

Yavaş Salımlı ve Geleneksel Üre Uygulamalarının Buğdayda Büyüme Dinamikleri ve Kalite Parametreleri Üzerine Karşılaştırmalı EtkileriOnur BAYIZ¹, Ekrem BALLI¹, Eren DİNÇER², Özge KARAÇAY², Oğuz BAYRAKTAR³Bihter ÇOLAK ESETLİLİ^{1*}¹ Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, İzmir² Latro Kimya Dış Ticaret Anonim Şirketi, İstanbul³ Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İzmir*Sorumlu yazar (Corresponding author): bihter.colak@ege.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 01.06.2025

Kabul Tarihi (Accepted): 15.07.2025

Özet

Günümüzde özellikle azotun olumsuz çevresel etkilerini azaltmak ve kullanım etkinliğini arttırmak amacıyla yavaş salımlı azotlu gübrelere kullanımını iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Ayrıca bu konudaki çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Çalışma, sodyum aljinat bazlı, biyobozunur doğal bir malzeme ile kaplanmış ve humik asit, lizin HCL, glukonik asit karışımından oluşan katkı bileşenleri ile zenginleştirilmiş yavaş salımlı üre (YSÜ) gübresi ile geleneksel olarak yaygın kullanıma sahip üre (GÜ) gübresinin buğday gelişimi, azot (N) alımı ve kullanım etkinliklerinin karşılaştırılmasını amaçlayan model bir çalışma niteliğindedir. Sera şartlarında Kayra ekmeçlik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidi kullanılan saksı denemesinde, artan dozlarda (0, 8, 16, 24 kg da⁻¹) yavaş salımlı ve geleneksel üre gübrelere bölünerek uygulanmış, bazı gelişim parametreleri (bitki boyu, kök uzunluğu, kök, gövde, başak yaş ve kuru ağırlıkları) ile kalite kriterleri (dane sayısı, 1000 dane ağırlığı ve protein içeriği) saptanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre YSÜ gübresinin 16 kg da⁻¹ uygulaması ile buğdayda N alımı ve dane protein içeriğinde yaklaşık %5–10 oranında artış, klorofil indeksi ve verim bileşenlerinde ise %10–15 düzeyinde kazanım sağlanabileceği belirlenmiştir. Bu bağlamda, gelecekte farklı bileşen ve katkı maddeleriyle formüle edilen YSÜ gübrelere uzun dönem performansının ve çevresel/ekonomik potansiyel etkilerinin, farklı toprak tipleri, iklim koşulları ve buğday çeşitlerinde çok lokasyonlu tarla denemeleriyle doğrulanması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Azot kullanım etkinliği, buğday, humik asit, verim, yavaş salım

The Comparative Effects of Slow-Release and Conventional Urea Applications on Growth Dynamics and Quality Parameters in Wheat

Abstract

Nowadays, the use of slow-release nitrogen fertilizers is considered a good alternative, especially to reduce the negative environmental effects of nitrogen and to increase its usage efficiency. Furthermore, research in this area is increasing day by day. The study is a model study that aims to compare the wheat development, nitrogen (N) uptake, and utilization efficiency of slow-release urea (SRU) fertilizer, which is coated with a biodegradable natural material based on sodium alginate and enriched with additive components consisting of a mixture of humic acid, lysine HCL, and gluconic acid, with conventionally widely used urea (CU) fertilizer, which is traditionally widely used. In a pot experiment conducted under greenhouse conditions using the Kayra bread wheat (*Triticum aestivum* L.) variety, slow-release and conventional urea fertilizers were applied in increasing doses (0, 8, 16, 24 kg da⁻¹) in divided applications. and certain growth parameters (plant height, root length, root, stem, ear fresh and dry weights) and quality criteria (grain number, 1000-grain weight, and protein content) were determined. According to the results of the study, it was determined that the application of 16 kg da⁻¹ of SRU fertilizer could increase N uptake and grain protein content in wheat by approximately 5–10%, chlorophyll index and yield components by 10–15%. In this context, it is recommended that the long-term performance and potential environmental/economic impacts of SRU fertilizers formulated with different components and additives be verified through multi-location field trials on different soil types, climatic conditions, and wheat varieties.

Keywords: Nitrogen use efficiency, wheat, humic acid, yield, slow release

1. Giriş

Buğday, tüm dünyada gıda ihtiyacını karşılayan tahıllar arasında en üst sıralarda yer almaktadır (Kaygıner, 2023). Buğday ihtiyacının 2050 yılında 840 milyon tona çıkacağı tahmin edilmektedir (Sharma ve ark., 2015; Eliş ve ark., 2024). Bununla birlikte, kuraklık stresi, geç ekim, düşük kaliteli tohumlar, gübre kullanım etkinliğindeki kayıplar, iklim değişkenliği ve böcek zararlıları gibi çeşitli faktörler nedeniyle her geçen gün üretim azalmaktadır (Hochman ve Horan, 2018; Rahman ve ark., 2018; Daşkın ve Alp., 2025). Tahıllardan yüksek miktarlarda verim alabilmek için optimum oranda N'lu gübre kullanılması önemlidir. Azot, buğday üretimini artıran önemli bir elementtir. Azot kullanım verimliliği (NUE), bitkilerin N alma ve mevcut N'u ekonomik kısma değiştirme yeteneğini gösterir (Sher ve ark., 2019). Ancak buğdayında içinde olduğu tahılların NUE'nin %50'nin altında olduğu bilinmektedir (Rahimizadeh ve ark., 2010). Aşırı N'lu gübre uygulaması çevre kirliliğine ve ekonomik kayıplara neden olurken (Rahman ve ark., 2020), yetersiz ve bilinçsiz N'lu gübre kullanımı ekonomik verimin düşmesine neden olmaktadır. Doğru zamanda ve miktarda N'lu gübre kullanımı ile topraktaki N kaybı azalmakta, 1000 dane ağırlığı, protein içeriği, NUE'nin etkisi artmaktadır (Zhang ve ark., 2015; Crusciol ve ark., 2019). Azotlu gübrenin etkinliğini artırma yöntemlerinden biri de gübrenin yavaş ve kontrollü çözünür şekilde yarıyışlı bir forma dönüştürülmesidir. Bu bağlamda son yıllarda, N'lu gübrelerin etkinliğini artırmak, kayıpları azaltmak ve çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla yavaş salımlı gübreler gibi alternatif gübreleme stratejileri geliştirilmektedir. Yavaş salımlı gübrelerin salım hızı, çevresel faktörlerden (toprak sıcaklığı, nem durumu, toprak yapısı ve mikrobiyal aktivite) büyük ölçüde etkilenmektedir. Ancak yavaş salımlı N'lu gübreler ile yapılan araştırmalar, geleneksel gübrelere göre genellikle aynı ya da yüksek verim sağlandığını göstermektedir (Shaviv ve Mikkelsen, 1993; Rahman ve ark., 2009; Garcia ve ark., 2019; Gil-Ortiz ve ark., 2020). Özellikle ürün yönetimi ve çevre

açısından önemli avantajlara sahip olan yavaş salımlı gübreler, geleneksel gübrelere göre daha düşük dozlarda uygulanabilmekte, bu nedenle de buharlaşma veya sızma yoluyla N kayıpları daha düşük oranda olmaktadır. Ayrıca bu gübrelerin tek seferde uygulanabilir olması, iş gücü ve diğer masrafların azalmasını sağlamaktadır (Pack ve ark., 2006; Kaplan ve ark., 2013; Gasparin ve ark., 2015; Dimkpa ve ark., 2021). Yavaş salımlı gübreler, suda çözünür gübrelerin hidroliz sürecinin yavaşlatan farklı uçucu yağlardan, ikincil ve birincil besinlerden oluşan yarı geçirgen katmanlara sahip olabilmektedirler (Shaviv ve Mikkelsen, 1993; Trenkel, 2010; Naz ve Sulaiman, 2016; Gil-Ortiz ve ark., 2020). Ancak, kükürt, reçine veya termoplastik malzemelerin zor bozunumu nedeniyle bu materyallerin kullanımı kısıtlanmıştır (Naz ve Sulaiman, 2016; Klikocka ve ark., 2017). Bu nedenle N'lu gübrelerin ve kaynaklarının, yavaş salım prosedürü ile gübre granülünün difüzyon süresini artıran, parçalanabilir malzeme ile kaplanması son yıllarda daha dikkat çekici hale gelmiştir (Conrad, 2000; Chen ve ark., 2018). Özellikle çevre dostu lignin ve karbonhidrat bazlı polimer kaplı üre, geleneksel gübrelerin N emisyonlarıyla ilgili sorunları çözmek ve sentetik polimerlerle ilgili çevresel sorunlardan kaçınmak için iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Bitkisel ve hayvansal kaynaklı aminoasit, humik/fulvik asit veya deniz yosunu özleri gibi biyostimülan maddeler ile kaplı gübre kullanımı kuraklık veya tuzluluk gibi farklı abiyotik streslere karşı bitkinin direncini de arttırabilmektedir (Abalos ve ark., 2014; Gil-Ortiz ve ark., 2020). Bu bağlamda çalışmada, sodyum aljinat bazlı, biyobozunur doğal bir malzeme ile kaplanmış ve humik asit, lizin HCl, glukonik asit karışımından oluşan katkı bileşenleri ile zenginleştirilmiş yavaş salımlı üre gübresinin (YSÜ), geleneksel üreye (GÜ) göre ekmeclik buğdayın bazı gelişim parametreleri (bitki boyu, kök uzunluğu, kök, gövde, başak yaş ve kuru ağırlıkları), ile kalite kriterleri (dane sayısı, 1000 dane ağırlığı ve protein içeriği) üzerine etkilerinin ortaya çıkarılması amaçlanmış ve kontrollü şartlarda farklı azotlu gübre formlarının N kullanım etkinliklerinin

kıyaslanmasına yönelik model bir çalışma olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle her iki gübre, pratik tarla uygulamalarına benzer şekilde; toplam dozun 1/3'ü ekim öncesi tabana, 2/3'ü ise kardeşlenme döneminden sonra olacak şekilde bölünerek saksı toprağına karıştırılarak uygulanmıştır. Böylece çevresel değişkenlerin etkisi sınırlandırılmış ve gübre formlarının potansiyel farklılıklarının daha net biçimde ortaya konması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Deneme planı

Çalışmada, Latro Kimya Dış Ticaret A.Ş tarafından üretilen sodyum aljinat bazlı, biyobozunur doğal bir malzeme ile kaplanmış ve humik asit, lizin HCL, glukonik asit karışımından oluşan katkı bileşenleri ile zenginleştirilmiş yavaş salımlı gübrenin, geleneksel üre gübresine göre buğday gelişimi ve kalitesi üzerine olası etkinliğinin belirlenmesi amacıyla Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü seralarında, tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekrarlı saksı denemesi kurulmuştur. Sera denemesinde kullanılan toprak Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi sınırları içindeki doğal bir alandan sağlanmıştır. Plastik saksılara 8 mm'lik elekten geçirilmiş fırın kuru ağırlık esasına göre 5 kg toprak ilave edilmiş, saksıların alt kısımları sızıntıyı önlemek için kapatılmıştır.

Çalışmada kullanılan buğday çeşidinin vernalizasyon gereksiniminin karşılanabilmesi için sera koşullarında doğal düşük sıcaklık periyotları beklenmiş ve ekim tarihi buna göre 13 Aralık 2023 olarak planlanmıştır. Bu dönemde serada günlük sıcaklık takibi yapılmış ve ortalama sıcaklıklar kaydedilmiş, vernalizasyon için gerekli olan 1–5 °C aralığının yeterli süre sağlandığı doğrulanmıştır. Böylece generatif döneme geçiş için gerekli soğuklanma koşulları kontrol altında tutulmuştur. Saksı denemesinde, kayra ekmeleklik buğday çeşidi kullanılmıştır. Kayra ekmeleklik buğday çeşidi; beyaz başaklı, kırmızı taneli, yüksek verimli ve erkenci bir çeşittir. Saksı başına 12 tohum ekiminin gerçekleştirildiği denemede, çimlenme takibi yapılmış ve tüm saksılardaki bitki sayıları 10 adet olacak şekilde sabitlenmiştir. Deneme süresince gerekli tüm bakım işlemleri ve takipler günlük olarak yapılmış, bitki gelişimi düzenli şekilde izlenmiş; sulama ise toprak nemi tarla kapasitesine yakın seviyede tutulacak şekilde, nem takibi yapılarak uygulanmıştır. Saksı denemesinde kullanılan toprağın verimlilik parametreleri belirlenmiştir (Tablo 1). Saksı toprağı, hafif alkalin, orta kireçli, organik madde içeriği çok düşük ve kumlu tın bünyeye sahiptir. Azot ve Mg içeriği düşük, P orta, K yeterli seviyededir. Buğdayın kaldırdığı besin elementi miktarı ve saksı toprak verimlilik analizleri dikkate alınarak gübreleme programı hazırlanmıştır.

Tablo 1. Deneme toprağı analiz sonuçları

Table 1. Trial soil analysis results

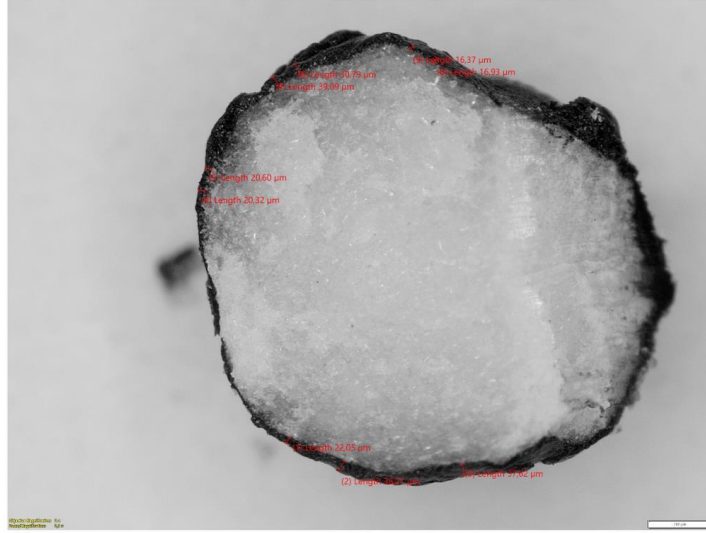
pH		7.60	Hafif alkalin	
EC	dS m ⁻¹	0.32	Sorunsuz	
Kireç	%	4.92	Orta kireçli	
OM	%	0.40	Çok düşük	
Bünye			Kumlu tın	
Total N	%	0.022	Çok düşük	
Alınabilir	P	mg kg ⁻¹	13	Orta
	K	mg kg ⁻¹	250	Yeterli
	Ca	mg kg ⁻¹	1235	Yeterli
	Na	mg kg ⁻¹	56	Sorunsuz
	Mg	mg kg ⁻¹	110	Yeterli

Latro Kimya A.Ş. tarafından üretilen sodyum aljinat bazlı, biyobozunur doğal bir malzeme ile kaplanmış ve humik asit, lizin

HCL, glukonik asit karışımından oluşan katkı bileşenleri ile zenginleştirilmiş yavaş salımlı üre ve geleneksel olarak kullanımı yaygın olan

üre gübresi 4 farklı (0, 8, 16 ve 24 kg da⁻¹) dozda saksılara uygulanmıştır. Sodyum aljinat bazlı, biyobozunur doğal bir malzeme ile kaplanmış ve humik asit, lizin HCL, glukonik asit karışımından oluşan katkı bileşenleri ile zenginleştirilmiş yavaş salımlı üre gübresinin

kaplama kalınlığı ölçümleri, rastgele seçilen gübre örneklerinden farklı kesitler alınarak yapılan ölçümlerle tespit edilmiştir. Ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması 26.88 ± 9.51 µm olarak bulunmuştur (Şekil 1). Gübrenin N içeriği %45.25 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Sodyum aljinat bazlı, biyobozunur doğal bir malzeme ile kaplanmış ve humik asit, lizin HCL, glukonik asit karışımından oluşan katkı bileşenleri ile zenginleştirilmiş yavaş salımlı üre gübresinin kaplama kalınlığı görünümü

Figure 1. Coating thickness appearance of slow-release urea fertilizer coated with sodium alginate based biodegradable natural material and enriched with additive components consisting of humic acid, lysine HCl, and gluconic acid

Her iki gübre de 1/3'ü ekim öncesi tabana, 2/3'ü ise kardeşlenme döneminden sonra olacak şekilde bölünerek saksı toprağına karıştırılarak uygulanmıştır. Denemede gübrelerin N kullanım etkinliklerinin belirlenmesi öncelikli olduğu için P ve K gübre ihtiyacı, tek besinli gübreler olan TSP ve K₂SO₄ ile karşılanmıştır. Deneme planı; 2 farklı N'lu gübre x 4 doz x 3 tekrar = 24 saksıdan oluşmaktadır. Buğday bitkisi, 22 Aralık 2023 tarihinde çimlenmeye başlamıştır. Bitki gelişim evrelerine göre deneme takibi devam etmiş, ilk yaprak gelişiminin tamamlanması ile azotlu gübrelerin etkinliklerinin izlenebilmesi amacıyla haftalık agronomik ve klorofil indeksi (KI) ölçümlerine başlanmıştır. Klorofil indeksi ölçümleri, Field Scout CM 1000 klorofilmetre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler gün ortasında (11:00–13:00 saatleri arasında), doğrudan güneş ışığından kaçınılarak homojen ışık koşullarında yapılmıştır. Cihaz ile bitki

yaprakları arasındaki mesafe üretici firma talimatlarına uygun şekilde yaklaşık 30–40 cm olacak biçimde sabit tutulmuştur. Her saksıdan rastgele seçilen üç yapraktan üçer tekrar ölçüm alınmış ve tüm ölçümlerin ortalaması alınarak istatistiki olarak değerlendirilmiştir. Buğday başak oluşumu 01 Mart 2024 tarihinde başlamış, 17 Nisan tarihinde hasat gerçekleştirilmiştir. Buğday hasatı yapılırken, bazı agronomik ölçümler (bitki boyu, kök uzunluğu, yaş ve kuru kök, gövde, başak ağırlığı) alınmıştır. Buğday hasadı sırasında agronomik ölçümler standart tarla deneme metotlarına göre yapılmıştır (Tosun ve ark., 2006). Bitki boyu (cm); Buğday kök boğazından başak ucuna kadar cetvel ile ölçülmüştür. Kök uzunluğu (cm); Bitkiler saksılardan dikkatlice sökülüp toprak kalıntıları uzaklaştırıldıktan sonra kök boğazından uç kısmına kadar cetvelle ölçülmüştür. Kök, gövde ve başak ağırlıkları (g); Her bir saksıdaki bitkilerin kök, gövde ve

başak kısımları kesildikten sonra hassas terazi ile tartılmış, elde edilen değerler saksı bazında ortalamaya dönüştürülmüştür.

2.2. Yaprak besin analizi ve azot kullanım endeksi hesaplamaları

Yaprak analizleri, bitkiler çıktıktan 70 gün sonra fenolojik gelişim izlenerek farklı bitkilerden toplanan taze bayrak yaprak örneklerinde gerçekleştirildi. Yaprak örnekleri normal su ve saf su ile temizlendikten sonra 65-70 °C'de kurutulup, öğütülerek analize hazır hale getirildi. Hasat sırasında elde edilen dane örnekleri de kurutulmuş ve besin elementi analizlerinin yapılması için öğütülmüştür. Analize hazır hale getirilen tüm yaprak ve dane örneklerinde P, K, Na, Ca ve Mg kuru yakma ile (Kacar ve İnal, 2008) (4:1 oranında HNO₃ : HClO₄) elde edilen ekstrakta AAS ile ölçülerek bulundu. Yaprak N içeriği ise Kjeldahl yöntemine göre saptandı (Munter ve Grande, 1981; Kacar, 2009). Buğday dane olgunlaşma süreci tamamlandığında hasat edilmiş ve kalite parametresi olarak dane sayısı, verimi, protein içeriği, 1000 dane ağırlığı ölçülerek saptanmıştır. Dane verimi (kg da⁻¹); hasat sonrası belli bir alandan elde edilen dane ağırlığı kg da⁻¹'a çevrilerek verim olarak değerlendirilmiştir. Dane protein içeriği; dane örneklerinde belirlenen azot miktarları 5.71 katsayısı ile çarpılarak dane protein içeriği bulunmuştur. 1000 dane ağırlığı (g); hasat sonrası rastgele seçilen danelerden 100 adet sayılarak hesaplanmıştır. Ayrıca her iki gübre uygulaması için de bitki N alımı (g bitki⁻¹) ve agronomik N kullanım verimliliği (NUE) hesaplanmıştır (Agegehu ve ark., 2016; Gil-Ortiz ve ark., 2020). Bitki N alımı (g bitki⁻¹) = Bitki N içeriği x Kuru madde (g) NUE (kg kg⁻¹) = (Dane ağırlığı (gübreli) – Dane ağırlığı (gübresiz) / N'lu gübre uygulama miktarı

2.3. İstatistik analizler

Deneme, 2x4 faktöriyel deneme desenine göre (iki gübre uygulaması x dört doz) kurulmuş olup, veriler iki yönlü varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Analiz öncesinde verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro–Wilk testi, varyans

homojenliği ise Levene testi ile kontrol edilmiştir. ANOVA sonucunda gübre, doz ve gübrexdoz etkileşimi için istatistiksel anlamlılıklar test edilmiş; anlamlı bulunan farklılıkların belirlenmesinde Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Sonuçlar p<0.05 düzeyinde değerlendirilmiş, farklı gruplar tablo ve şekillerde harflerle gösterilmiştir. İstatistiksel analizler, JMP Pro 16 istatistik yazılım paketi (SAS Institute Inc., Cary, NC, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

Latro Kimya Dış Ticaret A.Ş tarafından üretilen yavaş salımlı N'lu gübrenin, çiftçi şartlarında sık kullanılan üreye göre ekmeçlik buğdayın bazı verim ve kalite kriterleri üzerine etkilerinin değerlendirildiği çalışmanın analiz bulguları aşağıda verilmiştir.

3.1. Buğdayın bazı gelişim parametreleri ve kalite kriterleri

Saksı başına bitki boyu, kök uzunluğu, kök yaş ve kuru ağırlığı, gövde yaş ve kuru ağırlığı, başak yaş ve kuru ağırlığı, bitki başına dane sayısı, 1000 dane ağırlığı, verim ve klorofil indeksi belirlenmiş, istatistik analizleri yapılmıştır (Tablo 2 ve 3). Ayrıca bitki başına N alımı ve agronomik N kullanım verimliliği (NUE) hesaplamaları da yapılarak istatistik olarak değerlendirilmiştir. Kök yaş ağırlığı üzerine yapılan varyans analizinde hem uygulama hem de doz faktörlerinin etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Geleneksel üre (GÜ) uygulamasında ortalama kök yaş ağırlığı 21.7 g iken, YSÜ uygulamasında 16.1 g değerine ulaşılmış ve bu farklılık istatistik olarak anlamlı bulunmuştur (F=17.6; p<0.01). Doz faktöründe ise 8 kg da⁻¹ N uygulaması ile en yüksek kök yaş ağırlığı (23.0 g), 16 kg da⁻¹ uygulamasında ise en düşük değer (15.2 g) elde edilmiştir. Dozlar arasındaki bu farklılığın istatistik olarak anlamlı (F=6.27; p<0.01) olduğu izlenmektedir. Başak yaş ağırlığı üzerine yapılan varyans analizinde doz faktörünün etkisi istatistik olarak anlamlı bulunmuştur (F=22.41; p<0.01). Doz ortalamaları incelendiğinde, en yüksek başak

yaş ağırlığı 14.3 g ile 16 kg da⁻¹ dozunda, en düşük değer ise 12.7 g ile kontrol (0 kg da⁻¹) dozunda elde edilmiştir. Gövde yaş ağırlığı üzerine doz faktörünün etkisinin istatistiki olarak anlamlı (F=56.64; p<0.01) bulunduğu, doz ortalamaları incelendiğinde ise en yüksek gövde yaş ağırlığının (12.0 g) 16 kg da⁻¹ ve 24 kg da⁻¹ uygulamalarından elde edildiği görülmektedir. En düşük gövde yaş ağırlığı (9.3 g) ise kontrol (0 kg da⁻¹) dozunda belirlenmiştir. Kök kuru ağırlığı üzerine doz, uygulama ve uygulama × doz etkileşiminin istatistiki olarak anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Başak kuru ağırlığı üzerine ise

doz faktörünün etkisi istatistiki olarak anlamlıdır (F=17.19; p<0.01) ve doz ortalamaları incelendiğinde, en yüksek başak kuru ağırlığının (14.1 g) 16 kg da⁻¹ dozunda, en düşük ise (12.4 g) kontrol (0 kg da⁻¹) uygulamasında elde edilmiştir. Gövde kuru ağırlığı üzerine doz faktörünün etkisi istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur (F=10.24; p<0.01). Doz ortalamalarına göre en yüksek gövde kuru ağırlığı (9.0 g) 16 kg da⁻¹ uygulamasında, en düşük (7.59 g) ise kontrol (0 kg da⁻¹) saksılarında yetişen buğdaylardan elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Yavaş salımlı ve geleneksel üre gübrelere farklı dozlarda uygulamalarının buğday kök, gövde, başak yaş ve kuru ağırlıkları üzerine etkisi

Table 2. Effects of different doses of slow-release and conventional urea fertilizers on root, stem, and ear fresh and dry weights of wheat

Doz	Kök yaş ağırlığı (g)			Başak yaş ağırlığı (g)			Gövde yaş ağırlığı (g)		
	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.
0 kg da ⁻¹	19.8 ±1.62	19.8 ±1.62	19.8AB ±1.02	12.7 ±0.08	12.7 ±0.08	12.7B ±0.05	9.3 ±0.14	9.3 ±0.14	9.3C ±0.09
8 kg da ⁻¹	25.6 ±3.50	20.4 ±0.47	23.0A ±1.96	14.1 ±0.19	13.6 ±0.07	13.8A ±0.16	11.1 ±0.24	11.2 ±0.26	11.2B ±0.16
16 kg da ⁻¹	19.2 ±1.38	11.1 ±1.72	15.2C ±2.07	14.0 ±0.22	14.5 ±0.22	14.3A ±0.17	12.1 ±0.06	11.9 ±0.35	12.0A ±0.17
24 kg da ⁻¹	22.1 ±2.13	13.0 ±1.07	17.6BC ±2.29	14.1 ±0.15	14.2 ±0.42	14.2A ±0.20	11.9 ±0.39	12.2 ±0.12	12.0A ±0.20
Ort.	21.7A ±1.24	16.1B ±1.35	18.9	13.7 ±0.19	13.8 ±0.23	13.8	11.1 ±0.35	11.1 ±0.35	11.1
F Uygulama	17.6		**	0.003			0.03		
F Doz	6.27		**	22.4		**	56.6		**
F Uygulama x Doz	2.35			2.15			0.43		
Doz	Kök kuru ağırlığı (g)			Başak kuru ağırlığı (g)			Gövde kuru ağırlığı (g)		
	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.
0 kg da ⁻¹	1.95 ±0.09	1.95 ±0.09	1.95 ±0.08	12.4 ±0.11	12.4 ±0.11	12.4C ±0.14	7.59 ±0.18	7.59 ±0.18	7.59B ±0.14
8 kg da ⁻¹	2.10 ±0.07	1.50 ±0.29	1.80 ±0.18	13.9 ±0.10	13.5 ±0.08	13.7AB ±0.19	8.67 ±0.12	8.41 ±0.11	8.54A ±0.18
16 kg da ⁻¹	2.02 ±0.16	1.48 ±0.09	1.75 ±0.12	13.8 ±0.21	14.3 ±0.20	14.1A ±0.19	8.94 ±0.19	9.00 ±0.20	8.97A ±0.24
24 kg da ⁻¹	1.77 ±0.06	2.27 ±0.68	2.02 ±0.35	13.3 ±0.56	13.7 ±0.24	13.5B ±0.34	8.38 ±0.42	8.64 ±0.42	8.51A ±0.28
Ort.	1.96 ±0.12	1.80 ±0.26	1.88	13.3 ±0.21	13.5 0.26	13.4	8.39 ±0.17	8.41 ±0.23	8.40
F Uygulama	0.70			0.56			0.006		
F Doz	0.42			17.19		**	10.24		**
F Uygulama x Doz	1.78			1.29			0.353		

*: % 5, **: % 1 seviyesinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Farklı küçük harflerle (a, b, c ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama × doz etkileşimi bakımından, aynı satırda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama bakımından ve aynı sütunda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında doz bakımından istatistiki olarak anlamlı fark vardır (p<0.05).

Bitki boyu üzerine yapılan varyans analizinde uygulamaların etkisi istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur (F=4.92; p<0.05). Yavaş salımlı üre (YSÜ) uygulamasında ortalama bitki boyu 61.6 cm iken, GÜ uygulamasında 59.5 cm olarak belirlenmiştir. Ayrıca kök uzunluğu üzerine de dozların etkisi anlamlı bulunmuştur (F=4.34; p<0.05). En yüksek kök uzunluğu (39.2 cm), kontrol (0 kg da⁻¹) uygulamasında, en düşük değer ise (29.8 cm) 16 kg da⁻¹ gübre dozu ile elde edilmiştir.

Buğday dane sayısı üzerine dozun etkisi yüksek düzeyde anlamlı bulunmuştur (F=13.31; p<0.01). En yüksek dane sayısı (246 adet) ile 16 kg da⁻¹ dozunda, en düşük (201 adet) ise kontrol (0 kg da⁻¹) uygulamasında elde edilmiştir. Buğday dane sayısı üzerine uygulama × doz etkileşimi de istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur (F=3.60; p<0.05). Ancak 1000 dane ağırlığı üzerine incelenen faktörlerin etkisinin istatistiki olarak anlamlı olmadığı izlenmektedir.

Tablo 3. Farklı gübre uygulamalarının buğday bitki boyu, kök uzunluğu, dane sayısı ve verimi, 1000 dane ağırlığı, protein içeriği, N alımı ve NUE üzerine etkileri ölçüm sonuçları

Table 3. Measurement results of the effects of different fertilizer applications on wheat plant height, root length, grain number and yield, 1000-grain weight, protein content, N uptake, and NUE

Doz	Bitki boyu (cm)			Kök (cm)			Dane sayısı			1000 dane ağırlığı (g)		
	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.
0 kg da ⁻¹	59.7bc ±1.55	59.7bc ±1.55	59.7 ±0.98	39.2 ±1.59	39.2 ±1.59	39.2A ±1.01	201d ±1.74	201d ±1.74	201C ±1.10	47.0 ±0.85	47.0 0.85	47.0 ±0.49
8 kg da ⁻¹	56.2c ±0.95	64.7a ±1.07	60.4 ±1.99	26.3 ±2.60	37.3 ±2.03	31.8B ±2.87	234bc ±2.96	216cd ±1.76	225B ±4.45	46.3 ±0.68	47.5 ±0.31	46.9 ±0.36
16 kg da ⁻¹	60.9ab ±1.06	61.6ab ±1.64	61.2 ±0.88	31.0 ±1.15	28.7 ±5.21	29.8B ±2.44	234bc ±12.44	258a ±13.08	246A ±9.65	46.4 ±0.74	45.2 ±0.36	45.8 ±0.52
24 kg da ⁻¹	61.2ab ±1.94	60.6b ±0.29	60.9 ±0.89	34.3 ±1.67	31.0 ±3.61	32.7B ±1.93	220bcd ±6.64	240ab ±6.00	230B ±5.95	46.4 ±0.58	50.0 ±1.12	48.2 ±0.82
Ort.	59.5B ±0.85	61.6A ±0.78	60.6	32.7 ±1.61	34.0 ±1.96	33.4	222 ±5.17	229 ±7.32	226	46.5 ±0.33	47.4 ±0.63	47.0
F Uygulama	4.92			0.47			1.44			0.54		
F Doz	0.50			4.34			13.31			0.59		
F Uygulama x Doz	5.00			*			3.60			*		
Doz	Dane verimi (kg ha ⁻¹)			Protein (%)			N alımı (gr bitki ⁻¹)			NUE (kg kg ⁻¹)		
	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.
0 kg da ⁻¹	408 ±36.2	408 ±36.2	408 ±22.9	12.88 0.30	12.88 ±0.30	12.88B	0.79 ±0.02	0.79 ±0.02	0.79C			
8 kg da ⁻¹	390 ±32.1	425 ±22.4	408 ±19.2	14.04 0.09	13.78 ±0.55	13.91A	0.99 ±0.04	1.06 ±0.02	1.02B	2.23ab	1.83bc	2.03
16 kg da ⁻¹	377 ±64	506 ±59.5	441 ±39.4	13.99 0.19	14.31 0.05	14.15A	1.20 ±0.04	1.18 ±0.02	1.19A	1.61c	2.51a	2.06
24 kg da ⁻¹	405 ±39.6	510 ±20.3	458 ±30.7	14.26 0.28	14.26 0.26	14.26A	1.15 ±0.04	1.27 ±0.11	1.21A	1.56c	1.93bc	1.74
Ort.	395B ±13.9	462A ±21.3	429	13.79 0.19	13.81 0.23	13.80	1.03 ±0.05	1.07 ±0.06	1.05	1.80 ±0.16	2.09 ±0.17	1.94
F Uygulama	7.42			*			1.57			3.81		
F Doz	1.02			9.34			34.8			1.78		
F Uygulama x Doz	1.48			0.80			1.01			6.36		

*: % 5, **: % 1 seviyesinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Farklı küçük harflerle (a, b, c ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama × doz etkileşimini bakımından, aynı satırda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama bakımından ve aynı sütunda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında doz bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0.05).

Dane verimi üzerine uygulamaların etkili olduğu (F=7.42; p<0.05), YSÜ uygulamasında ortalama dane verimi 462 kg ha⁻¹, GÜ uygulamasında ise 395 kg ha⁻¹ olduğu görülmektedir. Protein içeriği üzerine dozların etkisi istatistiki olarak yüksek düzeyde anlamlı bulunmuştur (F=9.34; p<0.01). Doz ortalamaları incelendiğinde, en düşük protein

(%12.88) içeriği kontrol (0 kg da⁻¹) dozunda, en yüksek ise 8, 16 ve 24 kg da⁻¹ N uygulamalarında (sırasıyla %13.91, %14.15 ve %14.26) elde edilmiştir. Azot alımı açısından dozların büyük oranda etki (F=34.79; p<0.01), en yüksek N alımının (1.21 g bitki⁻¹) 24 kg da⁻¹ dozunda, en düşük alımın (0.79 g bitki⁻¹) ise kontrol (0 kg da⁻¹) uygulamasında

gerçekleşmiştir. Azot kullanım verimliliği (NUE) üzerine ise uygulama × doz etkileşimi istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur (F=6.36; p<0.05). En yüksek NUE değeri (2.51 kg kg⁻¹)

YSÜ'nin 16 kg da⁻¹ uygulaması ile elde edilirken, en düşük değerin (1.56 kg kg⁻¹) ise GÜ gübresinin 24 kg da⁻¹ uygulamasından elde edildiği izlenmektedir (Tablo 3).

Tablo 4. Farklı gübre uygulamalarının buğday klorofil indeksi üzerine etkileri

Table 4. Effects of different fertilizer applications on chlorophyll index of wheat

Doz	KI		Ort.
	GÜ	YSÜ	
0 kg da ⁻¹	83 ±3.28	83 ±3.28	83D ±2.07
8 kg da ⁻¹	94 ±2.80	103 ±5.89	98C ±3.52
16 kg da ⁻¹	114 ±5.13	139 ±6.74	127B ±6.69
24 kg da ⁻¹	148 ±7.96	163 0.75	155A ±4.97
Ort.	110B ±7.74	122A ±9.59	116
F Uygulama	11.97		**
F Doz	81.76		**
F Uygulama x Doz	2.179		

*: % 5, **: % 1 seviyesinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Farklı küçük harflerle (a, b, c ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama × doz etkileşimini bakımından, aynı satırda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama bakımından ve aynı sütunda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında doz bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0.05).

Klorofil indeksi (KI) yönünden hem uygulama faktörünün hem de doz faktörünün etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (sırasıyla F=11.97; p<0.01 ve F=81.76; p<0.01). Yavaş salımlı üre (YSÜ) uygulamasında ortalama KI değeri 122 olarak belirlenirken, granül üre (GÜ) uygulamasında bu değer 110 olmuştur. Bu sonuç, YSÜ uygulamasının kalite parametreleri açısından daha olumlu bir etki yarattığını göstermektedir. Doz ortalamaları incelendiğinde, en yüksek klorofil indeksi (KI) değeri 155 ile 24 kg da⁻¹ dozunda elde edilmiştir. Buna karşılık, en düşük KI değeri 83 ile kontrol grubunda (0 kg da⁻¹ dozunda) kaydedilmiştir. Bulgular, artan gübre dozlarının KI değerini anlamlı biçimde yükselttiğini, ancak bu etkinin YSÜ gübre uygulamasında daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, YSÜ'nin daha dengeli N salımı sayesinde buğdayın kalite parametreleri üzerinde daha sürdürülebilir ve olumlu etkiler yarattığını düşündürmektedir (Tablo 4)

3.2. Buğday besin element içerikleri

Buğday hasat sonrası kök, gövde ve başak olarak 3 bölüme ayrılmış ve her kısmın bitki

besin element içerikleri ayrı ayrı belirlenmiştir (Tablo 5,6 ve 7). Ayrıca başak kısmından elde edilen danelerin de besin element içerikleri saptanmıştır (Tablo 8). Buğday köklerinin N içerikleri üzerine dozun etkisi istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur (F=11.96; p<0.01). En yüksek (%1.22 ve %1.37) 16 kg da⁻¹ ve 24 kg da⁻¹ uygulama dozlarından elde edilirken, en düşük (%0.69) kontrol (0 kg da⁻¹) saksılarından yetişen buğday köklerinde saptanmıştır. Kök P içeriği üzerine faktörlerin etkileri istatistiki olarak anlamlı bulunmazken, kök K içeriğine dozların etkisi anlamlı bulunmuştur (F=4.18; p<0.05). En yüksek kök K içeriği (%0.21) 16 kg da⁻¹ uygulaması ile en düşük (%0.14) ise kontrol (0 kg da⁻¹) saksılarından elde edilen köklerde belirlenmiştir. Kök Ca içeriği üzerine uygulama × doz etkileşimi anlamlıdır (F=4.70; p<0.05) ve en yüksek (%0.37) YSÜ gübresinin 24 kg da⁻¹ uygulamasında, en düşük (%0.25) ise GÜ gübresinin 24 kg da⁻¹ uygulaması ile elde edilmiştir. Kök Mg içeriği üzerine doz faktörünün etkisi sınırlı düzeyde anlamlılık göstermiştir (F=3.21; p≈0.05); en yüksek (%0.22) kontrol ve 8 kg da⁻¹ uygulamalarından, en düşük (%0.19) ise 16 kg

da⁻¹ uygulama dozunda saptanmıştır. Kök Na içerikleri üzerine ise dozun etkisi belirgindir (F=26.95; p<0.01). En yüksek kök Na içeriği (364 mg kg⁻¹) 16 kg da⁻¹ uygulamasından, en

düşük (230 mg kg⁻¹) ise kontrol (0 kg da⁻¹) saksılarından elde edilen köklerde belirlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Farklı gübre uygulamalarının buğday kök besin elementi içerikleri üzerine etkisi

Table 5. Effects of different fertilizer applications on nutrient element contents of wheat roots

Doz	N (%)			P (mg kg ⁻¹)			K (%)		
	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.
0 kg da ⁻¹	0.69 ±0.03	0.69 ±0.03	0.69B ±0.02	540 ±9.49	540 ±9.49	540 ±6.00	0.14 ±0.01	0.14 ±0.01	0.14B ±0.00
8 kg da ⁻¹	0.82 ±0.04	1.06 ±0.10	0.94B ±0.07	572 ±16.92	547 ±18.50	560 ±12.52	0.16 ±0.01	0.17 ±0.02	0.17AB ±0.01
16 kg da ⁻¹	1.23 ±0.06	1.21 ±0.05	1.22A ±0.04	590 ±49.43	561 ±28.73	575 ±26.38	0.19 ±0.00	0.22 ±0.04	0.21A ±0.02
24 kg da ⁻¹	1.31 ±0.10	1.43 ±0.30	1.37A ±0.14	558 ±35.20	579 ±32.38	569 ±21.90	0.18 ±0.03	0.19 ±0.01	0.19A ±0.01
Ort.	1.01 ±0.08	1.10 ±0.11	1.05	565 ±14.65	557 ±11.19	561	0.17 ±0.01	0.18 ±0.01	0.18
F Uygulama	0.919			0.17			0.38		
F Doz	11.96			**			4.18		
F Uygulama x Doz	0.493			0.34			0.11		
	Ca (%)			Mg (%)			Na (mg kg ⁻¹)		
	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.
0 kg da ⁻¹	0.30bc ±0.01	0.30bc ±0.01	0.30 ±0.01	0.22 ±0.00	0.22 ±0.00	0.22A 0.00	230 ±8.85	230 ±8.85	230C ±5.60
8 kg da ⁻¹	0.34ab ±0.04	0.32ab ±0.01	0.33 ±0.02	0.22 ±0.01	0.21 ±0.01	0.22A ±0.01	286 ±27.91	320 ±7.50	303B ±14.99
16 kg da ⁻¹	0.33ab ±0.01	0.31abc ±0.01	0.32 ±0.01	0.19 ±0.01	0.19 ±0.01	0.19B ±0.00	360 ±14.17	368 ±19.83	364A ±11.06
24 kg da ⁻¹	0.25c ±0.02	0.37a ±0.03	0.31 ±0.03	0.19 ±0.03	0.22 ±0.00	0.21AB ±0.01	334 ±18.58	371 ±17.23	353A ±14.01
Ort.	0.31 ±0.01	0.33 ±0.01	0.32	0.21 ±0.01	0.21 ±0.00	0.21	302 ±16.99	322 ±18.32	312
F Uygulama	1.66			0.18			2.82		
F Doz	0.71			3.21			*		
F Uygulama x Doz	4.70			*			0.61		

*, % 5, **: % 1 seviyesinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Farklı küçük harflerle (a, b, c ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama × doz etkisi bakımından, aynı satırda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama bakımından ve aynı sütunda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında doz bakımından istatistiki olarak anlamlı fark vardır (p<0.05).

Buğday gövde örneklerinin N içerikleri üzerine doz faktörünün etkisi istatistiki olarak yüksek düzeyde anlamlı bulunmuştur (F=81.8; p<0.01). En yüksek (%0.75) 24 kg da⁻¹ dozunda, en düşük (%0.41) ise kontrol (0 kg da⁻¹) uygulamasında elde edilmiştir. Gövde P içeriğinde de doz faktörünün etkisi anlamlı (F=13.20; p<0.01) olup; en yüksek (247 mg kg⁻¹) 24 kg da⁻¹, en düşük (190 mg kg⁻¹) ise 8 kg da⁻¹ dozunda belirlenmiştir. Gövde K içeriği üzerine gübre uygulamalarının (F=5.30; p<0.05) ve doz faktörünün (F=14.65; p<0.01) etkisi istatistiki olarak anlamlıdır. En yüksek (%0.46) gövde K içeriği 16 kg da⁻¹ uygulama dozunda, en düşük (%0.40) ise kontrol (0 kg da⁻¹) buğdaylarında tespit edilmiştir. Gövde Ca

içeriği üzerine de doz faktörünün etkisi yüksek düzeyde anlamlı (F=94.40; p<0.01) bulunmuştur. En yüksek (878 mg kg⁻¹) 24 kg da⁻¹, en düşük (453 mg kg⁻¹) ise kontrol (0 kg da⁻¹) uygulamasında belirlenmiştir. Gövde Mg içeriği üzerine de doz faktörünün etkisi anlamlıdır (F=13.87; p<0.01). En yüksek (%0.51) 24 kg da⁻¹, en düşük (%0.17) ise kontrol (0 kg da⁻¹) dozunda elde edilmiştir. Gövdenin Na içeriği üzerine ise hem uygulama (F=11.38; p<0.01) hem de doz faktörleri (F=14.97; p<0.01) istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. En yüksek (104.8 mg kg⁻¹) gövde Na içeriği, GÜ gübresinin 24 kg da⁻¹ uygulama dozunda saptanmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Farklı gübre uygulamalarının buğday gövde besin elementi içerikleri üzerine etkisi**Table 6.** Effects of different fertilizer applications on nutrient element contents of wheat stems

Doz	N (%)			P (mg kg ⁻¹)			K (%)		
	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.
0 kg da ⁻¹	0.41 ±0.02	0.41 ±0.02	0.41D ±0.01	191 ±1.84	191 ±1.84	191B ±1.16	0.40 ±0.01	0.40 ±0.01	0.40B ±0.01
8 kg da ⁻¹	0.46 ±0.02	0.53 ±0.04	0.49C ±0.03	189 ±9.87	190 ±3.15	190B ±4.63	0.43 ±0.00	0.46 ±0.01	0.44A ±0.01
16 kg da ⁻¹	0.65 ±0.01	0.65 ±0.01	0.65B ±0.01	205 ±13.20	218 ±9.00	211B ±7.70	0.46 ±0.01	0.46 ±0.01	0.46A ±0.00
24 kg da ⁻¹	0.76 ±0.03	0.75 ±0.02	0.75A ±0.01	242 ±19.18	251 ±11.21	247A ±10.14	0.43 ±0.02	0.47 ±0.01	0.45A ±0.01
Ort.	0.57 ±0.04	0.58 ±0.04	0.58	207 ±8.40	212 ±8.19	210	0.43B ±0.01	0.45A ±0.01	0.44
F Uygulama	0.90			0.57			5.30		
F Doz	81.8			** 13.20			** 14.65		
F Uygulama x Doz	1.29			0.19			1.79		
	Ca (mg kg ⁻¹)			Mg (%)			Na (mg kg ⁻¹)		
	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.
0 kg da ⁻¹	453 ±14.17	453 ±14.17	453D ±8.96	0.17 ±0.00	0.17 ±0.00	0.17C ±0.00	43.9 ±6.18	43.9 ±6.18	43.9B ±3.91
8 kg da ⁻¹	595 ±12.25	652 ±28.33	623C ±17.92	0.17 ±0.02	0.30 ±0.02	0.24BC ±0.02	65.2 ±10.22	48.2 ±5.67	56.7B ±6.46
16 kg da ⁻¹	822 ±28.33	765 ±49.07	793B ±28.33	0.27 ±0.02	0.36 ±0.01	0.32B ±0.02	79.3 ±2.83	68.0 ±8.50	73.7A ±4.74
24 kg da ⁻¹	878 ±28.33	878 ±28.33	878A ±17.92	0.52 ±0.01	0.50 ±0.01	0.51A ±0.01	104.8 ±2.83	68.0 ±8.50	86.4A ±9.16
Ort.	687 ±52.53	687 ±49.31	687	0.28 ±0.01	0.33 ±0.01	0.31	73.3A ±7.19	57.0B ±4.57	65.2
F Uygulama	0.05			1.58			11.38		
F Doz	94.4			** 13.87			** 14.97		
F Uygulama x Doz	1.42			0.85			2.54		

*: % 5, **: % 1 seviyesinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Farklı küçük harflerle (a, b, c ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama × doz etkileşimi bakımından, aynı satırda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama bakımından ve aynı sütunda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında doz bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0.05).

Başak N içeriği üzerine hem uygulama (F=5.98; p<0.05) hem de doz faktörleri (F=46.96; p<0.01) istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. En yüksek (%1.17) başak N içeriği YSÜ gübresinin 24 kg da⁻¹ dozunda elde edilmiştir. Başak P içeriği üzerine doz faktörü anlamlı (F=7.01; p<0.01) bulunurken, K'a uygulama (F=32.14; p<0.01), doz faktörleri (F=32.99; p<0.01) ve uygulama × doz etkileşimi (F=13.90; p<0.01) anlamlı düzeyde etki etmiştir. En yüksek (305 mg kg⁻¹) başak P içeriği 24 kg da⁻¹ uygulamasında, en düşük (225 mg kg⁻¹) ise 0 ve 8 kg da⁻¹ dozlarında belirlenmiştir. Başak K içeriği ise en yüksek (%0.27) YSÜ gübresinin 24 kg da⁻¹ dozunda belirlenirken, en düşük (%0.16) 0 ve

8 kg da⁻¹ dozlarında tespit edilmiştir. Başak Ca ve Mg içeriği üzerine de dozların etkisi anlamlı (F=7.70; p<0.01 ve F=14.51; p<0.01) bulunmuştur. En yüksek (390 mg kg⁻¹) başak Ca içeriği 16 kg da⁻¹ uygulamasında, en düşük (283 mg kg⁻¹) ise kontrol (0 kg da⁻¹) saksılarından alınan başaklarda belirlenmiştir. Başak Mg içeriği ise en yüksek (%0.21) 24 kg da⁻¹ dozunda elde edilmiştir. Başak Na içeriği üzerine ise doz faktörünün etkisi sınırlı düzeyde anlamlılık göstermiştir (F=3.16; p≈0.05). En yüksek (51.0 mg kg⁻¹) başak Na içeriği, 16 kg da⁻¹ dozunun uygulandığı saksılarda yetişen buğdaylarda belirlenmiştir (Tablo 7).

Tablo 7. Farklı gübre uygulamalarının başak besin elementi içerikleri üzerine etkisi**Table 7.** Effects of different fertilizer applications on nutrient element contents of wheat ears

Doz	N (%)			P (mg kg ⁻¹)			K (%)		
	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.
0 kg da ⁻¹	0.64 ±0.01	0.64 ±0.01	0.64C ±0.01	225 ±5.68	225 ±5.68	225B ±3.59	0.16d ±0.01	0.16d ±0.01	0.16C ±0.01
8 kg da ⁻¹	0.77 ±0.05	1.01 ±0.06	0.89B ±0.06	225 ±7.05	246 ±17.03	235B ±9.49	0.17cd ±0.01	0.16d ±0.01	0.17C ±0.01
16 kg da ⁻¹	1.12 ±0.07	1.10 ±0.06	1.11A ±0.04	242 ±11.91	250 ±11.87	246B ±7.77	0.17cd ±0.00	0.25b ±0.01	0.21B ±0.02
24 kg da ⁻¹	1.11 ±0.07	1.24 ±0.02	1.17A ±0.04	305 ±26.72	304 ±5.75	305A ±21.05	0.19c ±0.02	0.27a ±0.01	0.23A ±0.02
Ort.	0.91B ±0.07	0.99A ±0.07	0.95	249 14.43	256 ±10.02	253	0.17B ±0.01	0.21A ±0.02	0.19
F Uygulama	5.98		*	0.29			32.14		**
F Doz	46.96		**	7.01		**	32.99		**
F Uygulama x Doz	2.99			0.14			13.90		**
	Ca (mg kg ⁻¹)			Mg (%)			Na (mg kg ⁻¹)		
	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.
0 kg da ⁻¹	283 ±14.17	283 ±14.17	283B ±8.96	0.13 ±0.00	0.13 ±0.00	0.13B ±0.00	35.4 ±1.42	35.4 ±1.42	35.4B ±0.90
8 kg da ⁻¹	368 ±28.33	368 ±28.33	368A ±17.92	0.14 ±0.02	0.14 ±0.05	0.14B ±0.03	51.0 ±4.91	36.8 ±2.83	43.9AB ±4.06
16 kg da ⁻¹	368 ±28.33	411 ±14.17	390A ±17.06	0.22 ±0.01	0.18 ±0.03	0.20A ±0.02	53.8 ±10.22	48.2 ±2.83	51A ±4.91
24 kg da ⁻¹	368 ±28.33	368 ±28.33	368A ±17.92	0.22 ±0.01	0.20 ±0.02	0.21A ±0.01	51.0 ±9.81	48.2 ±2.83	49.6A ±4.61
Ort.	347 ±15.55	358 ±16.92	352	0.18 ±0.01	0.16 ±0.02	0.17	47.8 ±3.88	42.1 ±2.12	45.0
F Uygulama	0.391			2.244			2.03		
F Doz	7.696		**	14.51		**	3.16		*
F Uygulama x Doz	0.391			0.881			0.59		

*: % 5, **: % 1 seviyesinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Farklı küçük harflerle (a, b, c ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama × doz etkisi bakımından, aynı satırda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama bakımından ve aynı sütunda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında doz bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0.05).

Dane N içeriği üzerine doz faktörünün etkisi istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur (F=9.34; p<0.01). En yüksek (%2.5) dane N'u 16 ve 24 kg da⁻¹ dozlarında, en düşük (%2.3) ise kontrol (0 kg da⁻¹) saksılarından elde edilen buğday danelerinden elde edilmiştir. Dane P'u üzerine doz faktörünün etkisi anlamlıdır (F=4.35; p<0.05); en yüksek (250 mg kg⁻¹) 16 kg da⁻¹ uygulaması ile belirlenmiştir. Dane K içeriği üzerine de doz faktörü anlamlı

bulunmuştur (F=8.78; p<0.01). En yüksek (566 mg kg⁻¹) 24 kg da⁻¹, en düşük (408 mg kg⁻¹) ise kontrol (0 kg da⁻¹) uygulamasında saptanmıştır. Dane Ca'u üzerine faktörlerin etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmazken, Mg içeriği üzerine uygulama faktörünün etkisi anlamlıdır (F=5.21; p<0.05). En yüksek (%0.17) dane Mg içeriği YSÜ gübre uygulamalarından elde edilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Buğday dane besin elementi içerikleri**Table 8.** Nutrient element contents of wheat grains

Doz	N (%)			P (mg kg ⁻¹)			K (%)		
	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.
0 kg da ⁻¹	2.3 ±0.05	2.3 ±0.05	2.3B ±0.03	224 ±7.22	224 ±7.22	224C ±4.57	408 ±15.71	408 ±15.71	408B ±9.93
8 kg da ⁻¹	2.4 ±0.10	2.5 ±0.02	2.4A ±0.05	244 ±7.01	253 ±12.13	249AB ±6.60	471 ±14.30	534 ±31.42	503A ±19.87
16 kg da ⁻¹	2.5 ±0.01	2.5 ±0.03	2.5A ±0.02	248 ±1.62	253 ±8.71	250A ±4.11	534 ±31.42	534 ±31.42	534A ±19.87
24 kg da ⁻¹	2.5 ±0.05	2.5 ±0.05	2.5A ±0.03	235 ±5.98	229 ±14.42	232BC ±7.10	534 ±31.42	597 ±32.83	566A ±34.42
Ort.	2.4 ±0.04	2.4 ±0.03	2.4	238 ±3.78	240 ±6.21	239	487 ±18.65	518 ±26.58	503
F Uygulama	0.004			0.11			1.88		
F Doz	9.34			**			8.78		
F Uygulama x Doz	0.33			0.27			0.63		
	Ca (mg kg ⁻¹)			Mg (%)					
	GÜ	YSÜ	Ort.	GÜ	YSÜ	Ort.			
0 kg da ⁻¹	82 ±1.32	82 ±1.32	82 ±1.30	0.12 ±0.01	0.12 ±0.01	0.12 ±0.01			
8 kg da ⁻¹	83 ±1.62	84 1.44	84 ±1.31	0.13 ±0.01	0.21 ±0.08	0.17 ±0.04			
16 kg da ⁻¹	85 ±1.75	85 ±1.58	85 ±1.30	0.14 ±0.01	0.18 ±0.02	0.16 ±0.01			
24 kg da ⁻¹	85 ±1.81	86 ±1.75	86 ±1.34	0.12 ±0.00	0.18 ±0.02	0.15 ±0.02			
Ort.	84 ±1.60	84 1.57	84	0.12B ±0.00	0.17A ±0.02	0.15			
F Uygulama	0.34			5.21			*		
F Doz	1.05			1.10					
F Uygulama x Doz	0.13			0.73					

*: % 5, **: % 1 seviyesinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Farklı küçük harflerle (a, b, c ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama × doz interaksyonu bakımından, aynı satırda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında uygulama bakımından ve aynı sütunda farklı büyük harflerle (A, B, C ...) gösterilen ortalamalar arasında doz bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0.05).

4. Tartışma

Bu araştırma, farklı azotlu gübre formlarının buğdayda gelişim ve bazı kalite kriterleri (dane sayısı, 1000 dane ağırlığı, dane verimi ve protein içeriği) ile N alımı, azot kullanım etkinliği (NUE) ve verim bileşenleri üzerindeki etkilerinin kontrollü koşullarda değerlendirildiği model bir çalışmadır. Çalışmada, kök, gövde ve başak yaş/kuru ağırlıkları üzerine yapılan varyans analizleri, azot uygulamalarının bu parametreler üzerinde önemli etkiler yarattığını göstermektedir. Özellikle kök yaş ağırlığında uygulama faktörünün etkisi dikkat çekicidir. GÜ uygulamasında daha yüksek kök yaş ağırlığının elde edilmesi, N'un hızlı çözünebilir formda bulunarak köklerin erken dönemde daha yoğun gelişmesine yol açmış olabileceğini düşündürmektedir. Yavaş salımlı üre (YSÜ) uygulamasında ise N arzının daha yavaş gerçekleşmesi, kök gelişimini sınırlasa

da bitki için daha uzun süreli ve dengeli bir besin kaynağı sağlayabilir. Benzer şekilde Xu ve ark. (2021), farklı N formlarının kök gelişimini farklı yönlerde etkilediğini ve kontrollü salımlı gübrelerin kök biyokütlesini başlangıçta sınırlandırmakla birlikte uzun dönemde verim avantajı sağladığını belirlemişlerdir. Doz faktörü incelendiğinde, kök ve gövde yaş ağırlığında 8–16 kg da⁻¹ uygulamalarının öne çıkması, optimum N düzeyinin vegetatif gelişim için kritik olduğunu göstermektedir. Başak yaş ağırlığında ise 16 kg da⁻¹ dozunun en yüksek değeri sağlaması, generatif gelişimin bu doz düzeyinde en verimli şekilde desteklendiğini ortaya koymaktadır. Kontrol uygulamalarında (0 kg da⁻¹) tüm parametrelerde en düşük değerlerin elde edilmesi, N'un buğday biyokütlesi gelişiminde temel sınırlayıcı faktör olduğunu doğrulamaktadır. Bu bulgular, Zhu ve ark. (2020) ile Yan ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmalarla uyumlu olup, optimum N

dozlarının başak verimini ve biyokütleyi anlamlı şekilde artırdığı bildirilmiştir. Kuru ağırlıklarda da benzer eğilimlerin gözlenmesi, artan N dozlarının biyokütle akümülyasyonunu desteklediğini göstermektedir. Ancak kök kuru ağırlığında istatistiksel bir farkın olmaması, kök sisteminin saksı koşullarında sınırlı gelişim göstermesiyle açıklanabilir. Başak ve gövde kuru ağırlıklarının ise 16 kg da⁻¹ dozunda maksimuma ulaşması, bu dozun verim bileşenleri üzerinde kritik bir eşik oluşturduğunu göstermektedir. Nitekim, Ghafoor ve ark. (2022) kontrollü salımlı gübrelerin başak ve gövde kuru ağırlıklarını özellikle optimum dozlarda artırdığını, ancak fazla dozlarda bu etkinin sınırlı kaldığını rapor etmiştir. Genel olarak, N uygulamalarının buğdayın morfolojik ve biyokütle özellikleri üzerinde belirgin etkiler yarattığını, ancak bu etkinin uygulama şekli ve doza bağlı olarak farklılık gösterdiği izlenmektedir. YSÜ uygulamasının daha dengeli fakat nispeten yavaş etkiler göstermesi, kalite parametrelerine ve uzun dönem verimliliğe olumlu yansiyabilecek potansiyel bir avantaj sunabilir. Farklı gübre uygulamalarının buğday bitki boyu üzerine etkisinin anlamlı bulunması, N formunun bu parametre üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. YSÜ uygulamasında ortalama bitki boyunun GÜ'ye kıyasla daha yüksek bulunması, kontrollü salımlı gübrelerin bitkiye daha uzun süreli ve dengeli N arzı sağlamasıyla açıklanabilir. Ghafoor ve ark. (2022) de kontrollü salımlı gübrelerin vegetatif gelişimi destekleyerek bitki boyunu artırdığını rapor etmiştir. Kök uzunluğu açısından ise doz faktörünün etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. En yüksek kök uzunluğunun kontrol parsellerinde elde edilmesi, düşük N seviyelerinde köklerin toprak N'unu araştırma eğiliminde olmasından kaynaklanabilir. Buna karşın, özellikle 24 kg da⁻¹ dozunda kök uzunluğunun azalması, yüksek N varlığında kök sistemi gelişiminin sınırlanabileceğini düşündürmektedir. Bu bulgular, Xu ve ark. (2021)'un N fazlalığının kök morfolojisini baskıladığına dair sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Farklı N'lu gübre uygulamalarının dane sayısı üzerine de etkili olduğu belirlenmiştir.

Özellikle 16 kg da⁻¹ dozunda en yüksek dane sayısının elde edilmesi, optimum N düzeyinde generatif organ gelişiminin en verimli şekilde desteklendiğini göstermektedir. Ayrıca uygulama \times doz etkileşiminin anlamlı bulunması, N formu ile miktarının birlikte değerlendirilmesinin önemine işaret etmektedir. Bu durum, kontrollü salımlı gübrelerin optimum dozda uygulandığında, dane verimi bileşenlerinde belirgin avantajlar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık 1000 dane ağırlığında faktörlerin etkisinin istatistiksel olarak anlamlı bulunmaması, bu özelliğin daha çok genetik yapıya bağlı olabileceğini ve N'lu gübre uygulamalarından sınırlı şekilde etkilendiğini göstermektedir. Ancak dane veriminde uygulama faktörünün anlamlı bulunması, toplam verimde YSÜ uygulamasının GÜ'ye göre belirgin bir üstünlük sağladığını göstermektedir. Ortalama dane veriminin YSÜ'de %17 oranında daha yüksek bulunması, kontrollü salımlı gübrelerin verim artışında pratik bir avantaj sunduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Zhu ve ark. (2020), yavaş salımlı gübrelerin dane verimini konvansiyonel üreye kıyasla anlamlı düzeyde artırdığını bildirmiştir. Protein içeriğinde ise doz faktörünün yüksek düzeyde anlamlı bulunması, artan N seviyelerinin kalite parametreleri üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymaktadır. Kontrol parsellerinde en düşük protein oranı elde edilirken, 8-24 kg da⁻¹ doz aralığında ise değerlerin %14'ün üzerine çıkması, N'un gluten ve protein sentezinde kritik rolünü desteklemektedir. Bu bulgu, Zhang ve ark. (2022)'nin optimum N dozlarının buğdayda protein oranını anlamlı şekilde artırdığı yönündeki sonuçlarıyla da örtüşmektedir. Azot alımı ve kullanım etkinliği bulguları, çalışmanın en dikkat çekici noktaları arasındadır. Azot alımının artan dozlarla yükselmesi beklenen bir durumdur; ancak NUE'de uygulama \times doz etkileşiminin anlamlı bulunması, gübreleme stratejilerinde sadece doz değil, aynı zamanda N formunun da dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Özellikle YSÜ gübresinin 16 kg da⁻¹ dozunda en yüksek NUE değerinin sağlanması, optimum dozda yavaş salımlı gübrelerin N

kullanım verimliliğini artırarak hem verim hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından avantajlı olabileceğini işaret etmektedir. Ancak N alımının en yüksek olduğu YSÜ-24 ile agronomik NUE'nin en yüksek olduğu YSÜ-16 uygulamasının farklılık gösterdiği izlenmektedir. Bu karşıt desen, bitkilerin N alım kapasiteleri ile N'u dane verimine dönüştürme etkinlikleri arasındaki azalan marjinal getiri ve lüks tüketim kavramları çerçevesinde açıklanabilir. YSÜ-24 uygulaması ile yüksek N alımı olsa da bu alımın tamamı verim artışına yansımamış, kısmen lüks tüketim veya vejetatif dokularda aşırı birikim şeklinde gerçekleşmiştir. Buna karşılık YSÜ-16 daha sınırlı N alımına rağmen, aldığı N'u dane verimine dönüştürmede daha etkin davranmış ve bu nedenle agronomik NUE değerleri daha yüksek çıkmıştır. Bu bulgu, genotipler arası farklı N kullanım stratejilerinin hem mekanistik (N metabolizması, kaynak-tahsis dengesi) hem de agronomik (verim-protein etkileşimi, optimum gübreleme düzeyi) açıdan dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Zhang ve ark. (2022) da benzer şekilde, kontrollü salımlı gübrelerin optimum dozlarda N kayıplarını azalttığını ve NUE'yi artırdığını rapor etmiştir. Çalışmada, klorofil indeksi (KI) bakımından hem uygulama hem de doz faktörlerinin istatistiksel olarak önemli bulunması, N yönetiminin buğdayın fizyolojik durumu ve dolayısıyla kalite özellikleri üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir. YSÜ uygulamasında elde edilen ortalama KI değerinin GÜ uygulamasına kıyasla daha yüksek bulunması, kontrollü salımlı gübrelerin bitkiye N'u daha uzun süreli ve dengeli bir şekilde sağlamasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Yang ve ark. (2011) ve Zhang ve ark. (2022), yavaş salımlı N kaynaklarının yaprak klorofil içeriğini artırarak fotosentetik kapasiteyi ve verim bileşenlerini olumlu yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Doz faktörüne ilişkin bulgular da N'un klorofil sentezindeki kritik rolünü ortaya koymaktadır. En yüksek KI değerinin 24 kg da⁻¹ dozunda, en düşük değer ise kontrol grubunda elde edilmesi, artan N seviyelerinin yapraklarda klorofil oluşumunu

ve yeşil aksam gelişimini desteklediğini açıkça göstermektedir. Bununla birlikte, YSÜ uygulamasında artışın daha belirgin olması, bu gübre formunun özellikle yüksek dozlarda dahi bitkiye N arzını daha etkin şekilde düzenleyerek klorofil indeksini sürdürülebilir şekilde artırabildiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, Yang ve ark. (2011)'nin kontrollü salımlı gübrelerin klorofil indeksini konvansiyonel gübrelere göre daha yüksek seviyelerde tutabildiği yönündeki değerlendirmeleriyle de örtüşmektedir. Köklerin besin elementi içerikleri incelendiğinde, N dozlarının, kök N içeriği üzerinde belirgin etkiler yarattığı görülmektedir. Özellikle 16 ve 24 kg da⁻¹ dozlarında en yüksek N oranlarının elde edilmesi, bu seviyelerde bitkinin N'u daha etkin şekilde kök dokularında depoladığını göstermektedir. Buna karşılık, kontrol parsellerinde en düşük N içeriğinin kaydedilmesi, N'un kök gelişiminde sınırlayıcı unsur olduğunu doğrulamaktadır. Benzer şekilde, Zhang ve ark. (2022), optimum N uygulamalarında köklerde N birikiminin arttığını, bu durumun da bitkinin fotosentetik kapasitesini ve besin alım etkinliğini desteklediğini bildirmiştir. Kök P içeriği üzerinde uygulama ve dozların anlamlı bir etki göstermemesi, P'un çalışmada kullanılan gübreleme rejimiyle doğrudan desteklenmemiş olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca P alımının daha çok kök morfolojisi, toprak pH'sı ve mikorizal etkileşimlerle ilişkili olması nedeniyle N gübrelemesinden sınırlı derecede etkilendiğini düşündürmektedir. Kök K içeriğinde doz faktörünün etkisinin anlamlı bulunması, K alımının N ile kısmen etkileşimli olduğunu göstermektedir. Özellikle 16 kg da⁻¹ dozunda en yüksek değer elde edilmesi, N'un kök zarlarının geçirgenliği ve iyon taşınım mekanizmaları üzerinde olumlu rol oynayabileceğini düşündürmektedir. Nitekim, Ghafoor ve ark. (2022), N uygulamalarının köklerde K taşınımını artırarak bitki besin dengesine katkı sağladığını belirtmiştir. Kök Ca içeriğinde uygulama × doz etkileşiminin anlamlı bulunması ise gübre formunun Ca'un kök dokularındaki birikimini etkilediğini göstermektedir. YSÜ uygulamasının 24 kg

da⁻¹ dozunda en yüksek Ca içeriğinin saptanması, yavaş salımlı gübrelerin kök yüzeyinde iyon dengesi ve Ca tutulumu açısından daha uygun koşullar sağlayabileceğini göstermektedir. Buna karşılık, GÜ uygulamasında aynı dozda Ca içeriğinin daha düşük bulunması, hızlı çözünmenin kök çevresindeki iyon dengesi üzerine olumsuz etkili olabileceği şeklinde açıklanabilir. Kök Mg içeriği üzerinde doz faktörünün sınırlı düzeyde etkili olması, bu elementin N gübrelemesinden görece bağımsız hareket ettiğini göstermektedir. Özellikle kontrol ve düşük dozlarda nispeten yüksek değerlerin belirlenmesi, yüksek N uygulamalarının Mg alımını baskılayabileceğini düşündürmektedir. Kök Na içeriği üzerine doz faktörünün yüksek düzeyde anlamlı bulunması ise dikkat çekicidir. Gübre uygulamalarının 16 kg da⁻¹ dozunda en yüksek Na içeriğinin elde edilmesi, N uygulamalarının kök zar geçirgenliği ve iyon değişim kapasitesi üzerinden Na birikimini artırabileceğini göstermektedir. Bu durum, özellikle tuzluluk toleransı bağlamında önemli bir bulgudur; çünkü artan N uygulamaları köklerde Na birikimini tetikleyerek iyon dengesini değiştirebilir. Ghafoor ve ark. (2022), benzer şekilde, N'lu gübrelemenin tuzluluk koşullarında bitkilerin Na⁺ birikim desenlerini değiştirdiğini rapor etmiştir. Gövde N içeriğinin N dozlarına yüksek düzeyde duyarlı bulunması, bu elementin doğrudan uygulanan gübre miktarına bağlı olarak biriktiğini göstermektedir. Gübre uygulamalarının 24 kg da⁻¹ dozunda en yüksek N oranının elde edilmesi, bu seviyede bitki bünyesine daha fazla N alındığını ve gövdede depolandığını ortaya koymaktadır. Buna karşılık, kontrol uygulamasında en düşük değerlerin elde edilmesi, N'un buğdayda temel sınırlayıcı faktörlerden biri olduğunu doğrulamaktadır. Benzer şekilde, Zhu ve ark. (2020) kontrollü salımlı gübrelerin gövde N içeriğini artırarak bitki gelişimini desteklediğini bildirmiştir. Gövde P içeriğinde doz faktörünün etkisinin anlamlı bulunması, P alımının da N uygulamalarıyla kısmen ilişkili olduğunu göstermektedir. Özellikle 24 kg da⁻¹ dozunda

en yüksek değerlerin saptanması, artan N seviyelerinin kök yüzey alanını ve P alım kapasitesini artırmasıyla açıklanabilir. Bununla birlikte, 8 kg da⁻¹ dozunda daha düşük değerlerin kaydedilmesi, azot-fosfor etkileşiminin lineer olmayan bir ilişkiye sahip olduğunu düşündürmektedir. Gövde K içeriği de hem uygulama hem de doz faktörlerinin anlamlı bulunması, K birikiminin hem gübre formuna hem de uygulama miktarına bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. En yüksek değerlerin 16 kg da⁻¹ dozunda elde edilmesi, bu seviyenin K alımı için optimum koşulları sağladığını göstermektedir. Kontrol uygulamasında en düşük değerlerin bulunması ise N yetersizliğinin K alımını sınırladığını düşündürmektedir. Ghafoor ve ark. (2022) da benzer şekilde, N'lu gübrelemenin K taşınımını ve gövdedeki birikimini artırdığını rapor etmiştir. Gövde Ca içeriğinin artan dozlarla birlikte anlamlı derecede yükselmesi, N uygulamalarının ikincil besin elementlerinin alımını da teşvik edebileceğini göstermektedir. 24 kg da⁻¹ dozunda en yüksek Ca içeriğinin kaydedilmesi, buğday gövdelerinin yapısal güçlenmesine katkı sağlayan önemli bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Azotlu gübre uygulamaları ile bitki kök büyümesinin uyarabileceği, katyon değişim kapasitesinin artarak, K, Ca ve dolaylı olarak P alımını destekleyebileceği farklı çalışmalarda da bildirilmektedir (Gil-Ortiz ve ark., 2020; Ghafoor ve ark., 2022). Gövde Mg içeriğinde de benzer bir eğilim gözlenmiş ve artan N dozlarının bu elementin birikimini desteklediği belirlenmiştir. Özellikle 24 kg da⁻¹ N'lu gübre dozunda en yüksek Mg içeriğinin elde edilmesi, N'un kök membran geçirgenliği ve katyon taşınım mekanizmaları üzerinde olumlu etkiler yarattığını düşündürmektedir. Gövde Na içeriği bulguları ise daha farklı bir dinamik ortaya koymaktadır. Hem uygulama hem de doz faktörlerinin anlamlı etkileri, Na birikiminin gübre formuna ve miktarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Özellikle GÜ gübre uygulamasının 24 kg da⁻¹ uygulamasında en yüksek Na değerinin elde edilmesi, hızlı çözünen gübrelerin Na birikimini artırabileceğini ortaya koymaktadır. Bu durum, yüksek dozlarda geleneksel üre

uygulamalarının kök çevresinde iyon dengesini bozarak Na alımını tetikleyebileceğini düşündürmektedir. Dane N içeriğinin doz faktöründen yüksek düzeyde etkilenmesi, N'lu gübrelemenin protein sentezi için belirleyici olduğunu göstermektedir. Özellikle 16–24 kg da⁻¹ dozlarında en yüksek N konsantrasyonlarının elde edilmesi, optimum N seviyelerinin dane kalitesini artırdığını ortaya koymaktadır. Dane P ve K içerikleri de artan N dozlarıyla yükselmiş, özellikle 16 kg da⁻¹ (P) ve 24 kg da⁻¹ (K) uygulamalarında en yüksek değerler elde edilmiştir. Bu durum, N'un kök besin alımı ve besin taşınımı üzerine sinerjik etkiler yarattığını düşündürmektedir. Dane Ca içeriklerinde de anlamlı artışlar görülmesi, N'un ikincil besin elementleri üzerine de dolaylı katkılar sağlayabileceğini göstermektedir. Dane Mg konsantrasyonu üzerine ise YSÜ gübre uygulamasının GÜ'ye kıyasla etkili olduğu izlenmektedir. Tahıllarda yavaş salımlı N'lu gübre uygulamalarının arpa, mısır, pirinç veya buğdayda artan verim, dane makro ve mikro besin konsantrasyonu üzerine ise iyileşmelere neden olduğu farklı çalışmalarda da bildirilmektedir (Roshanravan ve ark., 2014; Dong ve ark., 2016; Hong ve ark., 2024). Bu bulgular, özellikle YSÜ gübresinin 16 kg da⁻¹ uygulamasında buğdayda N alımı ve dane protein içeriğinde yaklaşık %5–10 oranında artış, klorofil indeksi ve verim bileşenlerinde ise %10–15 düzeyinde kazanım sağlanabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu sonuçlar çalışmanın yürütüldüğü kontrollü koşullara özgüdür; farklı toprak tipleri, iklim koşulları ve buğday çeşitlerinde benzer etkilerin doğrulanması için çok lokasyonlu saha denemelerine ihtiyaç bulunmaktadır.

5. Sonuç

Çalışma, yavaş salımlı üre (YSÜ) ve geleneksel üre (GÜ) gübrelerinin buğdayın N alımı, dağılımı ve verim bileşenleri üzerine etkilerinin incelendiği model bir araştırmadır. Bulgular, özellikle sodyum aljinat bazlı, biyobozunur kaplama ile hazırlanan ve humik asit, lizin HCl, glukonik asit katkılarıyla zenginleştirilen YSÜ gübresinin 16 kg da⁻¹

uygulaması ile öne çıktığını göstermektedir. Ayrıca artan N dozları ile buğday bitkisinin farklı organlarında N'un yanısıra, P, K ve Ca içeriklerinin de arttığı belirlenmiştir. YSÜ gübre uygulaması, köklerde daha dengeli bir N temini sağlayarak besin elementlerinin alımını teşvik etmiş ve verim/kalite parametreleri üzerinde GÜ'ye kıyasla benzer veya daha yüksek değerler sağlamıştır. Bu çalışmanın tek yıl ve kontrollü sera koşullarında yürütülmüş olması, elde edilen bulguların farklı iklim, toprak ve çeşit koşullarına doğrudan genellenmesini sınırlamaktadır. Gelecekte yapılacak araştırmaların, farklı bileşen ve katkı maddeleriyle formüle edilen YSÜ gübrelerinin etkinliğini ortaya koyacak, uzun dönem performansını ve çevresel/ekonomik potansiyel etkilerini değerlendirecek şekilde planlanması önemlidir. Çok lokasyonlu tarla denemeleri, YSÜ uygulamalarının farklı yetiştirme ortamlarındaki geçerliliğini test etmeye ve daha güvenilir uygulama stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

- Abalos, D., Jeffery, S., Sanz-Cobena, A., Guardia, G., Vallejo, A., 2014. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 189: 136–144.
- Ab Rahman, S.F.S., Singh, E., Pieterse, C.M., Schenk, P.M., 2018. Emerging microbial biocontrol strategies for plant pathogens. *Plant Science*, 267: 102–111.

- Agegnehu, G., Nelson, P.N., Bird, M.I., 2016. The effects of biochar, compost and their mixture and nitrogen fertilizer on yield and nitrogen use efficiency of barley grown on a Nitisol in the highlands of Ethiopia. *Science of the Total Environment*, 569–570: 869–879.
- Chen, J., Lu, S., Zhang, Z., Zhao, X., Li, X., Ning, P., Liu, M., 2018. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment*, 613–614: 829–839.
- Conrad, J., 2000. Environmental policy regulation by voluntary agreements: Technical innovations for reducing use and emission of EDTA. *FFU Report*, 1–4.
- Crusciol, C.A.C., Almeida, D.S., Alves, C.J., Soratto, R.P., Krebsky, E.O., Spolidorio, E.S., 2019. Can micronized sulfur in urea reduce ammoniacal nitrogen volatilization and improve maize grain yield? *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19: 701–711.
- Daşkın, S., Alp, A., 2025. Farklı potasyum uygulama dozlarının buğday (*Triticum* spp.) verim ve kalite unsurları üzerine etkileri. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 9(1): 277–289.
- Dimkpa, C.O., Fugice, J., Singh, U., Lewis, T.D., 2020. Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency—Trends and perspectives. *Science of the Total Environment*, 731: 139113.
- Dong, Y.J., He, M.R., Wang, Z.L., Chen, W.F., Hou, J., Qiu, X.K., Zhang, J.W., 2016. Effects of new coated release fertilizer on the growth of maize. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16: 637–649.
- Eliş, S., Kızılgeçi, F., Sınır, E., Yıldırım, M., 2024. Yazlık ekimde ekmeçlik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinin fizyolojik, kalite ve verim özelliklerinin belirlenmesi. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 8(3): 612–620.
- Feng, J.F., Li, F.B., Deng, A.X., Feng, X.M., Fang, F.P., Zhang, W.J., 2016. Integrated assessment of the impact of enhanced-efficiency nitrogen fertilizer on N₂O emission and crop yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231: 218–228.
- Garcia, P.L., Sermarini, R.A., Trivelin, P.C.O., 2019. Placement effect of controlled-release and conventional urea blend in maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50: 2321–2329.
- Gasparin, E., Araujo, M.M., Saldanha, C.W., Tolfo, C.V., 2015. Controlled release fertilizer and container volumes in the production of *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan seedlings. *Acta scientiarum. Agronomy*, 37: 473–481.
- Ghafoor, I., Rahman, M.H., Hasnain, M.U., Ikram, R.M., Khan, M.A., Iqbal, R., Hussain, M.I., Sabagh, A.E., 2022. Effect of slow-release nitrogenous fertilizers on dry matter accumulation, grain nutritional quality, water productivity and wheat yield under an arid environment. *Scientific Reports*, 12(1): 1–10.
- Gil-Ortiz, R., Naranjo, M.Á., Ruiz-Navarro, A., Caballero-Molada, M., Atares, S., García, C., Vicente, O., 2020. New eco-friendly polymeric-coated urea fertilizers enhanced crop yield in wheat. *Agronomy*, 10: 438.
- Hochman, Z., Horan, H., 2018. Causes of wheat yield gaps and opportunities to advance the water-limited yield frontier in Australia. *Field Crops Research*, 228: 20–30.
- Hong, D., Chang, D., Shao, C., Cui, W., Lu, X., Dong, W., Fan, H., Wang, K., Liu, Y., 2024. Effects of polymer conditioner and nitrogen fertilizer application on nitrogen absorption and utilization of drip-irrigated wheat in arid areas. *Agronomy*, 14: 232.
- JMP®, 1989–2025. JMP® (Version 16) [Computer software]. SAS Institute Inc.

- Kaplan, L., Tlustos, P., Szakova, J., Najmanova, J., 2013. The influence of slow-release fertilizers on potted chrysanthemum growth and nutrient consumption. *Plant, Soil and Environment*, 59: 385–391.
- Kaygıner, E., 2023. Buğday (*Triticum L.*). *ISPEC Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1): 9–27.
- Naz, M.Y., Sulaiman, S.A., 2016. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: A review. *Journal of Controlled Release*, 225: 109–120.
- Osman, S.M., El-Rahman, A.E.M.A., 2009. Effect of slow release nitrogen fertilization on growth and fruiting of guava under Mid Sinai conditions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5(5): 4366–4375.
- Pack, J.E., Hutchinson, C.M., Simonne, E.H., 2006. Evaluation of controlled-release fertilizers for northeast Florida chip potato production. *Journal of Plant Nutrition*, 29: 1301–1313.
- Roshanravan, B., Soltani, S.M., Mahdavi, F., Rashid, S.A., Yusop, M.K., 2014. Preparation of encapsulated urea-kaolinite controlled release fertiliser and their effect on rice productivity. *Chemistry and Ecology*, 26: 249–256.
- Rahimizadeh, M., Kashani, A., Feizabadi, A.F., Koocheki, A.R., Nassiri, M.M., 2010. Nitrogen use efficiency of wheat as affected by preceding crop, application rate of nitrogen and crop residues. *Australian Journal of Crop Science*, 4: 363–368.
- Rahman, M.H., Ahmad, I., Wang, D., 2020. Influence of semi-arid environment on radiation use efficiency and other growth attributes of lentil crop. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 13697–13711.
- Sharma, I., Tyagi, B.S., Singh, G., Venkatesh, K., Gupta, O.P., 2015. Enhancing wheat production—A global perspective. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 85(1): 3–13.
- Shaviv, A., Mikkelsen, R.L., 1993. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation: A review. *Fertilizer Research*, 35: 1–12.
- Sher, A., Zhang, L.G., Noor, M.A., Nadeem, M., Ashraf, U., Baloch, S.K., Guo, P.Y., 2019. Nitrogen use efficiency in cereals under high plant density: manufacturing, management strategies and future prospects. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(4).
- Tosun, M., Yüce, S., Erkul, A., Ege, H., 2006. Kuru ve sulu koşullarda yetiştirilen buğdayın bazı agronomik ve kalite özelliklerinin direkt seleksiyona karşı indirekt seleksiyon etkinliği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(2): 53-62.
- Trenkel, M.E., 2010. Slow and controlled release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture (2nd ed.). International Fertilizer Industry Association.
- Xu, X., He, P., Wei, J., Cui, R., Sun, J., Qiu, S., Zhao, S., Zhou, W., 2021. Use of controlled-release urea to improve yield, nitrogen utilization, and economic return and reduce nitrogen loss in wheat-maize crop rotations. *Agronomy*, 11(4): 723.
- Yan, P., Dong, X., Lu, L., Fang, M., Ma, Z., Du, J., Dong, Z., 2022. Wheat yield and nitrogen use efficiency enhancement through poly(aspartic acid)-coated urea in clay loam soil based on a 5-year field trial. *Frontiers in Plant Science*, 13: 953728.
- Yang, C., Zhang, M., Zheng, L., Cheng, D., Liu, M., Geng, Q., 2011. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, yield, and quality of wheat. *Agronomy Journal*, 103(2): 479-485.
- Yang, L., Wang, L.G., Li, H., Qiu, J.J., Liu, H.Y., 2014. Impacts of fertilization alternatives and crop straw incorporation on N₂O emissions from a spring maize field in Northeastern China. *Journal of Integrative Agriculture*, 13: 881–892.

- Zhang, F.F., Gao, S., Zhao, Y.Y., Zhao, X.L., Liu, X.M., Xiao, K., 2015. Growth traits and nitrogen assimilation-associated physiological parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) under low and high N conditions. *Journal of Integrative Agriculture*, 14: 1295–1308.
- Zhang, G., Liu, S., Dong, Y., Liao, Y., Han, J., 2022. A nitrogen fertilizer strategy for simultaneously increasing wheat grain yield and protein content: Mixed application of controlled-release urea and normal urea. *Field Crops Research*, 277: 108405.
- Zhu, S., Liu, L., Xu, Y., Yang, Y., Shi, R., 2020. Application of controlled release urea improved grain yield and nitrogen use efficiency: A meta-analysis. *PLoS ONE*, 15(10): e0241481.

Atf Şekli: Bayız, O., Balli, E., Dinçer, E., Karaçay, Ö., Bayraktar, O., Çolak Esetlili, B., 2025. Yavaş Salımlı ve Geleneksel Üre Uygulamalarının Buğdayda Büyüme Dinamikleri ve Kalite Parametreleri Üzerine Karşılaştırmalı Etkileri. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 10(3): 569–587.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17007872>.

To Cite: Bayız, O., Balli, E., Dinçer, E., Karaçay, Ö., Bayraktar, O., Çolak Esetlili, B., 2025. The Comparative Effects of Slow-Release and Conventional Urea Applications on Growth Dynamics and Quality Parameters in Wheat. *MAS Journal of Applied Sciences*, 10(3): 569–587.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17007872>.
