

Rototiller Arka Kapak Yüksekliğinin Toprağı Sıkıştırma, Parçalama ve Karbondioksit Emisyonu Üzerine Etkisi

Ziraat Fakültesi Dergisi,
Cilt 16, Sayı 2,
Sayfa 214-219, 2021

Zafer GÜNGÖR¹, Davut AKBOLAT^{*1}

Journal of the Faculty of Agriculture
Volume 16, Issue 2,
Page 214-219, 2021

Özet: Toprak işleme sırasında işleme derinliği, toprağın karıştırılma miktarı gibi toprak işlemede uygulanan yöntemler ile toprak işleme ekipmanı tipi ve ayarları da bazı toprak fiziksel özellikleri ve toprak CO₂ emisyonu üzerine etkilidir. Bu çalışmada, rototillerin üç farklı arka kapak konumu “Üst, Orta, Alt ve Kontrol” uygulama (faktör) olarak ele alınmış ve toprağı sıkıştırma, parçalama ve toprak CO₂ emisyonları belirlenmiştir. Bunun için de işleme derinlikleri, toprak hacim ağırlığı, porozite, toprak sıcaklıkları, toprak penetrasyon dirençleri ve ortalama ağırlık çapı da saptanmıştır. İşleme sonrası PP System (toprak CO₂ emisyonu ölçüm cihazı) kullanılarak deneme başlangıcından itibaren düzenli aralıklarla CO₂ emisyonları belirlenmiştir. Uygulamalar arasındaki farklar eşitlendiğinde (çalışmada 60. gün) CO₂ emisyonu ölçümü sonlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre toprak CO₂ emisyonu açısından uygulamalar arasındaki farkın önemli olduğu belirlenirken porozite ve hacim ağırlıkları arasındaki fark istatistiksel olarak P<0.05 önem düzeyinde önemli bulunmuştur. Toprak CO₂ emisyonları Üst, Orta, Alt ve Kontrol uygulamaları için sırasıyla 0.137, 0.116, 0.099 ve 0.068 g m⁻²h⁻¹ ve aralarındaki fark (P<0.05) önemli bulunmuştur. Toprak penetrasyon dirençleri (0-25 cm derinlikte) ise uygulamalara bağlı olarak Üst, Orta, Alt ve Kontrol için sırasıyla ortalama 0.848, 1.008, 1.808 ve 2.726 bulunmuş ve aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kapak konumuna bağlı olarak işleme derinlikleri Üst, Orta ve Alt uygulamaları ortalaması sırasıyla 17.0, 15.13 ve 13.26 cm olarak belirlenmiş ve aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır. Uygulamalar göre toprak sıcaklıkları ve H₂O emisyonu ortalamaları arası fark önemsiz bulunmuştur (p>0.05).

Anahtar Kelimeler: Toprak CO₂ emisyonu, rototiller, toprak işleme, arka kapak yüksekliği

Effect of Rotary Tiller Rear Shield Position on Soil Compaction, Soil Disturbance and Soil Carbon Dioxide Emissions

Abstract: During tillage, tillage depth, the amount of soil disturbance, and the settings of tillage equipment are also effective on some soil physical properties and soil CO₂ emissions. In this study, three different rear shield positions of the rototiller were considered as “Upper, Medium, Lower and Control” treatment and their effects on soil compaction, disturbance and soil CO₂ emissions were determined. For this, the depth of tillage, soil bulk density, porosity, soil temperatures, soil penetration resistance and soil mean weight diameter were also determined. After tillage, CO₂ emissions were determined at regular intervals from the beginning of the trial using the PP System (soil CO₂ emission measuring device). When the differences between the treatments were equalized (60th day in the study), the CO₂ emission measurement was terminated. According to the results obtained, it was determined that the difference between the treatments in terms of soil CO₂ emission was significant, also the difference between soil porosity and soil bulk density was found to be statistically significant at the P<0.05 significance level. Soil CO₂ emissions for Upper, Medium, Lower and Control treatments 0.137, 0.116, 0.099 and 0.068 g m⁻²h⁻¹ and the difference between them (P<0.05) were found significant, respectively. Average soil penetration resistances for Upper, Medium, Lower and Control, (at 0-25 cm soil depth) were found to be 0.848, 1.008, 1.808 and 2.726 MPa respectively, depending on the treatments, and the difference between them was found to be statistically significant. Depending on the rear shield position, the average of the tillage depths of Upper, Medium and Lower treatments was determined as 17.0 cm, 15.13 cm and 13.26 cm, respectively, and the difference between them was found to be statistically significant (P<0.05). In addition, the difference between the averages of soil temperatures and H₂O emissions according to the treatments was found to be insignificant (p>0.05).

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

Alınış (Received): 15/10/2021
Kabul (Accepted): 22/11/2021

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

Keywords: CO₂ emissions, rotary tiller, tillage, rear shield position

1. Giriş

Toprak işleme, toprağın çevresel koşullarını değiştirir ve topraktaki kalıntıların dağılımını kontrol eder, her ikisi de toprak biyogenik gazlarının (CO_2 , N_2O ve CH_4) üretimini ve emisyonunu etkileyen eylemlerdir (Gregorich ve ark. 2006). Novara ve ark. (2012) toprak CO_2 emisyonu üzerine etkili faktörleri; toprak mikrobiyal ekolojisini etkileyerek CO_2 üretimini etkileyen süreçler ve CO_2 'in toprak ile atmosfer arasındaki fiziksel hareketini etkileyen süreçler olarak iki geniş gruba ayırmışlardır. Bessou ve ark. (2010) sıkıştırılmış bölgelerin azaltılmış gözenekliliği, su dolu gözenek boşluklarını arttırır ve oksijen difüzyon hızını sınırlar. Toprağı karıştırma ilkesine göre çalışan toprak frezeleri, pulluk kullanmadan tek geçişte tohum yatağı hazırlayabilmesi nedeniyle azaltılmış toprak işleme makinesi olarak adlandırılmaktadır (Akbolat ve Ekinci 2008). Toprak frezelerinin arkasında yer alan ve yüksekliği ayarlanabilen kapak, işlenen toprağın dağılmasını önleyerek belli ölçülerde düzelterek bastırılmasını ve parçalanmasını da sağlamaktadır. Toprak frezelerinde toprağın parçalanması, rotor mili devir sayısı ile ilerleme hızı arası ilişkiye doğrudan bağlıdır. Bozkurt ve Akbolat (2016)'ın yaptıkları bir çalışmada rototiller sabit rotor devrinde ilerleme hızı arttığında toprağın parçalanması azalmış buna paralel olarak toprak karbondioksit emisyonu da azalmıştır. Akbolat ve ark. (2007), yapmış oldukları çalışmada, bodur elma bahçesinde en fazla kullanıma sahip olan rototiller ve diskaronun toprak CO_2 emisyonu üzerine etkilerini belirlemişlerdir. Toprak karbondioksit emisyonu açısından yapmış oldukları çalışmada; rototiller ve diskaronun sırasıyla ortalama $0.768 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ve $0.811 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ CO_2 emisyonu oluşturdukları ve aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz olduğunu bildirmişlerdir. Akbolat (2009a) yaptığı diğer bir çalışmada tohum yatağı hazırlığında 0 kg, 45 kg ve 60 kg olmak üzere farklı ağırlıklarda tapan kullanarak toprağa uygulanan baskının toprak CO_2 emisyonu üzerine etkisini belirlemiştir. Elde edilen sonuçlara göre, toprağı bastırmakta ağırlık uygulamanın CO_2 emisyonunu azalttığı bildirilmiştir. Talantimur, (2014), penetrasyon direnci ile toprak CO_2 emisyonu arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu ve toprak CO_2 emisyonunun topraktaki sıkışma miktarına bağlı olarak azaldığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada toprak sıkışması sonucu atmosfere salınacak olan CO_2 gazının toprak bünyesinde tutularak, emisyonun azalmasına neden olduğu bildirilmiştir. Novara ve ark. (2012) yaptıkları bir çalışmada, toprak sıkışmasının bir göstergesi olan hacim ağırlığı artışının CO_2 emisyonunu azalttığını bildirmişlerdir. La Scala ve ark. (2005) 'toprak frezesi ilerleme hızı ($122, 153$ ve 216 d dak^{-1}) ve arka kapak yüksekliğinin toprak CO_2 emisyonu üzerine etkisini saptamak için yaptıkları bir çalışmada, en yüksek CO_2 emisyonunu, rotor devri 216 d dak^{-1} ve kapak en aşağıda olduğu konumda saptamışlardır. Toprak frezesi kullanılarak tohum yatağı hazırlığı ile diğer tohum yatağı hazırlığı uygulamaları arasında toprak CO_2 emisyonu

açısından karşılaştırmaya yönelik bazı çalışmalar (Akbolat ve ark. 2009b; La Scala ve ark. 2001) bulunmasına karşın rototillerin farklı çalışma karakteristiklerine ilişkin sınırlı sayıda (La Scala ve ark. 2005) çalışma bulunmaktadır. Bu makale kapsamında, rototillerin kullanımı sırasında çok fazla değiştirilmeyen kapak konumunun toprak CO_2 emisyonu, toprak porozitesi, hacim ağırlığı, parçalanma derecesi ve penetrasyon direnci üzerine olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece çalışma sırasında en az CO_2 emisyonu oluşturan konum belirlenmiş ve aynı zamanda aşırı toprak sıkışıklığı yaratarak bitki gelişimine olumsuzluk yaratmayacak kapak yüksekliği de saptanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Deneme, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi'ne ait Araştırma Uygulama Çiftliğinde yürütülmüştür. Deneme alanında 0-23 cm derinlikteki toprak yapısı; %23.1 kil, %33.9 silt ve %43.0 oranında kum içeren, organik madde oranı ortalama %1.34 ve pH değeri 8.1 olan tınlı toprak bünyesine sahiptir. Topraklar; orta ve orta-ince bünyeli, derin, kireçli, tuzsuz, hafif ve orta derecede alkalın karakterlidir (Akgül ve Başayığıt 2005).

Denemede L şekilli bıçağa sahip yatay milli rototiller kullanılmıştır. Kullanılan rototillerin arkasında bulunan dişli döner merdane kapak yüksekliği etkisinin görünür hale gelmesi için deneme sırasında çıkarılmıştır. Rototillere ait bazı özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Denemede kullanılan rototillerin teknik özellikleri

Özellik	Değer
İş derinliği (cm)	15
İş genişliği (cm)	200
Toplam flanş sayısı (adet)	7
Bir flanştaki bıçak sayısı (adet)	6
Toplam işleyici bıçak sayısı (adet)	42
İşleyici bıçak şekli	L
Rotor çapı(cm)	46
Rotor devri (d d^{-1})	212
Alet toplam ağırlığı (kg)	550

Denemede rototilleri çalıştırmak için 90 BG'nde çift çeker traktör kullanılmıştır.

Toprak penetrasyon direncini belirlemede dijital Eijkelkamp Penetrologger (Model 06.15 Eijkelkamp, Giesbeck, The Netherlands) kullanılmıştır. Penetrologgerin ölçüm derinliği 80 cm, derinlik çözünürlüğü 1 cm, GPS doğruluğu 2.5 m'dir. Penetrologgerin denemede kullanılacak ucunun koni alanı 1 cm^2 ve 60° uç açıdadır. Penetrometre çubuğu batma hızı sabit ve 2 m s^{-1} 'dir.

Bozulmamış toprak örneği almak için, 5 cm çapında ve 100 cm^3 hacmine sahip toprak örneği alma silindri

kullanılmıştır. Alınan toprak örneklerinin kurutulmasında 'nüve' marka etüv kullanılmıştır.

Toprak ortalama ağırlık çap değerini saptamada, farklı çap değerlerine sahip elekler (elek açıklıkları 63, 32, 16, 8, 4, 2, 1, 0.5 ve 0.25 mm) ve mekanik sarsıcı kullanılmıştır. Toprak örneklerini tartmak için hassasiyeti 0.01 olan ve maksimum tartım kapasitesi 6 kg olan hassas terazi kullanılmıştır. Ortalama ağırlık çaplarını bulmak için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Verhulst ve ark. 2013):

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i$$

Burada; MWD: Ortalama ağırlık çapı,

X_i : (önceki elek çapı + mevcut elek çapı) / 2 (mm),

W_i : Mevcut elektteki örnek ağırlığı / tüm örneğin ağırlığı (%)

Toprak CO₂ emisyonu; PP SYSTEMS (PP Systems, Hitchin, UK) "Soil CO₂ flux sistem" ile belirlenmiştir (Akbolat ve ark. 2009b). Sistem; integral analizör, CFX-2 solunum odası ve toprak/hava sıcaklığı probundan oluşmaktadır. Ölçüm sistemi ile CO₂ emisyonu yanında buharlaşma (H₂O emisyonu) ve toprak/hava sıcaklığı değeri de ölçülmektedir. Denemenin başlarında her gün daha sonraları ise kayıt araları açılarak doğal toprak solunumuna ulaşıncaya kadar (çalışmada 60 gün) CO₂ ölçümü yapılmıştır. Her CO₂ emisyonu ölçümüne paralel olarak toprak nemini de saptamak için toprak örnekleri alınmıştır.

Rototiller arka kapak yüksekliği uygulama olarak ele alınarak üç farklı yükseklik ve bir de kontrol (Üst, Orta, Alt ve Kontrol) olmak üzere 4 uygulama denemede ele alınmıştır. Ayrıca normal uygulamalarda rototillerin arkasında bulunan merdane deneme sırasında çıkarılmış ve böylece kapak yüksekliğine olan sıkıştırma etkisi ortadan kaldırılmıştır.

Rototillerin farklı kapak yüksekliğinin toprak sıkışmasına olan etkisini saptamak için 0-5, 5-10 ve 10-15 cm toprak derinliğinden alınan bozulmamış toprak örnekleri kullanılarak laboratuvarında Blake ve Hartge (1986)'ye uygun olarak hacim ağırlıkları ve poroziteleri saptanmıştır.

Elde edilen tüm sonuçlar Minitab paket programı ile Tukey çoklu karşılaştırma testine göre ($P<0.05$) gruplandırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Rototillerin kullanımı sırasında farklı arka kapak yüksekliğinin toprağı sıkıştırma, toprağı parçalama ve topraktan çıkan CO₂ emisyonunu etkileme durumunu belirlemek için yapılan bu çalışma sonunda elde edilen verilerin uygulamalara bağlı ortalamaları aşağıda Tablo 2'de verilmiştir.

Tablodan görüleceği üzere uygulamalar; Üst (kapak en üstte), Orta (kapak ortada), Alt (kapak en altta) ve Kontrol (kontrol/işlemesiz)'den oluşmaktadır. Ortalamalara göre toprak CO₂ emisyonu, penetrasyon direnci ve işleme sonrası toprak derinliği bariz bir şekilde uygulama tiplerinden etkilenmiştir. Bunun yanında elde edilen sonuçlardan toprak H₂O emisyonu ve toprak sıcaklığının uygulamalardan etkilenmediği belirlenmiştir. Seçilen kapak konumlarının yerden yüksekliğine paralel olarak toprak işleme yapıldıktan sonra belirlenen ortalama toprak derinlikleri arasında oluşan fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Uygulamaların toprak karbondioksit emisyonu üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonucu Tablo 3'de verilmiştir.

Tablodan görüleceği üzere, rototiller kapak yüksekliğini temsil eden uygulamaların toprak CO₂ emisyonu üzerine etkili olduğu ($P<0.001$) bulunmuştur. Ayrıca deneme süresince değişik günlerde saptanan toprak CO₂ emisyonları arasındaki farkın da istatistiksel olarak önemli ($P<0.001$) olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Ayrıca uygulama gün etkileşiminin de $p<0.001$ önem düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar Akbolat (2009a)'nın farklı merdane ağırlıkları kullanımı ile toprak CO₂ emisyonu arasındaki doğrusal ilişkinin elde edildiği sonuçlar ile uyumlu iken, La Scala ve ark. (2005)'nin rototiller kapağının en alt konumda olduğu uygulamada en yüksek emisyonun elde edildiği sonuçlar ile uyumlu değildir. Bunun nedeni ilerleme hızının da faktör olarak ele alınması olmuş olabilir.

Tablo 2. Denemede elde edilen ortalama sonuçlar

Saptanan özellikler	Rototiller kapak konumu			
	Üst	Orta	Alt	Kontrol
CO ₂ emisyonu (gm ⁻² h ⁻¹)	0.137 ^a	0.116 ^b	0.099 ^b	0.068 ^c
H ₂ O emisyonu (gm ⁻² h ⁻¹)	0.83	0.64	0.65	1.17
Toprak sıcaklığı (°C)	6.42	6.56	6.44	6.38
Toprak nemi (%)	15.70 ^a	15.35 ^{ab}	14.96 ^b	14.22 ^c
Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)	0.97 ^a	1.02 ^a	1.04 ^a	1.30 ^b
Porozite (%)	63.18 ^a	61.26 ^a	60.55 ^a	50.73 ^b
Penetrasyon direnci (Mpa)	0.848 ^a	1.008 ^b	1.808 ^c	2.726 ^c
Ortalama Ağırlık çapı (mm)	0.194 ^a	0.232 ^{ab}	0.220 ^{ab}	0.303 ^b
İşleme sonrası derinlik (cm)	17.00 ^a	15.13 ^b	13.26 ^c	-

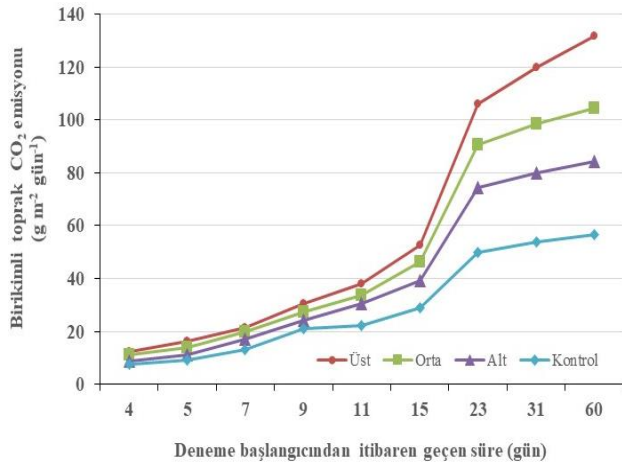
Satırdaki farklı harfler arasında istatistiksel olarak fark bulunmaktadır, $p<0.05$, harflendirme bulunmayan satırlardaki uygulamalar arasında farklılık bulunmamaktadır.

Tablo 3. Denemede elde edilen toprak CO₂ emisyonu varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F. Değeri	Önem Düzeyi
Uygulama	3	0.06964	0.023214	36.40	0.000*
Gün	8	0.34468	0.043085	67.55	0.000*
Uygulama x Gün	24	0.04585	0.001911	3.00	0.000*
Hata	72	0.04592	0.000638		
Toplam	107	0.50610			

*İstatistiksel olarak $p < 0.001$ düzeyinde önemlidir.

Şekil 1'de deneme başlangıcından itibaren zaman bağlı olarak saptanan birikimli toprak karbondioksit emisyonu aşağıda verilmiştir.

**Şekil 1.** Zaman bağlı uygulamaların birikimli toprak karbondioksit emisyonları

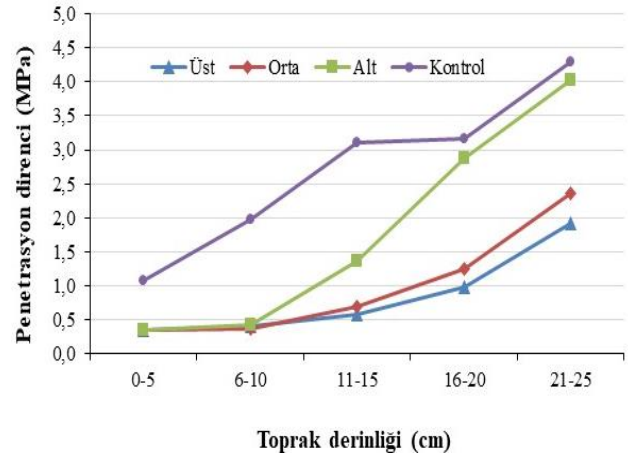
Şekilde yatay ekseninde yer alan, deneme başlangıç gününün 4 olarak gözükmesinin nedeni ölçüm sisteminin arıza yapmasıdır. Bu nedenle denemenin hemen bitiminde kayıt alınamamıştır Şekil 1'den de görüleceği üzere rototiller arka kapak yüksekliği üstten alta doğru indirildikçe toprak karbondioksit emisyonu da azalmıştır. En yüksek toprak CO₂ emisyonu kapak en üstte olurken kapak ortada iken daha az emisyon gerçekleşmiş en alt kapak konumunda ise daha az emisyon saptanmıştır. Denemede kontrol olarak kullanılan uygulamada ise toprak herhangi bir şekilde işlenmemiş olduğu için en az emisyonun gerçekleşmesi beklenen bir sonuçtur. Denemede kapak konumuna göre 60 günün sonunda Üst, Orta, Alt ve Kontrol uygulamaları için belirlenen CO₂ emisyonları sırasıyla 131.7, 104.2, 84.1 ve 56.7 g gün⁻¹

Tablo 4. Denemede elde edilen toprak penetrasyon direnci varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F. Değeri	Önem Düzeyi
Uygulama	3	166.91	55.6369	88.97	0.000*
Derinlik	24	298.64	12.4433	19.90	0.000*
Uygulama x Der.	72	91.11	1.2654	2.02	0.000*
Hata	200	125.07	2.02		
Toplam	299	681.72			

*İstatistiksel olarak $p < 0.001$ düzeyinde önemlidir.

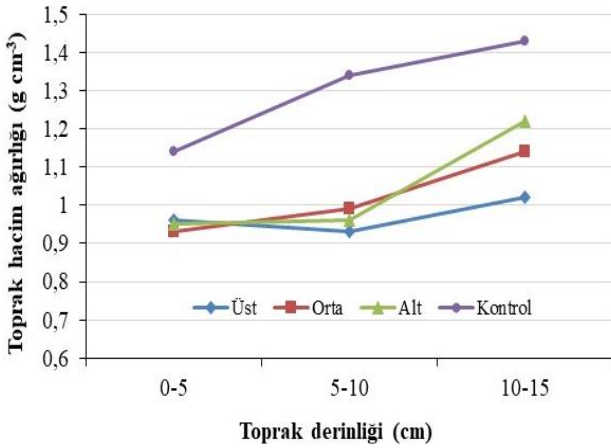
olarak gerçekleşmiştir. Denemede toprak karbondioksit emisyonunu etkilemesi olası penetrasyon direnci varyans analiz sonuçları Tablo 4'deki gibidir. Bunlar içerisinde, her üç kapak konumunda (Üst, orta ve alt) belirgin olarak penetrasyon direnci açısından farklılığın olması, toprağı bastırmanın ya da kabartmanın CO₂ emisyonu üzerine etkili olduğunu göstermektedir. Denemede saptanan uygulamalara göre penetrasyon dirençleri Şekil 2'de verilmiştir.

**Şekil 2.** Uygulamalara bağlı olarak 0-25 cm toprak derinliğindeki penetrasyon dirençleri

Kontrol uygulamasındaki penetrasyon direnç değerinin en yüksek olması bu uygulamadaki toprağın işlenmemiş olması nedeniyle beklenen bir sonuçtur. Diğer üç uygulamaya bakıldığında Alt uygulamasındaki penetrasyon direncinin diğer iki uygulamadan daha yüksek olmasının nedeni toprağı yapılan bastırma etkisinin diğerlerine göre daha yüksek olmasıdır. Orta ve Üst konumlarında da toprağı yapılan baskıya paralel olarak penetrasyon direnci değerlerinin değiştiği görülmektedir.

Rototillerin kapak konumunun değiştirilmesi ile saptanan toprak penetrasyon dirençleri üst, orta, alt ve kontrol uygulamaları için 0-25 cm toprak derinliğinde sırasıyla 0.848, 1.008, 1.808 ve 2.726 MPa olarak belirlenmiştir. Saptanan penetrasyon direnci değerleri, bitki büyümesini engelleyen 3.0 MPa değerinin altında (Busscher ve Sojka, 1987; Hakansson ve Lipiec 2000)'dir. Bununla birlikte uygulamalara bağlı toprak karbondioksit emisyonu ile penetrasyon direnci arasında 0,974 oranında negatif korelasyon saptanmıştır.

Toprağa yapılan sıkıştırma etkisinin diğer bir göstergesi olan toprak hacim ağırlıkları ise Şekil 3'te aşağıda verilmiştir.



Şekil 3. Uygulamaların toprak derinliğine göre hacim ağırlıkları

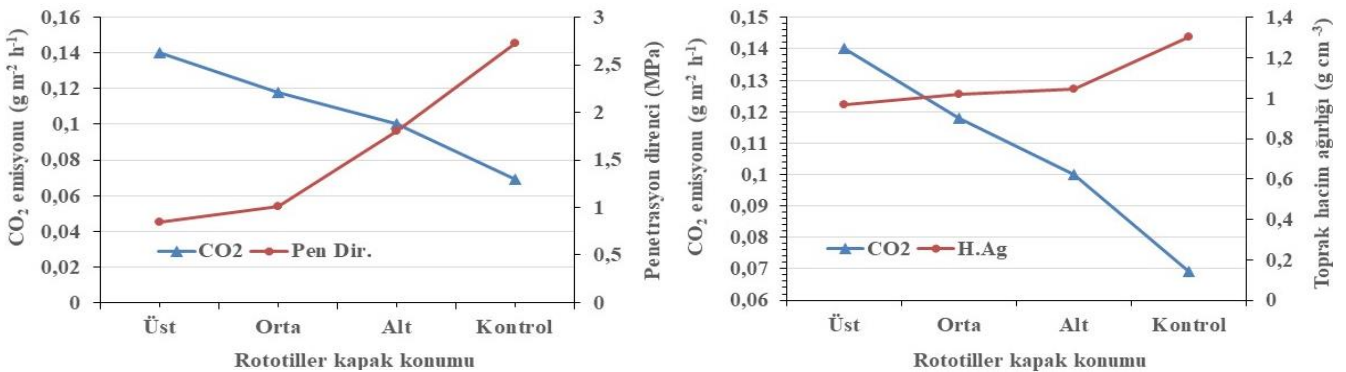
Rototiller kapak konumunun değiştirilmesi ile toprak yüzeyine yapılan baskı ve bunun sonucunda toprakta bir sıkışmanın ortaya çıkması gerekir. Bu sıkışmanın bitki kök gelişimini olumsuz yönde etkileyecek düzeyde olmaması gerekir. Bu durumu saptamak ve toprak solunumu ile arasındaki ilişkinin de gözlenmesi için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde her ne kadar penetrasyon direnci değerlerindeki kadar olmasa da kapak konumu ile hacim ağırlığı arasında zıt bir ilişki bulunmuştur. Toprak ortalama hacim ağırlıkları Üst, Orta, Alt ve Kontrol uygulamaları için sırasıyla 0,97, 1,02, 1,04 ve 1,30 g cm⁻³ olarak belirlenmiştir. Toprak derinliği ile toprak hacim ağırlıkları

artmıştır. Toprak hacim ağırlığı ile CO₂ emisyonu arasındaki negatif korelasyon 0,931 olarak belirlenmiştir. Toprak hacim ağırlığının aksine toprak porozitesi rototiller kapak yüksekliği azaldıkça azalmıştır (Şekil 4). Dolayısıyla, kapak yüksekliğindeki azalma porozitede azalmaya yol açmış ve bununla birlikte toprak CO₂ emisyonu da aynı doğrultuda olmak üzere azalmıştır.

Toprak işleme sonrası kapak konumlarına bağlı olarak oluşan işlenmiş derinlikler Üst, Orta ve Alt konumlar için sırasıyla 17,0 cm, 15,13 cm ve 13,26 cm olarak belirlenmiştir. Bu derinlikler arası oluşan farkın istatistiksel olarak ($p < 0,05$) önemli olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre birbirini izleyen kapak konumları arasında 2 cm fark elde edilmiştir. Penetrasyon direnci toprak derinliği arttıkça artmıştır. Bu artış kapak alt konumunda daha belirgin olarak gözükmemektedir.

Muhtemel olarak bunun sebebinin de en fazla sıkıştırma etkisine sahip olan konum olmasındandır.

Elde edilen sonuçlara göre, toprak hacim ağırlıkları arasında sadece kontrol ile diğer uygulamalar arasındaki farkın önemli olduğu ancak, rototiller ile işlenen uygulamalar olan Üst, Orta ve Alt uygulamaları arasında ise fark bulunmamıştır. Rototiller arka kapağının görevlerinden diğer biri de toprağı bir miktar daha parçalamadır. Kapak yüksekliklerinin parçalama üzerine etkisini ortaya koymak için yapılan elek analizi ve belirlenen ortalama ağırlık çapları sırasıyla Üst, Orta, Alt ve kontrol için sırasıyla 0,194 mm, 0,232 mm, 0,220 mm ve 0,303 mm bulunmuştur. Bu sonuçlara göre "Kontrol" uygulamasında elde edilen çap değerinin "Üst" uygulamasında elde edilen çap değerinden büyük olduğu fakat Üst, Orta ve Alt uygulamaları arasında ortalama ağırlık çapı açısından fark elde edilememiştir. Bu sonuç, Bozkurt ve Akbolat (2016)'ın rototillerin farklı ilerleme hızları için elde ettiği ortalama ağırlık çap değerleri ile benzerlik göstermektedir. Varyans analiz sonuçlarına göre uygulamalar arasında $p < 0,05$ önem seviyesinde farklılık saptanmıştır. Uygulama içi elek çapları arasındaki ($p < 0,01$) fark da önemli bulunmuştur.



Şekil 4. Toprak karbondioksit emisyonu ile penetrasyon direnci ve hacim ağırlığı ilişkisi

4. Sonuç

Elde edilen deneme sonuçlarına göre, rototiller kapağı en alt konumda iken bastırma sonucu toprak parçacık boyutunun en küçük olması beklenirken, kapak üst konumda en düşük ortalama çap değeri elde edilmiştir. Kontrol uygulamasındaki ortalama çapın ise en yüksek değere sahip olması, işlenmemiş konu olması nedeniyle parçalanmanın olmayışından dolayı beklenen bir sonuçtur.

Denemeden elde edilen en önemli sonuç, kullanılan rototillerin tohum yatağı hazırlığı veya diğer bakım işlemleri sırasında topraktan daha az karbondioksit emisyonu oluşturması için arka kapak konumunun en alt seviyede olması gerektiğidir. Ancak rototiller arkasında merdane benzeri başkaca bir aparatın olması saptanan bu sonuçları değiştirebilir. Sera etkisi oluşturan gazlardan biri olan CO₂ emisyonunun azaltılması için rototiller kapak konumunun önemli olduğu ve bu konumun en alt seviyede kullanılması gerektiği kullanıcılara önerilmektedir. Yine bu konumun en alt seviyede olması bitki kök gelişimini sınırlayacak düzeyde toprak sıkışması oluşturmayaacağı da elde edilen diğer bir sonuçtur.

Teşekkür

Bu araştırmaya finansman olarak desteklerinden dolayı Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimine (BAP) teşekkürlerimizi sunarız.

Bu araştırmanın verileri "Rototiller Arka Kapak Yüksekliğinin Toprak Karbondioksit Emisyonu ve Bazı Toprak Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi" adlı yüksek lisans tezinden alınmıştır.

Kaynaklar

- 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, Ekinci K (2008). Rotary tiller velocity effects on the distribution of wheat (*Triticum aestivum*) residue in the soil profile. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 36 (4): 247-252.
- Akbolat D (2009a). Tohum yatağı hazırlığında tapan kullanımının topraktan CO₂ çıkışına etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4 (1): 23-30.
- Akbolat D, Evrendilek F, Coskan A, Ekinci K (2009b). 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, Başyigit L (2005). Süleyman Demirel Üniversitesi Çiftlik arazisinin detaylı toprak etüdü ve haritalanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (3): 1-10.
- Bessou C, Mary B, Léonard J, Roussel M, Gréhan E, Gabrielle B (2010). Modelling soil compaction impacts on nitrous oxide emissions in arable fields. *European Journal of Soil Science*, 61 (3): 348-363.
- Blake GR, Hartge KH (1986). Bulk density. In: Klute A ed. *Methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical methods. Agronomy Monographs 9. American Society of Agronomy (ASA) and Soil Science Society of America (SSSA), Madison, Wisconsin. Pp. 363-375.*
- Bozkurt Y, Akbolat D (2016). Toprak Frezesi İlerleme Hızının Toprak Karbondioksit Emisyonu Üzerine Etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11 (2): 61-69.
- Busscher, WJ, Sojka, RE (1987). Enhancement of subsoiling effect on soil strength by conservation tillage. *Transaction of the ASAE*, 30 (4): 888-892.
- Gregorich EG, Rochette P, Hopkins DW, McKim UF, St-Georges P (2006). Tillage-induced environmental conditions in soil and substrate limitation determine biogenic gas production. *Soil Biology and Biochemistry*, 38 (9): 2614-2628.
- Hakansson I, Lipiec J (2000). A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil & Tillage Research* 53, 7185.
- La Scala Jr N, Lopes A, J. Marques Jr, Pereira GT (2001). Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latosol in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 62 (3-4): 163-166.
- La Scala Jr, N, Lopes A, Panosso AR, Camara FT, Pereira GT (2005). Soil CO₂ efflux following rotary tillage of a tropical soil. *Soil and Tillage Research*, 84 (2): 222-225.
- Novara A, Armstrong A, Gristina L, Semple, KT, Quinton JN (2012). Effects of soil compaction, rain exposure and their interaction on soil carbon dioxide emission. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37 (9): 994-999.
- Talantimur V (2014). Alternatif Toprak İşleme Uygulamalarının CO₂ Emisyonu Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.
- Verhulst N, Cox R, Govaerts B (2013). Soil aggregate stability by wet sieving: A practical guide for comparing crop management practices.