

Farklı Nem İçeriklerindeki Siyez Buğdayı Tohumlarının Karbondioksit Değişimleri ve Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Hakan Kibar*

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tohum Bilimi ve Teknolojisi Bölümü, Bolu

Geliş tarihi (Received): 08.11.2018

Kabul tarihi (Accepted): 12.12.2018

Anahtar kelimeler:

Einkorn siyez buğdayı, karbondioksit değişimi, solunum hızı, nem içeriği

Özet. Bu çalışmada; farklı nem içeriklerindeki (%5, 10.5, 15, 20, 25) kavuzlu siyez buğdayı tohumlarında (*Triticum monococcum* L.) karbondioksit (CO₂) solunum hızında meydana gelen değişimler ve bazı mekanik özellikler araştırılmıştır. Tohumlar 10 °C' de 3 ay süreyle sıcaklık ve nem test kabini içinde depolanmıştır. Bu süre sonunda CO₂ değişimi %5, 10.5 ve 15 nem içeriklerinde 120 saat, %20 ve 25 nem içeriklerinde sırasıyla 26 ve 29 saat süreyle ölçüm yapılmıştır. Araştırmanın sonucunda %5, 10.5, 15, 20 ve 25 nem içeriklerindeki CO₂ düzeyleri sırasıyla 504-555, 510-578, 568-1074, 762-9999 ve 1500-9999 ppm olarak tespit edilmiştir. Minimum CO₂ solunum hızı 120. saatte %5 ve 10.5 nem içeriğinde 0.06 mgCO₂ kg⁻¹ h⁻¹ olarak belirlenmiştir. Maksimum CO₂ solunum hızı ise %25 nem içeriğinde 1. saatte 18.09 mgCO₂ kg⁻¹ h⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Artan nem içeriğine bağlı olarak mühendislik özelliklerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak tohumların yüksek nem içeriğinde bozulması hızlanarak depo iç ortamının çevresel koşulları (sıcaklık ve bağıl nem) olumsuz olarak etkilenebilecektir. Farklı nem içeriklerine sahip tohumlarda daha düşük solunum hızları %5 nem içeriğinde belirlenmiştir. Ancak depolamada %5'lik nem düzeyini sağlamak daha fazla soğutma veya havalandırma maliyetine neden olacağından siyez buğdayı tohumlarının %10.5 nem içeriğinde depolanması tohumların mühendislik özellikleri açısından önerilmektedir.

*Sorumlu yazar

hakan.kibar@ibu.edu.tr

Determination of Carbon Dioxide Changes and Some Mechanical Properties of Siyez Wheat Seeds in Different Moisture Content

Keywords:

Einkorn siyez wheat, carbon dioxide change, respiration rate, moisture content

Abstract. The changes in carbon dioxide (CO₂) respiration rate and some mechanical properties of unhulled siyez wheat (*Triticum monococcum* L.) in different moisture contents (5, 10.5, 15, 20, 25%) were investigated in this study. The seeds were stored in the temperature and moisture test chamber at 10 °C for 3 months. At the end of this period, CO₂ changes were measured throughout 120 hours at 5, 10.5 and 15% moisture contents and 26 and 29 hours at 20 and 25% moisture contents. As a result of the study, CO₂ levels of 5, 10.5, 15, 20 and 25% moisture contents were ranged 504-555 ppm, 510-578 ppm, 568-1074 ppm, 762-9999 ppm and 1500-9999 ppm, respectively. Minimum CO₂ respiration rate was determined as 0.06 mgCO₂ kg⁻¹ h⁻¹ in 5 and 10.5% moisture content at 120th hours. The maximum CO₂ respiration rate was determined as 18.09 mgCO₂ kg⁻¹ h⁻¹ at 1th hour in 25% moisture content. It was determined that the some engineering properties increased due to increased moisture content. Depending on the results obtained, the degradation of the seeds will accelerate and the indoor environmental conditions (temperature and relative humidity) in storage may be adversely affected by high moisture contents. The lower respiration rates in seeds with different moisture contents were determined at 5% moisture content. However, it is determined that the seeds of wheat can be stored in 10.5% moisture content since storage at 5% moisture content may cause more cooling or ventilation cost.

GİRİŞ

Siyez (*Triticum monococcum* L.) buğdayı, diploid (2n=14), kavuzlu primitif bir buğday türüdür. Bu buğday türü ticari olarak üretimi yapılan buğday türlerine göre fitokimyasallar (karotenoidler, tokoferoller, fenolik asitler), protein ve mineral madde miktarları açısından önemli üstünlüklere sahiptir (Hidalgo *et al.*, 2006; 2008).

Çölyak hastalığı, buğday gluteni (gliadinler) ve ona benzer yapı gösteren alkolde çözünebilir bazı arpa ve çavdar proteinlerine (prolaminler) karşı oluşan uygunsuz bağışıklık sistemi tepkilerinin ince bağırsakta düzensizliğe neden olmasıdır (Sollid and Khosla 2005). Günümüzde buğday gluteni ve ona benzer yapı gösteren bazı arpa ve çavdar proteinlerini içeren gıdaları tüketemeyen çölyak hastaları için uygulanan tek tedavi yöntemi ise glutensiz diyet ile beslenmeleridir. Yapılan bazı çalışmalar siyez buğdayının (*Triticum monococcum*) çölyak hastalığına (gluten intoleransı) sebep olan α -gliadin' deki aminoasit dizilimine sahip olduğunu belirtse de (Fasano and Catassi, 2001; Wieser 2001; Vaccino *et al.*, 2009), siyez buğdayının çölyak hastalığına sebep olan toksisiteye çeşide bağlı olarak az neden olduğu veya neden olmadığı yönünde çalışmalar da mevcuttur (De Vincenzi *et al.*, 1996; Pizzuti *et al.*, 2006; Vincentini *et al.*, 2007).

Tohum depolama ortamı, tohum yığnında yer alan biyolojik işlemlerin tohum için faydalı olacağı veya tohum kalitesini etkilemeyeceği şekilde kontrol edilmelidir. Tohum nem içeriği (MC), tohum biyolojik aktivitesini tanımlayan en önemli faktörlerden biridir (Kaleta and Gornicki 2013). Tohumların nemli ortamda kurak koşullara göre daha hızlı bozulduğu bilinmektedir. Kuru koşullarda, bazı tohumlar, iyi bir depolama ortamının sağlanması ile fazla bir kayıp olmadan, 10 yıl veya daha uzun süre depolanabilir. Buna bağlı olarak düşük nemli tohumlar düşük oranda solunum hızına sahip olabilir. Bununla birlikte, nem içeriği yüksek olan tohumlar genellikle daha yoğun CO₂ üretim oranlarına neden olan mikrobiyal işlemler için iyi bir ortamdır. Nemli bir ortamda ise tohumlar birkaç ay içinde bünyesindeki enzim aktiviteleri sonucunda canlılıklarını kaybedebilir (Robertson *et al.*, 1939). Tohum bozulması, tohumun kendisinin ve beraberindeki mikroorganizmaların solunması ile ilgilidir. Solunum ise karbondioksit, su buharı ve termal enerji üreten karbonhidrat oksidasyonu (yanma) işlemidir (Kaleta and Gornicki 2013).

Throneberry and Smith (1955), mısırdaki canlılık kaybının solunum oranı ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar tarafından tohumlarda

meydana gelen bozulma sürecinin depo ortamındaki sıcaklık ve tohumdaki su aktivitesi ile değişebileceğini, ancak koruma önlemlerinin alınması ve enzim aktivitelerinin kontrol altına alınması ile önlenebileceğini vurgulamıştır (Walters and Engels 1998; McDonald 1999; Murthy *et al.*, 2003; Kibinza *et al.*, 2006).

Taneli ürünler katı, sıvı ve gaz formunu bünyelerinde barındırdıkları için depolama koşulları büyük oranda temel mühendislik özelliklerine bağlıdır. Bu ürünlerin yeterli düzeyde muhafazaları için mühendislik uygulamaları açısından önemli temel mühendislik özelliklerinin arasındaki ilişkilerin bilinmesi gerekir. Bu açıdan tohumlar için önem arz eden bazı temel mühendislik özellikleri nem içeriği, tohum taneleri arasındaki içsel sürtünme ve kayma açısı ile tohum ve depo malzemesi arasındaki statik sürtünme katsayısıdır (Horabik and Molenda 1988).

Bu çalışmanın amacı, Kastamonu ili İhsangazi ilçesinden toplanan kavuzlu siyez einkorn buğdayı tohumlarının %5, 10.5, 15, 20 ve 25 nem içeriğinde CO₂ seviyesindeki değişime bağlı olarak solunum hızında meydana gelen değişimleri ve bazı mekanik özelliklerini (içsel sürtünme açısı, kayma açısı ve statik sürtünme katsayısı) araştırmaktır.

MATERYAL VE METOT

Araştırmada materyal olarak Kastamonu İli İhsangazi ilçesinde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ve 2017 yılı hasat sezonuna ait kavuzlu siyez buğdayı kullanılmıştır.

Siyez buğdayına ilişkin 10 g örnek 3 tekerrürlü olacak şekilde fırın kapları ile 130 °C'lik fırında 19 saat süre ile tutulmuştur. Bu sürenin sonunda fırından çıkarılan örnekler 30 dakika süre ile desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Mühendislik uygulamalarında kuru ağırlığa göre hesaplanan nem içeriği kullanıldığı için doğal nem içeriği aşağıda verilen Eşitlik 1 ve 2 yardımıyla belirlenmiştir (Bakker-Arkema 1999; ASAE 2008).

$$M_{w.b} = \left(\frac{W_w}{W_t} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$M_{d.b} = \left(\frac{W_{w.b}}{100 - M_{w.b}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Eşitliklerde;

$M_{w.b}$: Örneğin yaş ağırlığa göre doğal nem içeriği, (%)

W_w : Örneğin içerdiği su miktarı, ($W_{yaş} - W_{kuru}$) (g)

W_t : Örneğin toplam ağırlığı, (g)

$M_{d.b}$: Örneğin kuru baza göre doğal nem içeriği, (%)

Yukarıda verilen eşitlik yardımıyla kavuzlu tohum örneklerinde başlangıç nemi %10.5 olarak belirlenmiştir. Çalışmada %10.5 nem düzeyinin üzerinde %15, 20 ve 25 nem düzeyleri de ele alınmıştır. Atmosfer koşullarına bağlı olarak depo iç ortamında havalandırma, ısıtma ve soğutma gibi nedenlerden dolayı sıcaklık ve bağıl nem ile meydana gelebilecek herhangi bir olumsuz durum depolanan tohum nem içeriğinde de değişimlere neden olabilecektir. Bu nedenle tohumlara daha yüksek nem düzeyleri uygulanmıştır. %5 nem düzeyi için kurutma fırınında tohum örnekleri kurutularak tohum nem düzeyi düşürülmüştür. %10.5 nem düzeyinin üzerindeki %15, 20 ve 25 nem içerikleri için aşağıda verilen Eşitlik 3 yardımıyla ilave diclek saf su miktarı hesaplanmış ve tohum örneklerine ilave edilmiştir. Daha sonra farklı nem içerikleri için her bir tohum partisi hava almayacak şekilde polietilen torbalara konulmuş ve bu torbalar 3 ay için sıcaklık ve nemi ayarlanabilen test kabininde 10 °C sıcaklıkta ve %65 nem içeriğinde depolanmıştır. Bu sürenin sonunda her bir tohum partisinde aşağıdaki deneyler 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır.

$$Q = \frac{W \times (M_f - M_i)}{100 - M_f} \quad (3)$$

Eşitlikte;

- Q : İlave edilmesi gereken su miktarı, (g)
 W : Tohum örneklerinin ağırlığı, (g)
 M_i : Tohum örneğinin ilk nem içeriği, (%)
 M_f : Tohum örneğinin son nem içeriği, (%)

Farklı nem içeriklerindeki kavuzlu siyez buğdayı tohumlarının solunum hızlarının belirlenmesinde hızlı bir sonuç sağlayan Testo 535 CO₂ ölçüm cihazı ile tohumların ortama yaymış olduğu CO₂ düzeyi ppm olarak ölçülmüştür. Bu amaçla 1500 mL hacimli bir kaba yaklaşık 200 g tohum konulduktan sonra CO₂ ölçüm probu kaba yerleştirilmiş ve kabın hava almaması için parafilm ile sıkıca kapatılarak kabın sızdırmazlığı sağlanmıştır. Tohumların yaymış olduğu CO₂ miktarı ölçülmüş ve Eşitlik 4 ve 5 yardımıyla farklı nem içeriklerine bağlı olarak solunum değişimleri hesaplanmıştır (Raudiene *et al.*, 2017).

$$RR = \frac{\Delta_{CO_2} \times M_{CO_2} \times V_h}{V_m \times m \times \Delta t} \quad (4)$$

$$V_m = \frac{R \times T}{P} \quad (5)$$

Eşitliklerde;

- RR : CO₂ solunum hızı, (mgCO₂ kg⁻¹ h⁻¹)
 Δ_{CO₂} : ppm düzeyinde CO₂ hacimsel konsantrasyon değişimi, (10⁻⁶ L L⁻¹)
 M_{CO₂} : CO₂ gazının moleküler ağırlığı, (44.01 g mol⁻¹)
 V_h : Kabın hacmi, (L)

- m : Siyez buğdayı tohum ağırlığı, (kg)
 Δt : Deney süresi, (h)
 V_m : Gazın molar hacmi, (L mol⁻¹)
 R : Gaz sabiti, (0.08206 L⁻¹ mol⁻¹ K⁻¹)
 T : Sıcaklık, (K)
 P : Basınç, (atm)

Farklı nem içeriklerindeki siyez buğdayı örneklerinin içsel sürtünme açılarının belirlenmesinde Zou and Brusewitz (2001), Molenda *et al.*, (2002)' deki esaslar göz önüne alınarak direkt kesme yöntemi kullanılmıştır. Kavuzlu siyez buğdayı tohumlarının içsel sürtünme açılarının hesaplanmasında Eşitlik 6, 7 ve 8 kullanılmıştır.

$$\sigma = \frac{N}{A} \times 100 \quad (6)$$

$$\tau = \frac{T}{A} \times 100 \quad (7)$$

$$\tau = (c + \sigma \tan \varphi) \quad (8)$$

Eşitliklerde;

- σ : Normal gerilme, (kPa)
 N : Örnek üzerine uygulanan sabit yük, (kg)
 A : Hüresel alan, (cm²)
 τ : Kesme gerilmesi, (kPa)
 T : Kesme kuvveti, (kg)
 c : Kohezyon katsayısı
 φ : İçsel sürtünme açısı, (derece)

Kavuzlu siyez buğdayı tohumlarının kayma açısı üzerine farklı nem içeriklerinin etkisini belirlemek amacıyla tohum örnekleri 20 cm'lik çapa sahip polietilen huni yardımıyla temiz ve pürüzsüz bir yüzeye zeminden yaklaşık 25 cm yukarıdan boşaltıldıktan sonra dijital eğim açölçer yardımıyla eğim ölçülerek kayma açısı belirlenmiştir.

Siyez buğdayı örneklerinin statik sürtünme katsayıları Beyhan *ve ark.*, (1994)'e göre belirlenmiştir. Yöntemde test yüzeyi olarak galvanize çelik yüzey kullanılmıştır. Deney sırasında test yüzeyi hızı ayarlanabilen doğru akım motoru ile düşük bir hızla hareket ettirilmiş, buna bağlı olarak oluşan sürtünme kuvveti dijital dinamometreden okunmuştur. Tohum örneklerinde statik sürtünme katsayıları Eşitlik 9 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\mu_s = \frac{F_s}{W} \quad (9)$$

Eşitlikte;

- μ_s : Statik sürtünme katsayısı,
 F_s : Sürtünme kuvveti, (N)
 W : Normal kuvvet, (N)

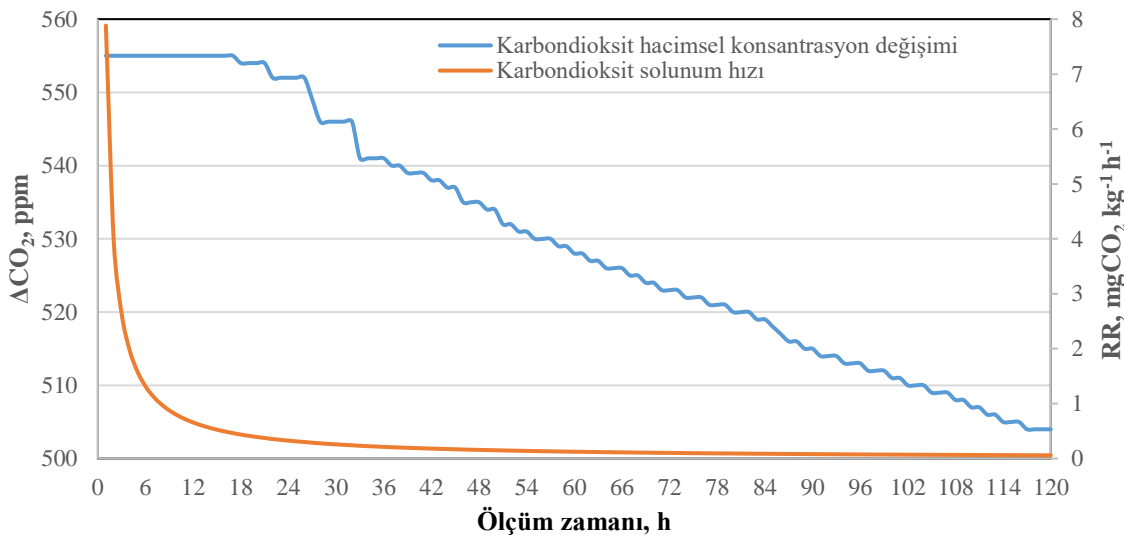
Çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesinde SPSS 11.0 istatistik paket programı kullanılmıştır. Farklı nem içeriklerinde tekerrürlü olarak elde edilen veriler için varyans analizi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen ortalama değerler Duncan çoklu karşılaştırma testi ile $P < 0.05$ önem düzeyinde değerlendirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

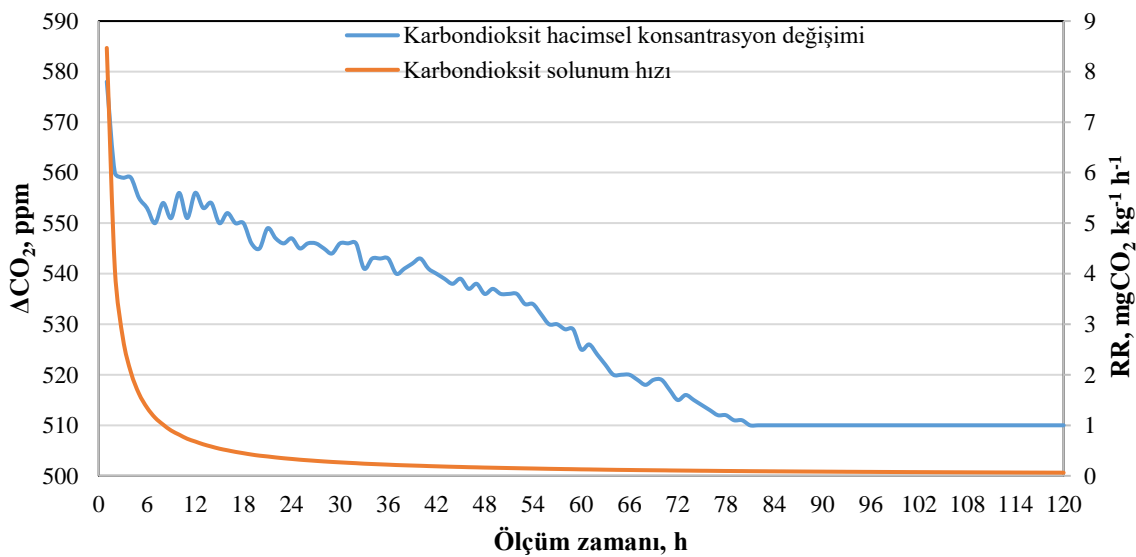
Farklı nem içeriklerine sahip tohum örneklerinde CO_2 ölçümleri 120 saat olarak planlanmıştır. Ancak tohum nem içeriğinin yükselmesi nedeni ile tohumun solunum hızı artışına bağlı olarak %20 ve 25 nem içeriklerinde sırasıyla 29. ve 26. saatte deneyler

sonlandırılmıştır. Bunun nedeni, ifade edilen zaman dilimlerinde CO_2 konsantrasyonu cihazın maksimum ölçüm değeri olan 9999 ppm düzeyine ulaşılmış olmasıdır.

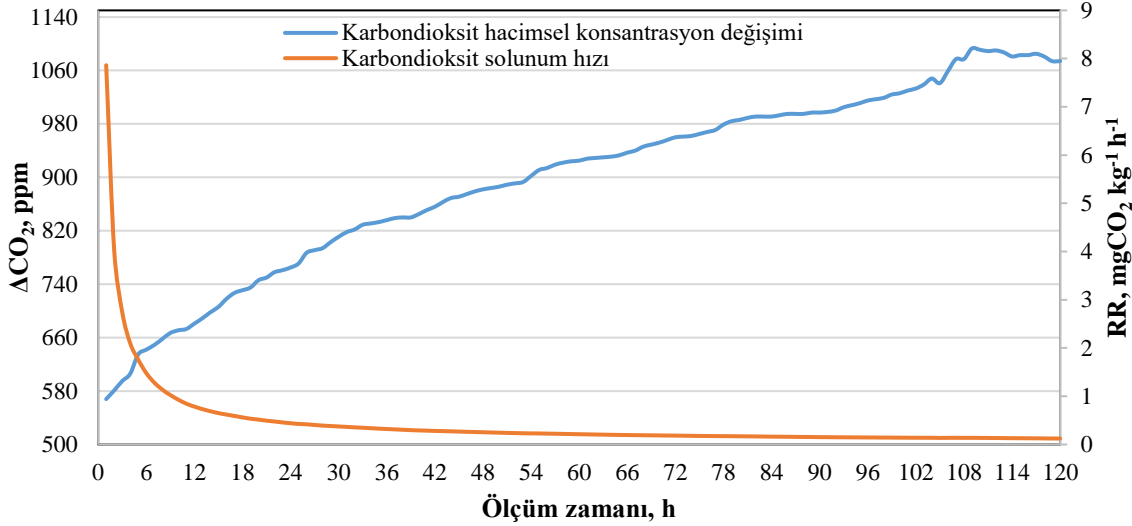
Çalışma sonucunda farklı nem içeriklerinde elde edilen CO_2 miktarları ve bunlara bağlı olarak belirlenmiş CO_2 solunum hızları Şekil 1'den Şekil 5'e kadar olan şekillerde verilmiştir. Şekiller incelendiğinde minimum CO_2 solunum hızı 120. saatte %5 ve 10.5 nem içeriğinde $0.06 \text{ mgCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Maksimum CO_2 solunum hızı ise %25 nem içeriğinde 1. saatte $18.09 \text{ mgCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir.



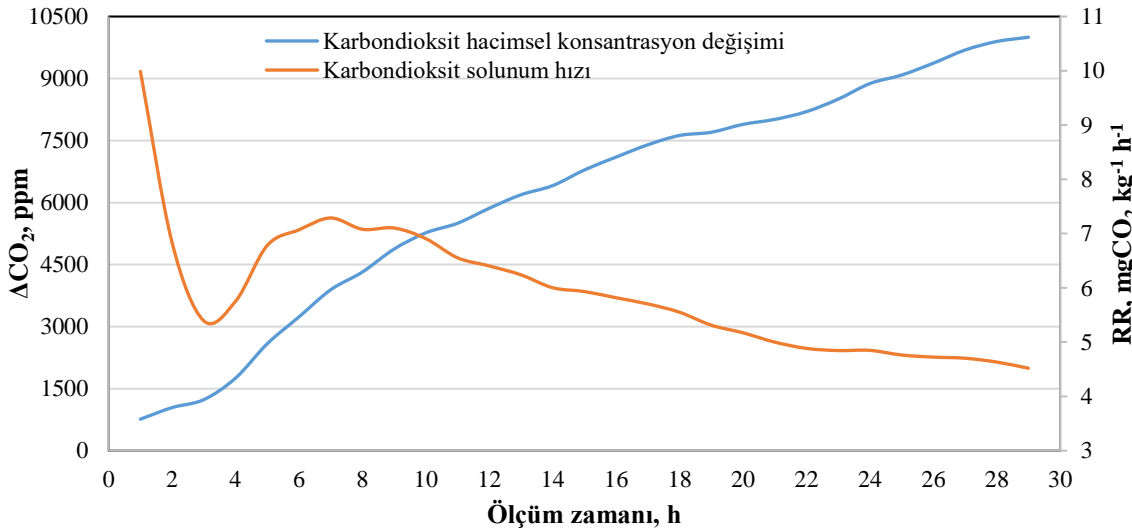
Şekil 1. Zamana bağlı olarak %5 tohum nem içeriğindeki CO_2 hacimsel konsantrasyon değişimi ve CO_2 solunum hızı.
Figure 1. CO_2 volumetric concentration change and CO_2 respiration rate at 5% seed moisture content depending on time.



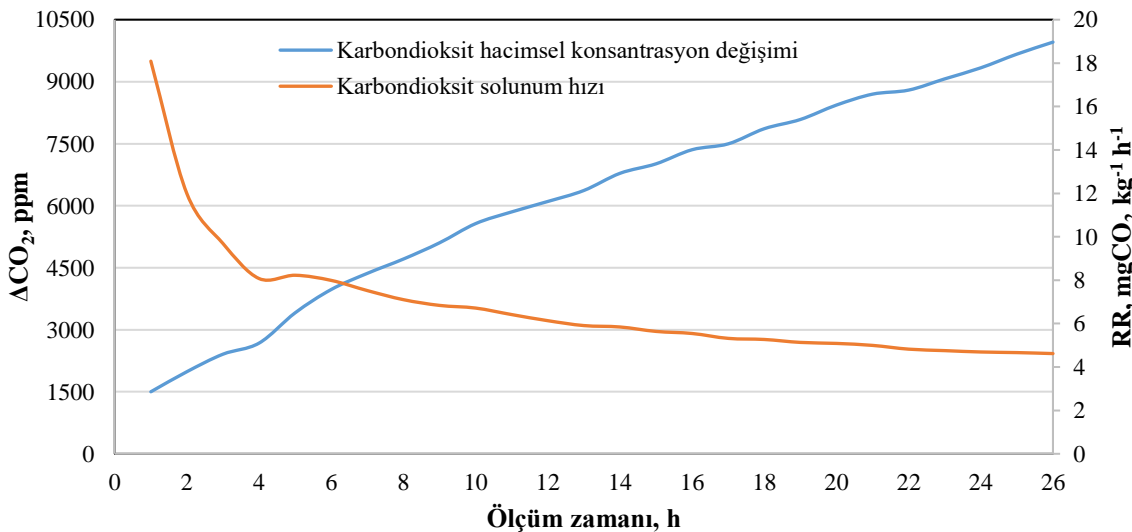
Şekil 2. Zamana bağlı olarak %10.5 tohum nem içeriğindeki CO_2 hacimsel konsantrasyon değişimi ve CO_2 solunum hızı.
Figure 2. CO_2 volumetric concentration change and CO_2 respiration rate at 10.5% seed moisture content depending on time.



Şekil 3. Zamana bağlı olarak %15 tohum nem içeriğindeki CO₂ hacimsel konsantrasyon değişimi ve CO₂ solunum hızı.
Figure 3. CO₂ volumetric concentration change and CO₂ respiration rate at 15% seed moisture content depending on time.



Şekil 4. Zamana bağlı olarak %20 tohum nem içeriğindeki CO₂ hacimsel konsantrasyon değişimi ve CO₂ solunum hızı.
Figure 4. CO₂ volumetric concentration change and CO₂ respiration rate at 20% seed moisture content depending on time.



Şekil 5. Zamana bağlı olarak %25 tohum nem içeriğindeki CO₂ hacimsel konsantrasyon değişimi ve CO₂ solunum hızı.
Figure 5. CO₂ volumetric concentration change and CO₂ respiration rate at 25% seed moisture content depending on time.

%5 ve 10.5 nem düzeylerinde ölçülen CO₂ miktarları 120 saat süresince azalma eğilimi göstermiştir. Burada tohum nem içeriği artmasına rağmen ölçülen CO₂ miktarları azalmış ve buna bağlı olarak da solunum hızları azalmıştır. Solunum hızının artmaması özellikle tohumun depolama süresince bozulmasının önüne geçebilecek en önemli etkenlerden bir tanesidir. Solunumun yavaş olması yine tohum bünyesindeki mekanizmanın yavaş çalışmasına ve besin kalitesinin azalmasının da önüne geçebilmektedir. Diğer bir etken solunumun düşük hızda olması tohumun canlılığını ve çimlenme kabiliyetinin de azalmasını engellemektedir. Çalışmada kullanılan tohum nem içeriklerindeki artışa bağlı solunum hızları azalış göstermiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak solunum hızının yüksekliği siyez buğdayının depo ömrünün kısa olacağına da bir göstergesidir. Solunumun artması kuru madde kaybını artırmaktadır. Ayrıca solunum artışı yine tohumun muhafaza edildiği depo ortamının sıcaklığının ve nem düzeyinin artışına neden olmaktadır.

Karaçalı (2009) ve Jian et al. (2014) solunum hızına etkili faktörleri; tohum genetik yapısı, olgunluk durumu, organ ve doku tipi, büyüklüğü ile yüzey/hacim oranı, tohumun mekanik olarak zarar görmesi, tohum nemi, depo ortamının sıcaklığı, bağlı nemi, oksijen konsantrasyonu, mikrobiyal bulaşma, ve tohum tarafından salınan CO₂ miktarı olarak belirtmişlerdir. Dolayısıyla bu çalışmada da etkili koşullardan tohum neminin farklı düzeyleri ele alınmış olup solunum hızı değişimi üzerine etkilerinin belirlenmiştir.

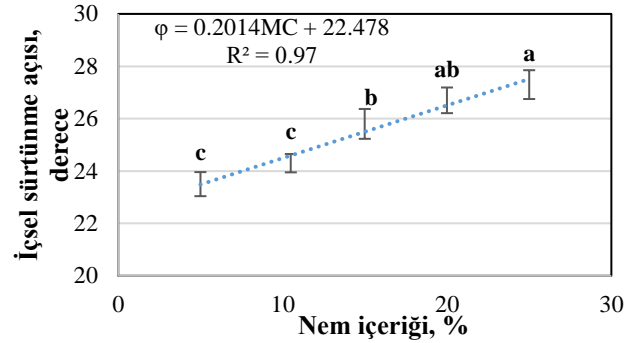
Er ve Başalma (2014), tohumlarda solunum hızının çok yükselmesi tohumdan değil, ortamda oluşan küf mantarlarından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Dolayısıyla depolama ortamı küf mantarlarının oluşmasına imkan vermeyecek düzeyde kalırsa, oluşabilecek kuru madde kayıplarının çok önemli olmadığını ifade etmişlerdir (Magan et al., 2004).

Huang et al. (2013) ve Chidananda et al. (2014) tohum nem içeriğindeki artış ile solunum hızının arttığını saptamışlardır. Bu çalışmada da benzer sonuçlar bulunmuştur.

Kavuzlu siyez tohum örnekleri için farklı nem içeriklerindeki içsel sürtünme açıları, R² ve standart sapma değerleri Şekil 6' da verilmiştir. Şekil 6' nın incelenmesiyle de görülebileceği gibi nem içeriği artışı ile içsel sürtünme açısının arttığı saptanmıştır. Bu bağlamda içsel sürtünme açısının en yüksek değeri %25 nem içeriğinde ($\phi = 27.3^\circ \pm 0.55$), en düşük değeri ise %5 nem içeriğinde ($\phi = 23.5^\circ \pm 0.46$) olduğu belirlenmiştir. Tohum örneklerinde %5-25 nem aralığı ile içsel sürtünme açıları arasında pozitif lineer ilişki

belirlenmiş olup bu ilişki Şekil 6' de verilmiştir. İçsel sürtünme açılarına ilişkin varyans analiz sonuçları incelendiğinde, nem içeriğinin içsel sürtünme açısına P<0.01 olasılık düzeyinde önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Molenda et al. (1998), Baryeh (2002), Sahoo and Srivastava (2002), Rusinek and Stasiak (2004), farklı tohum örnekleri üzerinde yapmış oldukları çalışmalarında nem içeriğinin artması ile içsel sürtünme açısının arttığını belirtmişlerdir.

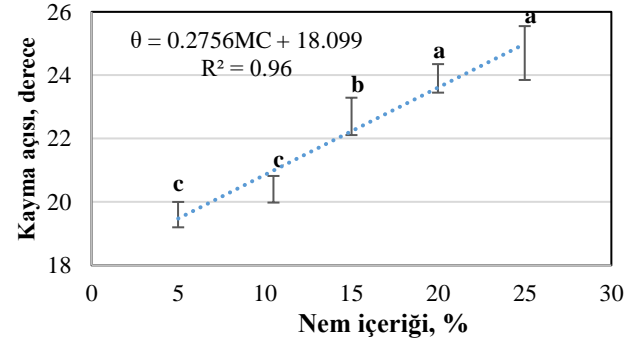


Şekil 6. Farklı nem içeriklerinin içsel sürtünme açısı üzerine etkileri.

Figure 6. Effects on the internal friction angle of different moisture contents.

Farklı nem içeriklerinde siyez buğdayı tohumlarının kayma açıları Şekil 7' de verilmiştir. %5, 10.5, 15, 20 ve 25 nem içeriklerine bağlı olarak açı değerleri sırasıyla; $19.6^\circ \pm 0.40$, $20.4^\circ \pm 0.42$, $22.7^\circ \pm 0.59$, $23.9^\circ \pm 0.45$ ve $24.7^\circ \pm 0.85$ olarak belirlenmiştir. Farklı nem içeriklerinin kayma açılarına ait değerler, istatistiki olarak değerlendirildiğinde nem içerikleri arasında önemli farklılıkların olduğu saptanmıştır (P<0.01).

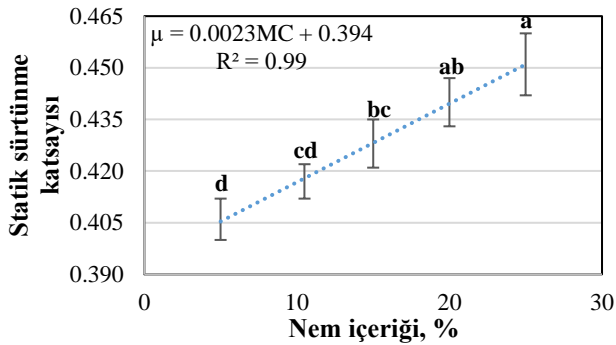
Mahjoub et al. (2014) iki farklı buğday çeşidinde ve %12, 15 ve 18 nem içeriğinde kayma açısını araştırmışlardır. Kayma açısının en düşük değerini 19.84° , en yüksek değerini ise 24.63° olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak nem içeriğinin artışı ile kayma açısının arttığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen veriler, yapılmış olan çalışmayla benzerlik göstermektedir.



Şekil 7. Farklı nem içeriklerinin kayma açısı üzerine etkileri. Figure 7. Effects on the repose angle of different moisture contents.

Nem içeriğine (%5, 10.5, 15, 20 ve 25) ve yüzeye bağlı (galvanize çelik) olarak belirlenen statik sürtünme katsayıları, R² değerleri ile standart sapmalar Şekil 8' te verilmiştir. Şekil 8' ten de görülebileceği gibi nem içeriğinin artması ile statik sürtünme katsayısının lineer bir artış meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Sürtünme yüzeyinde nem içeriğine bağlı artış, normal kuvvetin (W) neme bağlı artışı ile ilişkilendirilebilir. Tohum nem içeriğinin artması ile statik sürtünme katsayılarındaki en yüksek değerler %25 nem içeriğinde 0.451±0.009 olarak saptanmıştır. Yüzey mutlak pürüzlülük katsayısının galvanize çelik malzemede ise 0.12-0.15 (Kutoğlu 1980) arasında olması bu durum üzerinde önemli derecede etkili olmaktadır. Yapılan istatistik analiz sonucunda nem içeriklerinin galvanize çelik yüzeyin statik sürtünme katsayısı üzerine P<0.01 olasılık düzeyinde önemli etkisinin olduğu saptanmıştır.

Lawton (1980), Beyhan ve ark. (1994), Gupta and Das (1997), Jain and Bal (1997), Baryeh (2002), farklı biyolojik malzemeler üzerinde yapmış oldukları çalışmalarında nem içeriğinin artışı ile statik sürtünme katsayısının farklı test yüzeylerinde arttığını belirlemişlerdir. Bu çalışmada da diğer araştırmacıların sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 8. Farklı nem içeriklerinin statik sürtünme katsayısı üzerine etkileri.

Figure 8. Effects on the static coefficient of friction of different moisture contents.

SONUÇ

Çalışma sonucunda, kavuzlu siyez buğdayı tohumlarının 3 aylık depolama sonucunda özellikle yüksek nem içeriğinde CO₂ solunum hızının arttığı belirlenmiştir. Bu artış tohumun canlılığının ve besin kompozisyonunun azalması gibi kayıplara neden olabilmektedir. Nitekim bu çalışmada yüksek neme sahip tohumlarda çimlenmeler gözlemlenmiştir. Nem içeriğinin artmasıyla tohumların bazı mekanik özelliklerinde artış olduğu belirlenmiştir. Meydana gelen artışlar, depolama yapılarının konstrüksiyon malzemesinde daha yüksek basınçlara neden olarak yapısal sorunların ortaya çıkmasına sebep olabilecektir. Bu nedenle, tohumların düşük nem

içeriğinde depolanması ve uygun çevre koşullarının sağlanması ile ortaya çıkan depolama kayıpları ve bazı mühendislik özellikleri ile ilgili artışlar önlenabilir. Besin kayıpları ile mühendislik özelliklerinde ortaya çıkan artış oranını en az düzeye indirmek için tohum neminin depolama sırasında %10 veya daha düşük seviyede tutulması gerekmektedir. Depolama ortamında düşük sıcaklık ve bağıl nem gibi çevresel koşulların sağlanabilmesi için uygun hızda yeterli miktarda havalandırma ile soğutma veya ısıtma yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- ASAE 2008. ASAE S352.2 APR1988 (R2008), Moisture Measurement - Underground Grain and Seeds. USA.
- Bakker-Arkema FW., 1999. Grains and grain quality. CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Agro-processing Engineering, Vol. IV (Eds. Bakker-Arkema FW., De Baerdemaeker J., Amirante P., Ruiz-Altisent M and Studman CJ), American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, USA, pp. 1-11.
- Baryeh EA., 2002. Physical properties of millet. Journal of Food Engineering, 51(1): 39-46.
- Beyhan MA., Nalbant M ve Tekgüler A., 1994. Tane ve Zuruflu Fındıkların Sürtünme Katsayılarının Değişik Yüzeyler için Belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 15. Ulusal Kongresi, 20-22 Eylül, Antalya.
- Chidananda K., Chelladurai V., Jayas D., Alagusundaram K., White N and Fields P., 2014. Respiration of pulses stored under different storage conditions. Journal of Stored Products Research, 59: 42-47.
- De Vincenzi M., Luchetti R., Giovannini C., Pogna NE., Saponaro C., Galterio G and Gasbarrini G., 1996. In vitro toxicity testing of alcohol-soluble proteins from diploid wheat triticum monococcum in celiac disease. Journal of Biochemical and Molecular Toxicology, 11(6): 313-318.
- Er C ve Başalma D., 2014. Tohumluk ve Tohumculuk: Temel İlkeler ve Teknoloji. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Fasano A and Catassi C., 2001. Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: An evolving spectrum. Gastroenterology, 120: 636-651.
- Gupta RK and Das SK., 1997. Physical properties of sunflower seeds. Journal of Agricultural Engineering Research, 66(1): 1-8.
- Hidalgo A., Brandolin A., Pompei C and Piscozzi R., 2006. Carotenoids and tocopherols of einkorn wheat (*Triticum monococcum* ssp. *monococcum* L.). Journal of Cereal Science, 44: 182-193.
- Hidalgo A., Brandolini A and Gazza L., 2008. Influence of steaming treatment on chemical and technological characteristics of einkorn (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) wholemeal flour. Food Chemistry, 111: 549-555.

- Horabik J and Molenda M., 1988. Force and contact area of wheat grain in friction. *Journal of Agriculture England Research*, 41(1): 32-42.
- Huang H., Danao M., Rausch K and Singh V., 2013. Diffusion and production of carbon dioxide in bulk corn at various temperatures and moisture contents. *Journal of Stored Products Research*, 55: 21-26.
- Jain RK and Bal S., 1997. Properties of pearl millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66(1): 85-91.
- Jian F., Chelladurai V., Jayas D., Demianyk C and White N., 2014. Interstitial concentrations of carbon dioxide and oxygen in stored canola, soybean, and wheat seeds under various conditions. *Journal of Stored Products Research*, 57: 63-72.
- Kaletka A and Gornicki K., 2013. Criteria of determination of safe grain storage time-a review. *Advances in Agrophysical Research* (Eds. Grundas S and Stepniewski A), IntechOpen, pp. 295-317.
- Karaçalı İ., 2009. Bahçe Ürünlerinin Muhafaza ve Pazarlanması. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 494, İzmir.
- Kibinza S., Vinel D., Come D., Bailly C and Corbineau F., 2006. Sunflower seed deterioration as related to moisture content during ageing, energy metabolism and active oxygen species scavenging. *Physiologia Plantarum*, 128: 496-506.
- Kutoğlu HY., 1980. Uygulamalı Hidrolik ve Hidroloji. Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları No: 137, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
- Lawton PJ and Marchant JA., 1980. Direct shear testing of seeds in bulk. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 25(2): 189-201.
- Mahjoub M., Movahhed S and Chenarbon HA., 2014. Effective parameters on angle of repose, internal and external friction coefficient in two wheat varieties (Behrang and Shirudi). *International Journal of Biosciences*, 5(9): 117-124.
- Magan N., Sanchis V and Aldred D., 2004. Role of spoilage fungi in seed deterioration. *Fungal Biotechnology in Agricultural, Food and Environmental Applications* (Eds. Arora DK., Bridge PD and Bhatnagar D), Marcell Dekker, New York, pp. 311-323.
- McDonald MB., 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*, 27: 177-237.
- Molenda M., Horabik J and Ross IJ., 1998. Stress and deformation of wheat in direct shear test. *International Agrophysics*, 12: 115-118.
- Molenda M., Montross MD., Horabik J and Ross IJ., 2002. Mechanical properties of corn and soybean meal. *Transactions of the ASAE*, 45(6): 1929-1936.
- Murthy UMN., Kumar PP and Sun WQ., 2003. Mechanisms of seed ageing under different storage conditions for *Vigna radiata* (L.) Wilczek: lipid peroxidation, sugar hydrolysis, Maillard reactions and their relationship to glass state transition. *Journal of Experimental Botany*, 54: 1057-1067.
- Pizzuti D., Buda A., D'odorico A., D'inca R., Chiarelli S., Curioni A and Martines, D., 2006. Lack of intestinal mucosal toxicity of *Triticum monococcum* in celiac disease patients. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 41: 1305-1311.
- Raudienė E., Rušinskas D., Balčiūnas G., Juodeikienė G and Gailius D., 2017. Carbon dioxide respiration rates in wheat at various temperatures and moisture contents. *Mapan*, 32(1): 51-58.
- Robertson DW., Lute AM and Gardner R., 1939. Effect of relative humidity on viability, moisture content, and respiration of wheat, oats, and barley seed in storage. *Journal of Agricultural Research*, 59(4): 281-291.
- Rusinek R and Stasiak M., 2004. Mechanical Parameters of Agro-Bulk Materials. EU 5th Framework Program, Institute of Agrophysics PAS, Lublin.
- Sahoo PK and Srivastava AP., 2002. Physical properties of okra seed. *Biosystems Engineering*, 83(4): 441-448.
- Sollid LM and Khosla C., 2005. Future therapeutic options for celiac disease. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*, 2(3): 140-147.
- Throneberry GU and Smith FG., 1955. Relation of respiratory and enzymatic activity to corn seed viability. *Plant Physiology*, 30: 336-43.
- Vaccino P., Becker HA., Brandolini A., Salamini F and Kilian B., 2009. A catalogue of *Triticum monococcum* genes encoding toxic and immunogenic peptides for celiac disease patients. *Molecular Genetics and Genomics*, 281: 289-300.
- Vincentini O., Maialetti F., Gazza L., Silano M., Dessi M., De Vincenzi M and Pogna NE., 2007. Environmental factors of celiac disease: Cytotoxicity of hulled wheat species *Triticum monococcum*, *T. Turgidum* ssp. *dicoccum* and *T. aestivum* ssp. *Spelta*. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 22: 1816-1822.
- Walters C and Engels J., 1998. The effects of storing seeds under extremely dry conditions. *Seed Science Research*, 8(Supplement): 3-8.
- Wieser H., 2001. Comparative investigations of gluten proteins from different wheat species. III. N-terminal amino acid sequences of α -gliadins potentially toxic for coeliac patients. *European Food Research and Technology*, 213: 183-186.
- Zou Y and Brusewitz GH., 2001. Angle of internal friction and cohesion of consolidated ground marigold petals. *Transactions of the ASAE*, 44(5):1255-1259.