

Araştırma Makalesi

Topraksız Marul Yetiştiriciliğinde Mikoriza ve Solucan Gübresi Kullanımı ile Kimyasal Kullanımının Azaltılması

Alper Durak^{a,*}, Ahmet Seyfettin Polat^b^aMalatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Malatya, Türkiye^bMalatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Malatya, Türkiye

ÖNE ÇIKANLAR

• Bu çalışmada, topraksız tarım sistemlerinde marul (*Lactuca sativa* L.) yetiştiriciliğinde mikoriza ve solucan gübresi uygulamalarının kimyasal gübre ihtiyacını azaltma potansiyeli araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu biyolojik ve organik girdilerin sinerjik etkisinin verim ve kalite parametreleri üzerinde olumlu etkiler sağladığını ortaya koymuş, sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından umut verici sonuçlar sunmuştur.

MAKALE BİLGİSİ

Anahtar kelimeler:

Topraksız tarım
Mikoriza uygulaması
Solucan gübresi
Kimyasal gübre azaltımı
Marul yetiştiriciliği

Geliş tarihi: 28 Nisan 2025

Revizyon tarihi: 16 Mayıs 2025

Kabul tarihi: 16 Mayıs 2025

Yayın tarihi: 30 Haziran 2025

*Sorumlu yazar:

alper.durak@ozal.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma, topraksız tarım koşullarında marul (*Lactuca sativa* L.) yetiştiriciliğinde mikoriza ve solucan gübresi uygulamalarının kimyasal gübre kullanımını azaltma potansiyelini araştırmak amacıyla yürütülmüştür. Geleneksel tarımda yaygın şekilde kullanılan kimyasal gübreler, çevresel kirlilik ve toprak sağlığı üzerindeki olumsuz etkiler nedeniyle sürdürülebilir tarım arayışlarını hızlandırmıştır. Bu bağlamda, organik ve biyolojik girdilerin entegrasyonu önem kazanmıştır. Araştırma, Malatya Turgut Özal Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait serada yürütülmüş ve Cospirina marul çeşidi kullanılmıştır. Denemede üç farklı besin çözeltisi dozu (%20, %30, %40 azaltılmış Hoagland) ve bir kontrol grubu karşılaştırılmıştır. Arbusküler mikoriza inokulumu dikim sırasında uygulanmış, solucan gübresi ise yetiştirme ortamına dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, %20 ve %30 oranlarındaki uygulamaların bitki boyu, gövde çapı, biyokütle ağırlıkları ve bazı makro-mikro besin elementleri açısından önemli artışlar sağladığını göstermiştir. En yüksek verim artışı (%19.78) %30 dozunda elde edilmiştir. Bulgular, mikoriza ve solucan gübresinin sinerjik etkisinin topraksız marul üretiminde kimyasal gübre kullanımını azaltabileceğini ortaya koymuştur. Bu durum, çevre dostu üretim sistemleri için sürdürülebilir ve maliyet-etkin alternatifler sunmaktadır.

Reduction of Chemical Use in Soilless Lettuce Cultivation with the Use of Mycorrhiza and Vermicompost

Alper Durak^{a,*}, Ahmet Seyfettin Polat^b

^aMalatya Turgut Özal University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Malatya, Türkiye

^bMalatya Turgut Özal University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Malatya, Türkiye

HIGHLIGHTS

- In this economical, soilless agricultural product, lettuce (*Lactuca sativa* L.) software, the potential of mycorrhiza and worm compost applications to reduce the need for chemical fertilizers is investigated. The results obtained, the synergistic effect of these biological and organic inputs, yield and quality policy positive effects have been revealed, and have offered promising results in terms of sustainable agricultural practices.

ARTICLE INFO

Keywords:

Soilless agriculture
Arbuscular mycorrhiza
Vermicompost
Chemical fertilizer reduction
Lettuce yield

Received: 28 April 2025

Revised : 16 May 2025

Accepted: 16 May 2025

Published: 30 June 2025

*Corresponding author:

alper.durak@ozal.edu.tr

ABSTRACT

This study aimed to investigate the potential of mycorrhiza and vermicompost applications to reduce chemical fertilizer use in soilless lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation. Excessive use of chemical fertilizers in conventional agriculture has led to environmental degradation and soil health concerns, accelerating the search for sustainable alternatives. In this context, the integration of organic and biological inputs into production systems has gained significance. The experiment was conducted in a polycarbonate greenhouse at Malatya Turgut Özal University using the Cospirina lettuce variety. Three nutrient solution levels (20%, 30%, and 40% reduced Hoagland solution) and a control group were tested. Arbuscular mycorrhizal inoculum was applied at planting, while vermicompost was included in the growing media. The results demonstrated that 20% and 30% application levels significantly improved plant height, stem diameter, biomass weight, and macro- and micronutrient uptake. The highest yield increase (19.78%) was recorded at the 30% treatment. The findings reveal the synergistic effects of mycorrhiza and vermicompost in enhancing plant growth and reducing dependence on chemical inputs in soilless lettuce production. This integrated approach offers an environmentally friendly and economically viable alternative for sustainable horticultural systems.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu, ilk çağlardan bu yana besin ihtiyacını karşılamak için tarımsal faaliyetlerde bulunmuş, bitkisel üretim hem beslenme hem de sosyo-ekonomik açıdan kritik bir rol oynamıştır (Turhan, 1996). Ancak artan dünya nüfusu ve gıda talebi, geleneksel tarım yöntemlerinin yetersiz kalmasına neden olmuş, bu da birim alandan alınan verimi artırmak amacıyla kimyasal gübre kullanımının yoğunlaşmasına yol açmıştır (Şahin, 2016). Ne var ki bilinçsiz kimyasal gübreleme, toprak kirliliği, tuzluluk, çoraklaşma ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmış, sürdürülebilir tarım arayışlarını

zorunlu kılmıştır (Savci, 2012; Reddy, 2013).

Bu bağlamda, topraksız tarım gibi alternatif yetiştiricilik sistemleri öne çıkmış, özellikle marul gibi hızlı büyüyen sebzelerde verim ve kaliteyi artırmak için yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmiştir (FAO, 2021; TÜİK, 2021). Topraksız tarım, kısıtlı tarım alanlarında kaynak verimliliği sağlarken, besin çözeltilerinin kontrollü kullanımıyla çevresel riskleri azaltma potansiyeli taşımaktadır. Ancak bu sistemlerde bile kimyasal gübre bağımlılığı devam etmekte, bu durum organik ve biyolojik girdilerin entegrasyonunu gerektirmektedir.

Mikorizal mantarlar, bitkilerle simbiyotik

ilişki kurarak besin alımını artıran, toprak yapısını iyileştiren ve bitki direncini güçlendiren biyolojik ajanlar olarak önem kazanmıştır (Ortaş, 1997; Smith ve Read, 1997). Özellikle fosfor alımını optimize eden arbusküler mikoriza türleri, marul gibi yüzey köklü bitkilerde verim artışı sağlamıştır (Kara ve Ergin, 2006). Benzer şekilde, solucan gübresi (vermikompost) gibi organik girdiler, topraksız sistemlerde bitki gelişimini destekleyen makro ve mikro besinler, humik asitler ve faydalı mikroorganizmalar içermektedir (Arancon vd., 2005; Sinha vd., 2013). Çalışmalar, solucan gübresinin marulda kök gelişimini teşvik ettiğini, bitki boyu ve yaprak alanını artırdığını göstermiştir (Durak vd., 2017; Özkan ve Müftüoğlu, 2015).

Ancak literatürde mikoriza ve solucan gübresinin birlikte kullanımının topraksız marul yetiştiriciliğinde kimyasal gübre ihtiyacını nasıl azaltılabileceğine dair sınırlı veri bulunmaktadır. Mevcut çalışmalar genellikle tek bir organik girdi veya mikoriza üzerine odaklanmış, entegre yaklaşımların etkinliği yeterince araştırılmamıştır (Küçükyumuk vd., 2014; Alaboz vd., 2017). Ayrıca, farklı besin çözeltisi dozlarıyla kombinasyonların morfolojik ve fizyolojik parametrelere etkisi sistematik olarak incelenmemiştir.

Bu çalışma, topraksız marul yetiştiriciliğinde mikoriza ve solucan gübresi sinerjisini kullanarak kimyasal gübre kullanımını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Araştırmanın temel hipotezi, bu biyolojik girdilerin besin çözeltisi ile entegre edilmesinin bitki gelişimini desteklerken kimyasal girdi ihtiyacını azaltacağı yönündedir. Çalışma, hem organik tarımın sürdürülebilirliğine katkı sağlamayı hem de topraksız sistemlerde verim-kalite dengesini optimize etmeyi hedeflemektedir. Elde edilen bulguların, kaynak verimliliği yüksek ve çevre dostu tarım uygulamalarına metodolojik bir çerçeve sunması beklenmektedir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Deneyisel Tasarım

Bu çalışma, Malatya Turgut Özal Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait polikarbon serada (28°C gündüz/18°C gece sıcaklığı, %60-70 nem, 14 saat fotoperiyot) Mart-Mayıs 2020 tarihleri arasında yürütülmüştür. Denemelerde *Cospirina* düz marul çeşidi kullanılmış olup, fideler 4 litrelik plastik saksılara dikilmiştir. Saksı karışımı, %25 torf (pH 5.8-6.2, EC 0.8-1.2 mS/cm), %25 perlit

(2-5 mm partikül boyutu) ve %50 solucan gübresi (vermikompost; pH 7.1, organik madde %32.6, toplam N %1.8, P₂O₅ %0.9, K₂O %1.2) karışımından oluşturulmuştur (Şimşek-Erşahin, 2007; Büyükfiliz, 2016).

2.2. Mikoriza Uygulaması

Arbusküler mikoriza (AM) karışımı (150 mg/bitki), kök bölgesine dikim sırasında uygulanmıştır. Karışım, *Glomus intraradices* (%40), *G. mosseae* (%30), *G. deserticola* (%20) ve diğer türlerden (*G. aggregatum*, *G. clarum*, *G. monosporus*, *G. brasilianum*, *Gigaspora margarita*) oluşmakta olup, her gramda 80-100 spor içermektedir. Mikoriza inokulumu, köklerle doğrudan temas sağlamak için 5 cm derinliğe yerleştirilmiştir (Kara ve Ergin, 2006).

2.3. Deneme Grupları ve Besin Çözeltisi

Kontrol (K): Saf su uygulanmıştır.

%20 Azaltılmış Besin Çözeltisi (A20): Standart Hoagland çözeltisinin %80'i (16 cc A stok [5 mM Ca(NO₃)₂, 5 mM KNO₃] + 16 cc B stok [2 mM MgSO₄, 1 mM KH₂PO₄, 0.1 mM Fe-EDTA]).

%30 Azaltılmış Besin Çözeltisi (A30): Standart Hoagland çözeltisinin %70'i (14 cc A + 14 cc B stok).

%40 Azaltılmış Besin Çözeltisi (A40): Standart Hoagland çözeltisinin %60'ı (12 cc A + 12 cc B stok).

Her uygulama 3 tekerrürlü olarak randomize tam blok deseninde düzenlenmiş, her tekerrürde 4 saksı (bitki) yer almıştır. Besin çözeltisi, dikimden 10 gün sonra başlanarak 2 gün aralıklarla saksı başına 1 L olacak şekilde damla sulama sistemi ile uygulanmıştır.

2.4. Bitki Yetiştirme Koşulları

Fideler 27 Mart 2020'de saksılara dikilmiş, sera içi sıcaklık ve nem veri kaydedicilerle sürekli izlenmiştir. Sulama, tansiyometre ile toprak nemi %70-80% FC (tarla kapasitesi) seviyesinde tutulacak şekilde ayarlanmıştır. Bitkilerde hastalık/zararlı görülmemiş, yabancı ot mücadelesi el ile yapılmıştır.

2.5. Ölçüm Parametreleri ve Analizler

Morfolojik Parametreler; Bitki boyu (cm): Kök boğazından tepe tomurculuğa kadar dijital metre ile ölçülmüştür. Gövde çapı (mm): Kök boğazından 2 cm yukarısı dijital kumpas ile ölçülmüştür. Yaprak sayısı (adet): 5 cm'den uzun

tüm yapraklar sayılmıştır. Klorofil indeksi (SPAD): Yaprakların orta damar bölgesinden SPAD-502 klorofil ölçer ile 3 okuma alınmıştır. Biomas Ağırlıkları; Yaş ağırlık (g): Hasat sonrası kök ve üst aksam hassas terazi (± 0.01 g) ile tartılmıştır. Kuru ağırlık (g): Örnekler 65°C 'de 48 saat kurutulduktan sonra tartılmıştır (Kacar ve İnal, 2008).

Besin Elementi Analizleri; Makro elementler (N, P, K, Ca, Mg): Bitki örnekleri $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ ile yakılmış, ICP-OES (PerkinElmer Optima 8000) ile analiz edilmiştir. Azot (N): Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir. Mikro elementler (Fe, Cu, Mn, Zn, B): Aynı yöntemle ölçülmüştür.

Verim Hesaplaması; Parsel verimi (kg/da), saksı başına yaş ağırlık (g) $\times 10$ saksı/m² $\times 10,000$ m²/ha formülü ile hesaplanmıştır.

2.5. İstatistiksel Analiz

Veriler, SPSS 25.0 programında tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiş, ortalamalar arası farklılıklar Duncan testi ($p \leq 0.05$) ile belirlenmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Bitki Büyüme Parametreleri

Bitki boyu, kontrol grubunda ortalama 40.66 cm iken; %20 uygulamasında 42.60 cm, %30'da 41.52 cm ve %40'ta 41.44 cm olarak kaydedilmiştir. Kontrol ile karşılaştırıldığında bitki boyunda; %20 uygulamasında %4.77, %30 uygulamasında %2.19 ve %40 uygulamasında %2.00 artış sağlanmıştır (Tablo 1). En yüksek artışın %20'de görülmesi, organik gübre ile mikorizanın kök beslenmesini ve su alımını optimize etmesine bağlanabilir (Özkan ve Müftüoğlu, 2016; Durak vd., 2017). %30 ve %40 uygulamaları arasındaki yakın değerler, aşırı dozun olumlu etkinin sınırlarını işaret etmektedir.

Gövde çapı analizlerinde, kontrol grubunda 13.77 mm; %20 uygulamasında 14.25 mm; %30'da 14.20 mm ve %40'ta 14.64 mm ortalama değerleri elde edilmiştir. Kontrole göre bu değerler sırasıyla %3.55, %3.21 ve %6.31 oranlarında artış göstermiştir (Tablo 1). %40 uygulamasının gövde çapındaki en yüksek artışı sağlaması, mikoriza ve solucan gübresinin lignifikasyon süreçlerini ve hücre bölünmesini destekleyerek bitkinin mekanik dayanıklılığını artırmasıyla açıklanabilir (Adiloğlu vd., 2018; Durak vd., 2017).

Kök boyu analizlerinde uygulamalar arasında istatistikî olarak anlamlı farklılıklar

gözlenmemiştir. Ancak en uzun ortalama kök boyu %20 uygulamasında 12.66 cm, en kısa ise kontrol grubunda 12.08 cm olarak tespit edilmiştir. %20 uygulamasının kontrole kıyasla kök boyunu %4.80 oranında uzattığı dikkat çekmektedir. Bu etki, solucan gübresinin topraktaki organik madde içeriğini ve mikorizanın kök kolonizasyonunu artırarak kök hacmini genişletmesiyle tutarlıdır (Kibar, 2018; Adiloğlu vd., 2018).

Yaprak sayısında kontrol grubu 49.00 adet; %20 uygulaması 45.66 adet; %30'da 47.66 adet; %40 uygulaması ise 47.33 adet ortalamalarına sahiptir. Kontrol ile karşılaştırıldığında %20 uygulaması yaprak sayısını %6.82, %30 uygulaması %2.71 ve %40 uygulaması %3.46 oranında azaltmıştır (Tablo 1). Bu sonuç, tam doz kontrolünün yaprak oluşumunu desteklerken, solucan gübresi ve mikoriza kombinasyonlarının optimize edilmesiyle kısmen azaltılmış dozlarda da fotosentetik kapasiteyi koruduğunu göstermektedir (Karademir, 2019; Özkan ve Müftüoğlu, 2016).

Bitki yaş ağırlığı, kontrol grubunda 216.88 g iken; %20'de 253.37 g; %30'da 259.77 g ve %40'ta 251.73 g olarak bulunmuştur. Kontrol ile kıyaslandığında sırasıyla %16.84, %19.77 ve %16.13 artış gözlenmiştir. Kuru ağırlık ise kontrolde 25.21 g; %20'de 35.92 g; %30'da 34.31 g ve %40'ta 29.15 g olarak ölçülmüş; kontrole göre %20'de %42.48; %30'da %36.02 ve %40'ta %15.65 artış rapor edilmiştir (Tablo 1). Bu artışlar, en optimal dozun %20–%30 aralığında olduğunu göstermektedir (Leon vd., 2012).

Klorofil miktarına ilişkin ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiş olup, %20 uygulaması diğer uygulamalardan (b grubu) istatistiksel olarak ayrılarak en yüksek klorofil seviyesini sağlamıştır ($p \leq 0.05$; Tablo 1). Bu durum, düşük doz uygulamasının fotosentetik pigmentleri artırıcı etkisiyle ilişkilidir (Karademir, 2019).

3.2. Besin Elementleri İçeriği

Yapraklardaki azot içeriği kontrolde (%100) 4.19 g/kg (a) iken, %20 (3.94 g/kg, b), %30 (3.74 g/kg, c) ve %40 (4.16 g/kg, a) uygulamalarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir ($p < 0.05$). Kontrole göre %20 ve %30 uygulamalarında sırasıyla %5.96 ve %10.50 azalma saptanırken, %40 uygulaması kontrol ile benzer (a) düzeyde kalmıştır. Fosfor

içerikleri kontrolde 0.56 g/kg (b) olup, %20 uygulamasında 0.64 g/kg (a) ile %14.29 artış gösterirken, %30 (0.54 g/kg, b) ve %40 (0.46 g/kg, c) uygulamalarında azalma kaydedilmiştir (Tablo 2) ($p<0.05$) (Marschner, 1995; Ortaş, 1998). Potasyumda en yüksek değer 5.71 g/kg (a) ile kontrol grubunda belirlenmiş, diğer uygulamalar istatistiksel olarak daha düşük (b-d) bulunmuştur ($p<0.05$). Kalsiyum içeriği ise %40 uygulamasında 2.25 g/kg (a) ile en yüksek düzeye ulaşmış, kontrol (1.66 g/kg, c) ve diğer gruplardan (b, d) anlamlı şekilde farklılık göstermiştir ($p<0.05$). Magnezyum içeriği tüm uygulamalarda 0.65–0.76 g/kg aralığında stabil kalmış, istatistiksel gruplandırmalar (a-b) benzerlikleri işaret etmiştir. Demir ve mangan

konsantrasyonları en yüksek %40 uygulamasında sırasıyla 940.63 mg/kg (a) ve 144.80 mg/kg (b) olarak ölçülmüş, bu değerler diğer gruplardan (b-d) anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Bakır ve çinko içerikleri %20 uygulamasında en yüksek değerlere (13.69 mg/kg, a ve 151.30 mg/kg, b) ulaşırken, bor içeriği kontrol grubunda 57.15 mg/kg (a) ile belirgin şekilde yüksek tespit edilmiştir ($p<0.05$). Bu sonuçlar, besin elementlerinin alımının uygulama oranlarına bağlı olarak değiştiğini ve bazı elementlerde sinerjistik veya antagonistik etkilerin ortaya çıkabileceğini göstermektedir (Tablo 2) (Barley, 1961; Durak vd., 2017; Kumari ve Ushakumari, 2006).

Tablo 1. Marul bitkisinde bitki büyüme parametrelerinin analiz sonuçları

Uygulamalar	Bitki boyu	Gövde çapı	Kök boyu	Yaprak sayısı	Bitki yaş ağırlığı	Bitki kuru ağırlığı	Kök yaş ağırlığı	Kök kuru ağırlığı	Klorofil miktarı
%20	42.60	14.25	12.66	45.66	253.37	35.92	36.33	8.37	33.65
%30	41.52	14.20	12.28	47.66	259.77	34.31	41.26	9.52	29.05
%40	41.44	14.64	12.32	47.33	251.73	29.15	41.24	11.74	28.40
Kontrol (K)	40.66	13.77	12.08	49.00	216.88	25.21	45.91	15.55	27.67

3.3. Verim

Ürün verimi, marul bitkisinin uygulanan besin çözeltilisi dozlarına ve biyogübre kombinasyonlarına verdiği ekonomik çıktıyı ortaya koyar. Denemeler sonucunda, kontrol (%100) grubunda 5 707 kg/da verim elde edilirken; %20 uygulamasında 6667 kg/da, %30 uygulamasında 6836 kg/da ve %40 uygulamasında 6624 kg/da verim değerleri kaydedilmiştir (Tablo 3). Kontrol grubuna kıyasla verimde sırasıyla %16.78, %19.78 ve %16.12 artışlar gözlenmiştir.

%30 uygulamasında kaydedilen en yüksek %19.78'lik verim artışı, solucan gübresinin topraktaki organik madde seviyesini ve mikorizanın kök çevresindeki simbiyotik etkinliği artırarak, bitkinin besin alım kapasitesi ve su kullanım verimliliğini üst düzeye çıkardığını göstermektedir. Bu mekanizmalar, fotosentetik aktivitenin güçlenmesi ve hızlı biyokütle birikimiyle doğrudan ilişkilidir.

%20 ve %30 uygulamaları arasındaki benzer verim değerleri, organik gübrenin ve mikorizanın optimum doz aralığının %20–%30 olduğunu ve daha yüksek doz (%40) uygulamasının verim katkısının doygunluk noktasına ulaştığını düşündürmektedir. Bu durum, aşırı dozların maliyet-etkinlik açısından sınırlı kazanç sağladığını ve ekolojik açıdan gereksiz besin

fazlasının önüne geçilmesi gerektiğini işaret eder. Elde edilen verim performansına dayanarak, %30 oranındaki solucan gübresi + mikoriza kombinasyonu, ekonomik getirinin maksimal olduğu ve üretim maliyetlerinin dengelendiği optimal uygulama dozu olarak önerilebilir. Gelecek çalışmalarda farklı mikoriza suşlarının bitki verimine etkileri, uygulama zamanlaması ve kombinasyon oranlarının entegre verim-maliyet analizleriyle değerlendirilmesi tavsiye edilir (Durak vd., 2017).

Tablo 3. Marul bitkisinde bitki verim analiz sonuçları

Uygulamalar	Verim (kg/ da)
%20	6667
%30	6836
%40	6624
Kontrol (K)	5707

Tablo 2. Marul bitkisinde farklı uygulamaların makro ve mikro besin elementleri üzerindeki etkileri

Uygulamalar	Azot	Fosfor	Potasyum	Kalsiyum	Magnezyum	Demir	Bakır	Mangan	Çinko	Bor
%20	3.9433 ^b	0.6400 ^a	5.2100 ^b	1.3433 ^d	.6467 ^b	490.9333 ^d	13.6900 ^a	82.2333 ^d	151.30 ^b	45.2633 ^c
%30	3.7400 ^c	0.5400 ^b	4.8867 ^c	2.0200 ^b	.7500 ^a	869.4000 ^b	12.6033 ^b	135.5667 ^a	156.23 ^a	49.6900 ^a
%40	4.1600 ^a	0.4600 ^c	4.7033 ^d	2.2533 ^a	.7600 ^a	940.6333 ^a	12.6067 ^b	144.8000 ^b	159.20 ^a	46.4900 ^b
Kontrol (K)	4.1867 ^a	0.5567 ^b	5.7100 ^a	1.6600 ^c	.7600 ^a	563.3000 ^c	8.9333 ^c	115.8333 ^c	133.96 ^c	57.1500 ^a

(Aynı satırda aynı sütun içinde yer alan farklı harfler, Duncan testine göre $p \leq 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farkları göstermektedir)

4. SONUÇ

Bu çalışmada marul bitkisinin farklı oranlarda (%20, %30, %40) solucan gübresi ve mikoriza uygulamalarına verdiği tepkiler morfolojik, biyokütle, besin elementi ve verim parametreleri açısından kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Bulgularımız, %20 ve %30 doz aralığındaki uygulamaların bitki boyu, gövde çapı ve kök uzaması gibi morfolojik göstergelerde belirgin iyileşmeler sağladığını ortaya koymuştur. Özellikle bitki yaş ve kuru ağırlığındaki en yüksek artışların bu doz aralığında gerçekleşmesi, organik gübre ve mikoriza simbiyozunun fotosentetik ve su alım mekanizmalarını destekleyerek biyokütle birikimini optimize ettiğini göstermektedir.

Besin elementi içerikleri bakımından, düşük ve orta dozlarda (özellikle %20) uygulanan kombinasyonların azot, fosfor, demir ve mangan alımını iyileştirdiği belirlenmiştir. Bu durum, mikorizanın kök yüzey alanı ile besin mobilizasyon enzimlerini artırması ve solucan gübresinin organik madde dönüşümünü hızlandırmasıyla açıklanabilir. Yüksek doz (%40) uygulama ise bazı parametrelerde doygunluk

noktasına ulaşarak ek fayda sağlamış, ancak besin dengesi açısından %20–%30 aralığının optimal seviye olarak öne çıktığını doğrulamıştır.

Verim sonuçları, kontrol grubuna kıyasla %20 ve %30 uygulamalarında sırasıyla %16,78 ve %19,78 oranlarında artış sunmuş, %40 dozu ise kısmen benzer bir katkı sağlamıştır. En yüksek verimin %30 dozunda elde edilmesi, bu oranı ekonomik verimlilik ve ekolojik sürdürülebilirlik açısından üreticiler için öncelikli seçenek haline getirmektedir.

Bu bulgular ışığında, marul üretiminde %20–%30 aralığındaki solucan gübresi ve mikoriza kombinasyonlarının tercih edilmesi hem biyolojik etkinlik hem de maliyet-etkinlik açısından önerilmektedir. Gelecek çalışmalarda farklı mikoriza suşlarının performans karşılaştırmaları, birim maliyet–verim analizleri ve uzun dönem toprak sağlığı izleme verileriyle entegre değerlendirilmeler yapılmalıdır. Ayrıca, çeşitli fide aşılama teknikleri ve ekim öncesi toprak hazırlığı protokollerinin optimize edilmesi, uygulama etkinliğini daha da artıracak önemli araştırma alanları olarak öne çıkmaktadır.

Yazar katkısı: Çalışmanın tasarımı ve hipotezin oluşturulması, veri analizi ve istatistiksel değerlendirmesi ile makalenin yazımı ve son kontrolü Alper DURAK tarafından; deneysel uygulamalar ve sera çalışmaları Ahmet Seyfettin POLAT tarafından; literatür taraması ve bulguların yorumlanması ise her iki yazar tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma makalesi Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Tarafından Desteklenen “Topraksız Marul Yetiştiriciliğinde Mikoriza ve Solucan Gübresi Kullanımı ile Kimyasal Kullanımının Azaltılması” adlı projeden üretilmiştir.

Çıkar çatışması beyanı: Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Adiloğlu, S., Eryılmaz Açıkgöz, F., Solmaz, Y., Çaktü, E., & Adiloğlu, A. (2018). Effect of vermicompost on the growth and yield of lettuce plant (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*). *International Journal of Plant & Soil Science*, 21(1), 1–5.
- Alaboz, P., Işıldar, A. A., Müjdecı, M., & Şenol, H. (2017). Effects of different vermicompost and soil moisture levels on pepper (*Capsicum annuum*) grown and some soil properties. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(1), 30–36.
- Arancon, N. Q., & Edwards, C. A. (2005, October). Effects of vermicomposts on plant growth. In *International Symposium Workshop on Vermitechnology*. Philippines.
- Barley, K. P. (1961). Plant nutrition levels of vermicast. *Advances in Agronomy*, 13, 251.
- Büyükfiliz, F. (2016). Vermikompost gübrelemesinin ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinin verim ve bazı kalite parametreleri üzerine etkisi (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Durak, A., Altuntaş, Ö., Kutsal, İ. K., Işık, R., & Karaat, F. E. (2017). The effects of vermicompost on yield and some growth parameters of lettuce. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5(12), 1566–1570.
- Erşahin, Y. Ş. (2007). Vermikompost ürünlerinin eldesi ve tarımsal üretimde kullanım alternatifleri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2007(2), 99–107.

- FAO. (2021). The state of food and agriculture 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Kacar, B., & İnal, A. (2008). Bitki Analizleri. Nobel Yayın.
- Kibar, B. (2018). Marulda bitkisel özellikler, bazı kalite özellikleri ve besin elementleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 4(2), 149–160.
- Kumari, M. S., & Ushakumari, K. (2006). Effect of vermicompost enriched with rock phosphate on the yield and uptake of nutrients in cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp). Journal of Tropical Agriculture, 40, 27–30.
- Küçükyumuk, Z., Gültekin, M., & Erdal, İ. (2014). Vermikompost ve mikorizanın biber bitkisinin gelişimi ile mineral beslenmesi üzerine etkisi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(1), 51–58.
- León, A. P., Martín, J. P., & Chiesa, A. (2012). Vermicompost application and growth patterns of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Agricultura Tropica et Subtropica, 45(3), 134–139.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants (2nd ed.). Academic Press.
- Ortaş, İ. (1997). Mikoriza nedir. TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 351, 92–95.
- Ortaş, İ. (1998). Toprak ve Bitkide Mikoriza. Workshop. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü.
- Özkan, N., Dağlıoğlu, M., Ünser, E., & Müftüoğlu, N. M. (2016). Vermikompostun ıspanak (*Spinacia oleracea* L.) verimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkisi. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 4(1), 1–5.
- Reddy, B. S. (2013). Soil health: Issues and concerns—A review.
- Savci, S. (2012). An agricultural pollutant: Chemical fertilizer. International Journal of Environmental Science and Development, 3(1), 73.
- Sinha, R. K., Soni, B. K., Agarwal, S., Shankar, B., & Hahn, G. (2013). Vermiculture for organic horticulture: Producing chemical-free, nutritive & health protective foods by earthworms. Agricultural Science, 1(1), 17–44.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (1997). Mycorrhizal symbiosis (2nd ed.). Academic Press.
- Şahin, G. (2016). Türkiye'de gübre kullanım durumu ve gübreleme konusunda yaşanan problemler. Turkish Journal of Agricultural Economics, 22(1).
- Turhan, E. (1996). Bir topraksız tarım şekli olan saksı kültüründe farklı yetiştirme ortamlarının sera marul yetiştiriciliğinde verime etkisi üzerine bir çalışma [Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- TÜİK. (2021). Bitkisel Üretim İstatistikleri 2021. Türkiye İstatistik Kurumu.