

Vermikompost ve Kimyasal Gübre Kombinasyonlarının Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Verim ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi*

Effects of Vermicompost and Chemical Fertilizer Combinations on Yield and Quality Characteristics of Barley (*Hordeum vulgare* L.)

Nihal Ceren ALICI¹, Ayten NAMLI^{2*}

Öz

Kimyasal gübrelerin uzun süreli ve yoğun kullanımı, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde bozulmalara yol açmıştır. Bu bozulmalar organik madde kaybı, besin elementleri dengesizlikleri, mikrobiyal aktivitenin azalması gibi sorunlara ve bunlara bağlı olarak toprak verimliliğinde düşüşe neden olmaktadır. Bugün tarımsal üretim sistemlerinin sürdürülebilirliğini tehdit eden bu durum karşısında, organik içerikli girdilerin tarımsal üretime entegre edilmesi, toprak sağlığının korunması ve kimyasal gübrelerle olan bağımlılığın azaltılması stratejik bir gereklilik haline gelmiştir. Bu gereklilikten yola çıkarak yürütülen çalışmada arpa (*Hordeum vulgare* L.) yetiştiriciliğinde farklı oranlarda uygulanan vermikompost ve kimyasal gübre kombinasyonlarının verim ve kalite parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma, Ankara’da, tesadüf parselleri deneme desenine göre, tarla koşullarında gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar; %75 kimyasal gübre + %25 vermikompost (AKV1), %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2), yalnızca vermikompost (V) ve yalnızca kimyasal gübre (KG) olmak üzere dört grup olarak belirlenmiş, bu uygulamalar kontrol (K) grubu ile karşılaştırılmıştır. Bulgular, bitki boyu, sap kalınlığı, başakta tane sayısı, bin tane ağırlığı, toplam tane ağırlığı, tane ve sap azot içeriği ile ham protein oranı bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir ($p < 0.05$). En yüksek değerler %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasında elde edilmiştir. Vermikompost uygulamaları, toprak mikrobiyal biyokütlesini ve enzimatik aktiviteleri artırarak besin mineralizasyonunu hızlandırmış; kök gelişimi, besin alımı ve fotosentetik etkinliği desteklemiştir. Bu biyolojik iyileşme, kimyasal gübrelerle birlikte kullanıldığında sinerjik bir etkileşim oluşturarak verim ve kalite artışını maksimum düzeye taşımıştır. Sonuçlar, vermikompostun arpa üretiminde çevre dostu ve ekonomik bir gübreleme stratejisi sunduğunu ve Entegre Besin Yönetimi (INM) ilkeleriyle uyumlu biçimde kimyasal gübre kullanımını %50 oranında azaltırken verim ve kalite parametrelerinde herhangi bir kayba yol açmadığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Toprak verimliliği, Organik düzenleyici, Besin kullanım etkinliği, Entegre besin yönetimi, Sürdürülebilir tarım

¹Nihal Ceren Alıcı, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kars, Türkiye. E-mail: nihal.ceren.alici@gmail.com  ORCID: 0000-0002-2147-0760

²*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ayten Namlı, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara, Türkiye. E-mail: namli@ankara.edu.tr  ORCID: 0000-0003-1913-2751

Atıf: Alıcı, N. C., Namlı, A. (2026). Vermikompost ve kimyasal gübre kombinasyonlarının arpa (*Hordeum vulgare* L.) verim ve kalite özellikleri üzerine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(2): 905-919.

Citation: Alıcı, N. C., Namlı, A. (2026). Effects of vermicompost and chemical fertilizer combinations on yield and quality characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 23(2): 905-919.

*Bu Çalışma Nihal Ceren Alıcı’nın Yüksek Lisans tezinden özetlenmiştir.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır. Tekirdağ 2026

Abstract

The long-term and intensive use of chemical fertilizers has led to the deterioration of the physical, chemical, and biological properties of soils. These deteriorations have caused adverse effects such as the loss of organic matter, decreased microbial activity, nutrient imbalances, and reduced soil fertility. In the face of this situation, which threatens the sustainability of agricultural production systems today, the integration of organic-based inputs into agricultural production, the protection of soil health, and the reduction of dependency on chemical fertilizers have become a strategic necessity. Based on this necessity, this study was conducted to determine the effects of different combinations of vermicompost and chemical fertilizers applied at varying rates on yield and quality parameters in barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivation. The study was carried out under field conditions in Ankara, Türkiye, according to the completely randomized design (CRD). The treatments consisted of four groups: 75% chemical fertilizer + 25% vermicompost (AKV1), 50% chemical fertilizer + 50% vermicompost (AKV2), vermicompost alone (V), and chemical fertilizer alone (KG), which were compared with a control (K) group. The findings showed statistically significant differences ($p < 0.05$) among treatments in terms of plant height, stem thickness, number of grains per spike, thousand-grain weight, total grain weight, grain and straw nitrogen content, and crude protein ratio. The highest values were obtained from the 50% chemical fertilizer + 50% vermicompost (AKV2) treatment. Vermicompost applications increased soil microbial biomass and enzymatic activities, accelerated nutrient mineralization, and supported root development, nutrient uptake, and photosynthetic efficiency. This biological improvement created a synergistic interaction when combined with chemical fertilizers, maximizing yield and quality. The results indicate that vermicompost offers an environmentally friendly and economical fertilization strategy for barley production and, in accordance with the principles of Integrated Nutrient Management (INM), allows a 50% reduction in chemical fertilizer use without compromising yield and quality parameters.

Keywords: Soil fertility, Organic amendment, Nutrient use efficiency, Integrated Nutrient Management, Sustainable agriculture

1. Giriş

Arpa (*Hordeum vulgare* L.), geniş ekolojik adaptasyon kabiliyeti, yem ve malt endüstrisindeki stratejik rolü ile kurak ve soğuk iklim koşullarına olan yüksek toleransı sayesinde önemli tahıl türlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Artan nüfus, yoğun üretim sistemleri ve iklim değişikliğinin neden olduğu çevresel baskılar, arpa gibi önemli tahılların üretiminde yalnızca yüksek verim hedeflerini değil, aynı zamanda doğal kaynakları koruyarak üretimin sürdürülebilirliğini de zorunlu hale getirmiştir (FAO, 2017; IPCC, 2023). Bu durum, toprak sağlığını koruyan, ekosistem hizmetlerini destekleyen ve uzun vadeli tarımsal sürdürülebilirliği güvence altına alan yeni besin yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

Sürdürülebilir tarım stratejileri arasında yer alan entegre besin yönetimi (Integrated Nutrient Management, INM); organik ve inorganik besin kaynaklarının dengeli kullanımını teşvik eden öncü yaklaşımlardan biri olarak, bitki performansını artırırken çevresel etkileri de azaltmaktadır (Srinivasarao ve ark., 2021). Bu yaklaşım, volatilizasyon, denitrifikasyon ve yıkanma gibi besin kayıplarını en aza indirir. (Ghosh ve ark., 2004; Hati ve ark., 2006). Özellikle organik gübrelerin kimyasal gübrelerle birlikte kullanımı, azot kullanım etkinliğini (NUE) artırmakta; verim, kalite ve toprak biyolojik göstergeleri üzerinde eşzamanlı iyileştirici etkiler oluşturduğu bildirilmektedir (Gram ve ark., 2020; Padbhushan ve ark., 2021). Bu doğrultuda entegre besin yönetimi, toprak-bitki sistemi içinde dengeli bir besin döngüsü sağlayarak sürdürülebilir ürün verimliliğine katkıda bulunmaktadır.

Vermikompost, solucan faaliyetleri sonucu biyolojik olarak dönüştürülmüş, humik ve fulvik asitler, enzimler ve bitki büyüme düzenleyicileri açısından zengin, kararlı bir organik toprak düzenleyicisidir. Bu biyogirdi, kök gelişimini teşvik eder, mikrobiyal aktiviteyi artırır, özellikle azot (N) ve fosfor (P) gibi besinlerin mineralizasyonunu hızlandırır ve genel toprak yapısını iyileştirir (Nardi ve ark., 2002; Adhikary, 2012; Canellas ve ark., 2015). Ayrıca, vermikompost uygulamaları topraktaki mikrobiyal çeşitliliği ve enzimatik aktiviteleri artırarak bitkilerin besin alımını kolaylaştırır (Aira ve ark., 2007; Tian ve ark., 2024). Bu çalışmada vermikompost, organik bir toprak düzenleyicisi olmanın ötesinde, doğrudan bitkiye besin sağlayan ve gübreleme amacıyla kullanılan biyolojik açıdan aktif bir girdidir. Bu özellikleri nedeniyle, arpa yetiştiriciliğinde mineral gübre kullanımının azaltılması ve organik-inorganik besin kaynaklarının birlikte değerlendirilmesi yaklaşımında önemli bir alternatif olarak ele alınmıştır.

Açıkbaş ve Bellitürk (2016), yapmış oldukları çalışmada artan dozlarda uygulanan vermikompostun Trakya İlkeren/5BB aşısı kombinasyonundaki fidanlarının besin elementi içeriklerine etkilerini araştırmışlardır. Tesadüf parselleri deneme deseninde yürütülen çalışmada torf ve perlit karışımına farklı oranlarda vermikompost ilave edilmiştir. Buna göre artan oranlarda vermikompost uygulaması bitkinin N, P, K içeriklerini arttırmıştır. Barlas ve ark. (2018), artan dozda vermikompostu toprak ve torfla karıştırarak buğday (*Triticum vulgare* L.) bitkisi üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda yetiştirme ortamlarıyla karıştırılan tüm vermikompost uygulama dozlarının bitkinin kök üstü organlarının beslenme durumlarına önemli etki yaptığı belirlenmiştir. Araştırmacılar vermikompostun önemli bir besin kaynağı olabileceğini belirtmişlerdir. Yapılan kapsamlı bir meta-analiz (Ovega ve ark., 2023), mısır, buğday, arpa ve pirinç gibi temel tahıllarda vermikompost uygulamalarının verim, tane kalitesi ve stres toleransı üzerinde tutarlı biçimde olumlu etkiler yarattığını bildirmiştir. Bu etkilerin, organik madde birikiminin artışı, mikrobiyal aktivitenin güçlenmesi ve besin yayılabilirliğinin artışıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde Blouin ve ark. (2019), vermikompostun tek başına veya mineral gübrelerle birlikte uygulanmasının arpa verimini ve besin alımını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Ayrıca zeolit gibi toprak düzenleyicilerle birlikte kullanıldığında, toprak kimyasal özelliklerinin ve bitki performansının daha da iyileştiği bildirilmiştir. Bu konuda yürütülen tarla ve yarı-tarla denemeleri de bu bulguları desteklemektedir. Karol ve ark. (2023), entegre besleme uygulamalarının (örneğin %100 önerilen mineral gübre + vermikompost + mikrobiyal inokulant) arpanın biyolojik verimini ve başak bileşenlerini anlamlı ölçüde artırdığını bildirmiştir. Ayrıca, tuzluluk stresi altında fosfor gübreleriyle birlikte uygulanan humik ve fulvik asitlerin, fosfor kullanım etkinliğini ve tane verim bileşenlerini artırdığı saptanmıştır (Alsudays ve ark., 2024). Arpa ile yakın taksonomik akrabalığa sahip buğdayda yapılan çalışmalarda da organik düzenleyicilerin antioksidan enzim aktivitesini, morfofizyolojik performansı ve besin yayılabilirliğini artırdığı belirtilmiştir (Zaghloul ve ark., 2024). Son yıllarda sıvı vermikompost özütlerinin yapraktan püskürtme veya toprak enjeksiyonu yoluyla uygulanması da araştırmalarda dikkat çekmektedir. Al-Maamori ve ark. (2025), yürüttükleri tesadüf blokları deneme desenine göre hem yapraktan hem topraktan uygulanan vermikompost ekstraktının arpa tane ve biyolojik verimini, ayrıca büyüme dönemi boyunca besin yayılabilirliğini anlamlı biçimde artırdığını göstermiştir. Benzer şekilde Wu ve ark. (2023), vermikompost,

biyokömür ve mineral gübrelerin birlikte kullanımının toprak mikrobiyal topluluğunun bileşimini ve besin döngüsünü iyileştirerek tane verimini artırdığını rapor etmiştir.

Vermikompostun tahıllarda verim, kalite ve toprak fonksiyonları üzerindeki olumlu etkileri çeşitli çalışmalarda ortaya konulmuş olmakla birlikte, mineral gübre kullanımının azaltıldığı koşullarda bu etkinin arpa üretimine hangi düzeyde yansıdığı yeterince aydınlatılmamıştır. Bu boşluk, arpa yetiştiriciliğinde kimyasal gübre kullanımının azaltılmasına yönelik sürdürülebilir besin yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle çalışma, mineral gübrenin kademeli olarak azaltıldığı senaryolarda vermikompost uygulamalarının arpanın agronomik performansına katkısını nicel olarak ortaya koymayı hedeflemektedir.

Bu çalışma, Ankara’da tarla koşullarında yürütülmüş olup, farklı oranlarda uygulanan vermikompost ve kimyasal gübre kombinasyonlarının arpanın verim (bitki boyu, sap kalınlığı, başakta tane sayısı, bin tane ağırlığı, toplam tane verimi) ve kalite parametreleri (tane azotu, ham protein oranı ve sap azotu) üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Güncel literatürden hareketle çalışmanın temel hipotezi; organik ve inorganik besin kaynaklarının birlikte uygulanmasının besin yarıyışlılığını, fizyolojik tepkileri ve metabolik etkinliği optimize ederek arpanın verim ve kalite performansını tekil uygulamalara kıyasla daha etkin bir şekilde artıracığı yönündedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneme alanı ve planı

Tarla denemesi, 2021/22 sezonunda Ankara’da (39°03’K, 33°32’D) yürütülmüştür. Bölge, yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk geçen tipik karasal iklim özelliklerine sahiptir. Ortalama yıllık sıcaklık 12.6 °C olup, yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 357 mm’dir; yağışların büyük bölümü ilkbahar aylarında gerçekleşmektedir (Anonim, 2023).

Deneme alanı toprağının başlangıç fizikokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla ekim öncesinde 0-30 cm derinlikten toprak örneği alınarak analizi yapılmıştır. Toprak tekstürü (bünye) belirlenmesi, Bouyoucos’un (1951) geliştirdiği hidrometre esasına dayalı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. pH ve elektriksel iletkenlik değerleri 1:2.5 oranındaki toprak-su süspansiyonunda cam elektrotlu ölçüm cihazlarıyla belirlenmiştir (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954), organik madde analizinde ise Walkley-Black yaş yakma yöntemi uygulanmıştır (Jackson, 1958). Toplam azot analizleri, Kjeldahl yöntemine göre yürütülmüş (Bremner, 1965); alınabilir fosfor Olsen yöntemine göre tayin edilmiştir (Olsen ve ark., 1954). Ekstrakte edilebilir potasyum, 1 N amonyum asetat (pH 7) çözeltisi ile yapılan ekstraksiyon sonrasında ölçülmüştür (Jackson, 1958). Bozulmamış toprak örneklerinde hacim ağırlığı, örneklerin fırında kurutulmuş kütlelerinin toplam hacme oranlanmasıyla hesaplanmış ve bu işlem Blake ve Hartge’nin (1986) bildirdiği prosedür temel alınarak yapılmıştır. Toprağın havalanma kapasitesi ise toplam porozite ile 10 cm su tansiyonunda tutulan hacimsel su miktarı arasındaki farktan yararlanılarak belirlenmiştir (De Boodt and Verdonck, 1972). Yarayışlı su miktarı, 1/3 atmosfer basınç altında tutulan suyun 15 atmosfer basıncında tutulabilen sudan çıkarılması yoluyla elde edilmiştir (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). Agregat stabilitesi ölçümleri, Eijkelkamp ıslak eleme cihazı kullanılarak Kemper ve Rosenau’nun (1986) önerdiği yöntemle göre yapılmıştır.

Tablo 1. Deneme toprağının fizikokimyasal özellikleri

Table 1. Physicochemical properties of experimental soil

Parametreler		Parametreler	
pH, (1:2.5)	7.38	Tekstür	Kumlu-killi tın
EC, (1:2.5), dS m ⁻¹	1.32	Havalanma kapasitesi, %	8.03
Organik madde, %	2.52	Hacim ağırlığı, g cm ⁻³	1.31
Azot (N), g kg ⁻¹	0.35	Kolay alınabilir su yüzdesi, %	7.79
Alınabilir fosfor (P ₂ O ₅), g kg ⁻¹	15.04	Yarayışlı su, %	11.9
Ekstrakte edilebilir potasyum (K ₂ O), g kg ⁻¹	32.3	Maksimum su tutma kapasitesi, %	38.5

Buna göre deneme alanı tekstür bakımından kumlu-killi tın sınıfında olup, hafif alkali reaksiyon göstermekte (pH 7.38) ve tuzluluk sorunu bulunmamaktadır (EC 1.32 dS m⁻¹). Organik madde içeriği %2.52 ile orta düzeydedir. Toplam azot (0.35 g kg⁻¹) ve yarayışlı fosfor (15.04 g kg⁻¹ P₂O₅) değerleri nispeten düşük, potasyum içeriği ise (32.3 g kg⁻¹ K₂O) yeterli düzeydedir. Toprağın hacim ağırlığı 1.31 g cm⁻³, havalanma kapasitesi %8.03 ve maksimum su tutma kapasitesi %38.5 olarak belirlenmiştir. Bu değerler toprağın orta düzeyde yapısal gözenekliliğe sahip olduğunu

göstermektedir (Tablo 1).

Azaltılmış kimyasal gübre (AKV) uygulamaları gübreleme rehberinde (Güçdemir, 2006) önerilen 6-8 kg da⁻¹ saf azot (N) miktarının sırasıyla %75'i ve %50'sine karşılık gelmekte olup, eksik kalan kısım eşdeğer azot miktarında verimikompst ile tamamlanmıştır. Çalışmada uygulanan toplam verimikompst dozu hesaplanırken her iki formun içerikleri birlikte değerlendirilmiş, %40'ı katı verimikompst, %60'ı ise verimikompst çayı olarak uygulanmıştır.

2.2. Bitki materyali

Denemede bitki materyali olarak Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TİGEM)'den temin edilen 'Tarm-92' arpa çeşidi (*Hordeum vulgare* L.) kullanılmıştır. Bu çeşit, iki sıralı ve kılçıklı bir tipe sahip olup, orta erkencilik, güçlü sap dayanımı ve kuru koşullara iyi uyum yeteneği ile karakterizedir (Tigem, 2023).

2.3. Vermikompst ve gübre materyali

Denemede organik gübre olarak kompostlaştırılmış sığır gübresinden *Eisenia fetida* türü tarafından üretilmiş verimikompst kullanılmıştır. Taban gübresi olarak katı formda, sapa kalkma ve kardeşlenme dönemlerinde ise üst gübre olarak hızlı alınabilir besin formları sağlaması nedeniyle aktif havalandırma tekniği ile taze hazırlanmış verimikompst çayı uygulanmıştır. Vermikompst çayı hazırlanırken 1:3 (verimikompst:su) seyreltme oranı kullanılmıştır. Vermikompsta ait nem, Kacar ve Kütük (2010); pH ve elektriksel iletkenlik değerleri 1:5 oranındaki materyal-su süspansiyonunda cam elektrotlu ölçüm cihazlarıyla belirlenmiş (Gabriels ve Verdonck, 1992), organik madde analizinde ise Walkley-Black yaş yakma yöntemi uygulanmıştır (Jackson, 1958). Toplam azot analizi, Kjeldahl yöntemine göre yürütülmüş (Bremner, 1965); alınabilir fosfor Olsen yöntemine göre tayin edilmiştir (Olsen ve ark., 1954). Ekstrakte edilebilir potasyum, 1 N amonyum asetat (pH 7) çözeltisi ile yapılan ekstraksiyon sonrasında ölçülmüştür (Jackson, 1958). Analiz sonuçlarına göre verimikompst, yüksek organik madde içeriğine (%45), toplam azot oranına (%3) ve potasyum içeriğine (%0.8) sahiptir. Ayrıca fosfor oranı (%1) orta düzeyde bulunmuş, C/N oranı 9.2 olarak belirlenmiştir. Bu değerler, kullanılan verimikompstun iyi olgunlaşmış, dengeli ve tarla uygulamaları için uygun nitelikte stabilize bir organik materyal olduğunu göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Denemede kullanılan verimikompstun fizikokimyasal özellikleri

Table 2. Physicochemical properties of the vermicompost used in the experiment

İçerik	w/w
pH, (1:5)	7.1
EC, (1:5), dS m ⁻¹	3.2
Organik madde, %	45
Toplam azot (N), %	3
Organik azot (N), %	2
Alınabilir fosfor (P ₂ O ₅), %	1
Ekstrakte edilebilir potasyum (K ₂ O), %	0.8
C/N oranı	9.2
Maksimum nem içeriği, %	35

Kimyasal gübre uygulamalarında, gerekli makro besin elementlerinin sağlanması amacıyla Süper Ekin gübresi (%13 N, %25 P₂O₅, %5 K₂O + mikro besin elementleri), üre (%46 N) ve amonyum sülfat (%21 N) kombinasyonu kullanılmıştır. Süper Ekin gübresi temel olarak taban gübrelemede kullanılırken, üre ve amonyum sülfat, azotun farklı formlarını sağlayarak bitki gelişiminin farklı dönemlerinde dengeli bir beslenme sağlamak üzere kullanılmıştır.

Yalnız kimyasal gübre uygulamasında 8 kg da⁻¹ saf azot (N) ihtiyacına göre 4 kg da⁻¹ N taban gübresi olarak (Süper ekin; 30 kg da⁻¹), 2 kg da⁻¹ N kardeşlenme (üre; 4.35 kg da⁻¹) ve 2 kg da⁻¹ N sapa kalkma (amonyum sülfat; 9.5 kg da⁻¹) dönemlerinde üst gübre olarak uygulanmıştır. %50 kimyasal gübre + %50 verimikompst uygulamasında 8 kg da⁻¹ saf azot (N) ihtiyacına göre kimyasal gübre 2 kg da⁻¹ N taban gübresi olarak (Süper ekin; 15 kg da⁻¹), 1 kg da⁻¹ N kardeşlenme (üre; 2.15 kg da⁻¹) ve 1 kg da⁻¹ N sapa kalkma (amonyum sülfat; 4.75 kg da⁻¹) dönemlerinde üst gübre olarak; taban gübresi olarak kullanılan verimikompst 67 kg da⁻¹ katı formda, 33 5 kg da⁻¹ kardeşlenme ve 33 5 kg da⁻¹ sapa kalkma dönemlerinde çay olarak uygulanmıştır.

2.4. Denemenin yürütülmesi

Ekim dekara 28-30 kg tohum olacak şekilde hassas ekim mibzeri kullanılarak yapılmıştır. Azotlu gübrelerin yarısı ekim sırasında, kalan yarısı ise sapa kalkma ve kardeşlenme dönemlerinde iki parça olarak uygulanmıştır. Gübreleme aşamasında vermikompostun %40'ı ekim sırasında taban gübresi olarak toprağa karıştırılmış, kalan %60'lık kısmı ise kardeşlenme ve sapa kalkma dönemlerinde vermikompost çayı olarak uygulanmıştır. Kimyasal üst gübre uygulamaları da aynı dönemlerde, ilgili uygulamalara denk gelecek şekilde yapılmıştır. Yabancı ot ve zararlılarla mücadelede mekanik ve kimyasal yöntemler birlikte kullanılmıştır. Hasat elle yapılmıştır.

2.5. Bitki analizleri

Deneme alanında hasat olgunluğuna ulaşılması ile bitki örnekleri analizler için toplanmıştır. Örneklem yaparken her parselden, parseli en iyi temsil eden yirmi bitki rastgele seçilmiştir. Bu bitkilerden bitki boyu, sap kalınlığı ve başakta tane sayısı alanda, bin tane ağırlığı, tane azotu, ham protein oranı ve sap azotu içerikleri laboratuvarında belirlenmiştir. Tane azot içeriği ve sap azot içeriği Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiş, ham protein oranı ise toplam azot değerinin 6.25 katsayısı ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır (Kon, 2019). Toplam tane verimi ise tüm parselin hasat sonucu tartımından elde edilmiştir.

2.6. İstatistiksel analizler

Çalışmada elde edilen veriler, tesadüf parselleri deneme desenine göre varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Ortalamalar arasındaki farkların karşılaştırılması ise %5 anlamlılık düzeyinde ($p < 0.05$) DUNCAN çoklu karşılaştırma testi kullanılarak yapılmıştır. İstatistiksel analizlerde SPSS Statistics 29.0 kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Bitki boyu

Uygulamalar arasında bitki boyu bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek ortalama bitki boyu, %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasında kaydedilmiş, bunu %75 kimyasal gübre + %25 vermikompost (AKV1) uygulaması izlemiştir. En düşük bitki boyu ise yalnız vermikompost uygulanan parsellerde gözlenmiştir (Şekil 1).

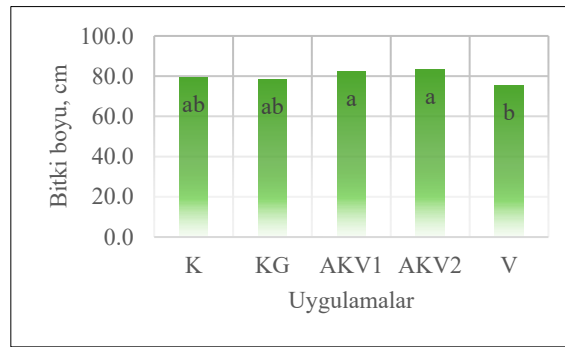


Figure 1. Plant height

Şekil 1. Bitki boyu

Vermikompost, humik ve fulvik asitler, bitki büyümesini düzenleyici hormon benzeri bileşikler (örneğin indol-3-asetik asit ve giberellik asit) ile yüksek mikrobiyal aktivite içerir. Bu bileşenler, kök gelişimini uyarır, su ve besin alımını kolaylaştırır ve buna bağlı olarak vejetatif büyümeyi artırır (Arancon ve ark., 2004; Atiyeh ve ark., 2000; Nardi ve ark., 2002). Güncel çalışmalar, gözlenen bu büyüme artırıcı etkinin, azot ve fosforun mineralizasyonunu hızlandıran ve bunların bitki dokularına taşınmasını iyileştiren mikrobiyal süreçlerle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir (Canellas ve ark., 2015). Ovega ve ark. (2023) tarafından gerçekleştirilen bir meta-analizde organik ve inorganik gübre kombinasyonlarının fotosentetik aktiviteyi ve kök sistem gelişimini artırarak tahıllarda bitki boyunu yükselttiğini doğrulamıştır.

Literatürle birlikte değerlendirildiğinde, mevcut çalışma sonuçları organik ve kimyasal gübrelerin 1:1 oranındaki kombinasyonunun (AKV2) arpa bitki boyunun gelişimi için optimal koşulları sağladığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, organik ve inorganik gübre kombinasyonlarının sinerjik etkilerinin bitki gelişimini

önemli ölçüde teşvik ettiğini açıkça göstermektedir. Bu yaklaşım, yalnızca kimyasal gübre kullanımını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda bitki gelişimini ekolojik olarak sürdürülebilir bir biçimde destekler. Bu çalışma, yarı kurak karasal koşullarda %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost uygulamasının bitki boyu üzerinde belirgin bir üstünlük sağladığını göstererek bu oran için bölgesel düzeyde nicel bir kanıt sunmaktadır.

3.2. Sap kalınlığı

Uygulamalar arasında sap kalınlığı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek sap kalınlığı, %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasında kaydedilmiş, bunu %75 kimyasal gübre + %25 vermikompost (AKV1) uygulaması izlemiştir. En düşük ortalama değerler ise kontrol ve yalnızca vermikompost uygulanan parsellerde gözlenmiştir (Şekil 2).

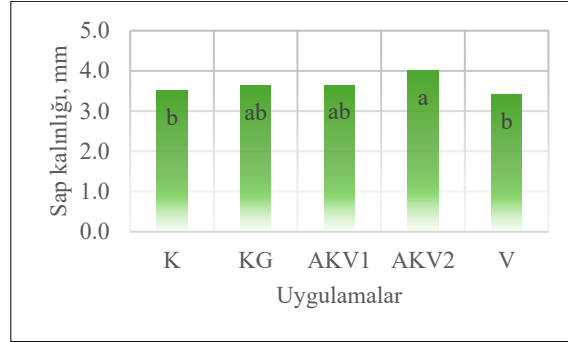


Figure 2. Stem thickness

Şekil 2. Sap kalınlığı

Sap kalınlığındaki artış, tarımsal açıdan önemli avantajlar sağlamaktadır; yatma riskini azaltmakta, fotosentetik ürünlerin taşınma verimliliğini artırmakta ve su ile besin elementlerinin iletim kapasitesini iyileştirmektedir. Vermikompostun sap gelişimi üzerindeki uyarıcı etkisi, humik ve fulvik asitlerin hücre uzamasını teşvik etmesi, indol-3-asetik asit (IAA) ve giberellik asit (GA_3) gibi hormon benzeri bileşiklerin sentezini artırması ve rizosfer mikrobiyal aktivitesini güçlendirmesiyle ilişkilidir (Atiyeh ve ark., 2000; Lazcano and Domínguez, 2011; Canellas ve ark., 2015). Bu biyokimyasal etkileşimler, sap dokusunu güçlendirerek bitkinin kuraklık ve rüzgâr gibi çevresel stres faktörlerine karşı direncini artırmaktadır (Hu ve ark., 2022). Arancon ve ark. (2004), vermikompost uygulamalarının vejetatif dokuları güçlendirdiğini ve tarla koşullarında yetiştirilen bitkilerde sap dayanıklılığını artırdığını bildirmiştir.

Genel olarak bu bulgular, sap kalınlığının yalnızca bir morfolojik özellik değil, aynı zamanda verim sürdürülebilirliğinin önemli bir göstergesi olduğunu ortaya koymaktadır. Organik ve kimyasal gübrelerin 1:1 oranındaki kombinasyonu (AKV2), arpada maksimum sap gelişimini sağlayarak yapısal stabiliteyi korumuş ve kimyasal gübre bağımlılığını azaltarak sürdürülebilir yönetim açısından en uygun sonuçları vermiştir. Bu bulgular, organik ve mineral gübrelerin birlikte kullanımının sap dayanıklılığını artırdığına ilişkin literatürle uyum göstermekte ve yarı kurak koşullarda %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasının sap kalınlığı açısından en etkili kombinasyon olduğunu ortaya koyarak bölgesel üretim için özgün bir referans sunmaktadır.

3.3. Başakta tane sayısı

Uygulamalar arasında başakta tane sayısı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek başak başına tane sayısı, %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasında elde edilmiş, bunu %75 kimyasal gübre + %25 vermikompost (AKV1) uygulaması izlemiştir. Yalnızca kimyasal gübre uygulanan parsellerde tane sayısı entegre uygulamalardan daha düşük kalırken, en düşük değerler kontrol parsellerinde kaydedilmiştir (Şekil 3).

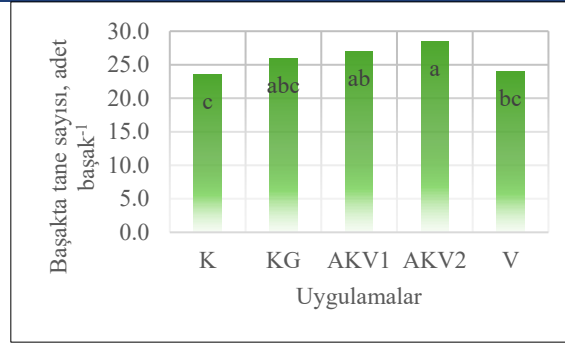


Figure 3. Number of grains per spike

Şekil 3. Başakta tane sayısı

Bu sonuçlar, vermikompostun çiçeklenme ve tane bağlama dönemlerinde dengeli bir besin temini sağlayarak generatif gelişimi desteklediğini göstermektedir. Vermikompostun tane sayısı üzerindeki olumlu etkisi, organik azot formları, humik maddeler, mikrobiyal enzim aktiviteleri ve hormon benzeri bileşikler içeren yapısından kaynaklanmaktadır (Atiyeh ve ark., 2000; Lazcano and Domínguez, 2011; Canellas ve ark., 2015). Bu bileşenler, rizosferde besin çözünürlüğünü artırarak azot ve fosfor alımını kolaylaştırmakta ve generatif organların sağlıklı gelişimine katkı sağlamaktadır (Edwards ve ark., 2011; Aechra ve ark., 2021). Organik gübrelerin kademeli ve dengeli mineralizasyon süreci, bitkinin çiçeklenme ve tane doldurma gibi kritik fenolojik dönemlerinde sürekli besin arzını sağlar; bu durum da tozlaşma başarısını ve tane bağlama oranını artırır. Güncel çalışmalar, vermikompostun bitkilerde karbon/azot dengesini düzenlediğini, generatif dönemi uzattığını ve fotosentetik verimliliği koruduğunu göstermektedir (Ovega ve ark., 2023). Guo ve ark. (2015), mısırdaki vermikompost uygulamasının tane sayısını ve generatif organ gelişimini anlamlı şekilde artırdığını belirtmiştir. Zaller (2007) ise organik gübrelerin tahıllarda çiçeklenme performansını ve başak verimliliğini iyileştirdiğini vurgulamıştır. Türkiye’de yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kon (2019), arpa yetiştiriciliğinde organik ve kimyasal gübrelerin birlikte uygulanmasının başakta tane sayısını artırdığını bildirmiştir.

Sonuç olarak, başakta tane sayısının yalnızca toplam gübre miktarına değil, aynı zamanda organik ve inorganik besin kaynaklarının dengeli kombinasyonuna bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, organik ve mineral gübrelerin birlikte kullanımının başakta tane oluşumunu belirleyen fizyolojik süreçleri güçlendirdiğini ortaya koymakta ve yarı kurak üretim sistemlerinde %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasının arpa için en yüksek tane oluşum kapasitesini sağlayan pratik bir yönetim seçeneği olduğunu göstermektedir.

3.4. Bin tane ağırlığı

Uygulamalar arasında bin tane ağırlığı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek değerler %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasında kaydedilmiş, en düşük değerler ise kontrol ve yalnızca vermikompost uygulanan parsellerde elde edilmiştir (Şekil 4).

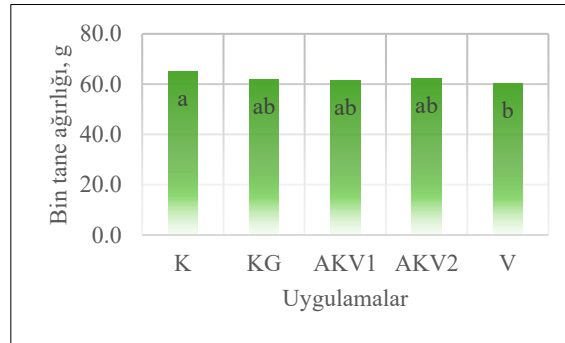


Figure 4. Thousand-grain weight

Şekil 4. Bin tane ağırlığı

Bu sonuçlar, organik ve inorganik gübrelerin birlikte uygulanmasının, tane doldurma döneminde dengeli bir besin temini sağlayarak daha iri, yoğun ve ağır tanelerin oluşmasına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bin tane ağırlığı, fotosentetik ürünlerin tanelere taşınma verimliliği, karbon-azot metabolizması dengesi ve tane dokularında nişasta birikimi ile yakından ilişkilidir (Nardi ve ark., 2002; Zaller, 2007). Vermikompostta bulunan humik maddeler, amino asitler ve mikrobiyal enzimler, azot mineralizasyonunu düzenleyerek karbon iskeletlerinin sentezini teşvik eder; bu da tane doldurma sürecini iyileştirir ve tane kütlelerini artırır (Canellas ve ark., 2015). Ayrıca, organik gübrelerle işlenmiş toprakların su tutma kapasitesinin artması, tane doldurma döneminde su stresini azaltır ve tanelerde daha fazla kuru madde birikimini destekler (Peyvast ve ark., 2008). Güncel araştırmalar, vermikompostun sitokinin ve gibberellin gibi hormon benzeri bileşikler içerdiğini ve bunun fotosentetik aktiviteyi uzatarak karbon asimilasyon süresini artırdığını, dolayısıyla daha yüksek tane ağırlığına yol açtığını göstermektedir (Ovega ve ark., 2023). Farklı tahıllarda yapılan çalışmalar da bu bulguları desteklemektedir. Riahi ve ark. (2009), organik gübre uygulamalarının buğdayda bin tane ağırlığını, azot ve fosforun kademeli salınımı sayesinde artırdığını bildirmiştir. Hati ve ark. (2006), uzun süreli organik gübre uygulamalarının toprak yapısını iyileştirerek tahıllarda tane ağırlığını artırdığını belirtmiştir. Taştekin (2020), organik ve inorganik gübre kombinasyonlarının tahıllarda bin tane ağırlığını artırdığını rapor etmiştir. Benzer şekilde, Orak ve ark. (2017) organik gübre uygulamalarının Trakya koşullarında fiğ türlerinde verim bileşenlerini iyileştirdiğini, dolaylı olarak tahıllarda da benzer etkiler gösterebileceğini ifade etmiştir.

Sonuç olarak, bin tane ağırlığındaki değişimin yalnızca uygulanan gübre miktarıyla değil, farklı besin kaynaklarının sağladığı kimyasal özellikleri ile literatürde bildirilen biyolojik etkilerine bağlı olduğu değerlendirilmektedir. Bu bulgular, organik ve mineral gübrelerin birlikte kullanımının tane doldurma fizyolojisini güçlendirdiğini bildiren araştırmalarla örtüşmekte ve yarı kurak koşullarda %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost uygulamasının arpada en yüksek bin tane ağırlığını sağlayan özgün bir besin yönetimi düzeyi olduğunu ortaya koymaktadır.

3.5. Toplan tane ağırlığı

Uygulamalar arasında toplam tane ağırlığı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek verim, %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasında elde edilmiş, bunu %75 kimyasal gübre + %25 vermikompost (AKV1) uygulaması izlemiştir. Yalnızca kimyasal gübre uygulaması verimi bir miktar artırsa da organik ve inorganik gübrelerin birlikte kullanımı kadar etkili olmamıştır (Şekil 5).

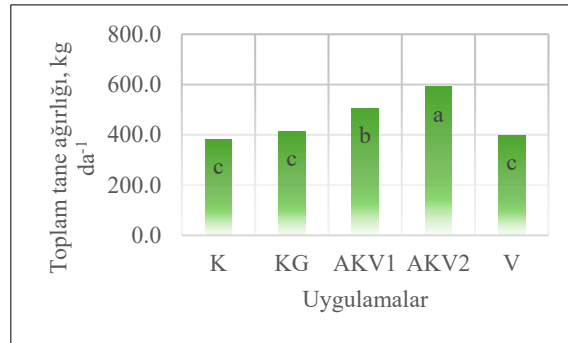


Figure 5. Total grain weight

Şekil 5. Toplam tane ağırlığı

Bu bulgu, vermikompostun toprağın besin tutma kapasitesini, mikrobiyal aktivitesini ve organik madde dinamiklerini artırarak, büyüme dönemi boyunca sürekli ve dengeli bir besin arzı sağladığını göstermektedir. Vermikompostta bulunan humik ve fulvik asitler, enzimler ve mikrobiyal topluluklar, azot ve fosforun kademeli salınımını teşvik eder; bu da tane doldurma döneminde besinlerin sürekliliğini korur (Edwards ve ark., 2011; Ramazanoğlu, 2024). Böylece azot kullanım etkinliği (NUE) artar ve fotosentetik ürünlerin gelişmekte olan tanelere taşınması daha verimli hale gelir (Padbhushan ve ark., 2021). Ayrıca vermikompost, toprağın su tutma kapasitesini iyileştirerek, kurak dönemlerde stres koşullarını hafifletir ve tane gelişimini destekler (Peyvast ve ark., 2008). Artan mikrobiyal aktivite, karbon döngüsünü hızlandırarak rizosferde optimum redoks koşullarını sürdürür;

böylece kök fonksiyonelliği ve besin alımı güçlenir (Canellas ve ark., 2015; Ovega ve ark., 2023). Bu etkileşimler, vejetatif ve generatif büyüme dönemleri arasında dengeli bir kaynak-sink ilişkisi kurarak toplam verimde artışa yol açar. Benzer sonuçlar farklı tahıllarda da rapor edilmiştir. Hati ve ark. (2006), uzun süreli organik gübre uygulamalarının toprak yapısını iyileştirdiğini ve tahıllarda verimi anlamlı ölçüde artırdığını göstermiştir. Riahi ve ark. (2009) ise organik üretim sistemlerinde, toprak biyolojik aktivitesinin daha yüksek olması nedeniyle, konvansiyonel sistemlere kıyasla daha fazla tane verimi elde edildiğini bildirmiştir. Taştekin (2020), organik ve inorganik gübre kombinasyonlarının tahıllarda tane verimini artırdığını; Orak ve ark. (2017) ise organik gübre uygulamalarının fiğ türlerinde verim bileşenlerini iyileştirdiğini ve tahıllarda da benzer etkiler gösterebileceğini belirtmiştir.

Sonuç olarak, toplam tane ağırlığındaki değişimin yalnızca uygulanan gübre miktarıyla değil, organik ve inorganik besin kaynaklarının dengeli entegrasyonu ile ilişkili olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın bulguları, yarı kurak karasal koşullarda kimyasal gübre ve vermikompostun 1:1 oranındaki kombinasyonunun (AKV2) arpa yetiştiriciliğinde en yüksek toplam tane verimini sağladığını göstermektedir.

3.6. Tane azot içeriği

Uygulamalar arasında tane azot içeriği bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek azot birikimi, %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasında kaydedilmiş; bunu %75 kimyasal gübre + %25 vermikompost (AKV1) uygulaması izlemiştir. En düşük değerler ise kontrol parsellerinde elde edilmiştir (Şekil 6).

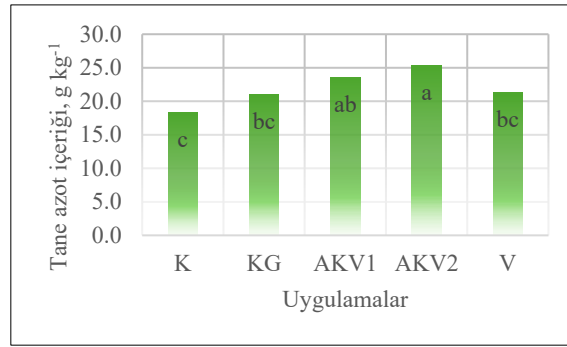


Figure 6. Grain nitrogen content

Şekil 6. Tane azot içeriği

Bu sonuçlar, organik azotun mikrobiyal mineralizasyonu yoluyla sağlanan sürekli azot arzının, özellikle tane doldurma döneminde bitki beslenmesinde kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Vermikompost, başta amonyifikasyon ve nitrifikasyon bakterileri olmak üzere aktif mikrobiyal topluluklar içerir; bu mikroorganizmalar organik azotu amonyum ve nitrat formlarına dönüştürerek bitki tarafından daha kolay alınabilir hale getirir (Aira ve ark., 2007; Adhikary, 2012). Ayrıca humik ve fulvik asitler, kök uzamasını teşvik ederek etkin kök yüzey alanını artırmakta, bu da azot alım verimliliğini yükselterek tanelerde daha yüksek azot birikimine yol açmaktadır (Nardi ve ark., 2002; Canellas ve ark., 2015). Organik ve inorganik gübrelerin birlikte kullanımı, hızlı ve yavaş salınımlı azot formlarının senkronize edilmesini sağlayarak azot kullanım etkinliğini (NUE) artırmakta; aynı zamanda volatilizasyon ve yıkanma kaynaklı kayıpları azaltmaktadır (Ghosh ve ark., 2004). Bu sayede bitki, vejetatif ve generatif dönem boyunca sürekli bir azot teminine sahip olur; bu durum protein sentezini destekler ve tane kalitesini artırır. Literatürde de benzer sonuçlar geniş ölçüde rapor edilmiştir. Hati ve ark. (2006), uzun süreli organik materyal uygulamalarının toprak azot döngüsünü iyileştirdiğini ve tanelerde azotla ilişkili parametreleri geliştirdiğini göstermiştir. Benzer şekilde Ovega ve ark. (2023), vermikompostun azot mineralizasyon hızını optimize ederek tahıllarda azot alım verimliliğini artırdığını ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, tane azot içeriğindeki değişimin yalnızca uygulanan toplam azot miktarından değil, farklı azot kaynaklarının sağladığı kimyasal özellikler ve bunların salınım davranışlarından etkilendiği anlaşılmaktadır. Bu çalışmada en yüksek tane azot değerlerinin %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasından elde edilmesi, yarı kurak koşullarda bu dengenin arpa tanelerindeki azot birikimini en etkili şekilde destekleyen uygulama düzeyi olduğunu göstermektedir.

3.7. Ham protein oranı

Uygulamalar arasında ham protein oranı açısından anlamlı farklar gözlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek protein içeriği %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasında, bunu %75 kimyasal gübre + %25 vermikompost (AKV1) uygulaması izlemiştir. En düşük değerler ise kontrol parsellerinde kaydedilmiştir (Şekil 7).

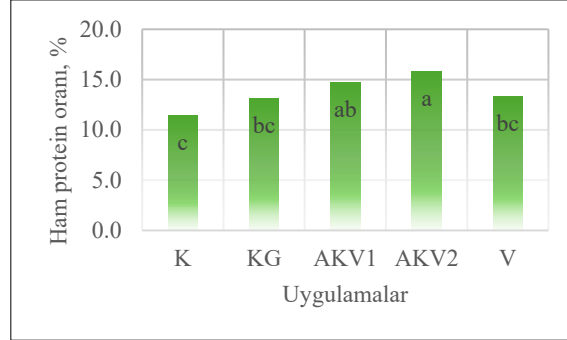


Figure 7. Crude protein ratio

Şekil 7. Ham protein oranı

Protein içeriğindeki artış, doğrudan tane azotu birikimiyle ilişkilidir ve bu durum, arpanın yem ve malt kalitesini belirleyen kritik bir faktördür. Vermikompostun olumlu etkisi, organik azot bileşiklerinin mikrobiyal mineralizasyonundan kaynaklanmakta olup, bu süreç büyüme dönemi boyunca dengeli ve sürekli bir azot salınımı sağlar (Aira ve ark., 2007; Adhikary, 2012). Sürekli azot arzı, tane dolum döneminde protein biyosentezinde rol alan amino asit ve enzim sentezini destekleyerek genel tane kalitesini artırır. Humik ve fulvik asitler, kök gelişimini uyarır ve azot alımını artırır; bu da nitrat redüktaz aktivitesini ve bitki dokularında protein sentezini teşvik eder (Nardi ve ark., 2002; Canellas ve ark., 2015). Organik ve kimyasal gübrelerin birlikte kullanımı hem hızlı alınabilir mineral azotu hem de yavaş salınımlı organik azotu sağlayarak azot kullanım etkinliğini (NUE) artırır. Bu sinerjik etki, arpa tanelerinde daha yüksek protein içeriği olarak yansımaktadır (Ghosh ve ark., 2004). Benzer sonuçlar çeşitli çalışmalarda da rapor edilmiştir. Hati ve ark. (2006), uzun süreli organik madde uygulamalarının toprak azot fraksiyonlarını artırarak tahıllarda protein oranını yükselttiğini göstermiştir. Ovega ve ark. (2023) ise vermikompostun azot mineralizasyon kinetiğini iyileştirdiğini, böylece protein sentezinde görev alan enzimatik süreçleri desteklediğini ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, arpa tanelerindeki ham protein içeriği yalnızca uygulanan toplam azot miktarına değil, aynı zamanda azotun kimyasal formuna, salınım dinamiklerine ve toprak biyolojik aktivitesine bağlıdır. Bu çalışmada %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasından elde edilen en yüksek ham protein oranı, organik ve inorganik gübreleme stratejilerinin entegrasyonunun sinerjik etkisini doğrulamakta; verim ve kaliteyi eşzamanlı olarak artıran optimal ve sürdürülebilir bir yaklaşım sunduğunu göstermektedir.

3.8. Sap azot içeriği

Uygulamalar arasında sap azotu içeriği açısından anlamlı farklar gözlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek azot birikimi %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasında belirlenirken, en düşük değerler kontrol parsellerinde kaydedilmiştir (Şekil 8).

Vermikompost uygulamaları, içerdiği humik ve fulvik asitler sayesinde kök gelişimi ve dallanmasını teşvik ederek besin alım yüzeyini genişletmiştir. Ayrıca, vermikomposttaki aktif mikrobiyal topluluklar, organik azotun amonyum ve nitrat formlarına dönüşümünü hızlandırmış, böylece vejetatif dönem boyunca sürekli bir azot arzı sağlamıştır (Aira ve ark., 2007; Canellas ve ark., 2015). Bu süreç, sap dokularında azot birikimini artırmış, klorofil sentezini desteklemiş ve bitkinin fotosentetik performansını iyileştirmiştir. Organik materyalin kademeli mineralizasyonu, volatilizasyon ve yıkanma yoluyla gerçekleşen azot kayıplarını azaltarak besin kullanım etkinliğini artırmıştır (Ghosh ve ark., 2004). Sonuç olarak, bitkiler daha güçlü vejetatif yapılar geliştirmiş ve bu da doğrudan daha yüksek toplam biyokütle birikimine katkı sağlamıştır. Bu bulgular, önceki araştırmalarla da uyumludur. Hati ve ark. (2006), uzun süreli organik materyal kullanımının toprak azot döngüsünü iyileştirdiğini ve sap azotu ile verim bileşenlerini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Adhikary (2012) ise, yavaş salınımlı bir

besin kaynağı olarak vermikompostun hem vejetatif hem de generatif dönemlerde azot alım etkinliğini optimize ettiğini vurgulamıştır.

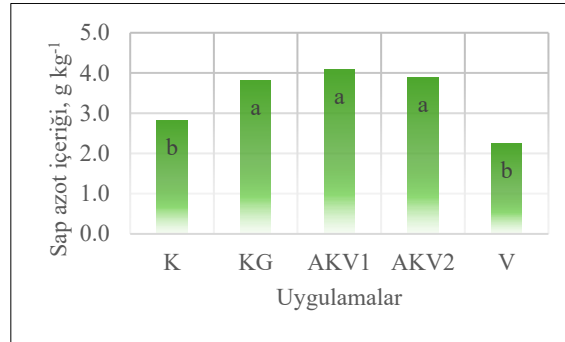


Figure 8. Stem nitrogen content

Şekil 8. Sap azot içeriği

Genel olarak, vermikompost tek başına sap azotu birikimi ve kaliteyle ilişkili özellikler üzerinde olumlu etkiler göstermiştir; ancak en yüksek değerler, organik ve kimyasal azot kaynaklarının eşit oranda uygulandığı %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) kombinasyondan elde edilmiştir. Bu sonuçlar, vejetatif büyüme döneminde farklı azot kaynaklarının birlikte kullanımının azotun bitki dokularına taşınmasını desteklediğini ve yarı kurak koşullarda bu uygulamanın sap azotu birikimi açısından en uygun dengeyi sağladığını göstermektedir.

4. Sonuç

Arpa (*Hordeum vulgare* L.) üretiminde yüksek verim ve kalite düzeylerinin sürdürülebilmesi, toprak verimliliğini koruyan dengeli ve etkin besin yönetimi stratejilerinin uygulanmasına bağlıdır. Bu çalışmada, organik (vermikompost) ve inorganik (kimyasal gübre) besin kaynaklarının birlikte kullanımının bitki gelişimi, verim ve kalite parametreleri üzerindeki etkileri tarla koşullarında kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Bulgular, incelenen tüm özelliklerde (bitki boyu, sap kalınlığı, başakta tane sayısı, bin tane ağırlığı, toplam tane verimi ile tane azotu, ham protein oranı ve sap azotu) %50 kimyasal gübre + %50 vermikompost (AKV2) uygulamasının en yüksek performansı sağladığını ortaya koymuştur.

Vermikompostun tek başına uygulandığında dahi büyümeyi desteklediği, mineral gübre ile kullanıldığında ise belirgin bir sinerji oluşturarak bitki beslenmesini optimize ettiği görülmüştür. Bu sinerjinin, humik ve fulvik asitlerin kök gelişimini uyarması, mikrobiyal aktivitenin artışıyla besin mineralizasyonunun hızlanması ve azot kullanım etkinliğinin yükselmesi gibi temel biyolojik süreçlerden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Bu nedenle üreticilere, özellikle %50 mineral gübre + %50 vermikompost kombinasyonunun kullanılması önerilmektedir; çünkü bu uygulama verim ve kaliteyi korurken girdi kullanımını da optimize etmektedir.

Çalışmanın sonuçları, vermikompostun kimyasal gübreleri belirli oranlarda ikame edebileceğini ve entegre gübreleme yaklaşımlarında etkili bir seçenek sunduğunu göstermektedir. Orta düzey vermikompostun mineral gübre ile kullanılması, besin kullanım etkinliğini artırırken kimyasal gübre girdilerini azaltarak maliyet-etkin ve çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir üretim modeli sağlamaktadır. Özellikle kimyasal gübrenin %50 oranında azaltılmasına rağmen verim ve kalite kaybı meydana gelmemiş olması, sürdürülebilir arpa üretimi açısından önemli bir bulgudur. Bu sonuçlar, Entegre Besin Yönetimi (INM) prensiplerinin uygulamaya aktarılabilir ve pratik bir gübreleme stratejisi sunduğunu kanıtlamaktadır.

Bu çalışma belirli bir toprak tipi ve iklim koşulunda yürütüldüğünden, elde edilen bulguların farklı agroekolojik bölgelerde doğrulanması gerekmektedir. Ayrıca, entegre gübreleme yaklaşımlarının uzun dönemli çevresel etkilerinin araştırılması önem taşımaktadır. Özellikle azot yıkanması, sera gazı emisyonları (CO₂, N₂O) ve toprak karbon dinamikleri gibi süreçlerin uzun vadeli izlenmesi, bu stratejilerin ekosistem düzeyindeki etkilerinin anlaşılması için gereklidir. Gelecekteki araştırmaların farklı toprak tipleri, iklim koşulları ve vermikompost dozlarını içerecek şekilde genişletilmesi, yöntemin büyük ölçekli uygulanabilirliğini daha net biçimde ortaya koyacaktır.

Sonuç olarak, elde edilen bulgular kimyasal gübre kullanımının %50 oranında azaltılmasının verim ve kalite kaybına yol açmadan sürdürülebilir arpa üretimi için uygulanabilir bir strateji olduğunu göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Ayten Namlı danışmanlığında yürütülen “Arpada (*Hordeum vulgare* L.) Farklı Dozlarda Vermikompost Uygulamalarının Verim ve Kalite Parametreleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması” başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma için etik kuruldan izin alınmasına gerek yoktur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları olarak aramızda herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

Yazarlık Katkı Beyanı

Planlama: Alıcı, N. C., Namlı, A.; Materyal ve Metot: Alıcı, N. C.; Veri toplama ve İşleme: Alıcı, N. C.; İstatistikî Analiz: Alıcı, N. C., Namlı, A.; Literatür Tarama: Alıcı, N. C., Namlı, A.; Makale Yazımı, İnceleme ve Düzenleme: Alıcı, N. C., Namlı, A.

Kaynakça

- Açıkbaz, B. ve Bellitürk, K. (2016). Vermikompostun Trakya İlkeren/5BBAşı kombinasyonundaki asma fidanlarının bitki besin elementi içeriklerine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(04): 131-138.
- Adhikary, S. (2012). Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences*, 3(7): 905–917. <https://doi.org/10.4236/as.2012.37110>
- Aechra, S., Meena, R. H., Meena, S. C., Mundra, S. L., Lakhawat, S. S., Mordia, A. and Jat, G. (2021). Soil microbial dynamics and enzyme activities as influenced by biofertilizers and split application of vermicompost in rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Environmental Biology*, 42: 1370–1378. <https://doi.org/10.22438/jeb/42/5/MRN-1520>
- Aira, M., Monroy, F. and Dominguez, J. (2007). Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting independently of the application rates of pig slurry. *Science of the Total Environment*, 385: 252-261. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.06.031>
- Al-Maamori, H. A., Juma, S. S. and Ahmed, F. W. (2025). Effect of vermicompost extract and mineral fertilizer on growth, yield of barley and some nutrients availability in the soil. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 56(2): 935–945. <https://doi.org/10.36103/d8tsm607>
- Alsudays, I. M., Alshammary, F. H., Alabdallah, N. M., Alatawi, A., Alotaibi, M. M., Alwutayd, K. M., Alharbi, M. M., Alghanem, S. M., Alzuair, F. M., Gharib, H. S. and Awad-Allah, M. M. A. (2024). Applications of humic and fulvic acid under saline soil conditions to improve growth and yield in barley. *BMC Plant Biology*, 24(1): 191. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04863-6>
- Anonim. (2023). Ankara İli Meteorolojik Verileri (2021–2022). Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (TSMS), Ankara, Türkiye.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C. and Metzger, J. D. (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*, 93(2): 145-153. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.014>
- Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D. and Shuster, W. (2000). Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*, 44(5): 579-590. [https://doi.org/10.1078/S0031-4056\(04\)70073-6](https://doi.org/10.1078/S0031-4056(04)70073-6)
- Barlas, N. T., Cönkeroğlu, B., Unal, C. and Bellitürk, K. (2018). The effect of different vermicompost doses on wheat (*Triticum vulgare* L.) nutrition. *Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty*, 15(2): 1-4.
- Blake, G. R. and Hartge, R. K. (1986). Bulk Density. In: *Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods* Ed(s): Klute A., 2nd Ed., Agronomy Monograph No. 9, ASA & SSSA.
- Blouin, M., Barrère, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., Mathieu, J. and Lévêque, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(1): 34. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
- Bouyoucos, G. J. (1951). A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43: 434–438. <https://doi.org/10.2134/agronj1951.00021962004300090005x>
- Bremner, J. M. (1965). Total Nitrogen. In: *Methods of soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties* Ed(s): Black, C. A., Agronomy Monograph, No. 9, pp., ASA & SSSA.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P. and Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196: 15–27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
- De Boodt, M. and Verdonck, O. (1972). The Physical Properties of the Substrates in Horticulture. *III Symposium on Peat in Horticulture*, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1972.26.5>
- Edwards, C. A., Arancon, N. Q. and Sherman, R. L. (2011). *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*. CRC Press, Boca Raton, U. S. A. <https://doi.org/10.1201/b10453>
- FAO (Gıda ve Tarım Örgütü) (2017). Gıdanın ve Tarımın Geleceği – Eğilimler ve Zorluklar. Roma, İtalya. <http://www.fao.org/publications> (Erişim Tarihi: 15.10.2025).
- Gabriels, R. and Verdonck, O. (1992). Physical and chemical characterization of plant substrates: A comparative study. *Acta Horticulturae*, 302: 249–256. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.302.31>
- Ghosh, P. K., Ramesh, P., Bandyopadhyay, K. K., Tripathi, A. K., Hati, K. M. and Misra, A. K. (2004). Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping systems in vertisols of central India. *Bioresource Technology*, 95(1): 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.011>
- Gram, G., Magaju, C., Kihara, J. and Sommer, R. (2020). Meta-analysis of integrated soil fertility management effects on crop yield and nutrient efficiency in sub-Saharan Africa. *PLOS ONE*, 15(3): e0230797. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230797>
- Guo, L., Wu, G., Li, C., Liu, W., Yu, X., Cheng, D., ... and Jiang, G. (2015). Vermicomposting with maize increases agricultural benefits by 304%. *Agronomy for Sustainable Development*, 35: 1149–1155. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0307-0>
- Güçdemir, İ. H. (2006). Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi (Güncelleştirilmiş ve Genişletilmiş 5. baskı). T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Hati, K. M., Mandal, K. G., Misra, A. K., Ghosh, P. K. and Bandyopadhyay, K. K. (2006). Effect of inorganic fertilizer and farm-yard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India. *Bioresource Technology*, 97(16): 2182–2188. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.008>

- Hu, Y., Javed, H. H., Asghar, M. A., Peng, X., Brestic, M., Skalický, M., Ghafoor, A. Z., Cheema, H. N., Zhang, F-F. and Wu, Y-C. (2022). Enhancement of lodging resistance and lignin content by application of organic carbon and silicon fertilization in *Brassica napus* L. *Frontiers in Plant Science*, 13: 807048. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.807048>
- IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli). (2023). İklim Değişikliği 2023: Sentez Raporu, Cenevre, İsviçre. <https://doi.org/10.59327/IPCC2023>
- Jackson, M. L. (1958). Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall, N. J., U. S. A.
- Kacar, B. and Kütük, C. (2010). Toprak Analizleri (Genişletilmiş 2. baskı). Nobel Yayın Dağıtım, Türkiye.
- Karol, A., Sharma, P. K., Raj, A., Kehokhunu, Rawat, A. and Shaji, A. (2023). Effect of integrated nutrient management on growth and yield of barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10): 2968-2976. <https://doi.org/10.9734/ijecce/2023/v13i102963>
- Kemper, W. D. and Rosenau, R. C. (1986). Aggregate Stability and Size Distribution. In: Methods of Soil Analysis: Part 1: Physical and Mineralogical Methods. Ed(s): Klute, A. 2nd Ed., Agronomy Monograph, No. 9, ASA & SSSA.
- Kon, H. (2019). *Orta Anadolu koşullarında bazı arpa çeşitlerinin verim, kalite ve azot kullanım randımanlarının azotlu gübreleme miktarına göre belirlenmesi*. (Doktora Tezi) Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.
- Lazcano C. and Dominguez J. (2011). The Use of Vermicompost in Sustainable Agriculture: Impact on Plant Growth and Soil Fertility. In: Soil Nutrients. Ed(s): Miransari, M., Nova Science Publishers, U. S. A. ISBN 978-1-61324-785-3.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11): 1527–1536. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8)
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. and Dean, L. A. (1954). Estimation of Available Phosphorus In Soils By Extraction with Sodium Bicarbonate. U.S. Department of Agriculture Circular, No. 939. U.S. Government Printing Office, U. S. A.
- Orak, A., Şen, C., Nizam, İ., Güler, N., Ersoy, H., Tenikecier, H. S., Salık, V., Demirkan, A. K., Yıldırım, H. and Yence, K. (2017). *Trakya bölgesinde yetişen fiğ (Vicia spp.) türlerinin belirlenmesi, toplanması, karakterizasyonu ve değerlendirilmesi*. TÜBİTAK-TOVAG (113O297) Proje Sonuç Raporu.
- Ovega, F., Martínez-Santos, D., López, G. and Rivera, A. (2023). Meta-analysis of vermicompost effects on yield, nutrient efficiency, and stress tolerance in major cereal crops. *Applied Soil Ecology*, 189: 104902. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104902>
- Padbhushan, R., Shankar, T. and Jha, P. (2021). Meta-Analysis approach to measure the effect of integrated nutrient management on crop yield, soil carbon, and microbial activity in Indian soils. *Frontiers in Environmental Science*, 9: 724702. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.724702>
- Peyvast, G., Olfati, J. A., Madeni, S. and Forghani, A. (2008). Effect of vermicompost on the growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 6(1): 110–113.
- Ramazanoğlu, E. (2024). Effects of vermicompost on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.), soil enzyme activities, and nutrient uptake. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1): 2373872. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2373872>
- Riahi, A., Hdider, C., Sanaa, M., Tarchoun, N., Kheder, M. B. and Guezal, I. (2009). Effect of compost and manure on yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Applied Horticulture*, 11(2): 87–91. <https://doi.org/10.37855/jah.2009.v11i02.09>
- Srinivasarao, C., Singh, S. P., Kundu, S., Abrol, V., Lal, R., Abhilash, P. C., Chary, G. R., Thakur, P. B. and Venkateswarlu, B. (2021). Integrated nutrient management improves soil organic matter and agronomic sustainability of semiarid rainfed Inceptisols of the Indo-Gangetic Plains. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 184(2): 203-213. <https://doi.org/10.1002/jpln.202000312>
- Taştekin, D. (2020). *Dış ortamda ve in vitro koşullarda yetiştirilen kantaron (Hypericum perforatum L.) bitkisinin fitokimyasal içeriğinin karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye.
- Tian, M., Wang, H., Sun, Y. and Li, Y. (2024). Effect of vermicompost application on soil microbial community, enzyme activity and melon quality. *Agronomy*, 14(11): 2536. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112536>
- TİGEM (Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü). (2023). Arpa Çeşit Kataloğu (Tarm-92). Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TİGEM), Ankara, Türkiye.
- U. S. Salinity Laboratory Staff. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils (Agriculture Handbook No. 60). U. S. Department of Agriculture, U. S. A.
- Wu, Q., Chen, B., Wu, J. and Zhang, H. (2023). Effects of biochar and vermicompost on microorganisms and enzymatic activities in greenhouse soil. *Frontiers in Environmental Science*, 10: 1060277. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1060277>
- Zaghloul, E. A. M., Awad, E. S., Mohamed, I. R., ... and El-Tarabily, K. A. (2024). Co-application of organic amendments and natural biostimulants on plants enhances wheat production and defense system under salt-alkali stress. *Scientific Reports*, 14: 29742. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77651-9>
- Zaller, J. G. (2007). Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae*, 112(2): 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.023>