

## Toprak Neminin Toprak Karbondioksit Emisyonu Üzerine Etkisi

Davut AKBOLAT<sup>\*1</sup>, Ali ÇOŞKAN<sup>2</sup>

Journal of the Faculty of Agriculture  
Volume 15, Issue 2,  
Page 161-165, 2020

**Özet:** Sera etkisi oluşturan gazlardan biri olan karbondioksit gazının topraktan emisyonunu etkileyen birçok etmen vardır. Bunlardan bazıları, toprak sıcaklığı, toprak nemi, toprak organik maddesi ve toprak işleme uygulamalarıdır. Bu çalışmada, laboratuvar ortamında belirli hacim toprakta üç farklı nem oranına sahip toprak ortamı oluşturularak toprak karbondioksit emisyonları saptanmıştır. Toprak karbondioksit emisyonu mobil PP system kullanılarak belirlenmiştir. Aynı zamanda her kayıta, toprak sıcaklığı ve topraktan buharlaşma ve gravimetrik toprak nem içerikleri de belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, A, B ve C uygulamaları için oluşturulan toprak ortamının ortalama toprak nemleri %27.5, %22 ve %19.7 olarak bulunmuş ve aralarındaki farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p \leq 0.01$ ). Uygulamalara bağlı belirlenen toprak karbondioksit emisyonları A, B ve C için sırasıyla 0.328, 0.317 ve 0.304 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> olarak gerçekleşmiş ve uygulamalar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur ( $p > 0.05$ ). Ortalama buharlaşma değerleri, A, B ve C uygulamaları için sırasıyla; 5.78, 7.14, ve 7.50 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> olarak elde edilmiş ve aralarındaki fark önemsiz bulunmuştur ( $p > 0.05$ ). Toprak sıcaklıkları ise A, B ve C uygulaması için sırasıyla 23.06, 22.04 ve 21.75 °C bulunmuş ve A uygulaması diğer iki uygulamadan daha yüksek bulunurken ( $p \leq 0.01$ ) B ve C uygulamaları arasındaki fark önemsiz bulunmuştur ( $p > 0.05$ ).

**Anahtar Kelimeler:** Toprak nemi, karbondioksit emisyonu, toprak sıcaklığı, toprak işleme

## The Effect of Soil Moisture on Soil Carbon Dioxide Emission

**Abstract:** A number of factors are affecting soil's carbon dioxide gas emission which is one of the greenhouse gases. Those factors are soil temperature, soil moisture, soil organic matter contents and soil cultivation practices. In this study, soil carbon dioxide emissions were determined by creating a soil environment with three different moisture rates in a certain volume of soil in the laboratory condition. Soil carbon dioxide emission determined using mobile PP system. Simultaneously the each carbon dioxide record, soil temperature and evaporation from soil as well as gravimetric soil moisture contents were determined. According to the results, the average soil moisture of the soil for A, B and C applications was found to be 27.5%, 22% and 19.7%, respectively. The differences between those values were found to be statistically significant ( $p \leq 0.01$ ). The soil carbon dioxide emissions determined on the A, B and C applications were 0.328, 0.317 and 0.304 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, respectively, and the difference between the applications was found to be insignificant ( $p > 0.05$ ). The obtained mean evaporation values for A, B and C applications were 5.78, 7.14, and 7.50 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, respectively. The differences between them were found to be insignificant ( $p > 0.05$ ). Soil temperatures values were 23.06, 22.04 and 21.75 °C, respectively, for A, B and C applications. While the temperature value in A application was significantly ( $p \leq 0.01$ ) higher than the other two, the difference between the B and C applications was not significant ( $p > 0.05$ ).

**\*Sorumlu yazar (Corresponding author)**  
davutakbolat@isparta.edu.tr

**Alınış (Received):** 22/08/2020  
**Kabul (Accepted):** 02/10/2020

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,  
Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve  
Teknolojileri Mühendisliği Bölümü,  
Isparta, Türkiye.

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,  
Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve  
Bitki Besleme Bölümü,  
Isparta, Türkiye.

**Keywords:** Soil moisture, carbon dioxide emission, soil temperature, soil cultivation

## 1. Giriş

Sera gazlarının kaynakları çok değişik olmakla birlikte tarımsal üretim alanı da bu kaynaklar arasında yer almaktadır. Tarımsal üretimde yaygın olarak üretilen ve sera gazı olarak bilinen gazlar, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O) ve metan (CH<sub>4</sub>) gazlarıdır (Boyle ve Ardill, 1989). Toprak ile ilişkili etkinlikler sırasında çoğunlukla karbondioksit gazı üretilmektedir. Üretilen bu karbondioksit gazı emisyonu miktarı, toprağa yapılan dış etkilerin şekil ve yoğunluğu yanında, iklimsel ve yersel özellikler ile toprağın yapı ve özelliklerine göre de değişmektedir.

Toprak yüzeyinden atmosfere salınan CO<sub>2</sub> oranı ve miktarı üzerine; toprağın geçirgenliği, besin içeriği, organik madde miktarı, toprak işleme sistemleri, sulama uygulamaları, toprak nem içeriği ve sıcaklığı etkilidir (Jabro ve ark., 2008). Sulama ve farklı toprak işleme sistemlerinin araştırıldığı bir çalışmada, sulamadan sonra tüm konularda topraktan CO<sub>2</sub> emisyonu sulama öncesine göre artmıştır (Calderon ve Jackson, 2002). Bunun nedeni olarak, toprak nem içeriği artışı ile toprak fiziksel ve biyolojik aktivitesinin artışı gösterilmiştir. Diğer yandan toprak nemi ile toprak solunumu arasındaki ilişki, yetiştirilen ürüne göre de değişebilmektedir (Lee ve ark., 2009). Aynı çalışmaya göre, artan toprak nemi ile mısır üretiminde karbondioksit emisyonu artarken, bu doğrusal ilişki ayçiçeği ve nohut üretiminde görülmemiştir. Toprak nemini artırıcı yönde etkisi olan yağışlar, erozyon etkisi ile üst toprak katmanındaki porları tıkayarak üst toprak katmanından CO<sub>2</sub> emisyonuna karşı geçirimsiz bir tabaka oluşturmakta ve CO<sub>2</sub> emisyonu ilk etapta azalmaktadır. Ancak ilerleyen süreçlerde toprak nemi artışı nedeniyle toprak CO<sub>2</sub> emisyonu yağış öncesine göre artmaktadır (Patton, 2008). Uzun süren yağışsız dönem sonrası yağın ilk yağmur toprak solunumunu artırıcı etkiye neden olmaktadır. Emisyon, yağmurun başlangıcından itibaren birkaç dakika ya da saatler içinde artmakta ve birkaç gün içinde normal seviyesine dönmektedir (Oertel, ve ark., 2016). Toprak işleme sistemlerinin toprak CO<sub>2</sub> emisyonu üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, veri alımından iki gün önce yağın 90 mm yağış CO<sub>2</sub> emisyonunu yaklaşık dört kat artırmıştır (Akbolat ve ark., 2009). Topraktan CO<sub>2</sub> emisyonunun toprak porlarının su ile doluluk oranıyla da ilişkili olduğunu bildiren bir çalışmada, porların %30-60 arasında olduğu durumda CO<sub>2</sub> emisyonunun artış yönünde, %60 ve üzerinde olduğu durumlarda ise azalma yönünde olduğu bildirilmiştir (Lin ve Doran, 1984). Genel olarak toprak neminin artırılması karbondioksit üretimini optimum düzeye çıkarmaktadır (Rastogi ve ark., 2002). Toprak neminin, toprak sıcaklığının, toprak PH 'sının ve bitki kök kütesinin toprak CO<sub>2</sub> emisyonu üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, toprak sıcaklığı ve toprak neminin toprak CO<sub>2</sub> emisyonu üzerine oldukça etkili olduğu bildirilmiştir. Ayrıca toprak pH 'sı ve vejetasyonun mikrobiyal aktivite nedeniyle bağlı kök kütesinin

mekânsal CO<sub>2</sub> emisyonu üzerine etkili olduğu bildirilmiştir (Reth ve ark., 2005).

Bu çalışmanın amacı, farklı toprak nem içeriklerinin toprağın karbondioksit emisyonu üzerine etkisini laboratuvar ortamı koşullarında belirlemek, bu sayede sulamaya açılan tarım alanlarından meydana gelebilecek emisyonların hesaplanmasında kullanılabilecek veriler üretmektir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma Isparta Uygulamalı Bilimler üniversitesi, Ziraat Fakültesi araştırma ve uygulama çiftliğinde yürütülmüştür. Yaklaşık 20 litrelik kovalar toprak ile doldurulmuş ve üç farklı toprak nemi içeriği olacak şekilde deneme planı oluşturulmuştur. Kovalara aynı noktadan alınan topraklar eşit miktarda doldurulmuştur.

Denemede kullanılan toprağın kum, silt ve kil içeriği sırasıyla %43, %33.9 ve %23.1 oranında bulunmuş, bünyesi tın olarak belirlenmiştir. Toprağın organik madde kapsamı %1.34 ve pH değeri 8.1 olarak belirlenmiştir. Deneme toprağının alındığı noktada daha önce yapılan bir sınıflama çalışmasında toprağın orta ve orta-ince bünyeli, derin, kireçli, tuzsuz, hafif ve orta derecede alkalın karakterli olduğu bildirilmiştir (Akgül ve Başayığıt, 2005).

Toprak CO<sub>2</sub> emisyonu PP SYSTEMS (PP Systems, Hitchin, UK) "Soil CO<sub>2</sub> flux system" ile belirlenmiştir (Akbolat ve ark, 2009). Sistem; integral analizör, toprak buharlaşma probu, CFX-2 flux çember ve toprak / hava sıcaklığı probundan oluşmaktadır.

Toprak nemini belirlemek için toprak örnekleri eijkelkamp toprak burgusu kullanılarak alınmıştır. Alınan toprak örnekleri plastik poşette korunarak laboratuvar ortamına taşınmış ve laboratuvar ortamında hassas terazide tartılarak Nüve marka etüvde 105 °C 'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutularak toprak nem içerikleri Baver ve ark. (1972) ve Sims ve ark. (1994)'e göre belirlenmiştir.

Birbirinden farklı üç tekerrürlü ve üç farklı nem içerikli toprak örneği oluşturmak için; A, B ve C uygulamalarına (toprak doldurulmuş kovalar) sırasıyla 0.5, 1.0 ve 2.0 litre su eklenerek iyice karıştırılmıştır. Bu işlemden yaklaşık 3 saat sonra toprak karbondioksit emisyonu belirlenmiş ve toprak nemi ölçümü için de toprak burgusu kullanılarak kovalardan toprak örnekleri alınmıştır. Bu ölçümler, ardışık dört gün sürmüş ve 10 gün sonra olmak üzere 5. kayıt alınmıştır. Toprak neminin hızlı düşüşünü engellemek için kovaların üzeri delikli plastik örtü ile kapatılmıştır.

Elde edilen verilerin istatistiksel olarak analizinin yapılması için MINITAB® paket programı kullanılmıştır. Bazı özellikler arasındaki korelasyonu belirlemek için IBM® SPSS®

Statistics 23 yazılımı kullanılmıştır. Toprak nemi uygulamaları arasındaki farkı belirlemek amacıyla Tukey testi ile ortalamalar  $p \leq 0.05$  düzeyinde karşılaştırılmıştır.

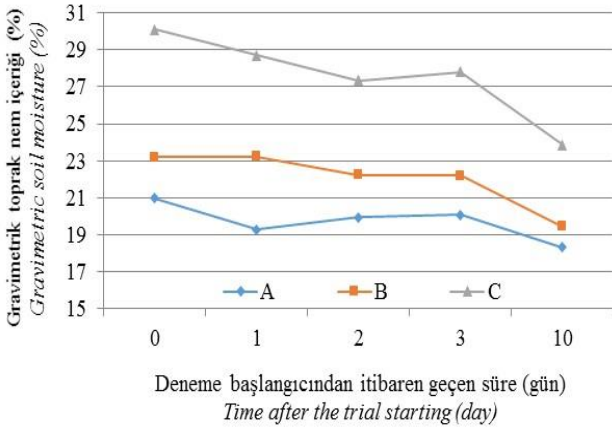
### 3. Bulgular ve Tartışma

Üç farklı toprak nemi elde etmek ve bu nem düzeylerinin toprak karbondioksit emisyonu üzerine etkisini saptamak için yapılan deneme sonunda elde edilen gravimetrik toprak nem içerikleri Tablo 1. 'de aşağıda verilmiştir.

**Tablo 1.** Denemede elde edilen gravimetrik toprak nem (%) içerikleri

| Uygulamalar | Deneme başlangıcından itibaren geçen süre (gün) |      |      |       |       | Ort. (%)          |
|-------------|---|------|------|-------|-------|-------------------|
|             | 0   | 1    | 2    | 3     | 10    |                   |
| A           | 21.0  | 19.3 | 19.9 | 20.08 | 18.32 | 19.7 <sup>a</sup> |
| B           | 23.2  | 23.2 | 22.2 | 22.21 | 19.44 | 22.1 <sup>b</sup> |
| C           | 30.1  | 28.7 | 27.3 | 27.82 | 23.85 | 27.6 <sup>c</sup> |

Tablodan görüleceği üzere, toprak nemine yönelik uygulamalara bağlı olarak ortalama toprak nem içerikleri arasındaki fark önemli bulunmuştur. Toprak nem içerikleri geçen süreye bağlı olarak azalmış ancak üç uygulama arasındaki fark devam etmiştir. A uygulaması ortalama toprak nemi B den %12 daha düşük iken, C 'den ise %40 daha düşüktür. Diğer yandan B uygulaması ortalama toprak nemi C uygulaması ortalama toprak neminden %25 daha düşüktür. Ayrıca geçen sürece bağlı uygulamaların toprak nemi değişimleri Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Uygulamaların toprak nemi değişimleri

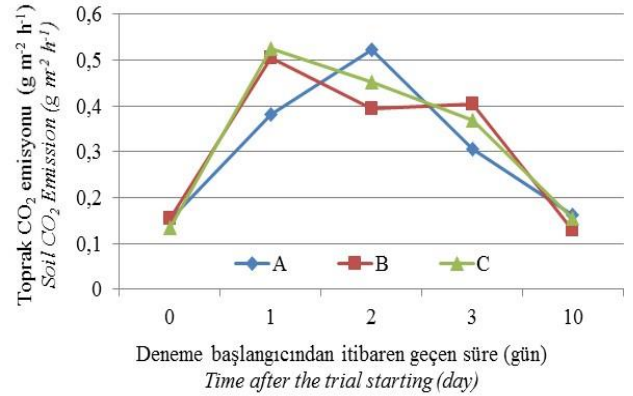
Şekil 1'den de görüleceği üzere deneme başlangıcından itibaren geçen sürelerde uygulamalar arasındaki fark genel olarak korunmuştur. Ancak A uygulaması ile B uygulaması arasındaki nem farkı B ile C arasındaki nem farkından daha yüksek olduğu belirgin olarak gözükmemektedir. Bu durumun toprak karbondioksit emisyonuna yansımaları başlangıçtaki kabullere göre doğal olarak beklenir. Ancak böyle bir yansıma bulunmuyorsa başka mekanizmaların etkili olduğu söylenebilir ki elde edilen sonuçlar da bunu göstermektedir. Bu durum Tablo 2'de aşağıda verilmiştir.

**Tablo 2.** Denemede elde edilen ortalama sonuçlar

| Uygulamalar | Toprak CO <sub>2</sub> emisyonu (g m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ) | Topraktan Buharlaşma (g m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ) | Toprak sıcaklığı (°C) | Toprak nemi (%)   |
|-------------|--|---|-----------------------|-------------------|
| A           | 0.305  | 5.79  | 23.1 <sup>a</sup>     | 19.7 <sup>a</sup> |
| B           | 0.318  | 7.14  | 22.0 <sup>b</sup>     | 22.1 <sup>b</sup> |
| C           | 0.327  | 7.44  | 21.8 <sup>b</sup>     | 27.6 <sup>c</sup> |

Sütunlardaki değişik harfler birbirinden farklıdır ( $p \leq 0.05$ ).

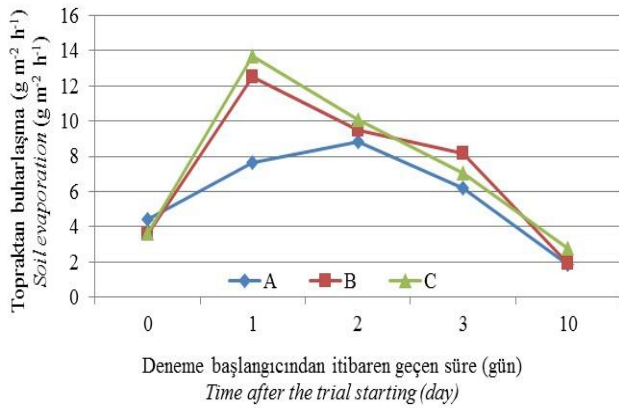
Tablo 2'den görüleceği üzere artan toprak nemine bağlı olarak karbon dioksit emisyonunda düzenli bir artış gözlenmiştir. Ancak bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p \leq 0.05$ ). Yukarıdaki satırlarda da değinildiği gibi toprak nemleri arasındaki farklılık önemli olmasına karşın bu sonuç toprak karbondioksit emisyonunu önemli düzeyde etkilememiştir. Diğer yandan toprak sıcaklığı da toprak karbondioksit emisyonunu etkileyen başka bir faktör olmasına (Jabro ve ark., 2008) ve artan toprak nem içeriğinin beklenildiği gibi ortalama toprak sıcaklığını düşürmesine karşın toprak sıcaklıkları da karbondioksit emisyonunu etkilememiştir (Tablo 2). Uygulamaların zamana bağlı olarak toprak karbondioksit emisyonlarına etkisi Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Uygulamalara bağlı olarak toprak karbondioksit emisyonları

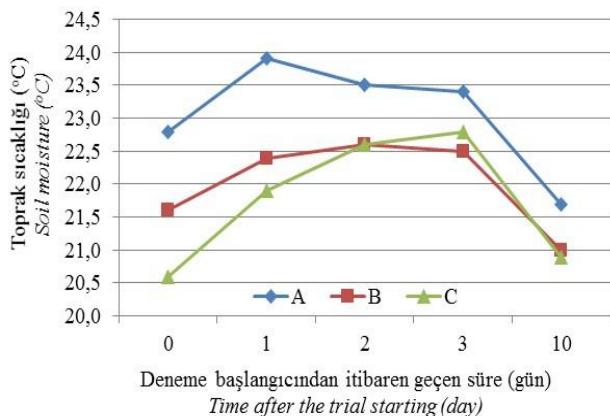
Şekil 2'den görüleceği üzere, denemeden hemen sonra yapılan ölçümdeki toprak karbondioksit emisyonu miktarları her üç uygulama için oldukça düşük olurken bir gün sonraki ölçümlerde çıkabileceği en yüksek noktaya çıkmıştır. Bu durum toprağa suyun girişini takiben toprak organizmalarının faaliyetlerinin artması için zamana ihtiyaç duymaları ile açıklanabilir. Diğer yandan Oertel ve ark. (2016) bu sürenin saatler hatta dakikalar olduğunu ve birkaç gün içinde emisyonun uygulama öncesi seviyelere döndüğünü bildirmektedir. Bu çalışmadan elde edilen veriler pik değerlerin bir miktar daha uzun sürede ortaya çıkabileceğini, A uygulamasındaki gibi düşük nem içeriğinde etkinin 2 gün sonra pik yapabileceğini ortaya koymaktadır. Uygulamalardan bir gün sonra saptanan karbondioksit emisyonu miktarları diğer günlerde önce hafif azalan bir seyir izlerken ikinci ve üçüncü günlerden sonra hızla azalan bir seyir izlemiştir. Bu süreçte

uygulamalar arasındaki farklılıkta bir değişim gözlenmemiş sadece 1. gün A uygulamasındaki karbondioksit emisyonu diğer iki uygulamadan daha düşük gerçekleşmiştir. Karbondioksit emisyonunda bir gün sonraki ölçümdeki yüksek değer, daha sonra devam eden eğim ve ardından azalma Şekil 1'deki toprak nemlerinin gösterdiği eğilim ile paralellik göstermektedir. Toprak karbondioksit emisyonunu etkileyen bir diğer faktör olan toprak buharlaşması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Uygulamalara bağlı olarak topraktan buharlaşma

Çoğu kez toprak buharlaşması ya da H<sub>2</sub>O emisyonu ile toprak karbondioksit emisyonu arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Akbolat ve ark., 2016; Al-Azzavi ve Akbolat, 2018). Çalışmada elde edilen sonuçlar da bu doğrultuda olup toprak karbondioksit emisyonu toprak buharlaşması ile yakın ilişki göstermektedir. Bu açıdan yapılan değerlendirmelerde toprak karbondioksit emisyonu ile toprak buharlaşması arasındaki ilişkinin derecesi  $r=0,97$  olarak belirlenmiştir. Toprak karbondioksit emisyonu üzerine etkili faktörlerden bir diğeri de toprak sıcaklığıdır (Jabro ve ark., 2008). Uygulamalara bağlı olarak belirlenen toprak sıcaklıkları Şekil 3'te verilmiştir. Uygulamalar arasında sıcaklıklar açısından oluşan fark A ile B ve C arasında önemli B ve C arasında ise önemsiz bulunmuştur. Toprak sıcaklığı ve toprak karbondioksit emisyonları arasında  $r = -0,96$  olmak üzere negatif bir korelasyon bulunmuştur.



Şekil 4. Uygulamalara bağlı olarak toprak sıcaklıkları

Yapılan bir çalışmada elde edilen sonuçlara göre yaygın kanının aksine özellikle hava sıcaklığı ile toprak karbondioksit emisyonu arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğu bildirilmiştir (Akbolat ve ark., 2018).

#### 4. Sonuç

Yoğun tarımsal üretimin gereklerinden olan sulama işleminin yapılması halinde tarım alanlarının küresel ısınmaya neden olan karbondioksit gazı artışına etkisini belirlemek amacıyla yürütülen bu çalışmada, istatistiki olarak önemli olmasa da artan toprak neminin karbondioksit emisyonunu artırdığı bulunmuştur. Bu durum büyük olasılıkla artan nemin toprak organizmalarının aktivitelerinin artırması (Reth ve ark., 2005) ile ilgilidir. Deneme sonuçları ayrıca Jabro ve ark. (2008) tarafından bildirilen bulguların aksine, artan toprak sıcaklığı ile karbondioksit emisyonu arasında negatif korelasyon olduğunu göstermiştir. Bu durum oldukça şaşırtıcıdır ve birden çok faktörün karbondioksit emisyonu üzerinde etkili olduğu (Jabro ve ark., 2008) bilgisinden hareketle, bu olgunun hangi parametrelerin birleşimiyle ortaya çıktığının belirlenmesi de önem arz etmektedir. Bu ve benzer çalışmaların devam ettirilerek, tarım alanlarının sulamaya açılması halinde karbondioksit emisyonuna dolayısıyla küresel ısınmaya olacak olumsuz etkilerin tahmin edilmesi sürdürülebilir üretim için oldukça önemlidir. Çalışma sonuçlarından genel olarak, sulama programlarının hazırlanmasında topraklardan meydana gelen karbondioksit emisyonlarının da dikkate alınması gerektiği, Oertel ve ark. (2016) tarafından bildirilen pik değerlere ulaşmamak üzere, toprak neminde aşırı düşüşlerin yaşanmaması için tedbir alınmasının yararlı olacağı söylenebilir.

#### Kaynakça

- Akbolat D, Barut ZB, Turgut MM, Çelik İ (2016). Soil CO<sub>2</sub> emissions under conventional and conservational tillage methods in soybean cultivation in Cukurova plain of Turkey. *Agronomy, Series A*, 59: 15-20.
- Akbolat D, Ekinci K, Bozkurt YE, Kumbul BS (2018). The influence of soil and air temperature on soil carbon dioxide emission in farmland. *SDU Journal of the Faculty of Agriculture/SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13 (1): 89-94.
- Akbolat D, Evrendilek F, Coskan A, Ekinci K (2009). Quantifying soil respiration in response to short-term tillage practices: a case study in southern Turkey. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B- Soil and Plant Science*, 59 (1): 50-56.
- Akgül M, Başayığit L (2005). Süleyman Demirel Üniversitesi Çiftlik arazisinin detaylı toprak etüdü ve haritalanması. *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (3): 1-10.

- Al-Azzawi G, Akbolat D (2018). Chisel plow tillage depth effect on soil carbon dioxide emission. *Scientific Papers-Series A-Agronomy*, 61: 27-33.
- Baver LD, Gardner WH, Gardner WR (1972). *Soil physics*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Boyle S, Ardill J (1989). *The greenhouse effect: a partial guide to the world's changing climate*, Hodder and Stoughton, London.
- Calderon FJ, Jackson LE (2002). Rototillage, disking, and subsequent irrigation: effects on soil nitrogen dynamics, microbial biomass, and carbon dioxide efflux. *Journal of Environmental Quality*, 31: 752-758.
- 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: 1478-1484.
- Lee J, Hopmans JW, Kesel CV, King AP, Evatt KJ, Louie D, Rolston DE, Six J (2009). Tillage and seasonal emissions of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and NO across a seed bed and at the field scale in a mediterranean climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129: 378-390.
- Linn DM, Doran JW (1984). Effect of water-filled pore on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and no-tilled soils. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 1267-1272.
- Oertel C, Matschullat J, Zurba K, Zimmermann F (2016). Greenhouse gas emissions from soils- A review. *Chemie Der Erde*, 76: 327-352.
- Patton JC (2008). Soil CO<sub>2</sub> flux during and after rainfall events in Iowa. Ph.D. Thesis. Iowa State University, Department of Geological and Atmospheric Sciences, Iowa.
- Rastogi M, Singh S, Pathak H (2002). Emission of carbon dioxide from soil. *Current Science*, 82 (5): 510-517.
- Reth S, Reichstein M, Falge E (2005). The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO<sub>2</sub> efflux-a modified model. *Plant and Soil*, 268 (1): 21-33.
- Sims BG, O'Neill DH (1994). *Testing and evaluation of agricultural machinery and equipment: principles and practices* (No. 110), Food & Agriculture Organization of the United Nations, Roma.