

## SERA GAZI SALINIMLARINDA TARIMIN ROLÜ

*Hüseyin Hüsnü KAYIKÇIOĞLU<sup>1</sup>, Nur OKUR<sup>1</sup>*

### ÖZET

Atmosferdeki sera gazlarındaki (SG) artış ve neticesinde gerçekleşen iklim değişikliğinin 21.yy da önemli etkileri olacaktır. Tarımsal faaliyetler; üç ana sera gazı olan karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) ve nitroz oksit (N<sub>2</sub>O) için bir kaynak konumundadır. Tarım toprakları ise tutulan C' un biyokütle ürünlerine ve toprak organik maddesine dönüştürülmesiyle, CO<sub>2</sub> açısından bir havuz durumunda bulunmaktadır. Bu çalışmada, tarım topraklarından sera gazlarının salınımı ve C tutulumuyla ilgili bilimsel çalışmalar derlendi ve tarımın nasıl kendi SG yükünü azaltabileceği ile koruma tedbirleri aracılığıyla nasıl sera gazı salınımlarının azaltılabileceği üzerine bakış açısı oluşturmaya çalışıldı. Bunun yanında tarımsal uygulamaların ve sistemlerin sera gazları salınımı üzerine etkisi incelendi.

Tarım alanlarının CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O ve CH<sub>4</sub> salınımlarının azaltılması yönüyle potansiyelleri yeterince iyi tanımlanamamıştır. Ayrıca, öne çıkarılması gereken birçok eksiklikler de bulunmaktadır. Bunlar arasında küresel iklimin gelecekte nasıl değişeceğine dair belirsizlikler, toprak kullanımı ve bitki örtüsü, kurak iklimlerde ve düşük kaliteli topraklarda yetişen tek ve çok yıllık bitkilerin verim düşüklükleri ile kimyasal gübre etkinliği sayılabilir. Bütün bunlara ek olarak, tarımın atmosfer üzerine olan net yararlarını saptayabilmek için, N<sub>2</sub>O ve CH<sub>4</sub> gazlarının dengesi ile yaklaşık C stoğunu tahminleme metodlarının geliştirilmesi gereklidir.

**Anahtar Kelimeler:** Sera gazı, azotlu gübreler, tarımsal yönetim uygulamaları, küresel ısınma, toprak C tutulumu

### The Role of Agriculture in Greenhouse Gas Emissions

### ABSTRACT

The increase of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere and the resulting climatic change will have important effects in the 21<sup>st</sup> century. Agricultural activity is a source for three primary GHG: carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O). Agricultural soils can also be a sink for CO<sub>2</sub> through C sequestration into biomass products and soil organic matter. In this paper; it was summarized the literature on GHG emissions and C sequestration, provided a perspective on how agriculture can reduce its GHG burden and how it can help to mitigate GHG emissions through conservation measures. Impacts of agricultural practices and systems on GHG emission were reviewed.

The potential of agricultural lands for CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> mitigation is not well recognized. Besides, there are a number of shortcomings that need to be emphasized. These include the uncertainties related to future shifts in global climate, land-use and plant cover, the poor yields of trees and crops on low fertile soils and under arid climate conditions, mineral fertilizers efficiency. In addition, more efforts are needed to improve methods for estimating C stocks and gas balances such as nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) and methane (CH<sub>4</sub>) to determine net benefits of agriculture on the atmosphere.

**Key Words:** Greenhouse gas, N-fertilizers, agricultural management practice, global warming, soil carbon sequestration

## GİRİŞ

Dünyanın oluşumundan itibaren doğanın şekillenmesi, bugüne kadar geçen ve durmaksızın devam eden kesintisiz bir süreç olsa bile; bilim insanları bu süreç dizinini jeolojik devirler adı verilen çeşitli dönemlere ayırarak incelemektedirler. Her jeolojik dönem, kendine özgü doğa olaylarını barındıran doğal bir süreçtir. Ancak, insanoğlunun süreç içinde aktif rol almasıyla birlikte bu doğal dengeler geri dönüşümü zor bir şekilde bozulmaya başlamıştır.

Fosil yakıtların aşırı kullanımı, ormanların tahrip edilmesi, yanlış arazi kullanımı, doğal kaynakların bilinçsizce tüketimi, atmosfere salınan gazlar ile hızlı nüfus artışının yarattığı ek sorunlar ile birlikte atmosferin bileşimi değişmektedir. Bunun

sonucunda ise günümüzde Küresel İklim Değişikliği olarak adlandırılan normal olmayan hava koşulları ile karşılaşmaktayız. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi' nde "İklim Değişikliği", karşılaştırılabilir bir zaman periyodunda gözlenen doğal iklim değişkenlikleri ile doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin doğal yapısını bozan insan etkinlikleri sonucunda, iklimde oluşan değişikliklerin bütünü olarak tanımlanmaktadır. Bu değişikliğin en büyük sebebi ise çeşitli insan etkinlikleri sonucunda atmosferdeki birikimleri hızlı bir artış gösteren sera gazlarının, Yerkürenin radyasyon (ışınım) dengesini bozması ve sonuçta doğal sera etkisinin kuvvetlendirilerek, şehirleşmenin de katkısıyla dünyanın yüzey sıcaklıklarını artırma eğilimi göstermeleridir.

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, İZMİR.

Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından kurulan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC), küresel ısınmanın 2 °C ile sınırlı tutulmasını hedefleyen, atmosferdeki sera gazı (SG) miktarının 450 ppm düzeyinde sınırlandırılması senaryosunda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin sera gazı salınımlarını sınırlaması ve tespit edilen baz yılına göre azaltması gerekmektedir.

## SERA GAZLARI

Atmosferdeki kızıl ötesi ışınları absorbe eden SG, ısıyı hapsedmekte ve dünya yüzeyinin ısınmasına neden olmaktadır. Tarımsal faaliyetlerle atmosferdeki salınımları ilişkilendirilebilecek 3 sera gazı bulunmaktadır: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O. Buna karşılık, su buharı ve birçok halokarbon bileşiklerini de içeren diğer önemli sera gazlarının salınımları üzerine tarımsal faaliyetlerin etkili olduğu kabul edilmemektedir (Snyder ve ark., 2009).

İnsan kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımlarının % 75' inden daha fazlası, fosil yakıtların kullanılmasıyla gerçekleşmektedir. Geriye kalan miktarı ise özellikle ormanların tahrip edilmesini de kapsayan arazi kullanımı değişiklikleri nedeniyle meydana gelmektedir. Metan salınımlarının son 25 yılda iki katına çıkmasının antropojenik etkilerle olduğu düşünülmektedir (Denman ve ark., 2007). Atmosferik N<sub>2</sub>O konsantrasyonunun sanayileşme öncesi dönemde (1800' lü yılların öncesinde) yaklaşık 270 ppb düzeyinden 2005 yılında 319 ppb düzeyine yükseldiği rapor edilmektedir (Snyder ve ark., 2009). Hirsch ve ark. (2006) ile UNESCO ve SCOPE (2007)' ye göre; dünya yüzeyinden salınan N<sub>2</sub>O miktarı, insan

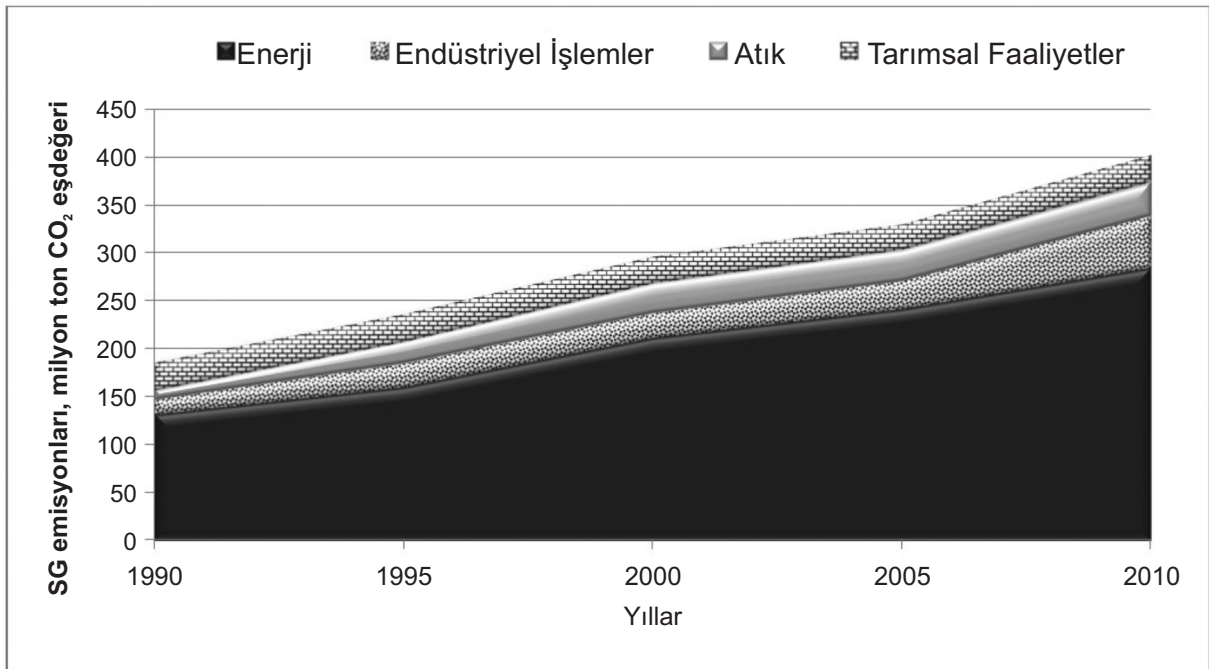
aktivitelerinin bir sonucu olarak sanayi devrimi öncesi döneme göre % 40 -50 oranında artış göstermiştir.

## TARIMIN KÜRESEL ISINMAYA KATKISI

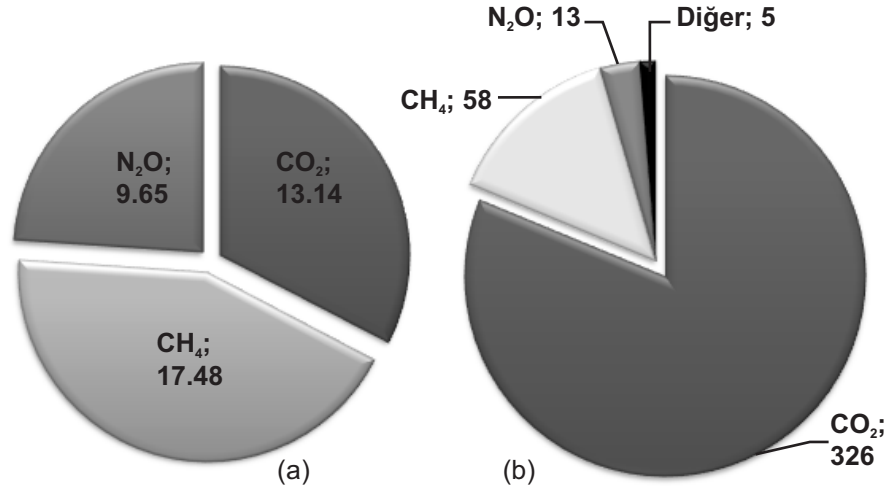
Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC, 1996) Rehberi kullanılarak Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı (TÜİK; 2012) tarafından 2010 yılı için hesaplanan toplam SG salınımının (401.9 Tg (10<sup>15</sup>g)-CO<sub>2</sub> eşdeğeri) % 7' si tarımsal faaliyetler sonucu olmuştur. SG bazında değerlendirmeye alındığında ise, 2010 yılı toplam CO<sub>2</sub> salınımının % 4' ü, CH<sub>4</sub>' ün % 30' u ve N<sub>2</sub>O' nun ise % 74' ü tarımsal kaynaklı olarak gerçekleşmiştir.

Geçmiş yıllara göre toplam salınım miktarlarında bir artış gözlenirse de, aynı artış tarımsal kaynaklı salınımlarda gözlenmemiştir (Şekil 1). A.B.D.' nde tarımsal kaynaklı SG salınım değerleri, toplam sera gazı salınım içerisindeki yeri bakımından bizdeki değere paralellik göstermektedir. ABD Çevre Koruma Ajansı' nın raporuna göre 2010 yılı salınım envanterinin % 7' si tarımsal kaynaklı olarak gerçekleşmiştir. Sektörel bazda en önemli SG sorununu CO<sub>2</sub> oluşturuyorken; tarım için en önemli SG hayvansal üretim dikkate alındığında CH<sub>4</sub> ve bitkisel üretim dikkate alındığında ise N<sub>2</sub>O dur. Özellikle çiftlik hayvanlarının metan salınımına katkıları önemli düzeydedir. Bununla birlikte bitki ve toprak sistemlerine azot girişlerinden kaynaklanan N<sub>2</sub>O salınım değerleri, ülkemizdeki genel salınım payının % 74' ünü oluşturur ki tarımsal faaliyetler özellikle de toprak yönetimi ve gübre kullanımı en çok bu SG' nin oluşmasında etkilidir.

TÜİK tarafından tahmin edilen 2010 yılı SG



Şekil 1. Ekonomik sektörler bazında ülkemizden gerçekleşen sera gazı salınımları (milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri) (TÜİK, 2012 verileri kullanılarak hesaplanmıştır).



**Şekil 2.** 2010 yılında gerçekleşen tarımsal kaynaklı SG salınımlarının dağılımı (a) ve Ülke genelindeki toplam sera gazı salınımı (b) (milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri) (TÜİK, 2012 verileri kullanılarak hesaplanmıştır).

salınım değerleri Şekil 1 ve 2' de gösterilmektedir (TÜİK, 2012). Bu değerlere arazi kullanımı ve arazi kullanım değişikliğinden kaynaklanan salınımlar ile yutaklar olarak sayabileceğimiz tarım toprakları ve ormanların olumlu etkisi dâhil değildir.

#### TARIMSAL FAALİYETLERDEN KAYNAKLANAN GAZLAR

Tarımsal faaliyetlerle ilişkili sera gazları olan CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O, atmosferdeki sıcaklığı tutmaları ve yenilenme oranları bakımından birbirinden farklıdır. Dolayısıyla bu gazların küresel ısınma potansiyeline katkılarının hesaplanmasında bir zaman aralığı dikkate alınmalıdır. Günümüzde kullanılan en güncel değerler olan ve Küresel İklim Değişikliği Paneli 4. raporunda belirtilen 100 yıllık bir zaman dilimi için, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O gazları birim kütlelerinin CO<sub>2</sub> gazı birim kütlesi olarak sırasıyla 25 ve 298 kez küresel ısınma potansiyeline katkısı olduğu kabul edilir (IPCC, 2007). Küresel İklim Değişikliği Paneli 2. raporunda bu değerler sırasıyla 21 ve 310 iken (IPCC, 1996), 3. raporda ise 23 ve 296 değerlerine revize edilmiştir (IPCC, 2001).

CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O ile karşılaştırıldığında, yüksek miktarda CO<sub>2</sub>, tarımsal faaliyetler aracılığıyla bir döngüye uğratılır. Bitkiler, fotosentez yoluyla yüksek miktarlarda CO<sub>2</sub>'i tüketirlerken gıda, yem, lif ve yakıt olarak kullanılan tüm bitkisel ürünler en sonunda çürümeyle veya tüketimle tekrar CO<sub>2</sub>'e geri çevrilirler. Tarımdaki C-döngüsünün büyüklüğü düşünüldüğünde; tarımsal faaliyetler sonucu oluşan net CO<sub>2</sub> salınımı miktarı düşüktür ve bu salınımın ana kaynağı tarımsal faaliyetler ile tarım ürünlerinin işlenmesi ile nakliyesi sırasındaki enerji kullanımındır.

Metan, büyük oranda çeltik tarımı ile hayvancılıktan kaynaklanan bir SG'dir. Organik gübrelerin anaerobik ayrışmasından ortaya çıkan

metan yakalanabilir ve böylece metan salınımı azaltılabilir. Çeltik tarımı yapılmayan tarım toprakları atmosferik metan havuzu olarak görülebilse de, CH<sub>4</sub> doğal durumda işlenmeyen topraklarda daha az oranlarda bulunmaktadır.

Tarım topraklarından gerçekleşen N<sub>2</sub>O salınımı iki mikrobiyal süreç olan nitrifikasyon ve denitrifikasyon sonucu meydana gelir (Bange, 2000). Tarım topraklarına uygulanan N miktarı düşünüldüğünde, her iki mikrobiyal olayda üretilen N<sub>2</sub>O miktarının daha az olduğu görülmektedir. Doğada gerçekleşen azot döngüsü (Şekil 3) incelendiğinde nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerini kontrol eden faktörler arasında karmaşık bir ilişki olduğu görülmektedir. Çünkü oluşan N<sub>2</sub>O miktarı, topraktaki O<sub>2</sub> konsantrasyonuna, reaksiyon yönü ise sıcaklığa bağlıdır. Düşük sıcaklıklarla N bileşenlerinin dönüşümü de yavaşlamakta, sıcaklığın yükselmesiyle birlikte bu dönüşüm hızlanmaktadır. Topraktaki O<sub>2</sub> konsantrasyonu, toprak nem düzeyinden oldukça etkilenmektedir. Topraklarda suyla dolu boşluk hacminin (SDBH) artışına bağlı olarak O<sub>2</sub> konsantrasyonu azalmaktadır. Tarım topraklarından N<sub>2</sub>O salınımını etkileyen diğer faktörler ise; toprak bünyesi, nitrifikasyon için kullanılacak amonyum (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) miktarı ile denitrifikasyon için kullanılacak nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) konsantrasyonudur (Granli ve Bockman, 1994; Firestone, 1982).

Topraklardaki nitrifikasyon olayı *Nitrosomonas* sp. gibi NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-oksitleyici bakteriler tarafından NH<sub>4</sub><sup>+</sup>un katabolize edilerek NO<sub>2</sub><sup>-</sup>e dönüştürülmesi; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> in de nitrat bakterileri olan *Nitrobacter* sp. ve *Nitrospira* sp. tarafından NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a oksitlenmesidir (Norton, 2008). Nitrifikantlar son elektron alıcısı olarak nitriti kullandıklarında, kısıtlı oksijen koşulları altında nitrit dönüşümünün yan ürünü olarak az miktarlarda N<sub>2</sub>O ile nitrik oksit (NO) oluşur (IFA/FAO, 2001). Yaklaşık



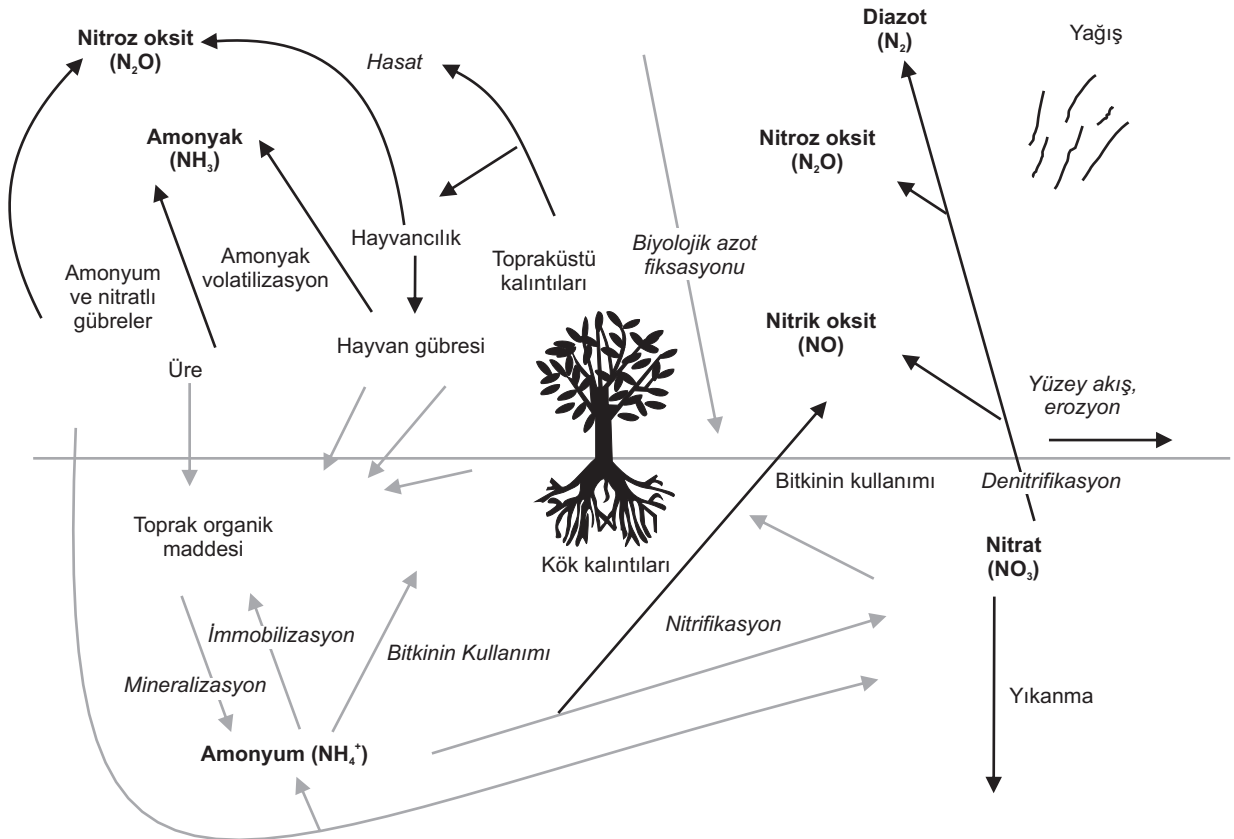
otuz yıl önce, Bremner ve Blackmer (1978), % 0.04 – 0.45 oranında N ilave edilmesiyle aerobik koşullar altında nitrifikasyondan kaynaklanan  $\text{N}_2\text{O}$  salınımı olduğunu rapor etmiştir.

Azotun doğadaki bulunuş formunu belirleyen nitrifikasyon olayı sonucunda azot formları doğada absorbe edilmekte, kullanılmakta ve dağılım göstermektedir. Nitrifikasyon sürecinde toprak kolloidleri tarafından adsorbe edilen ve bu nedenle durağan olan  $\text{NH}_4^+$ , toprak kolloidleri tarafından çok az tutulabilen ve bu nedenle de çok hareketli olan  $\text{NO}_3^-$  a dönüşmektedir. Bu dönüşüm, bitkilerin N kullanımlarını yakından ilgilendirmektedir. Çünkü oluşan  $\text{NO}_3^-$ , her ne kadar yıkanma veya denitrifikasyon ile rizosfer bölgesinden uzaklaşmaya karşı çok hassas olsa bile (Subbarao ve ark., 2006), bitkilerin en çok yararlandığı azot formudur.

Firestone ve Davidson (1989) ile Robertson ve Groffman (2007) tarafından da tanımlandığı gibi

denitrifikasyon;  $\text{NO}_3^-$ ' in diazot ( $\text{N}_2$ ) gazına dönüşümüyle meydana gelir. Süreç şu şekilde meydana gelmektedir:

Nitratin diazota dönüşüm süreci genelde tamamlanabilmesine rağmen, küçük ve değişken bir miktar N formu ise genellikle  $\text{N}_2\text{O}$  gazı halinde atmosfere salınmaktadır. Salınımlar bitki vejetasyon periyodunun başında, süreç boyunca ve sonunda görülebilmektedir. Nitroz oksidin çıkışı, öncelikle iyi havalandırılan toprakların yağışlar ve sulama ile nemli ya da doymun hale gelmesiyle veya donmuş toprakların çözülmesiyle (örneğin kar erimesi) meydana gelebilir. Bedard-Haughn ve ark. (2006), topraklardaki mikrobiyal popülasyonun çeşitliğinin, salınımlar üzerinde baskın bir rol oynadığını buna karşılık geçici veya kalıcı çeşitli çevresel faktörler ( $\text{NO}_3^-$ -konsantrasyonu, sıcaklık, SDBH, yararlanılabilir-C vs.) arasındaki etkileşimlerin de nitroz oksit salınım miktarını etkilediğini rapor etmişlerdir.



Şekil 3. Doğadaki azot döngüsü (OECD, 2001' den değiştirilerek).

Not: Açık renkli oklar azot (N) girişini, koyu renkli oklar ise azot çıkışını göstermektedir. Farklı N formları koyu renkli yazılarla, azot dönüşüm süreçleri ise italik olarak gösterilmektedir.

### Tarım alanlarından nitroz oksit (N<sub>2</sub>O) salınımları

N<sub>2</sub>O, gözlemlenen küresel ısınmanın % 6' sını gerçekleştirilmektedir (Dalal ve ark., 2003). En çok N<sub>2</sub>O salınımı azotlu gübre kullanımından ve toprak bozunumundan ileri gelmektedir. Toprakta oksijen azlığında veya sınırlı oksijen varlığında ya da topraklardaki organik karbonun fazlalığı nedeniyle yüksek oksijen talebi olduğunda, mikroorganizmalar oksijen yerine NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve NO<sub>2</sub><sup>-</sup> i kullanmaktadırlar. Bu substratın kullanıldığı denitrifikasyon süreci sonunda, uygulanan azotlu gübreler, N<sub>2</sub>O olarak atmosfere salınmaktadırlar (Dalal ve ark., 2003).

Uluslararası Gübre Endüstrisi Birliği ile Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü tarafından yapılan tahminleme modeline göre; dünya çapında 1436 milyon ha büyüklüğündeki tarım arazilerinden 1995 yılı için tarımsal alanlardan gerçekleşen yıllık küresel N<sub>2</sub>O-N salınım miktarı yaklaşık 3.2 milyon tondur. Bu salınımın % 34' ü gelişmiş ülkelerden, % 66' ı ise gelişmekte olan ülkelere kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte gübre kullanımı ile salınım arasındaki ilişkiyi ortaya koymak istersek; tarım alanlarına giren mineral azotlu gübre miktarının % 3.3' ü, ekili alanlardan salınan küresel N<sub>2</sub>O miktarıdır. Gelişmekte olan ülkeler göz önüne alındığında bu oran % 3.4 olarak gerçekleşmektedir (IFA/FAO, 2001). 2006 yılında gerçekleştirilen Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli' ne göre (IPCC, 2006), tarım alanlarına giren mineral N' un %1' inin N<sub>2</sub>O-N' u olarak salınımına uğradığı varsayıldığında, ülkemizde 2010 yılında kullanılan 1.3 milyon ton mineral N' a (FAOSTAT, 2012a) karşılık yaklaşık 13.4 bin ton N<sub>2</sub>O-N' unun tarım topraklarından salındığı tahminlenebilir.

Kullanılan N kaynağına bağlı olarak N<sub>2</sub>O salınımı aslında bölgesel bazda geniş farklılıklar gösterebilmektedir. Thornton ve Valente (1996), N<sub>2</sub>O salınım miktarlarının belirlenebilmesi için varyasyon katsayılarının % 100 – 300 arasında değiştiğini saptamışlardır. Günümüzde geçerli olan Tier 1 yöntemiyle saptanan salınım faktörü 0.003 – 0.03 arasında değişmekte olup ortalama 0.01 olarak kabul edilmektedir (IPCC, 2006). Konuya küresel ısınma potansiyeli açısından bakıldığında ise; tarım topraklarına uygulanan her kg N girişi, 1.4 – 14.0 kg CO<sub>2</sub>' e karşılık gelmekte ve ortalama olarak 4.65 kg CO<sub>2</sub> olarak kabul edilmektedir (Snyder ve ark., 2009).

McSwiney ve Robertson (2005), mineral gübre kullanımına bağlı olarak tarım topraklarından gerçekleşebilecek olan N<sub>2</sub>O gazını tahmin edebilmek amacıyla hesaplanan salınım faktörü değerinin ancak tarımsal ürünlerden alınabilecek maksimum verim için gerekli olan N miktarının veya bundan daha azının kullanıldığı durumlarda geçerli olabileceğini, çünkü azotlu gübreden kaynaklanan N<sub>2</sub>O salınım miktarının, topraklara yüksek miktarlarda N girişi olması durumunda çok fazla değişkenlik göstereceğini

belirtmişlerdir. Halvorson ve ark. (2008), Del Grosso ve ark. (2008) ile Burton ve ark. (2008) ise Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli' nde (IPCC, 2006) saptanan salınım faktörü de dahil olmak üzere ayarlanan N<sub>2</sub>O salınım faktörlerinin, tahminlenen mevsimsel salınımların üzerindeki bir değere karşılık geldiğini gözlemlemişlerdir. Eğer yapılan azotlu gübreleme, bitkinin ve toprağın alım kapasitesinden fazla olursa N<sub>2</sub>O için belirlenen salınım faktörü de yükselebilecektir (Grant ve ark., 2006; Halvorson ve ark., 2008).

Gübrelenen alanlardan kaynaklanan N<sub>2</sub>O salınımını etkileyen en önemli faktörler şu şekilde belirtilebilir (IFA/FAO, 2001):

1. İklim, topraktaki organik C içeriği, toprak bünyesi, toprağın drenaj durumu, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N' u miktarı ve toprak pH' ı ile
2. Kültürel işlemler ile ilgili faktörler: (a) gübre tipine göre N uygulama oranları ve (b) üretimi yapılan ürün cinsi.

Özellikle hafif bünyeli, zayıf drenajlı ve nötr ya da hafif asit reaksiyonlu topraklarda NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N' unun ortamda bulunuşuyla birlikte N<sub>2</sub>O salınımı artış göstermektedir. Ayrıca, gübreleme amacıyla susuz amonyağın kullanılması ya da mineral ve organik gübrelerin karıştırılarak uygulanması, yine salınımı arttıran faktörlerdir. Azot içeriği yüksek olan azotlu gübrelerin uygulanması, bunun yanında kullanılan gübre miktarının artış göstermesi de N<sub>2</sub>O salınımında artışa sebep olacaktır. Salınım artışına etkili diğer bir faktör olan bitki türünde ise N<sub>2</sub>O salınımı çayır-çimenler < baklagil olmayan tek yıllık bitkiler < baklagiller şeklinde artan bir sıra izlemiştir. Bunlarla birlikte, Parkin (2008) tarafından da belirtildiği üzere; N<sub>2</sub>O salınımının ölçüldüğü sürenin uzunluğu ve sıklığı da yerel ya da bölgesel ölçekte önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Del Grosso ve ark. (2006)' nın da değindiği üzere topraktan direkt N<sub>2</sub>O salınımını arttıran bir başka faktör de, tarımsal uygulamalara bağlı olarak amonyak buharlaşması ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup> yıkanmasının artmasıdır. Buharlaşan azot, N<sub>2</sub>O salınımını etkileyebilmektedir. Çünkü bu azotun bir kısmı tarım dışı ve tarımsal arazilerin üzerinde ve yüzey sularında kalarak N<sub>2</sub>O salınımıyla sonuçlanacak dönüşüm süreçlerine substrat oluşturacaktır. Yıkanan ve drenaj sularına karışan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ise denitrifiye olarak salınımına katkı sağlayabilecektir.

Crutzen ve ark. (2008) atmosferik N<sub>2</sub>O' in küresel artış oranını dikkate aldıklarında, doğrudan ve dolaylı olarak gerçekleşen salınım toplamının, topraklara uygulanan N' un % 3 - 5' i arasında olduğunu ve bu değerinde Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli' nde (IPCC, 2006) ayarlanan N<sub>2</sub>O salınım faktörü değerinin üç ila beş katı kadar büyüklükte olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar

tarım alanlarındaki düşük  $N_2O$  değerlerini, küresel  $N_2O$  bütçesinden hesaplanan ve çok daha yüksek olan değerlerle karşılaştırdıklarında; aradaki bu büyük farklılığın arka planında  $N_2O$  salınımının önemli ölçüde tarım alanlarının dışında; nehirler, deltalar ve kıyı bölgeleri, hayvancılık ve amonyak ile  $NO_x$  bileşiklerinin atmosferik çökelmeleri gibi kaynaklardan oluştuğunun anlaşılabilirliğini, ancak yine de gübre kullanımıyla da ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Buna karşılık Nevison ve ark. (2007) ise, küresel antropojenik N girişi için % 2 düzeyindeki salınım faktörünün, son 150 yılın üzerindeki bir zaman diliminde gerçekleşen atmosferik  $N_2O$  artışını açıkladığını rapor etmişlerdir. Galloway ve ark. (2004) da benzer görüşle, 20. yüzyılın sonlarında insan aktiviteleri neticesinde gerçekleşen yaklaşık 156 Tg N yıl<sup>-1</sup> miktarı ile ilişkili olarak % 2.5 düzeyindeki salınım faktörünün  $N_2O$ ' in troposferik birikimini açıklayabileceğini belirtmişlerdir.

Tarımsal kaynaklı  $N_2O$  salınım değerlerini tahmin etmedeki belirsizlikler; özellikle denitrifikasyonla ilişkili  $N_2O$  ve  $N_2$  salınımlarının, uygun metodoloji ve ölçümlerle belirlenmesinin önemine vurgu yapmaktadır. Doğal ekosistemin büyüklüğüne karşılık,  $N_2$  konsantrasyonunda meydana gelen küçük artışları belirlemedeki zorluk nedeniyle denitrifikasyonu ölçümlemek zordur. Karasal ve sucul ortamlardaki denitrifikasyon miktarını direkt olarak belirleyebilme üzerine bir dizi gelişmeler olsa bile, çok az sayıda bilim insanı bu yeni yaklaşımlar üzerinde çalışmaktadır.

Net  $N_2O$  salınımı üzerine pek çok araştırmanın odaklandığını belirten Chapuis-Lardy ve ark. (2007), buna karşılık  $N_2O$ ' in net negatif akışı yani atmosferden topraklar üzerine akışıyla ilgili olarak sayılı araştırmanın olduğuna vurgu yapmaktadırlar. Araştırmacılar,  $N_2O$  tüketimini düzenleyen salınım faktörleri ile ilgili henüz yeterli bulguların olmadığını ve konu ile ilgili yapılacak çalışmaların çok değerli olduğu sonucuna varmışlardır.  $N_2O$  tüketiminin artırılması açısından toprakların ve özellikle de toprak biyolojisinin daha elverişli hale getirilmesi ile ilgili yapılabilecek çalışmalar, bilim insanlarına tarımsal kaynaklı  $N_2O$  salınımlarının azaltılabilmesi yönüyle değerli bilgileri sağlayabilecektir.

### Kireçlemeden kaynaklanan $CO_2$ salınımları

Tarım topraklarının pH değerini yükseltebilmek için topraklara tarımsal kireç uygulandığında, içeriğinde bulunan karbonatın bir kısmı  $CO_2$  olarak salınabilmektedir. Günümüzde geçerli olan IPCC Tier 1 metoduna göre, kalsit kireçtaşı ( $CaCO_3$ ) için 0.12 kg C kg<sup>-1</sup>, dolomit ( $CaMg(CO_3)_2$ ) için ise 0.13 kg C kg<sup>-1</sup> salınım faktörleri kullanılmaktadır (IPCC, 2006). Bununla birlikte IPCC Tier 2 metodu kullanılarak ülke bazında spesifik salınım faktörleri de

hesaplanabilmektedir. Buna göre, A.B.D. seragazi envanteri için kalsit kireçtaşı ve dolomit için sırasıyla 0.059 ve 0.064 kg C kg<sup>-1</sup> salınım faktörleri kullanılmaktadır (West ve McBride, 2005). Bütün bunlar göz önüne alındığında kireç kullanımının küresel ısınma potansiyeli açısından 0.22 kg  $CO_2$  kg<sup>-1</sup>  $CaCO_3$  ortalama değeri bulunacaktır. Hamilton ve ark. (2007), tarımda kireç kullanımının drenaj sularını bikarbonat açısından zenginleştirme nedeniyle bir  $CO_2$  havuzu oluşturduğu sonucuna varmışlardır. Araştırmacılar ayrıca, nitrifikasyondan kaynaklanan asidik koşulların bu havuzu azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Yaygın olarak kullanılan azotlu gübrelerin (üre, amonyum nitrat, susuz amonyak) topraklarda oluşturduğu asitliği dengeleyebilmek için kg N başına en çok 3.6 kg kirece ihtiyaç bulunmaktadır (Snyder ve ark., 2009). IPCC Tier 2 yöntemi kullanılarak, bu miktarda kireç uygulamasının küresel ısınma potansiyeline katkısının  $3.6 \times 0.22 = 0.84$  kg  $CO_2$  kg<sup>-1</sup> N olacağı hesaplanabilir ki bu da azotlu gübre uygulamasının bir sonucu olan tahmini  $N_2O$  salınım değeri ile karşılaştırıldığında küçük bir miktardır. Bu faktör sadece düşük pH ve düşük tamponlama kapasitesine sahip topraklarda kullanılan azot ile ilişkili olacaktır. Kireçli topraklar bazı asidifikasyonlardan yarar da sağlayabilirler. Zira bu topraklar pH açısından daha nötr bir hale gelebilirler ki, bu da bazı bitki besin elementlerinin yararlılığını artırabilir.

Toprakların asidifikasyonu neticesinde beliren kireç ihtiyacı sadece azotlu gübre kullanımının bir sonucu olarak meydana gelmemektedir. Toprakların asitleşmesi, ayrıca, bitki kök proton atımıyla (örneğin  $H^+$  iyonu eksudasyonu) (Marschner, 1991), ürün hasatıyla birlikte alkali katyonların ortamdaki uzaklaşmasıyla (Jackson ve Reisenauer, 1984) ve asidik yağışlarla da meydana gelebilir veya artabilir.

Kireçleme kaynaklı salınımın azaltılması için tek uygun yol, karbonatlı materyallerin yerine sönmemiş kireç ( $CaO$ ) veya sönmüş kireç ( $Ca(OH)_2$ ) gibi oksitlerin uygulanmasıdır.

### Üre gübresi kullanımından kaynaklanan $CO_2$ salınımları

Topraklara üre gübresi uygulanması, endüstriyel üretim sürecinde ürenin oluşumuna katılan  $CO_2$ ' in kaybına yol açar. Üre ( $CO(NH_2)_2$ ) toprakta, su ve üreaz enzimi varlığında;  $NH_4^+$ , hidroksil iyonu ( $OH^-$ ) ve bikarbonata ( $HCO_3^-$ ) dönüştürülür. Kireç uygulamasını takiben toprakta gerçekleşen reaksiyona benzer şekilde bikarbonat; kendisini oluşturan  $CO_2$  ve suya ayrılır. Tier 1 metoduna göre üre gübresi kullanımına bağlı olarak  $CO_2$  salınım faktörü 0.20 olarak hesaplanmıştır (IPCC, 2006).

Kirece benzer şekilde, üre içindeki tüm C' un,  $CO_2$  olarak yayılması da mümkündür. Fakat kimyasal

karakteristik açısından tahminlemedeki hataları ortadan kaldırmak adına kullanılan belirsizlik faktörü maksimum - % 50 olarak kullanılabilir. Üre, her 28 g N için 12 g C içerdiğinden; küresel ısınma potansiyeli açısından uygulanan her kg üre-N için 1.6 kg CO<sub>2</sub> değeri hesaplanabileceği gibi, belirsizlik faktörünün uygulanması ile de bu değer 0.8 kg CO<sub>2</sub> değerine düşmektedir. Bu küresel ısınma potansiyel değeri, azotlu gübre uygulamalarının ortaya çıkardığı kireç ihtiyacına karşılık gelen değere benzer olsa bile, hala daha azotlu gübre uygulamaları sonucu meydana gelebilecek N<sub>2</sub>O salınım değeri ile kıyaslandığında düşük düzeydedir.

### Çeltik tarımından kaynaklanan CH<sub>4</sub> salınımları

Göllenmiş alanlarda yapılan çeltik (*Oryza sativa* L.) tarımı, CH<sub>4</sub> salınımlarının büyük antropojenik kaynaklarından birisidir. 2010 yılında dünyada 159 milyon ha alanda çeltik tarımı gerçekleştirilmiş olup, buğday (1.) ve mısır (2.) tarım alanlarından sonra en büyük 3. alanda tarımı yapılan üründür. (FAOSTAT, 2012b).

Bufogle ve ark. (1998) yaptıkları çalışmalarında, çeltik tarımında azotlu gübre olarak üre yerine amonyum sülfat kullanılması durumunda CH<sub>4</sub> salınımlarının daha düşük olduğunu saptamışlardır. Su altında kalan topraklar daha indirgen hale geldiklerinden, sülfat indirgeyici bakteriler metanogenik bakteriler ile etkili bir şekilde rekabete girebilmektedirler. Jugsujinda ve ark. (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, çeltik tarımında NO<sub>3</sub>-N kullanılmasıyla toprağın redoks potansiyelinin arttığı ve bu nedenle de CH<sub>4</sub> salınımlarının azaldığı ortaya koyulmuştur. Çin'de çeltik bitkisi ile yapılan ve N kaynağı olarak hayvan gübresi ile ürenin kullanıldığı bir başka çalışmada N<sub>2</sub>O salınımlarına (> +200 mV) göre CH<sub>4</sub> salınımları düşük redoks (daha indirgen) potansiyelde (< -100 mV) ortaya çıkmış ve bu iki SG salınımı arasında istatistik olarak önemli düzeyde ters ilişki saptanmıştır (Hou ve ark., 2000). Bu sonuçlar, su altındaki çeltik topraklarının drene edilmesiyle N<sub>2</sub>O salınımlarının teşvik edilme riskinin olacağını göstermektedir. Hou ve ark. (2000) topraktan -100 ila +200 mV arasında oluşturulacak redoks potansiyeli ile CH<sub>4</sub> oluşumunun önleneceği ve ayrıca N<sub>2</sub>O' in N<sub>2</sub>' a indirgenmesinin de az olacağını belirtmektedir.

Lindau ve ark. (1990) ekili olmayan üre uygulanmış alanlara karşın, üre uygulanan çeltik alanlarından daha fazla CH<sub>4</sub> salınımlarının gerçekleştiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, azotlu gübre uygulamasına bağlı olarak N<sub>2</sub>O salınımlarının düşük ve üre uygulamalarından sonra N<sub>2</sub>O salınımlarının kontrol parselindekinden daha yüksek olmadığını belirtmektedirler. Toprakta çeltik bitkisinin bulunması ve uygulanan azotlu gübrenin tipi; N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O ve CH<sub>4</sub> salınımlarına etki etmektedir.

Üre ya da amonyum bazlı azotlu gübrelerin kullanımından sonra toprakların ani ıslanmaları ve sürekli su altında kalmaları nitrifikasyonun ve N<sub>2</sub>O salınımlarının azaltılması için etkili bir önlemdir (Hutsch ve ark., 1999).

### Toprak organik maddesinin yönetiminden kaynaklanan CO<sub>2</sub> salınımları

#### Toprağın organik madde havuzları

Organik madde, toprak içinde bulunan ve birbirinden az çok farklı olan havuzlarda yerleşmiş durumdadır. Karbonun en aktif olan ve hızlı dönüşümlere uğrayan havuzunda mikrobiyal biyokütle ile kolay ayrışabilir bitki kalıntıları bulunmaktadır. Bu materyaller hızlı bir şekilde dönüşüme uğradıklarından, toplam toprak organik maddesinin % 3-5 gibi küçük bir kısmını oluştururlar. Topraktaki C' un, gerek fiziksel gerekse de biyokimyasal olarak ayrışmaya karşı dayanıklı olan diğer büyük havuzu ise, toprakta uzun bir süre kalmış olan ve yaşlı karbon olarak tarif edilebilen kısımdan oluşmaktadır. Bu karbon havuzu, kil mineralleri tarafından sıkı bir şekilde çevrelenmesi ve mikroorganizmalar ile onların substratı arasında fiziksel bariyer oluşturan toprak agregatlarının aralarında bulunması sebebiyle hızla bozunuma uğramadan korunabilmektedir. Bunun yanında, örneğin lignin ve polifenoller gibi organik substratlar ile toprak tanecikleri arasında kimyasal kompleks reaksiyonları neticesinde ayrışmaya dayanıklı ürünler ortaya çıkmaktadır. Toprak makroagregatları (> 200 µm) içinde bulunan C, mikroagregatlar (50 - 200 µm) içinde bulunana göre, daha hızlı dönüşüme uğrayacak ve bu yüzden de toprakta kalış süresi kısalmaktadır (Jones ve Donnelly 2004). Topraklardaki en dayanıklı C, kil mineralleri ile kompleks halinde bulunan ya da biyokimyasal olarak korunabilen organik materyallerdir.

#### Toprakta C tutulumu

Karbon tutulumu; atmosferik CO<sub>2</sub>' in güvenli bir şekilde depolanabileceği yani kısa zamanda tekrar salınımlarının yapılmayacağı, uzun-yaşamlı toprak organik C havuzları içerisine transferi anlamına gelmektedir (Lal, 2004). Bu olgu, bilimsel ve politik alanda büyük bir ilgiye sahiptir. Zira bu alanlarda ilgi çekmesinin nedeni, doğal ve kullanıma açık karasal ekosistemin bir C havuzu olarak işlev görebileceği ve bunun insan kaynaklı atmosferik CO<sub>2</sub> yükselişini azaltmaya yardımcı olabileceği gerçeğidir. Gerçekten de karasal havuzlar, sera gazı salınımlarını azaltma hedefleri içerisinde Kyoto Protokolü' nde yer almıştır. İklimsel değişiklikler altında doğal ekosistemlerin bir C kaynağı olarak mı yoksa C havuzu olarak mı davranacağı konusu çok belirgin değildir. Çünkü bu durum, toprakların sahip oldukları C içeriklerindeki

dengelerini; yani ayrışmayla C' un kaybı ile birincil üretimden sağlanan C kazancı arasındaki dengeyi etkileyebilecek olan birçok faktöre bağlıdır (Şekil 4). Bu faktörler arasında toprak verimliliği (besin elementleri yarayışlılığı vb.), sulama yönetimi, vejetasyon tipi ve ekstrem iklim olaylarına karşı hassasiyet (donma-çözülme vb.) sayılabilir.

Birincil üretimin artış sağlanması sonucunda artan CO<sub>2</sub>, topraktaki C tutulumunu arttırabilecekken (Post ve ark., 1982), konu ile ilgili yeterince destekleyici bilimsel araştırma gerçekleştirilmemiştir. Artan CO<sub>2</sub>'e bağlı olarak bitkilerin göstereceği olumlu tepkiler, ortamda bulunan besin elementlerinin azlığı nedeniyle sınırlandırılacaktır. Dolayısıyla doğal ekosistemlerin C tutma kabiliyetleri de sınırlanmış olacaktır. Ayrıca topraktaki bulunan hareketli C fraksiyonundaki CO<sub>2</sub>-odaklı yükselişler, ormanlardaki ince kök sisteminin çoğalmasını ve bunun bir sonucu olarak da toprak mikrobiyal aktivitesi ve solunumunu teşvik edecektir. Böylece topraklara artan C girişi, mikrobiyal aktivite sayesinde uzun dönem saklanabilen C havuzuna hiçbir net etkisi olmaması ile dengelenecektir (Schlesinger ve Lichter 2001).

Topraktaki C' un artan miktarı, ayrıca, mikrobiyal aktiviteyi topraktaki mevcut karbonun da ayrıştırılmasını arttırıcı bir şekilde teşvik edebilir. "Priming effect" olarak adlandırılan bu durum nedeniyle, topraktan CO<sub>2</sub> çıkışı artacak ve böylece toprak C deposunda azalış olacaktır (Körner ve Arnone 1992; Hungate ve ark. 1997; Fontaine ve ark. 2004). Bu CO<sub>2</sub> artışının da, bir çok doğal ekosistemde gerçekleşen C tutulmasındaki artışa süreklilik kazandırmasına sebep olacağı pek olası görünmemektedir (Beedlow ve ark. 2004).

C tutulması amacıyla toprakların yönetilmesi; akılcı bir toprak idaresi ile C havuzu olarak rol oynama potansiyeli sunan tarımsal ve degrade topraklar açısından çok uygundur (Lal, 2004; Smith, 2004). Lal ve Bruce (1999) tarafından yapılan bir çalışmada akılcı yaklaşımlar ile dünya çapındaki tarımsal alanlar tarafından gerçekleştirilebilecek karbon tutulum potansiyeli ortaya koyulmuştur. Araştırmacılara göre, erozyon kontrolü ile 0.08 – 0.12 Pg yıl<sup>-1</sup>; bozulmuş toprakların geri kazanımı ile 0.02 – 0.04 Pg yıl<sup>-1</sup>; tuzlu toprakların ıslahı ile 0.15 – 0.175 Pg yıl<sup>-1</sup>; koruyucu toprak işleme ve bitki artıkları yönetiminin yaygınlaştırılması ile 0.18 – 0.24 Pg yıl<sup>-1</sup>; bitki yetiştirme yöntemlerinin iyileştirilmesi ile 0.30 – 0.40 Pg yıl<sup>-1</sup>; biyoyakıt üretimi sonucu mevcut C' un dengelenmesiyle de 0.30 – 0.40 Pg yıl<sup>-1</sup> miktarlarında C tutulumu sağlanacaktır. Küresel ölçekte bakıldığında dünyadaki tarımsal alanların C tutma potansiyelleri yaklaşık olarak 0.75 – 1.0 Pg yıl<sup>-1</sup> ya da ormanlık alanlarının kaybı ve diğer tarımsal faaliyetler sonucu oluşan 1.6 – 1.8 Pg yıl<sup>-1</sup> düzeyindeki salınımın yaklaşık % 50'sidir.

Doğal alanların, tarımsal alan olarak ilk

dönüşümlerinde ve sonrasında gerçekleştirilen sürekli yetiştiricilik faaliyetlerinde kullanılmalari ile toprak C stoğunu sistematik bir şekilde bozunuma uğratan otlatmadan dolayı, topraklar çok büyük bir C kaybına maruz kalmışlardır. Tarımsal ve degrade toprakların C havuzlarını uzun dönemde arttırıcı örneğin, sıfır toprak işlemenin yaygınlaştırılması, örtü bitkilerinin kullanılması, düşük yoğunluklu otlatma sistemlerinin benimsenmesi gibi bir dizi stratejiler önerilmektedir (Lal, 2004). Toprak yönetim değişikliklerinin toprak C deposunu nasıl teşvik edebileceğine dair bir örnek Fransa' dan verilebilir. Bu ülkede 1970' lerden beri büyük miktarlarda çayır ve mera arazilerinin tarımsal arazilere dönüştürülmesi sonucu topraktaki C miktarında önemli bir düşüş olmuştur. Bu işlenen arazilerinin yarısının ( 90000 ha) kalıcı çayır mera arazilerine geri döndürülmesi sonucu toprak organik C miktarında yaklaşık 16 milyon ton düzeyinde bir artışın olabileceği, bu miktarın da Fransa' daki fosil yakıtlardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> salınımının % 10' a eşit olduğu tahmin edilmektedir (Soussana ve ark. 2004). En önemli CO<sub>2</sub> yutakları olarak kabul edilen orman alanlarının tarıma açılması sonucunda 260 - 590 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>, su altındaki alanların dönüşümünden ise 2210 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> salınımına uğrayacaktır (IPCC, 2000).

Topraktaki C birikiminde büyük ölçüde artış sağlayabilecek olan toprak yönetimindeki diğer değişiklikler içinde toprak işlemez tarımın geniş çaplı yaygınlaştırılması sayılabilir. Örneğin Brezilya' da, toprak işlemez tarıma devam eden dönüşümlerin sonucunda 9 milyon ton C yıl<sup>-1</sup> düzeyindeki miktarın topraklarda biriktiği saptanmış (Ceri ve ark., 2004); A.B.D.' nde, toprak işlemez tarımın yaygınlaştırılması sayesinde toprak C deposunun 337 kg C ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> düzeyinde arttığı (West ve Marland, 2002) ve tropikal bir ülke olan Nijerya' da ise geleneksel toprak işleme faaliyetleri yerine toprak işlemez mısır üretiminin yerleşmesiyle toprak C' nunda 0.17 t C ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> düzeyinde bir artışın olduğu belirlenmiştir (Lal, 1997).

Arazi kullanım değişikliklerinin sadece C tutulumu üzerindeki yararlı etkileri değil aynı zamanda bu değişikliklerin metan (CH<sub>4</sub>) ve nitroz oksit (N<sub>2</sub>O) gibi diğer sera gazlarının net salınımları üzerine etkilerini de dikkate almak çok önemlidir. Özellikle de toprak işlemez tarımı bu açıdan daha iyi irdelemek gereklidir. Toprakların C deposunu teşvik ederken, bu uygulama ile ayrıca düşük poroziteli, sıkışmış topraklardaki denitrifikasyonun artmasından dolayı N<sub>2</sub>O' in atmosfere salınımının potansiyelini de arttırmaktayız (Smith ve Conen 2004). Çünkü bu sistemde heterotrof denitrifikasyon bakterilerine daha çok daha fazla karbon ve enerji kaynağı olarak kullanabilecekleri bitki materyalinin sunulmasıyla salınımın artması yanında (Dorland ve Beauchamp, 1991; Iqbal, 1992; Dalal ve ark., 2003), yabancı otların da artışı teşvik edilecek dolayısıyla onları kontrol edebilmek için; diğer tarımsal girdilerden daha yüksek



küresel ısınma potansiyeline sahip olan herbisitlerin yüksek miktarda kullanımı gerekecektir (Lal, 2004; Maraseni ve ark., 2007). N<sub>2</sub>O salınımindaki bu artış ise sistemdeki sera gazı dengesini etkileyebilecektir ki bu da artan C depolamadan elde edilen faydaları azaltma potansiyeline sahiptir. Bu durum, Six ve ark. (2004) tarafından ortaya koyulmuştur. Araştırmacılar, toprak işlemez tarım ve geleneksel işleme yöntemleri uygulanan sistemlerdeki toprak kaynaklı sera gazı salınımları (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub>) hakkındaki küresel verileri değerlendirmişlerdir. Toprak işlemez tarıma yeni döndürülen sistemlerin geleneksel sistemlere oranla, N<sub>2</sub>O salınımindaki artış nedeniyle daha büyük küresel ısınma potansiyeline sahip olduklarını ortaya koymuşlardır. Bunun yanında araştırmacılar, sıfır toprak işleminin küresel ısınma potansiyelini sadece uzun dönemde (> 20 yıl) ve nemli iklim bölgelerinde azaltacağını belirtmişlerdir. Kurak bölgelerde de, çok kesin olmamakla birlikte küresel iklim potansiyelindeki azalma 20 yıldan sonra kendini gösterebilecektir. Bu bağlamda, sıfır toprak işleminin teşvik edilmesinin ve C tutulması amacıyla yapılan diğer tarımsal uygulamaların her zaman çok geçerli olmadığı, çünkü bunların net sera gazı dengeleri üzerine etkisinin yüksek değişkenlik gösterdiği, birçok faktörün etkisi altında ve zamana bağlı olduğu belirtilmelidir (Six ve ark. 2004; Smith ve Conen 2004).

#### **Tarımsal kaynaklı CO<sub>2</sub> salınıminin azaltılması**

Karbon, tarımsal üretimimiz içerisinde büyük miktarlarda bir döngüye sahip olduğundan, C tutulmasındaki küçük artışlar ve solunumdaki (C salınımı) küçük azalışlar ile birlikte; salınım ile tutulum arasındaki net denge bazında büyük değişikliklere yol açabilirler. Aslında, bitkiler (çayır ve meralar dâhil); CO<sub>2</sub>' i toprakta depolanabilen organik C formuna dönüştürmek suretiyle yakalayabilirler. Dolayısıyla yapılan tarımsal uygulamalar ile toprak organik maddesi artış gösterdiğinde, bahsedilen yolla CO<sub>2</sub>' de uzun dönemde atmosferden uzaklaşabileceği belirtilebilir (Lal ve ark., 2003; Follett ve ark., 2001). Robertson (2004) tarafından bildirilen 4 strateji ile tarımsal kaynaklı net CO<sub>2</sub> salınımı azaltılabilecektir. Bunlar:

1. Tarım makinalarının, sulama zamanı planlamasının ve yakıt tüketen diğer çiftlik faaliyetlerinin yakıt verimliliğindeki iyileştirmeler sonucu enerji verimliliğindeki kazanımlar,
2. Toprak işlemedeki, bitkisel kalıntılar ile hayvansal atıkların idaresindeki ve örtü bitkilerinin, nadas dönemlerinin ve diğer münavebe yöntemlerinin kullanılmasındaki değişiklikler sonucu toprakta C tutulumu,
3. Enerji üretimi ve endüstriyel hammaddeler için fosil yakıtların kullanımının azaltılması amacıyla biyoyakıtların üretimi ve biyolojik

bazlı materyal teknolojilerinin ortaya çıkması,

4. Tarımsal kalkınmanın gerçekleşebilmesi amacıyla başka yeni arazileri tarıma açmak için gerekli olan ihtiyacın karşılanabilmesi adına tahıl, hayvancılık ve diğer tarımsal ürünlerdeki üretim veya verim etkinliklerinde sürekli kazanç sağlanması.

İyileştirilmiş gübre yönetimi; yukarıdaki dört stratejinin her birisi için geçerli olan önemli bir konudur. İyileştirilmiş bir gübre yönetimi için aşağıdaki konular önemlidir:

1. Ürün verimliliği arttırmak için gübre kullanımı aynı zamanda üretim sürecinde diğer enerji tüketen girdilerin kullanım etkinliğini artırır. Bununla birlikte zaten gübreleme faaliyeti bile bir enerji tüketimi gerektirdiğinden, optimum miktarda gübre kullanımının önemi vurgulanmalıdır.
2. Gübreler, ekili alanlardaki net birincil üretimin artmasıyla birlikte, bitkisel atıklardaki organik C' un toprağa dönüşünü artırabilir.
3. Biyoyakıtlar için artan talebi karşılayabilmek amacıyla birim alanda daha fazla biyokütle üretimine ihtiyaç olduğundan, gübre kullanımında artış olacaktır. Eğer hedeflenen amaç net enerji üretimini ya da fosil yakıtların kullanımını azaltmak ise, bu gübre kullanımı mutlaka en etkin ve verimli şekilde olmalıdır.
4. Gübre kullanımının amacı ürün verimindeki artış ise, orman alanları ile diğer doğal alanların tarım arazilerine dönüşümü engellenmelidir.

#### **TARIM TOPRAKLARINDAN GERÇEKLEŞEN SERA GAZI SALINIMLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

##### **Toprak özellikleri**

Mosquera ve ark. (2007)' na göre; topraklarda hem N<sub>2</sub>O' in hem de CH<sub>4</sub>' in oluşumu ve kullanılması, farklı mikrobiyal süreçlerin bir sonucu olarak gerçekleşmektedir ki bu mikrobiyal süreçler mikroorganizmaların gelişimini etkileyen bazı faktörler tarafından kontrol edilmektedir. Bu faktörler arasında, toprağın O<sub>2</sub> içeriği, toprak sıcaklığı, mineral N içeriği ve toprak pH' sı sayılabilir. Bu faktörler üzerine, toprak yönetimi ile ilgili uygulamaların (toprak kullanımı, hayvan gübresi ve kimyasal gübreler aracılığıyla besin maddesi uygulamaları, bitkilerin ya da bitki artıklarının topraklara karıştırılmaları, toprak işleme, kompaksiyonun azaltılması) etkisi, dolaylı olarak salınım düzeylerini etkileyebilir.

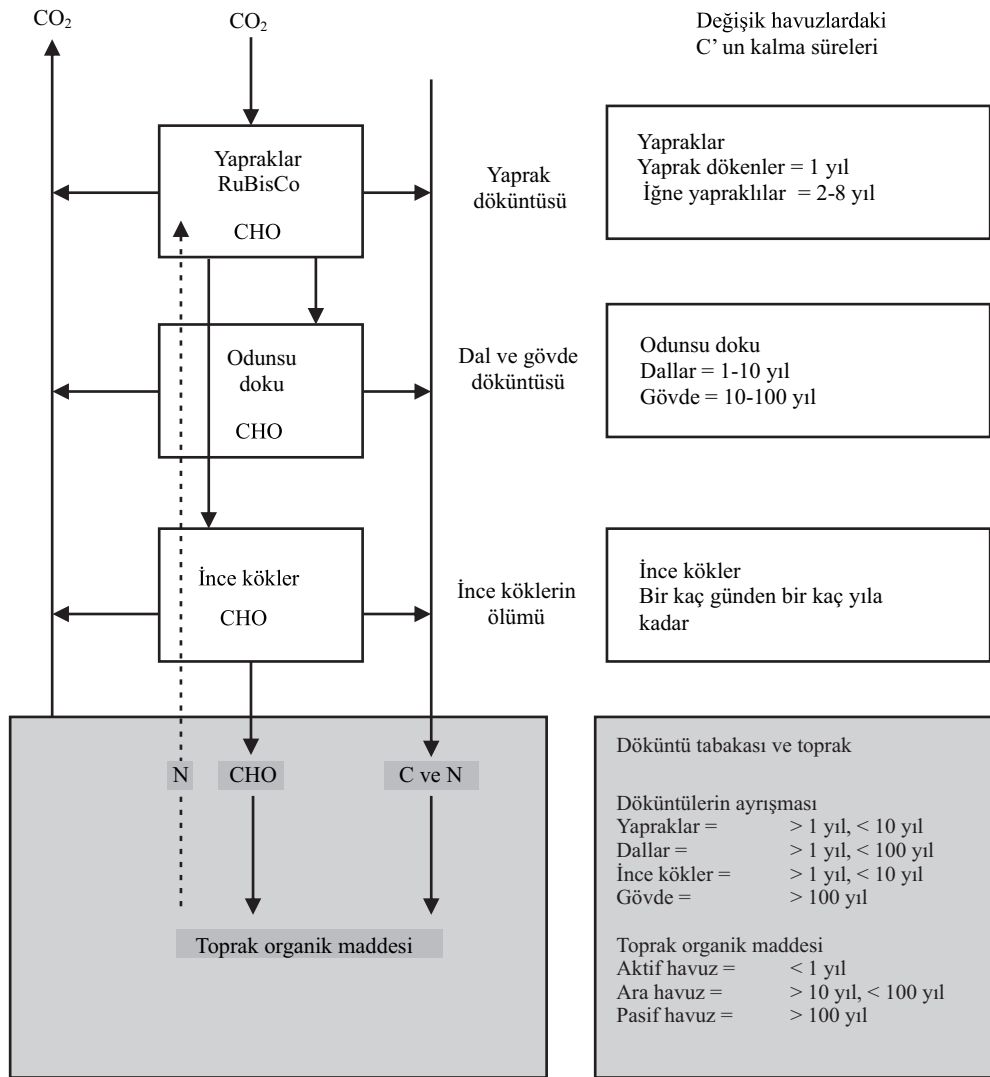
Değişen ıslanma ve kuruma döngüsü nitrifikasyon sürecinin gerçekleşmesine izin vermekte ve su ile dolu boşluk hacmi (SDBH) yaklaşık % 60 düzeyinin üzerinde ama doygunluk düzeyinin altında

olmaktadır. Bu koşullar  $N_2O$  salınımları için en uygun şartların oluşmasına katkıda bulunmaktadır (Granli ve Bøckman, 1994). Topraklarda gerçekleşen N kaybının büyüklüğü, toprak nemi ve N yarıyışlılığı, özellikle de  $NO_3^-$  yarıyışlılığı arasındaki interaksyon tarafından kontrol edilmektedir (McSwiney ve Robertson, 2005).

Su kullanım etkinliğini geliştirmek ve aşırı nemli koşullar ile ilişkili olarak hava ile dolu boşluklardaki indirgenme olaylarını önlemek amacıyla uygun sulama yöntemlerinin kullanılması,  $N_2O$  salınımları potansiyelini düşük seviyede tutmaya yardımcı olabilir. Toprak nem düzeyinin, SDBH' nin % 60' ına kadar yükselmesi ile nitrifikasyon ve  $CO_2$  oluşumu teşvik edilmektedir (Linn ve Doran, 1984; Granli ve Bøckman, 1994). Linn ve Doran (1984) tarafından yapılan bir çalışmada; sıfır toprak işleme yapılan ve pullukla işlenen topraklar arasında  $CO_2$  oluşumunda % 90 düzeyinde bir farklılık N' lu gübre uygulamalarından bağımsız olarak, SDBH' leri arasındaki farklılık nedeniyle meydana gelmiştir.

Benzer şekilde, Kanada' da yapılan bir çalışmada topraklarda gerçekleşen denitrifikasyon miktarı öncelikli olarak toprağın  $O_2$  miktarından, daha sonra ise SDBH' nden ve yarıyışlı C içeriğinden etkilendiği belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada, fazlaca nemin bulunduğu ama doymun olmayan koşullar altında  $N_2O:(N_2O+N_2)$  oranının genellikle yüksek olduğu görülmüştür (Gillam ve ark., 2008).

Topoğrafya da tarım topraklardaki  $N_2O$  salınımlarını etkileyen bir faktördür. Izaurrealde ve ark. (2004) suyun toplanma eğiliminde olduğu örneğin çukur alanlarda, eğimli alanlara göre  $N_2O$  salınımların daha fazla olduğunu rapor etmektedirler. Eğimli arazilerin üst bölümleri ile karşılaştırıldıklarında çukur alanlarda daha yüksek su ile dolu boşluk hacmi ve toprak organik maddesi bulunmaktadır. Bu nedenle kıyaslanan iki pozisyon arasında mikrobiyal aktivite, yarıyışlı azotun dönüşümü ve bitkilerin besin elementlerini alınımı açısından farklılıklar bulunacaktır.



Şekil 4. Orman ekosistemindeki C alınımı, salınımı ve saklamasının şematik diyagramı. CHO; bitkiler, toprak ve atmosfer arasındaki fotosentez ürünlerinin hareketini temsil etmektedir. (Bardgett, 2005'ten değiştirilerek).

### Toprak sıkışması (kompaksiyon)

Fragipan horizonu bulunuşuyla ilişkili olarak yüksek hacim ağırlık değerleri, bununla birlikte toprak işleme uygulamaları ile biçerdöverler, traktörler ve römorklar gibi tarım alet ve makineleri tarafından gerçekleştirilen toprak sıkışmasıyla ilişkili olarak yüksek hacim ağırlık değerleri, nemli toprak koşulları altında havalanmanın azalmasına neden olabilirler. Toprak yüzeyinin bitki artıkları tarafından sağlanan bir örtü tarafından korunurken kompaksiyonun azaltılması ya da ortadan kaldırılması; denitrifikasyonun ve bu bağlamda  $N_2O$  salınımlarının düşük oranlarda,  $CH_4$  salınımlarının ise yüksek oranlarda gerçekleşmesine yol açabilir. Yapılan bir çok çalışmada toprak sıkışması sonrasında topraklardan daha yüksek  $N_2O$  salınımları gerçekleştiği belirtilmektedir (Thomas ve ark., 2004; Teepe ve ark., 2004).

Mosquera ve ark. (2007) kompaksiyonun, toprakların atmosferik  $CH_4$ 'ı kullanma ve okside etme yeteneklerinde % 30 – 90 arasında bir azalma sağlayabileceğini bildirmişlerdir. Yine aynı çalışmada toprakların hafif düzeydeki kompaksiyonu  $N_2O$  salınımını % 20 oranında azaltırken, şiddetli sıkışmanın  $N_2O$  salınımını iki katına çıkardığı belirtilmiştir. Kuvvetli bir sıkışma sonrası toprakların gevşemesi sırasında; kompaksiyon kuvveti azaltmakta ve  $N_2O$  salınımı % 20 oranında artış göstermektedir. Toprak sıkışmasının  $N_2O$  salınımını arttırması yönüyle etkisi genel olarak killi topraklarda yüksek, kumlu topraklarda ise düşük düzeydedir. Kompaksiyonun, bitkinin kök gelişimi ile rizosfer bölgesi mikrobiyal süreçlerini azaltmasıyla ilişkili olarak bitki gelişimini olumsuz yönde etkilediği gözlenmektedir.

### SONUÇ

Toprakların biyolojik özelliklerini ve işlevlerini etkileyen tarımsal aktiviteler, sera gazlarının atmosfere salınımlarının potansiyel kaynağıdır. Toprak ekosisteminin sera gazlarının tutulması, deposu ve yayılması rollerinden hangisini üstlenebileceği, sisteme girenlerin ve çıkanların dengesine bağlıdır. Bu denge, toprak solunumu ve nitrifikasyon oranı gibi biyolojik süreçler ile toprak erozyonu ve arazi kullanım değişikliği gibi diğer süreçlerin etkisi altındadır. Net sera gazı salınımını azaltıcı tedbirler arasında, azaltılmış toprak işleme ile toprak C tutulumunun arttırılması, bitki münavebelerinin yaygınlaştırılması, azotlu gübrelerden bitkilerin yararlanma düzeylerinin arttırılması ile nitrifikasyonu azaltıcı kimyasal ya da doğal inhibitörlerin kullanılması sayılabilir. Toprakların ve ürün deseninin uygun yönetimi sonucunda, atmosferik-C' un organik madde olarak topraklarda depolanmasıyla sera gazları salınımı da azalacaktır. Tarımsal kaynaklı sera gazları salınımın

eğilimi ana hatlarıyla; sosyo-ekonomik gelişme düzeyi ve oranına, nüfus artışı ve beslenme alışkanlıklarına, uygun teknolojilerin tarımda kullanılmasına, iklim değişikliği ile ilgili ülke politikalarına ve gelecekte karşılaşacağımız iklim değişikliklerine bağlıdır. Sonuç olarak, tarımsal sektörün sera gazlarını azaltma potansiyelinin çok kesin olmaması, bir görüş birliği sağlanmasını güçleştirmekle birlikte sağlıklı politika yapılmasını da engellemektedir. Fakat bu, tarımsal kaynaklı sera gazı salınımının önemini azaltmamaktadır. Genel bakış açısıyla, sera gazlarının tarımda azaltılmasıyla ilgili yapılacak uygulamalar çok önemlidir. Son yapılan çalışmaların ışığı altında; ülkelerin iklim değişikliği politikaları arasında bir sinerjinin oluşması, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması ve doğal ekosistemin iyileştirilmesi, tarım sektöründeki sera gazı salınımları azaltma potansiyelinin küresel bazda arttırılabilmesi adına yol göstereceği söylenebilir.

### KAYNAKLAR

- Bange, H.W. 2000. Global change: it's not a gas. *Nature*, 408: 301–302.
- Bardgett, R.D. 2005. The biology of soil: a community and ecosystem approach. In: *Biology of Habitats* (Crawley, M.J., C. Little, T.R.E. Southwood and S. Ulfstrand, eds.) Oxford University Press Inc., New York, USA. 242 p.
- Bedard-Haughn, A., A.L. Matson, D.J. Pennock. 2006. Land use effects on gross nitrogen mineralization, nitrification, and  $N_2O$  emissions in ephemeral wetlands. *Soil Biology & Biochemistry*, 38: 3398–3406.
- Beedlow, P.A., D.T. Tingey, D.L. Phillips, W. Hogsett, D.M. Olszyk. 2004. Rising atmospheric  $CO_2$  and carbon sequestration in forests. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2: 315–322.
- Bremner, J.M., A.M. Blackmer. 1978. Nitrous oxide: emission from soils during nitrification of fertilizer nitrogen. *Science*, 199: 295–296.
- Bufole Jr., A., P.K. Bollich, J.L. Kovar, C.W. Lindau, R.E. Macchiavellid. 1998. Comparison of ammonium sulfate and urea as nitrogen sources in rice production. *Journal of Plant Nutrition*, 21(8): 1601–1614.
- Burton, D.L., X. Li, C.A. Grant. 2008. Influence of fertilizer nitrogen source and management practice on  $N_2O$  emissions from two Black Chernozem soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 88: 219–227.
- Cerri, C.C., M. Bernous, C.E.P. Cerri, C. Feller. 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use and Management*, 20: 248–254.
- Chapuis-Lardy, L., N. Wrage, A. Metay, J.-J. Chotte, M. Bernoux. 2007. Soils, a sink for  $N_2O$ ? A review. *Global Change Biology*, 13: 1–17.
- Crutzen, P.J., A.R. Mosier, K.A. Smith, W. Winiwarter. 2008.  $N_2O$  release from agrobiofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8: 389–395.
- Dalal, R.C., W. Wang, P. Robertson, W.J. Parton. 2003. Nitrous oxide emission from Australian agriculture

- lands and mitigation options: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 41: 165–195.
- Del Grosso, S.J., A.D. Halvorson, W.J. Parton. 2008. Testing DAYCENT model simulations of corn yields and nitrous oxide emissions in irrigated tillage systems in Colorado. *Journal of Environmental Quality*, 37: 1383–1389.
- Del Grosso, S.J., W.J. Parton, A.R. Mosier, M.K. Walsh, D.S. Ojima, P.E. Thornton. 2006. DAYCENT National-scale simulations of nitrous oxide emissions from cropped soils in the United States. *Journal of Environmental Quality*, 35: 1451–1460.
- Denman, K.L., G. Brasseur, A. Chidthaisong, P. Ciais, P.M. Cox, R.E. Dickinson, D. Hauglustaine, C. Heinze, E. Holland, D. Jacob, U. Lohmann, S. Ramachandran, P.L. da Silva Dias, S.C. Wofsy, X. Zhang. 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 499–587.
- Dorland, S., E.G. Beauchamp. 1991. De-nitrification and ammonification at low soil temperatures. *Canadian Journal of Soil Science*, 71: 293–303.
- FAOSTAT, 2012a. Besin maddesi tüketimi: Azotlu gübreler, 2010. (Consumption in nutrients (tonnes of nutrients): Nitrogen Fertilizers (N total nutrients), in 2010.
- FAOSTAT, 2012b. Hasat edilen alan: Pirinç ve çeltik, 2010. (Area Harvested) (ha): Rice, paddy in 2010.
- Firestone, M.K. 1982. Soil nitrogen budgets. In: *Nitrogen in Agricultural Soils* (Stevenson, F.J., ed.). Agron. Monogr. 22. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 289–326.
- Firestone, M.K., Davidson, E.A. 1989. Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil. In: *Trace Gas Exchange between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere* (Andreae, M.D. and D.S. Schimel, eds.). Wiley, Berlin, pp. 7–22.
- Follett, R.F., Kimble, J.M., Lal, R. 2001. The Potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect (Follett, R.F., J.M. Kimble and R. Lal, eds.) Lewis Publishers, A CRC Company, Boca Raton, FL, 472 p.
- Fontaine, S., G. Bardoux, L. Abbadie, A. Mariotti. 2004. Carbon input to soil may decrease soil carbon content. *Ecology Letters*, 7: 314–320.
- Galloway, J.N., F.J. Denton, D.G. Capone, E.W. Boyer, R.W. Howarth, S.P. Seitzinger, G.P. Asner, C.C. Cleveland, P.A. Green, E.A. Holland, D.M. Karl, A.F. Michaels, J.H. Porter, A.R. Townsend, C.J. Vorosmarty. 2004. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, 70: 153–226.
- Gillam, K.M., B.J. Zebarth, D.L. Burton. 2008. Nitrous oxide emissions from denitrification and the partitioning of gaseous losses as affected by nitrate and carbon addition and soil aeration. *Canadian Journal of Soil Science*, 88(2): 133–143.
- Granli, T., O.C. Bøckman. 1994. Nitrous oxide from agriculture. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, Supplement 12. 128 p.
- Grant, R.F., E. Pattey, T.W. Goddard, L.M. Kryzanowski, H. Puurveen. 2006. Modeling the effects of fertilizer application rate on nitrous oxide emissions. *Soil Science Society of America Journal*, 70: 235–248.
- Halvorson, A.D., S.J. Del Grosso, C.A. Reule. 2008. Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. *Journal of Environmental Quality*, 37: 1337–1344.
- Hamilton, S.K., A.L. Kurzman, C. Arango, L. Jin, G.P. Robertson. 2007. Evidence for carbon sequestration by agricultural liming. *Global Biogeochemical Cycles*, 21: GB2021, doi:10.1029/2006GB002738.
- Hirsch, A.I., A.M. Michalak, L.M. Bruhwiler, W. Peters, E.J. Dlugokencky, P.P. Tans. 2006. Inverse modeling estimates of the global nitrous oxide surface flux from 1998–2001. *Global Biogeochemical Cycles*, 20: GB1008, doi:10.1029/2004GB002443. 17 p.
- Hou, A.X., G.X. Chen, Z.P. Wang, O. Van Cleemput, W.H. Patrick Jr. 2000. Methane and nitrous oxide emissions from a rice field in relation to soil redox and microbiological processes. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 2180–2186.
- Hungate, B.A., E.A. Holland, R.B. Jackson, F.S. Chapin, H.A. Mooney, C.B. Field. 1997. The fate of carbon in grasslands under carbon dioxide enrichment. *Nature*, 388: 576–579.
- Hutsch, B.W., X. Wang, K. Feng, F. Yan, S. Schubert. 1999. Nitrous oxide emission as affected by changes in soil water content and nitrogen fertilization. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162: 607–613.
- IFA/FAO, 2001. Global Estimates of Gaseous Emissions of NH<sub>3</sub>, NO, and N<sub>2</sub>O from Agricultural Land. International Fertilizer Industry Association and the Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. p. 106. <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/globest.pdf> (erişim 14 Kasım 2012).
- IPCC, 1996. Climate Change 1995. In: *The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 588 p.
- IPCC, 2000. The Special Report on Land Use, Land-Use Change, and Forestry (Watson, R.T., I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ravindranath, D. J. Verardo and D.J. Dokken, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 375 p.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001. In: *The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 881 p.
- IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. M., T. Ngara, K. Tanabe and F. Wagner, eds.). IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme Technical Support Unit. Japan. 590 p.
- IPCC, 2006. N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application. In: *Agriculture, Forestry and Other Land Use* (Eggleston,

- S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe, eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 54 p. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_11\\_Ch11\\_N2O&CO2.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf) (erişim 14 Kasım 2012).
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. In: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007 (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 996 p.
- Iqbal, M. 1992. Potential rates of de-nitrification in 2 field soils in southern England. *Journal of Agricultural Science*, 118: 223–227.
- Izaurrealde, R.C., R.L. Lemke, T.W. Goddard, B. McConkey, Z. Zhang. 2004. Nitrous oxide emissions from agricultural toposequences in Alberta and Saskatchewan. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 1285–1294.
- Jackson, T.L., H.M. Reisenauer. 1984. Crop response to lime in the western United States. In: *Soil Acidity and Liming* (Adams, F., ed.). 2<sup>nd</sup> edition. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 333–347.
- Jones, M.B., A. Donnelly. 2004. Carbon sequestration in temperate grass land ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO<sub>2</sub>. *New Phytologist*, 164: 423–439.
- Jugsujinda, A., R.D. DeLaune, C.W. Lindau. 1995. Influence of nitrate on methane production and oxidation in flooded soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26: 2449–2459.
- Körner, C., J.A. Arnone. 1992. Responses to elevated carbon-dioxide in artificial tropical ecosystems. *Science*, 257: 1672–1675.
- Lal, R. 1997. Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in Western Nigeria. II. Soil chemical properties. *Soil and Tillage Research*, 42: 161–174.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304: 1623–1627.
- Lal, R., J.P. Bruce. 1999. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. *Environmental Science & Policy*, 2: 177–185.
- Lal, R., R.F. Follett, J.M. Kimble. 2003. Achieving soil carbon sequestration in the U.S.: a challenge to the policy makers. *Soil Science*, 168: 827–845.
- Lindau, C.W., R.D. DeLaune, W.H. Patrick Jr., P.K. Bollich. 1990. Fertilizer effects on dinitrogen, nitrous oxide, and methane emissions from lowland rice. *Soil Science Society of America Journal*, 54: 1789–1794.
- Linn, D.M., J.W. Doran. 1984. Effect of water-filled pores space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 1267–1272.
- Maraseni, T.N., G. Cockfield, A. Apan. 2007. A comparison of greenhouse gas emissions from inputs into farm enterprises in Southeast Queensland, Australia. *Journal of Environmental Science and Health*, 42: 11–19.
- Marschner, H. 1991. Root-induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. In: *Plant Roots—the Hidden Half* (Waisel, Y., A. Eshel and U. Kafkafi, eds). Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 505–528.
- McSwiney, C.P., G.P. Robertson. 2005. Nonlinear response of N<sub>2</sub>O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (*Zea mays* L.) cropping system. *Global Change Biology*, 11: 1712–1719.
- Mosquera, J., J.M.G. Hol, C. Rappoldt, J. Dolfing. 2007. Precise soil management as a tool to reduce CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils. Report No: 28. Wageningen. p. 42. <http://www.asg.wur.nl/NR/rdonlyres/F81D8745-6596-4296-A292-8553950E2B98/40310/28.pdf> (erişim 14 Kasım 2012).
- Nevison, C.D., N.M. Mahowald, R.F. Weiss, R.G. Prinn. 2007. Interannual and seasonal variability in atmospheric N<sub>2</sub>O. *Global Biogeochemical Cycles*, 21: GB3017, doi:10.1029/2006GB002755. p.13.
- Norton, J.M. 2008. Nitrification in agricultural soils. In: *Nitrogen in Agricultural Systems* (Schepers, J.S. and W.R. Raun, eds.), Agron. Monogr. 49. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp. 173–199.
- OECD, 2001. Methods and Results (Vol. 3). *Environmental Indicators for Agriculture*. Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) Publications. France. p.400.
- Parkin, T.B. 2008. Effect of sampling frequency on estimates of cumulative nitrous oxide emissions. *Journal of Environmental Quality*, 37: 1390–1395.
- Post, W.M., W.R. Emmanuel, P.J. Zinke, A.G. Stangenberger. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 298: 156–159.
- Robertson, G.P. 2004. Abatement of nitrous oxide, methane, and the other non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases: the need for a systems approach. In: *The Global Carbon Cycle* (Field, C.B. and M.R. Raupach, eds.). Island Press, Washington, DC, pp. 493–506.
- Robertson, G.P., Groffman, P.M., 2007. Nitrogen transformation. In: *Soil Microbiology, Biochemistry, and Ecology* (Paul, E.A., ed. ). Springer, New York, NY, pp. 341–364.
- Schlesinger, W.H., J. Lichter. 2001. Limited carbon storage in soil and litter of experimental forest plots under increased atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, 411: 466–469.
- Six, J., S.M. Ogle, F.J. Breidt, R.T. Conant, A.R. Mosier, K. Paustian. 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.
- Smith, K.A., F. Conen. 2004. Impacts of land management on fluxes and trace greenhouse gases. *Soil Use and Management*, 20: 255–263.
- Smith, P. 2004. Soil as carbon sinks: the global context. *Soil Use and Management*, 20: 212–218.
- Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen, P.E. Fixen. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 133: 247–266.
- Soussana, J.F., P. Loiseau, N. Vuichard, E. Ceschia, J. Balesdent, T. Chevallier. 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use and Management*, 20: 219–230.
- Subbarao, G.V., O. Ito, K.L. Sahrawat, W.L. Berry, K.

- Nakahara, T. Ishikawa, T. Watanabe, K. Suenaga, M. Rondon, I.M. Rao. 2006. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems—challenges and opportunities. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25: 303–335.
- Teepe, R., R. Brumme, F. Beese, B. Ludwig. 2004. Nitrous oxide emission and methane consumption following compaction of forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 605–611.
- Thomas, S., H. Barlow, G. Francis, D. Hedderley. 2004. Emission of nitrous oxide from fertilized potatoes. In: *SuperSoil 2004: 3<sup>rd</sup> Australian New Zealand Soils Conference*, 5–9 December 2004, University of Sidney, Australia.
- Thornton, F.C., R.J. Valente. 1996. Soil emissions of nitric oxide and nitrous oxide from no-till corn. *Soil Science Society of America Journal*, 60: 1127–1133.
- TÜİK, 2012. Seragazi Emisyon Envanteri 1990 -2010. T.C. İstatistik Kurumu Başkanlığı Haber Bülteni. Yayınlanma Tarihi: 01.06.2012, Sayı: 10829. Ankara.
- UNESCO ve SCOPE, 2007. Human Alteration of the Nitrogen Cycle: Threats, Benefits and Opportunities. April 2007-No. 4. UNESCO-SCOPE, Paris, France. p. 6.
- West, T.O., A.C. McBride. 2005. The contribution of agricultural lime to carbon dioxide emission in the United States: dissolution, transport, and net emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 108: 145–154.
- West, T.O., G. Marland. 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: 217–232.

***Sorumlu Yazar***

*Hüseyin Hüsnü KAYIKÇIOĞLU*  
*husnu.kayikcioglu@gmail.com*

*Geliş Tarihi* : 19.08.2012

*Kabul Tarihi* : 15.12.2012