *Ekoloji*, 19(77): 59-64.
- Talantimur V, 2014. Alternatif toprak işleme uygulamalarının CO₂ emisyonu üzerindeki etkileri. Selçuk Üniversitesi, F.B.E., Tarım Mak. Anabilim Dalı, Yüksek Lisan Tezi.
- Thangarajan R, Kunhikrishnan A, Seshadri B, Bolan NS, Naidu R. 2012. Greenhouse gas emission from wastewater irrigated soils. (Henning). *Sustainable Irrigation and Drainage IV: Man. Tec. and Pol. Britain. Lightning Source*. 225-236. ISSN 1743-3541.
- Tubiello FN, Salvatore M, Ferrara AF, House J, Federici S, Rossi S, Biancalani R, Golec RDC, Jacobs H, Flammini A, Properi P, Cardenas-Galindo P, Schmidhuber J, Sanchez MJS, Srivastava N, Smith P. 2015. The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming. *Global Change Biology*, 21(7): 2655-2660.
- TUİK. 2019. Türkiye İstatistik Kurumu, Çevre ve Enerji İstatistikleri. Erişim Tarihi: 14/11/2018, <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>
- Üzen N, Çetin Ö, Tarı AF. 2013. GAP Bölgesinde sulamanın etkisi, sorunları ve çözüm önerileri. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(2): 37-42.
- Vurarak Y, Bilgili ME. 2015. Tarımsal mekanizasyon, erozyon ve karbon salınımı: bir bakış. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30(3): 307-316.
- West TO, Marland G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 91(1-3): 217-232.
- Xue YD, Yang PL, Luo YP, Li YK, Ren SM, SU YP, Niu YT. 2012. Characteristics and driven factors of nitrous oxide and carbon dioxide emissions in soil irrigated with treated wastewater. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(8): 1354-1364.
- Yerli C, Şahin Ü, Kızıloğlu FM, Tüfenkçi Ş, Örs S. 2019. Van ilinde silajlık mısır, patates, şeker pancarı ve yoncanın su ayak izi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(2): 195-203.
- Zhai LM, Liu HB, Zhang JZ, Huang J, Wang BR. 2011. Long-term application of organic manure and mineral fertilizer on N₂O and CO₂ emissions in a red soil from cultivated maize-wheat rotation in China. *Agricultural Sciences in China*, 10(11): 1748-1757.
- Zornoza R, Rosales RM, Acosta JA, de la Rosa JM, Arcenegui V, Faz A, Perez-Pastor A. 2016. Efficient irrigation management can contribute to reduce soil CO₂ emissions in agriculture. *Geoderma*, 263: 70-77.