



Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi

Çekiçli Değirmenin Arpa Kırmada Çalışma Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Ali Yavuz Şeflek¹, Nurettin Kayahan¹, Nuri Orhan¹, Haydar Haciseferoğulları^{1*}

¹Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri Bölümü, Konya

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Geliş tarihi 20 Ocak 2014
Kabul tarihi 23 Mart 2014

Anahtar Kelimeler:

Çekiçli değirmen
Partikül büyüklük dağılımı
Geometrik ortalama çap
Özgül güç tüketimi

ÖZET

Araştırmada Konya’da üretimi yapılan, eleğin bıçakları 360° sardığı ve değiştirilebilir özelliği olan çekiçli değirmenin çalışma karakteristikleri belirlenmiştir. Denemeler, çekiç ucunun 35, 50 ve 65 ms⁻¹ çevre hızlarında, 4, 6 ve 8 mm elek delik çaplarında ve 2000 ile 4000 mm² besleme ağız açıklığında yürütülmüştür. Elde edilen özgül yüzey alanı değerlerine varyans analizi ve LSD testleri yapılmıştır. Bu istatistiksel analizlerde MINITAB ve MSTAT programları kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, öğütme kapasitesi değerleri 50.82 ile 332.10 kg/h, öğütme gücü değerleri 0.10 ile 1.43 kW ve özgül güç tüketimi değerleri ise 1.14x10⁻³ ile 7.86x10⁻³ kWh/kg arasında elde edilmiştir. Kırma kalitesini belirleyen ortalama geometrik çap değerlerinin 1010.16 ile 2936.83 µ ve standart sapma değerlerinin ise 1.14 ile 1.88 arasında bir değişim gösterdiği saptanmıştır. Ortalama geometrik çap ve standart sapma değerlerine bağlı olarak hesaplanan özgül yüzey alanı değerleri ise 1.55 ile 5.38 m²kg⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir. En küçük ortalama çap ve en büyük özgül yüzey alanı değerleri 65 m/s bıçak çevre hızında ve 4 mm elek çapında elde edilmiştir.

Determination of Operating Characteristics of Hammer Mill on Barley Grinding

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 January 2014
Accepted 23 March 2014

Keywords:

Hammer mill
particle size distribution
geometric mean diameter of the particle
specific power consumption

ABSTRACT

In the study, operating characteristics of hammer mill which is 360 degree surrounded by the changeable screen produced in Konya were determined. The trials were performed on annulus velocities of the hammers at 35, 50 and 65 ms⁻¹, screen sizes in 4, 6 and 8 mm diameter and delivery orifice space in 2000 and 4000 mm². The resulting total surface area of particles was used to determine the presence of statistically significant treatment differences in the MINITAB statistical program and analyzed using MSTAT software and the differences between factors the treatments were determined by LSD test. According to results, grinding capacity, grinding force and specific power consumption values were obtained between 50.82 and 332.10 kg/h, 0.10 and 1.43 kW, and 1.14 and 7.86 103 kWh/kg, respectively. Grinding determines the quality of geometric mean diameter of the particle values between 1010.16 and 2936.83 µ, and also geometric standard deviation of particle diameter values between 1.14 and 1.88 were found to show a change. Depending on the geometric diameter and standard deviation values, total surface area of particles in 100g sample was calculated and these values varied between 1.55 and 5.38 m²kg⁻¹, respectively. In the high peripheral speed and at the smallest screen diameter, which was gotten the smallest average diameter values, were obtained the biggest total surface area of particles values.

1. Giriş

Ülke nüfusumuzun hızla artmasıyla, besin maddelerine olan talebin karşılanmasında hayvancılık önemini

korumaktadır. Buna bağlı olarak hayvancılık işletmelerinde yem giderleri ise önemli bir girdi oluşturmaktadır.

Karma yem, yem hammaddelerinin belirli oranlarda ve belirli teknolojiler kullanılarak karıştırılması ile elde edilir. Hayvan beslemede temel kaynak durumunda olan

* Sorumlu yazar email: hhsefer@selcukedu.tr

karma yem üretiminde genel olarak; hammadde alımı, ön eleme, ara depolama, tartım, öğütme, karıştırma, peletleme, granülizasyon ve ambalajlama gibi aşamalar bulunmaktadır (Ateş ve Ayhan 2007).

Hazırlanan karma yemlerin %60-70'ini oluşturan farklı irilikteki dane yem hammaddeleri ancak öğütmeyle eşit boyutlara getirilir ve homojen karışımlar elde edilir (Babaniazi, 1996).

Kendi yemini hazırlayan hayvancılık işletmelerinde ya da karma yem fabrikalarında yem hammaddelerinin istenilen nitelikte öğütülmesi oldukça önemlidir. Yem hammaddelerinin öğütülmesinde hedeflenen amaç daha çabuk ve homojen karışımlar elde etmek kadar yemin hayvan tarafından rahat ve seçilmeden tüketimini sağlamaktır. Daneli yem hammaddelerinin sindirilebilme özelliklerinin tüm çeşitlerde aynı olmamasından dolayı hayvanlarda sindirimi arttırmak, performansı yükseltmek ve yemin tercih edilirliliğini sağlamak için birçok yem maddesi işlemeye tabi tutulur (Bohnert ve Mills 2000).

Karma yem üretiminde toplam maliyet içerisinde öğütme maliyeti önemli yer teşkil etmektedir. Bu nedenle çekiçli değirmenler yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda çekiçli değirmenler tarım, kimya ve orman endüstrisinde yaygın olarak kullanılır (Ebnulo ve ark. 2010).

Tahıllarda partikül boyutlarının azaltılması, yüzey alanını arttırarak endosperm materyalinin sindirim enzimine daha çok maruz kalmasını sağlar, farklı besinlerin karışım karakteristiğini iyileştirir, peletleme etkinliğini artırır ve lifli yemlerin uygunluğunu ve kullanılabilirliğini iyileştirir (Boyles ve ark. 2000).

Çekiçli değirmenler ile ülkemizde yapılan araştırmalarda; elek yüzey alanının artışının hem iş kapasitesini arttırıcı hem de özgül enerji tüketimini azaltıcı yönde etkili olduğu (Akkaş 2001), çekiçli değirmenlerde özgül yüzey alanının 3.37- 4.60 m²kg⁻¹ arasında değişen ürün elde etmek için ise 70-80 ms⁻¹ çekiç çevre hızlarında oblong delikli eleklerin kullanılması gerektiği bildirilmektedir (Beyhan 2008). Bir diğer araştırmada, çekiçli değirmenlerde elek yüzey alanının artışıyla ortalama granül iriliğinin arttığını bildirmektedirler (Akdeniz ve ark. (2001). Ancak eleğin kırıcı üniteyi tamamen sardığı çekiçli değirmenlerle ilgili çalışma bulunmamaktadır.

Bu nedenle araştırmada yerli yapım ve eleğin kırıcı üniteyi 360° sardığı çekiçli değirmenin çalışma parametreleri belirlenmiştir. Böylece çekiç çevre hızı, elek delik büyüklüğü ve besleme ağız kesit alanı değişiminin, örneklerin büyüklük dağılımına, öğütme kapasitesine, özgül yüzey alanına ve özgül enerji tüketimine etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırmada Konya Bölgesinde yetiştirilen sarı arpa çeşidi kullanılmıştır. Arpanın bazı fiziksel özellikleri Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1.

Denemelerde kullanılan arpanın bazı fiziksel özellikleri

Nem (%)	: 10.80
Uzunluk (mm)	: 8.97±0.12
Genişlik (mm)	: 3.60±0.03
Kalınlık (mm)	: 2.66±0.03
Geometrik ortalama çap (mm)	: 4.40±0.036
Küresellik	: 0.49±0.004
Doğal yığılma açısı (°)	: 14.90±0.88
Bin tane ağırlığı (g)	: 45.4±0.80
Hacim yoğunluğu (kg/m ³)	: 675.13±3.65
Dane yoğunluğu (kg/m ³)	: 1330±6.50

Yerli yapım olarak imal edilen çekiçli değirmen hareketini elektrik motorundan almaktadır. Makinenin besleme haznesi 7° 'lik bir eğime sahip olup, 50 dm³ hacme sahiptir. Besleme haznesinin altında besleme ağızı bulunmaktadır ve klape ile ayarlanabilmektedir. Besleme ağızından materyal kırıcı üniteye gelmektedir. Burada çekiçler ve elek arasından geçen materyal çuvalara doldurulmaktadır. Elek bıçakları 360° sarmaktadır ve değiştirilebilir özelliktedir. Denemelerde besleme ve boşaltma gravitasyonel olarak yapılmıştır. Çekiçli değirmenin bazı özellikleri Çizelge 2'de ve şematik görünüşü ise Şekil 1'de görülmektedir.

Çizelge 2.

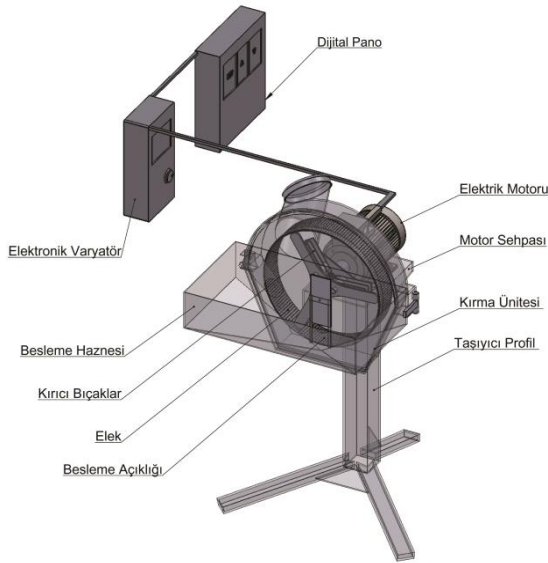
Çekiçli değirmenin bazı teknik özellikleri

Toplam uzunluk	: 820 mm
Toplam genişlik	: 590 mm
Toplam yükseklik	: 1340 mm
Çekiç ölçüleri	: 140x40x3 mm
Çekiç sayısı	: 9 adet
Çekiç şekli	: Düz dikdörtgen
Çekiç-elek aralığı	: 15 mm
Kırıcı rotor çapı	: 450 mm
Elek genişliği	: 100 mm
Çekiç kütlesi	: 160 g
Motor gücü	: 2.2 kW
Motor devir sayısı	: 2780 l/min

Çekiçli değirmenin materyal besleme ağızı açıklığı ayarlanarak, kırma işlemine başlanmıştır. Değirmen rejime girdikten sonra kırma odasından materyal akışı devam ederken, normal çalışma durumunda her bir parametre için ürün çıkış kanalından 30 s süreyle üç tekerürlü olarak öğütülmüş materyal alınarak, tartılmıştır. Daha sonra bu değerlerin kgh⁻¹'e dönüştürülerek ortalamaları alınmış ve çekiçli değirmenin iş kapasitesi belirlenmiştir.

Çekiçli değirmenin tahrik edildiği elektrik motorunun devri elektronik varyatör yardımıyla (frekans dönüştürücü) değiştirilmiştir. Bu sistemde yer alan elektriksel göstergeler bir kumanda panosundan kontrol edilerek, güç değerleri belirlenmiştir. Kırıcı milinin devir

sayısı optik-mekanik dijital takometreyle kontrol edilmiştir.



Şekil 1.
Çekiçli değirmenin şematik görünüşü

$$E_{\text{öt}} = \frac{N_y - N_b}{Q}$$

$E_{\text{öt}}$: Öğütme işlemi için özgül enerji tüketimi (kWhkg^{-1})

N_y : Makinanın yükte çalışırken kullandığı ortalama güç (kW)

N_b : Makinanın boшта çalışırken kullandığı ortalama güç (kW)

Q : Öğütme kapasitesi (kg^{-1})

Elde edilen kırılmış ürünler 0.25, 0.5, 1, 2, 2.8, 4, 4.75 mm delik çaplarındaki elekler kullanarak dairesel hareketli silkeleyici ile 10 dakika süresince elenerek, elek analizine tabi tutulmuştur (ASTM E11, 1987). Her analiz için 100 gr ürün elenmiştir. Her eleğin altında kalan ürün hassas terazi ile tartılmış ve eleklerin geçirme yüzdeleri tespit edilmiştir.

Elek analiz değerlerinden yararlanarak ortalama geometrik çap (d_{gw}), dağılımın standart sapması ve toplam yüzey alanı (SA) değerleri aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır (Baker ve Herrman 2002; Mani ve Tabil 2002).

$$d_{gw} = \log^{-1} \left[\frac{\sum (W_i \log d_i)}{\sum W_i} \right]$$

$$d_i = (d_u \times d_o)^{0.5}$$

$$S_{gw} = \log^{-1} \left[\frac{\sum W_i (\log d_i - \log d_{gw})^2}{\sum W_i} \right]$$

$$SA = \frac{\beta_s}{\rho \beta_v} \exp \left(0.5 (\ln S_{gw})^2 - \ln d_{gw} \right)$$

d_{gw} : Ortalama geometrik çap (μm)

S_{gw} : log-normal dağılımın geometrik standart sapması

SA: Özgül yüzey alanı (cm^2g^{-1})

W_i : i. elek üzerindeki kalan materyal ağırlığı (g)

d_i : i. eleğin üzerinde kalan partiküllerin geometrik ortalama çapı (μm)

d_u : i. Eleğin üzerindeki eleğin delik çapı (μm)

d_o : i. eleğin delik çapı (μm)

β_s : Partiküllerin yüzey alanını hesaplamak için şekil faktörü ($\beta_s=6$)

β_v : Partiküllerin hacmini hesaplamak için şekil faktörü ($\beta_v=1$)

P: Materyalin özgül ağırlığı (gr cm^{-3})

Denemeler çekiçlerin bulunduğu milin 1486, 2123 ve 2760 l/min devir sayılarına karşılık gelen 35, 50 ve 65 ms^{-1} çekiç çevre hızlarında (V_1, V_2, V_3) 4, 6, 8 mm elek delik çaplarında (E_1, E_2, E_3) ve 2000 ile 4000 mm^2 (A_1, A_2) besleme ağızı açıklığında yürütülmüştür. Elde edilen ortalama geometrik çap değerlerine MINITAB ve MSTAT programları kullanılarak varyans analizi ve LSD testleri yapılmıştır (Düzgüneş ve ark. 1983).

3. Araştırma Sonuçları

Araştırmada, seçilen çekiç çevre hızları, farklı elek delik çapları ve besleme ağızı açıklıklarında kırılan arpanın elek analiz dağılımları Şekil 2, 3 ve 4'te görülmektedir. Şekil 2'de görüldü gibi 35 m/s çekiç çevre hızında, makinenin en düşük elek çapında (E_1) ve besleme ağızının tam açık olduğu durumda (A_2) partikül dağılımı %52.01'lik oranla 2.8 mm çapındaki elekte en yüksek değerde elde edilirken, çekiçli değirmenin E_2 ve E_3 eleklerinde aynı besleme ağızı açıklığında sırasıyla partikül dağılımları %55.69 ve %60.14'lük oranlarla 4 mm çapındaki elekte en yüksek değerlerde elde edilmiştir. Başka bir ifade ile elek analiz sonuçlarına göre makinenin elek çapının büyümesiyle elde edilen partikül büyüklüğü değerleri artma eğilimi göstermiştir. Benzer elek analiz sonuçları 50 m/s çekiç çevre hızında da elde edilmiştir.

Yüksek çekiç çevre hızında ise (V_3) ise makinenin en düşük elek çapında (E_1) ve besleme ağızının tam açık olduğu durumda (A_2) partikül dağılımı %46.66'lık oranla 2 mm çapındaki elekte elde edilirken, çekiçli değirmenin E_2 ve E_3 eleklerinde aynı besleme ağızı açıklığında sırasıyla partikül dağılımları %39.01 ve %36.19'lık oranlarla 2.8 mm çapındaki elekte en yüksek değerde elde edilmiştir. Ayrıca bu çevre hızında 1 ve 0.5

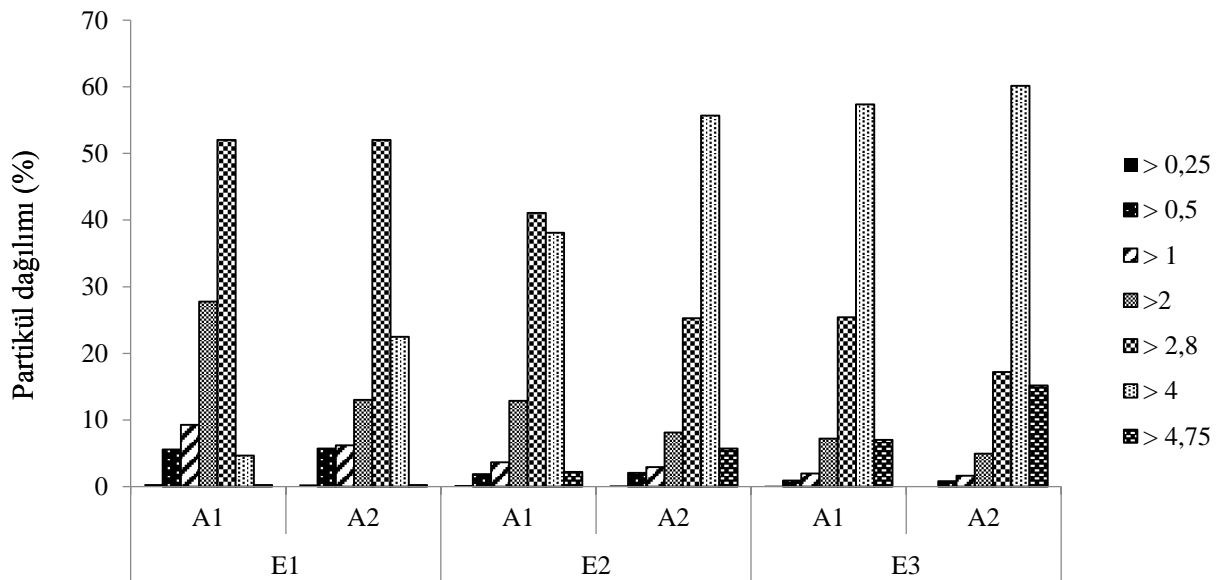
mm elek çapındaki partikül dağılımları, diğer iki çevre hızına göre daha yüksek oranlarda bulunmuştur.

Denenen çekiçli değirmene ait elde edilen iş kapasitesi, güç tüketimi ve özgül güç tüketimi değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çalışma kapasitesi değerleri 50.82 ile 332.10 kg/h arasında elde edilmiştir. En düşük iş kapasitesi 4 mm delik çapındaki eleğin kullanıldığı, çekiç çevre hızının 35 m/s ve besleme ağzı açıklığının 2000 mm² olduğu koşullarda elde edilmiştir. Buna karşılık en yüksek iş kapasitesi değerleri 65 m/s çekiç çevre hızında, 8 mm elek çapında ve 4000 mm² besleme ağzı açıklığında elde edilmiştir. 4000 mm² besleme ağzı açıklığında ve 8 mm elek çapında çekiç çevre hızının %143 artmasıyla iş kapasitesi %125, çekiç çevre hızının %186 artmasıyla ise iş kapasitesi %136 oranında artış göstermiştir. Buna karşı-

lık aynı koşullarda 2000 mm² besleme ağzı açıklıklarında iş kapasitesi değerleri %154 ve %208 oranlarında artış göstermesine rağmen, iş kapasitesi değerleri 50.82, 78.40 ve 105.52 kg/h gibi düşük değerlerde kalmıştır.

Öğütme gücü değerleri 0.10 ile 1.43 kW değerleri arasında bir değişim göstermiştir. Çizelge 3'de görüldüğü gibi sabit çekiç çevre hızında ve besleme ağzı açıklığında elek çapının artmasıyla güç tüketimi azalmıştır. Buna karşılık sabit elek ve besleme ağzı açıklığında ise çekiç çevre hızının artmasıyla güç tüketimi artış göstermiştir. 4000 mm² besleme ağzı açıklığında ve 8 mm elek çapında çekiç çevre hızının %143 artmasıyla güç tüketimi %158, çekiç çevre hızının %186 artmasıyla ise güç tüketimi %200 oranında artış göstermiştir. En büyük güç tüketimi değerleri ise çekiç çevre hızının ve besleme ağzı açıklık değerlerinin büyük, buna karşılık makinenin en düşük elek çapında elde edilmiştir.



Şekil 2.

Çekiç çevre hızının 35 m/s olduğu değerde elde edilen elek analiz dağılımları

Özgül güç tüketimi değerleri 1.14×10^{-3} ile 7.86×10^{-3} kWh/kg değerleri arasında elde edilmiştir. En büyük özgül güç tüketimi değerleri düşük çekiç çevre hızında, düşük elek çapında ve büyük besleme ağzı açıklığı değerlerinde elde edilmiştir. 4000 mm² besleme ağzı açıklığında ve 4 mm elek çapında çekiç çevre hızının %143 artmasıyla özgül güç tüketimi %30, çekiç çevre hızının %186 artmasıyla ise özgül güç tüketimi %34 oranında azalma göstermiştir.

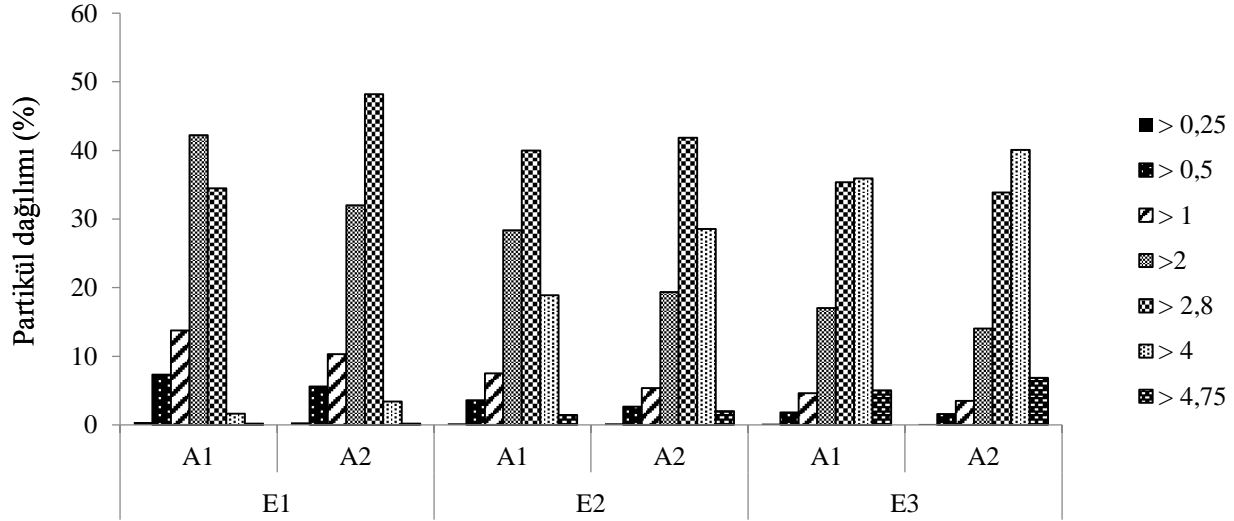
Araştırma sonuçlarına göre arpanın kırılması sonucu elde edilen ortalama çap, standart hata ve özgül yüzey alanı değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4'ün incelenmesiyle ortalama geometrik çap değerleri 1010,16 ile 2936,83 μ arasında bir değişim

göstermiştir. Bu değerlere uygulanan varyans analizi sonucunda çekiç çevre hızı ($F=901,08$), elek tipi ($F=1428,65$) ve besleme ağzı açıklığı ($F=214,70$) istatistiksel olarak ($p<0.01$) anlamlı bulunmuştur. Çekiç çevre hızı x elek tipi interaksiyonu ($F=81,57$), elek tipi x besleme ağzı açıklığı interaksiyonu ($F=14,86$) ve çekiç çevre hızı x elek tipi x besleme ağzı açıklığı interaksiyonu ($F=8,72$) istatistiksel açıdan ($p<0.01$) önemli bulunmuştur. Çekiç çevre hızı x besleme ağzı açıklığı interaksiyonu ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu parametrelere uygulanan LSD testi sonucunda en düşük ortalama geometrik çap için yüksek çekiç çevre hızı (V_3), küçük elek numarası (E_1) ve küçük besleme ağzı seviyesi (A_1) istatistiksel olarak farklılık göstermiştir. Çekiç çevre hızı x elek tipi interaksiyonunda V_3E_1

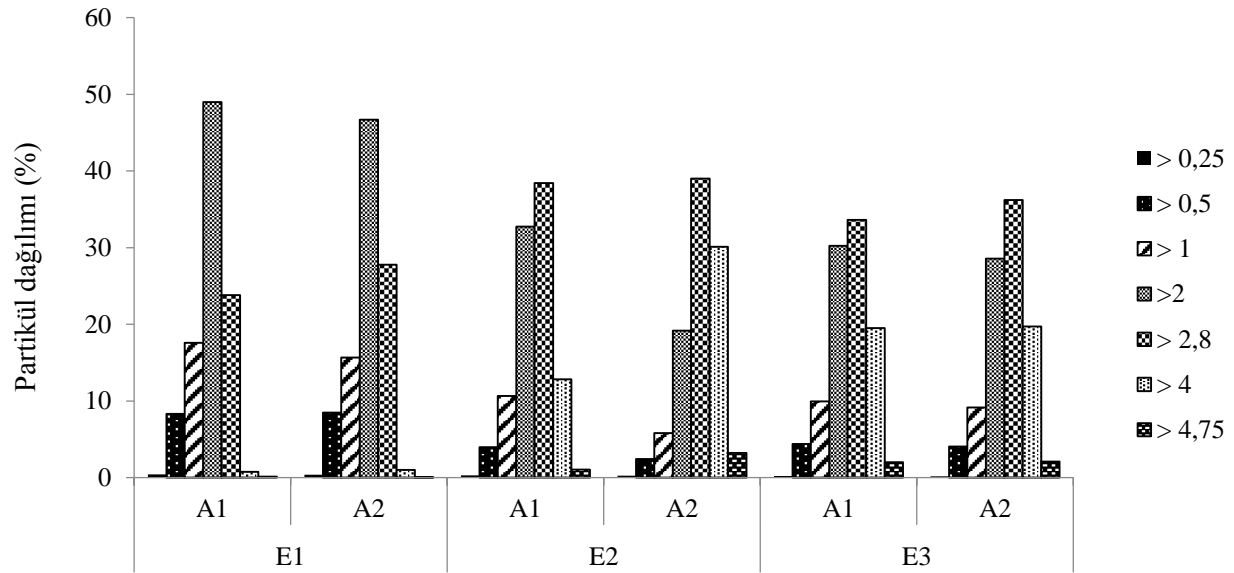
seviyesi, elek tipi x besleme ağız açıklığı interaksiyonunda E_1A_1 ve üçlü interaksiyonda ise $V_3E_1A_1$ seviyesi diğer seviyelere göre istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Aynı zamanda $V_3E_1A_1$ ile $V_3E_1A_2$ seviyeleri

arasında istatistiksel bir farklılığın olmadığı da görülmektedir (Çizelge 4).



Şekil 3.

Çekiç çevre hızının 50 m/s olduğu durumda elde edilen elek analiz dağılımları



Şekil 4.

Çekiç çevre hızının 65 m/s olduğu durumda elde edilen elek analiz dağılımları

Standart sapma değerleri ise 2'nin altında bulunarak 1.14 ile 1.88 arasında bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ortalama geometrik çap ve standart sapma değerlerine bağlı olarak hesaplanan özgül yüzey alanı değerleri

ise $5.38 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$ ile $1.55 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$ arasında bir değişim göstermiştir. Başka bir ifade ile en küçük ortalama çap değerlerinin elde edildiği $V_3E_1A_1$ ve $V_3E_1A_2$ kombinasyonlarında en büyük özgül yüzey alanı değerleri elde edilmiştir.

4. Tartışma

Çekiçli değirmenin denemeleri sonucunda elde edilen öğütme kapasitesi değerleri, çekiç çevre hızındaki ve elek delik büyüklüğündeki artışla yükselmiştir. Öğütme kapasitesi değerleri çekiç çevre hızının 65 m/s, elek çapının 8 mm ve besleme ağzının büyük olduğu kombi-

nasyonda elde edilmiştir. Öğütme gücü değerleri ise çekiç çevre hızının ve besleme ağzı kesit alanının artmasıyla artma eğilimi gösterirken, özgül güç tüketimi değerleri azalma eğilimi göstermiştir. Öğütme sonrası elde edilen materyalin özgül yüzey alanı değerlerindeki artışa bağlı olarak özgül enerji tüketimi değerleri yüksek bulunmuştur.

Çizelge 3.

Çekiçli değirmene ait iş kapasitesi, güç tüketimi ve özgül güç tüketimi değerleri

Çekiç çevre hızı (ms ⁻¹)	Elek çapı (mm)	Besleme ağzı açıklığı (mm ²)	İş kapasitesi (kg/h)	Öğütme güç tüketimi (kW)	Özgül güç tüketimi (kWh/kg)
V ₁	E ₁	A ₁	52.74±1.81	0.30±0.01	5.69x10 ⁻³
		A ₂	156.36±2.19	1.23±0.04	7.86x10 ⁻³
	E ₂	A ₁	53.64±1.12	0.21±0.02	3.91x10 ⁻³
		A ₂	236.30±4.04	0.50±0.02	2.12x10 ⁻³
	E ₃	A ₁	50.82±1.15	0.10±0.01	1.97x10 ⁻³
		A ₂	243.24±4.25	0.40±0.01	1.64x10 ⁻³
V ₂	E ₁	A ₁	74.12±2.55	0.42±0.03	5.67x10 ⁻³
		A ₂	242.34±5.89	1.35±0.02	5.57x10 ⁻³
	E ₂	A ₁	77.26±4.15	0.25±0.01	3.23x10 ⁻³
		A ₂	259.20±5.11	0.82±0.03	3.16x10 ⁻³
	E ₃	A ₁	78.40±2.55	0.16±0.01	2.04x10 ⁻³
		A ₂	304.20±10.47	0.63±0.04	2.07x10 ⁻³
V ₃	E ₁	A ₁	101.56±3.68	0.48±0.02	4.73x10 ⁻³
		A ₂	275.58±4.42	1.43±0.05	5.19x10 ⁻³
	E ₂	A ₁	103.96±2.85	0.22±0.01	2.12x10 ⁻³
		A ₂	329.32±8.59	0.87±0.01	2.64x10 ⁻³
	E ₃	A ₁	105.52±3.34	0.12±0.04	1.14x10 ⁻³
		A ₂	332.10±9.72	0.80±0.01	2.41x10 ⁻³

Çizelge 4.

Arpanın kırılması sonucu elde edilen ortalama çap, standart sapma ve özgül yüzey alanı değerleri

Çekiç çevre hızı (ms ⁻¹)	Elek çapı (mm)	Besleme ağzı açıklığı (mm ²)	D _{gw} (μ)	S _{gw} (standart sapma)	SA (m ² /kg)	Elek çapı ort	
V ₁	E ₁	A ₁	1428.41 _{ij}	1.66	3.58±0.011	E ₁ =1285.2 _c	
		A ₂	1698.47 _g	1.72	3.08±0.110	E ₂ =1988.7 _b	
	E ₂	A ₁	2236.70 _{de}	1.27	2.07±0.030	E ₃ =2235.1 _a	
		A ₂	2487.19 _c	1.30	1.87±0.015	LSD=50.15 (p<0.01)	
	E ₃	A ₁	2707.68 _b	1.16	1.68±0.018	Çekiç çevre hızı x elek çapı interaksiyonu	
		A ₂	2936.83 _a	1.14	1.55±0.016		
V ₂	E ₁	A ₁	1150.70 _k	1.79	4.64±0.135		V ₁ E ₁ =1563.4 _e
		A ₂	1376.73 _j	1.64	3.70±0.084		V ₁ E ₂ =2361.9 _b
	E ₂	A ₁	1697.31 _f	1.46	2.85±0.002		V ₁ E ₃ =1822.3 _a
		A ₂	1973.93 _f	1.37	2.40±0.093		V ₂ E ₁ =1263.7 _f
	E ₃	A ₁	2191.10 _e	1.28	2.12±0.018	V ₂ E ₂ =1835.6 _d	
		A ₂	2345.78 _d	1.24	1.96±0.010	V ₂ E ₃ =2268.4 _c	
V ₃	E ₁	A ₁	1010.16 _i	1.85	5.38±0.145	V ₃ E ₁ =1028.5 _g	
		A ₂	1046.85 _{kl}	1.88	5.33±0.579	V ₃ E ₂ =1768.6 _d	
	E ₂	A ₁	1528.85 _{hi}	1.50	3.21±0.165	V ₃ E ₃ =1614.5 _e	
		A ₂	2008.33 _f	1.35	2.35±0.068	LSD=86.87(p<0.01)	
	E ₃	A ₁	1583.21 _{gh}	1.56	3.14±0.098	Elek çapı x besleme ağzı açıklığı interaksiyonu	
		A ₂	1645.84 _{gh}	1.51	3.00±0.175		
Üçlü interaksiyon LSD=122.8 (p<0.01)					Çekiç çevre hızı ort. LSD=50.15 (p<0.01)		E ₁ A ₁ =1196.4 _e E ₁ A ₂ =1374.0 _d E ₂ A ₁ =1821.0 _c E ₂ A ₂ =2156.5 _b E ₃ A ₁ =2160.7 _b E ₃ A ₂ =2309.5 _a
LSD=70.93 (p<0.01)							

Çekiçli değirmenin arpayı kırma işleminden sonra elde edilen ortalama geometrik çap değerleri, çekiç çevre hızının artmasıyla, elek delik büyüklüklerinin ve besleme ağzı açıklığının azalmasıyla artmıştır. Çekiçli değirmenlerde temel faktör çarpma kuvveti olduğundan, çekiç çevre hızındaki artışa bağlı olarak geometrik çap değerleri azalmaktadır. Yine elek delik büyüklüğü de ortalama geometrik çap büyüklüğünü etkileyen önemli bir faktördür. Beyhan (2008) yaptığı çalışmada, yuvarlak delikli eleklerle ortalama çap değerlerini 885.7 µm ile 2273.3 µm arasında değiştirdiğini ve bu değerlerin kabul edilebilir sınırlar içinde yer aldığını bildirmektedir. Literatür değerleri incelendiğinde domuz beslemede buğday için optimum ortalama geometrik çap büyüklüğünün 800- 900 µm arasında, sığırlar için 3000 µm'nin üzerinde ve etlik piliç beslemede ise 1000 µm'nin üzerinde olması gerektiği belirtilmiştir. Yapılan çalışmalarda geometrik standart sapma değerlerinin ise 2.00-2.40 arasında değiştiğini ve mümkün olması durumunda en iyi geometrik standart sapmanın 1 olduğunu bildirilmektedir (Baker ve Herrman 1995; Baker ve Herrman 2002). Araştırmada elde edilen standart sapma değerleri 1.14 ile 1.88 arasında bir değişim göstermiştir.

Özgül yüzey alanı değerleri çekiç çevre hızındaki artışla artmış ve elek delik büyüklüğündeki artışla ise azalmıştır. Beyhan (2008) yaptığı kırma uygulamalarında yuvarlak delikli elekte 2.16 m²kg⁻¹ ile 5.71 m²kg⁻¹ arasında bir özgül yüzey alanı değerleri saptamıştır. Araştırmada elde edilen 1.55 m²kg⁻¹ ile 5.38 m²kg⁻¹ arasındaki özgül yüzey alanı değerleri diğer araştırmalarla benzerlik göstermiştir.

Araştırma bulguları genel olarak değerlendirildiğinde, eleğin çekiçleri 360⁰ sardığı çekiçli değirmende, besleme ağzı açıklığının büyümesi ile besleme yoğunluğu süreklilik kazanmakta ve öğütme kapasitesi değerleri artmaktadır. Dolayısıyla öğütme gücü ve özgül güç tüketimi değerleri de artmaktadır. Burada besleme ağzının (depo) tasarımı önem kazanmakta olup, küçük açıklıklarda akışla meydana gelen tıkanmalar önlenmelidir. Ayrıca özgül yüzey alanı değerleri göz önüne alındığında, özellikle 2 m²kg⁻¹ özgül yüzey alanı değerlerinin elde edildiği düşük çekiç çevre hızında çalışılmamalıdır. Aksine çekiç çevre hızının yüksek olduğu kombinasyonlarda çalışılması önerilebilir.

5. Kaynaklar

- Akdeniz RC, Boyar S, Akkaş L (2001). Çekiçli Değirmenlerde Elek Yüzey Alanını Değişiminin Bazı Performans Değerlerine Etkisi. *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi*, Şanlıurfa, 543- 551.
- Akkaş L (2001). Çekiçli Değirmenlerde Elek Yüzey Artışının Performans Değerlerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir
- Ateş S, Ayhan V (2007). Karma Yem Üretiminde Değirmen Tipi, Öğütme Derecesi ve Karıştırma Süresinin Broylar Performansı Üzerine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2(2): 11- 21*
- ASTM E11 (1987). Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves. Revised 2009. ASTM International, West Conshohocken, PA
- Babaniazi AM (1996). Çekiçli Değirmenin Performans Değerlerine Elek ve Rotorun Farklı Merkezlerde Yerleştirilmesinin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Baker S, Herrman T (1995). MF-2050 The Effects of Diet Particle Size on Animal Performance. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Manhattan, KS
- Baker S, Herrman T (2002). MF-2051 Evaluating Particle Size. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Manhattan, KS
- Beyhan MA (2008). Oblong Delikli Eleklerin Çekiçli Değirmenlerin Performans Karakteristikleri Üzerine Etkisi. *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi 23(3):158-169*
- Bohnert D, Mills R (2003). Influence of Grain Type and Processing Method on Beef Cattle Consuming Forage-based Diets. Western Beef Resource Committee, Cattle Producer's Library, Nutrition Section, CL333
- Boyles SL, Anderson VL, Koch KB (2000). Feeding Barley to Cattle. <http://beef.osu.edu/library/barley.html> (Erişim tarihi: Haziran 2014)
- Düzgüneş O, Kesici T, Gürbüz F (1983). İstatistik Metotları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:1291, Ankara
- Ebunilo PO, Obanor AI, Ariavie GO (2010). Design and Preliminary Testing of A Hammer Mill With End-suction Lift Capability Suitable For Commercial Processing of Grains and Solid Minerals in Nigeria. *International Journal of Engineering Science and Technology 2(6): 1581- 1593.*
- Mani S, Tabil, LG (2002). Grinding of Chickpeas. An ASAE Meeting Presentation, Paper No: MBSK 02-211. Extension Service, Manhattan, KS