یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

بررسی جریان دانه در دردریچه‌ها در آزمایش با یک رقم جو

عزت اله عسکری اصلی ارده[1]، ریحانه لونی[2]، احمد جهانبخشی[3]

[1]دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی ؛ezzataskari@uma.ac.ir

محقق پژوهشکده نیرو، rloni2017@gmail.com

[3]دانشجوی دکتری دانشگاه محقق اردبیلی ؛ ahmad.jahanbakhshi67@gmail.com

چکیده

دریچه ها تجهیزاتی هستند که در مراحل تولید و فرآوری محصولات دانه‌ای از آنها استفاده می‌شود. اندازه این دریچه برحسب نوع، ابعاد دانه، شرایط محصول و شدت جریان حجمی تعیین می‌شود. هدف از اجرای این طرح بررسی تاثیر محتوای رطوبت دانه، اندازه و شکل دریچه در نرخ تخلیه دانه با استفاده از یک سیلوی آزمایشگاهی بود. در این تحقیق برای انجام آزمایشات از یک رقم دیم متداول جو در استان اردبیل بنام آبیدر با سطوح محتوای رطوبتی دانه ۱۰، ۱۲ و ۱۴ w.b. ٪ استفاده شد. شکل دریچه‌ها مدور و مربعی بود. از چهار اندازه مختلف دریچه دایره‌ای(با اقطار ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ cm) استفاده شد. اضلاع دریچه‌های مربعی طوری اختیار شدند که دارای سطح مقطع یکسان با دریچه دایره‌ای باشند که بترتیب عبارت بودند از ۵۳/۱۶، ۱۰۶/۳۲، ۱۵۹/۴۸ و ۲۱۲/۶۴ mm. مساحت مقطع هر دو نوع دریچه، با بترتیب۲۸۲۷/۴۳ ، ۱۱۳۰۹/۷۳، ۲۵۴۴۶/۹ و ۴۵۲۳۸/۹۳ mm^2 بود. با توجه به شکل دریچه ها (دو نوع)، سطوح محتوای رطوبتی (۳) و اندازه دریچه ها(۴) و تعداد تکرار هر آزمایش (۵)، ۱۲۰ داده بدست آمد. برای تجزیه و تحلیل اثرات اصلی و اثرات متقابل عوامل مستقل، از طرح آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی استفاده شد. نتایج نشان داد که تاثیر محتوای رطوبت دانه، شکل دریچه و اندازه دریچه بر شدت جریان دانه جو قابل توجه بوده است. شدت جریان دانه در دریچه دایره ای بیشتر از مربعی بود. با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۱۰ به ۱۲٪ w.b.، افزایش ۳۰ درصدی درشدت جریان بوجود آمد. با افزایش اندازه دریچه از ۲۸۲۶ الی mm^2 ۴۵۲۱۶، شدت جریان دانه از ۰/۷۰۱ الی ۲۸/۷۹۰ kg/s افزایش یافت.

کلمات کلیدی: نرخ جریان، جو، دریچه، محتوای رطوبت

Investigation of grain flow rate a common barely variety in two square and circle orifices

Ezzatollah Askari Asli – Ardeh, Mansor Rasekh
ezzataskari@uma.ac.ir

ABSTRACT

Orifices are equipment that used in stages of the production and processing of grain crops. Orifices size affected by type, grain size, product condition, and volumetric flow rate. The purpose of this study was to investigate the effects of the grain moisture content, orifice size and shape on the discharge flow rate of grain using a laboratory silo. One common barley variety, namely, *Abidar* with grain moisture content of 10, 12 and 14 w.b % was used. The shapes of the tested orifice were circular and square. The diameter of orifices were 6, 12, 18 and 24 cm. The cross-sectional area of both types of orifices were 2827.43, 11309.73, 25443.9, and 45238.93 m^2. Regarding the shape of the orifices (two types), the moisture content (with three levels) and the area of the orifices (with four levels)) and the five replicates in each experiment. a factorial design in a randomized complete design was used to analyze the main effects and interactions of independent factors. The results showed that the effects of grain moisture content, orifice shape and size on the grain flow

۱- عزت اله عسکری اصلی ارده، دانشگاه محقق اردبیلی، ۰۹۱۴۳۵۴۵۱۲۷، ۰۴۵۳۳۵۱۲۲۰۴

rate were significant. The mass flow rate of the circular orifices was more than square orifices. With increasing grain moisture content of from 10 to 12 w. b % , an increase of 30% was created in mean of mass flow rate. With an increase in the orifice size from 2826 to 45216 mm^2, the mean of mass flow rate increased from 0.8701 to 28.790 kg/s.

Keywords: FLOW RATE, ORIFICE, BARELY

۱- مقدمه

در ایران بعد از گندم، جو در مقام سطح زیر کشت در رتبه دوم قرار دارد و علت آن نیاز آبی کم، مقاومت بسیار خوب در سرما و مقاومت در برابر شوری است. معمولا جو را هنگامی که رطوبت دانه بین ۳۰ تا ۴۰ درصد است، برداشت می‌کنند. در این میزان رطوبت، دانه‌ها ضخیم تر میباشد. کشور روسیه با تولید ۱۵۷۷۳ تن در رتبه اول و کشور ایران با تولید سالانه ۲۹۰۰ تن در رتبه چهاردهم قرار دارد. برداشت جو در اکثر مناطق کشور بصورت مکانیزه صورت می‌گیرد. محنوای رطوبت دانه جو در موقع برداشت باید کمتر از ۱۵ درصد باشد تا امکان انبارکردن سریع آن فراهم شود. محصول جو در سیلو های بزرگ با مخزن بتونی و یا فلزی مقاوم مانند فولاد که نسبت به هوا غیر قابل نفوذ هستند، نگهداری می‌شود. البته دانه جو در کیسه ها نیز بصورت بدر پس از فرآوری در انبارها نگهداری می‌شود.

دریچه ها تجهیزاتی هستند که در کلیه مراحل تولید و فرآوری محصولات دانه ای از آنها به منظور تخلیه و در برخی موارد برای بارگیری استفاده می‌شود. اندازه این دریچه برحسب نوع، ابعاد دانه، شرایط محصول و شدت جریان حجمی تعیین می‌شود. این دریچه ها ممکن است دایره-ای شکل و یا چهار گوش باشند. اندازه این دریچه ها طوری باید انتخاب شود تا جریان مطلوب دانه را تحت شرایط مشخص محصول فراهم سازد. پارامتر اصلی دریچه ها یعنی نرخ جریان دانه بستگی به نوع دانه، شکل دریچه، محتوای رطوبت دانه و مساحت یا اندازه دریچه ها دارد و شناخت عوامل مذکور و تاثیر آنها بر نرخ جریان دانه برای طراحی و انتخاب دریچه ها ضرورت دارد. جریان دانه در مخازن به سه صورت قیفی[1] جرمی[2] و انبساطی[3] صورت می‌گیرد. وود کوک و همکاران(Woodcock et al., 1987) نیز دریچه‌های پرشده با مواد گرانول غیر چسبنده پرداختند. فولر و گلس‌تونباری (Fowler and Glastonbury, 1959) متوجه شدند که با افزایش اندازه‌ی ذرات سرعت تخلیه مواد کاهش می‌یابد که این سرعت قابل پیش‌بینی است. نتایج برون و ریچاردز (Brown and Richards, 1970) نیز آنرا تائید میکرد. بورلو و همکاران (Beverloo et al., 1961)، طی بررسی جریان مواد جامد گرانوله از طریق روزنه‌های دایره‌ای و شکافها ارتباطات دیگری را برای دبی جرمی گزارش کردند. آنها متوجه شدند که مناسب‌ترین رابطه برای پیش‌بینی سرعت جریان توده‌ای از خروجی‌های تحتانی در مخزن‌هایی که بالای آنها باز است رابطه (هگن و بولر) می‌باشد. ویگاردت(*Wieghardt , 1975*) میزان k رابطه بولر هگن را بررسی نموده و مقدار ۱۱الی را برای آن پیش بینی نمود. همچنین طی تجزیه و تحلیل ابعادی نرخ جریان حجمی مجرا به روش ابعادی، بورلو (Beverloo, et al., 1961) نشان داد که نرخ جریان حجمی با توان ۲/۵ قطر مجرا متناسب می‌باشد. کوتچانوا (Kotchanova, 1970) در بررسی سرعت تخلیه از دریچه ها با مقطع های مثلثی و مستطیلی متوجه شدند که رابطه‌ای که در این موارد با اطلاعات تجربی به خوبی سازگاری دارد، رابطه ای است که در آن دبی جرمی با توان ۲/۵ قطر هیدرولیکی دریچه متناسب است.

استال (Stahl, 1950) نشان داد که جریان دانه گندم با مکعب قطر دریچه متناسب می‌باشد.گریگوری و فدلر (Gregory and Fedler, 1987) رابطه‌ای را برای پیش‌بینی جریان حجمی در مجاری ارائه داد که در آن دبی حجمی با مکعب قطر متناسب بود. قطر مجاری آزمایش شده از ۱/۹ الی ۷/۶cm متغیر بود. چانگ و همکاران *(Chang et al., 1984)* در آزمایش با دانه ذرت دریافتند که جریان دانه با توان ۲/۶ الی ۲/۸ قطر مجرا ارتباط دارد و با افزایش محتوای رطوبت دانه ذرت، شدت جریان حجمی کاهش می‌یابد. چانگ و کانورس (Chang and converse, 1988) جریان دانه‌های گندم و سورگوم را در دریچه‌ها مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. در این تحقیق قطر دریچه از ۱۰/۲ الی ۲۵/۴ cm اختیار شده بود و محتوای رطوبت دانه گندم از ۱۲/۹ الی ۱۵/۱٪ w.b و دانه سورگوم از ۱۱/۲ الی ۱۷/۷ w.bدرصد متغیر بود. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش محتوای رطوبت دانه سورگوم جریان دانه بطور معنی‌داری افزایش می‌یابد ولی نرخ جریان دانه گندم تحت تاثیر

[1]Funnel flow
[2]Mass flow
[3]Expand flow

(معنی دار) محتوای رطوبت قرار نگرفته است. موی سی و همکاران (Moysey et al., 1988) در مطالعات خود بر روی جریان بذر از منفذ به این نتیجه رسیدند که ارتفاع بذر در مخزن بر میزان جریان بذر منفذ موجود در کف مخزن تاثیری ندارد و رابطه زیر را برای شدت جریان حجمی بذر ارائه دادند.

$$Q = -0.0342 + 770A_n\sqrt{gD_e} \quad (1)$$

که در آن Q جریان حجمی (L/s)، g شتاب جاذبه محل (m/s^2)، D_e قطر هیدرولیکی منفذ (m) و A_n سطح موثر منفذ(m^2) می‌باشد.

توسط آسویگو و همکاران (Asoegwu et al., 2015) تاثیر محتوای رطوبت دانه خربزه بر شدت جریان حجمی در دو نوع دریچه افقی دایره‌ای و مربعی مورد بررسی قرار گرفته است. طی این تحقیق گزارش شده است که شدت جریان دانه با افزایش محتوای رطوبت دانه (از ۶/۷۶ الی ۱۸/۹ d.b.) کاهش می‌یابد. علت آنرا افزایش ضریب اصطکاک و جرم حجمی توده دانه ذکر کردند. ضمنا در آنالیز رگرسیون شدت جریان دانه بر حسب قطر دریچه دریافتند که در هر دو نوع دریچه شدت جریان دانه با توان ۲/۵۴ و ۲/۹۵ قطر دریچه رابطه مستقیم دارد. توسط مانکوک و همکاران (Mankoc et al., 2007)شدت جریان مواد گرانوله در دریچه ها ی با اندازه های مختلف به منظور بررسی صحت نتایج بورلو (Beverloo et al., 1961) که در آزمایش با دریچه های با قطر کوچک بدست آمده بود، انجام شد. توسط مارینلی و کارکسون (Marinelli and Carson, 1992) جریان دانه در دریچه‌های مخازن، انبارها و تغذیه کننده ها[1]مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته بطوریکه زاویه شیب مخازن در بخش تحتانی و زاویه اصطکاک جداره مخازن را در ایجاد دو نوع جریان دانه (قیفی و جرمی) دخیل دانستند. به منظور جریان پذیری دانه در دریچه ها و عدم گرفتگی آنها، توسط دیویس و دسای (Davies and Desai, 2008) حداقل عرض دریچه‌ها برای دانه های جو، گندم، انگور ، ارزن، همیشه بهار و پانیکوم[2]تعیین شده است. برای جریان پذیری، حداقل عرض دریچه عمودی و دریچه افقی بترتیب معادل ۴/۶ و ۳/۳ برابر بعد مشخصه ذرات تشخیص داده شد. میانگین عرض دانه بعنوان بعد مشخصه در نظر گرفته شده است.

هدف از اجرای این پژوهش بررسی تاثیر محتوای رطوبت دانه، اندازه و شکل دریچه در نرخ تخلیه دانه جو با استفاده از یک سیلوی آزمایشگاهی می‌باشد.

مواد و روشها

عوامل مستقل شامل نوع دریچه، محتوای رطوبت دانه، اندازه دریچه بود. در این تحقیق برای انجام آزمایشات از یک رقم دیم متداول جو در استان اردبیل بنام *آبیدر* با سطوح محتوای رطوبتی دانه ۱۰، ۱۲ و ۱۴ w.b. ٪ استفاده شد. شکل دریچه ها مدور و مربعی بود. از چهار اندازه مختلف دریچه دایره‌ای(با اقطار ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ cm) استفاده شد (شکل ۱). اضلاع و قطر دریچه های مربعی طوری اختیار شدند که دارای سطح مقطع یکسان با دریچه دایره ای باشند. بدین ترتیب امکان مقایسه تاثیر شکل و اندازه دریچه ها بر شدت جریان دانه فراهم شد. مساحت مقطع هر دو نوع دریچه ۲۸۲۷/۴۳، ۱۱۳۰۹/۷۳، ۲۵۴۴۶/۹ و ۴۵۲۳۸/۹۳ mm^2 بود.

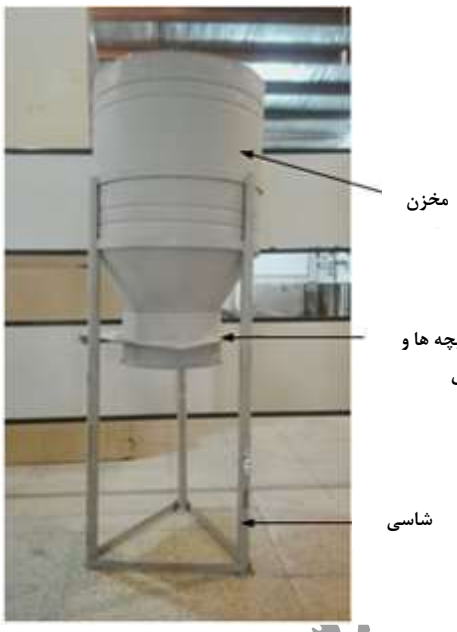
شکل ۱- دریچه های مورد آزمایش

Figure 1. Tested orifices

اجزای سیلوی آزمایشگاهی شامل مخزن استوانه ای به قطر ۵۰ و ارتفاع ۶۰ cm، بخش مخروطی دربخش تحتانی با قطر ۳۰ cm با زاویه شیب ۴۰ درجه، صفحه کشویی و شاسی بود (شکل ۲).

[1]feeders
[2]Panicum

از یک دریچه کشویی برای باز کردن آنی دریچه های مورد آزمایش، استفاده شد. در هر آزمایش مخزن دانه با ۴۰ کیلوگرم دانه جو پر و سپس دریچه کشویی که زیر دریچه مورد آزمایش ها قرار می‌گرفت، بطورآنی کشیده می‌شد تا دانه ها از دریچه عبور کنند. یک فرد دیکر زمان ریزش دانه ها را بوسیله کرنومتر ثبت می‌کرد. با تقسیم وزن دانه ها بر زمان عبور دانه‌ها از دریچه، شدت جریان دانه برحسب (kg/s) بدست می-آمد.



شکل ۲- سیلوی آزمایشگاهی

Figure 2. Laboratory silo

با توجه به شکل دریچه ها در دو نوع دایره‌ای و مربعی، سطوح محتوای رطوبتی سه سطح ۱۰، ۱۲، ۱۴٪ w.b. و اندازه دریچه ها در چهار سطح ۲۸۲۷/۴۳، ۱۱۳۰۹/۷۳، ۲۵۴۴۶/۹ و ۴۵۲۳۸/۹۳ mm^2 و تعداد تکرار هر آزمایش در پنج سطح، ۱۲۰ داده بدست آمد. برای تجزیه و تحلیل اثرات اصلی و اثرات متقابل عوامل مستقل، از طرح آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی استفاده شد و برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس داده های حاصل از اندازه گیری نرخ جریان دانه (جدول ۱) نشان داد که اثرات اصلی شامل شکل دریچه ، محتوای رطوبت دانه و اندازه دریچه و اثرات متقابل چندگانه (بجز اثرات متقابل شکل دریچه و محتوای رطوبت دانه و اثرات متقابل سه تایی شکل دریچه، محتوای رطوبت دانه و اندازه دریچه) بر نرخ جریان دانه معنی دار می‌باشد. نتایج مربوط به اثرات اصلی عوامل کاملا قابل پیش بینی بود و با نتایج محققین دیگر مطابقت داشت.

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس داده های حاصل از اندازه گیری نرخ جریان دانه

Table 1. variance analysis results of data obtained from measuring of mass flow rate

Variation sources	Degree of	Mean square

	freedom	
Replication	4	0.536^{ns}
Orifice Shape (P)	1	18.194**
Moisture content (MC)	2	221.908**
Interactions (P × MC)	2	0.691^{ns}
Orifice Area (A)	3	4701.526**
Interactions (P × A)	3	5.034**
Interactions (MC × A)	6	98.637**
Interactions (P ×MC ×S)	6	0.449^{ns}
error	92	

^{ns}not significant effect, ** significant effect at probability level 1%

نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی عوامل مورد آزمایش بر شدت جریان دانه از دریچه (kg/s) (جدول ۲) نشان داد که میانگین شدت جریان دانه در آزمایشات با دریچه دایره ای (۱۲/۲۲۳ kg/s)، از میانگین شدت جریان دانه در آزمایشات با دریچه مربعی (۱۱/۴۴۴ kg/s) با اختلاف معنی دار (با سطح احتمال ۵ ٪) کمتر می‌باشد. این نتیجه با یافته های (Chang et al., 1988) در آزمایش با دانه های گندم، جو و سورگوم برای دریچه های افقی مطابقت دارد. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی محتوای رطوبت دانه نشان داد که در سطح محتوای رطوبتی ۱۰٪ w.b.، میانگین شدت جریان دانه ۹/۱۱۵ kg/s بود و با تغییر محتوای رطوبت دانه تا ۱۲٪ w.b. افزایش معنی داری در میانگین شدت جریان دانه حاصل شد. بیشترین مقدار میانگین شدت جریان دانه (۱۳/۲۶۷ kg/s) در سطح محتوای رطوبتی دانه ۱۴٪ w.b. با اختلاف غیر معنی دار با اثرات سطح محتوای رطوبتی دانه ۱۲٪ w.b. با مقدار میانگین شدت جریان دانه (۱۳/۱۱۹ kg/s) حاصل شده است. این نتیجه ممکن است در اثر افزایش وزن هزار دانه و کاهش نسبی ضرایب اصطکاک در اثر افزایش محتوای رطوبتی از ۱۲ الی ۱۴٪ w.b. پدید آمده باشد (Chang and Converse, 1988; Beverloo et al., 1961; Gregory et al., 1987).

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی عوامل مورد آزمایش بر شدت جریان دانه از دریچه (kg/s)

Table 2. Mean comparison results of main effects of tested factors on the mass flow rate (kg/s)

Orifice Shape		Grain moisture content (w.b. %)			Orifice area (mm^2)			
Circular	Square	10	12	14	2827.43	11309.73	25446.9	45238.93
12.223 a	11.444 b	9.115 b	13.119 a	13.267 a	0.701 d	4.354 c	13.489 b	28.790 a

با افزایش مساحت دریچه از ۲۸۲۷/۴۳ الی ۴۵۲۳۸/۹۳ mm^2، میانگین شدت جریان دانه بطور متوالی از ۰/۷۰۱ به ۲۸/۷۹۰ kg/s افزایش معنی داری داشته است بطوریکه رابطه شدت جریان دانه برحسب اندازه دریچه بصورت معادله درجه ۲، با ضریب تبیین تقریبا معادل ۱. بود (شکل ۵). البته تغییرات شدت جریان دانه برحسب تغییرات محتوای رطوبت نیز غیر خطی (معادله درجه ۲) بود (شکل ۶).

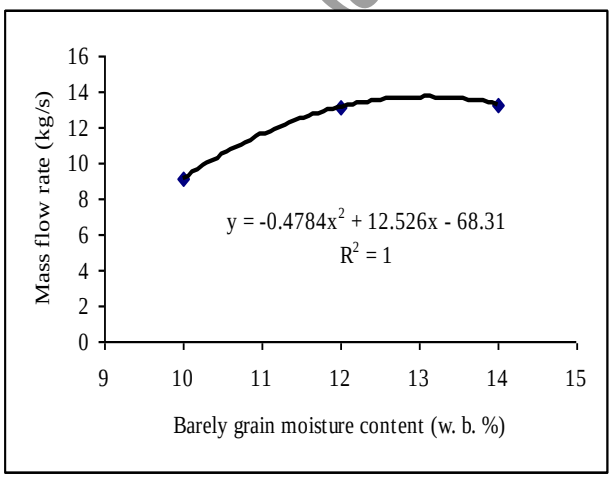


Figure 6. Variation of mass flow rate via grain moisture content

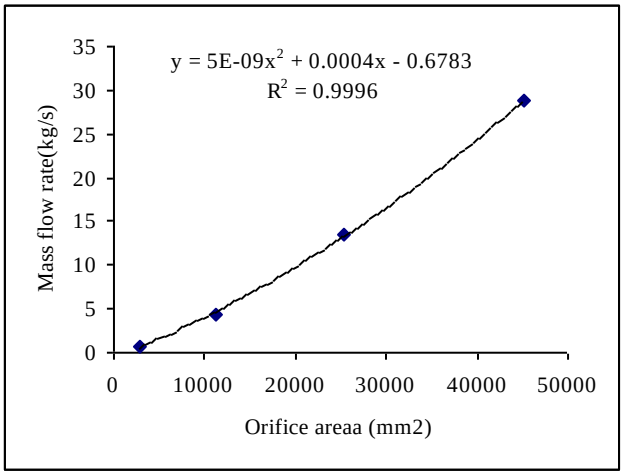


Figure 5. Variation of mass flow rate via orifice area

شکل ۵- تغییرات نرخ جریان دانه بر حسب مساحت دریچه

شکل ۶- تغییرات نرخ جریان دانه برحسب محتوای رطوبت دانه

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل شکل دریچه و محتوای رطوبت دانه (شکل ۷) نشان داد که در آزمایش با دریچه های باسطح مقطع دایره-ای، در ازای افزایش سطوح رطوبتی دانه بترتیب از ۱۰، ۱۲ و ۱۴٪ w.b.، افزایش معنی داری متوالی در شدت جریان دانه رخ داده است. ولی در آزمایش با دریچه مربعی، فقط در ازای افزایش محتوای رطوبت از ۱۰ الی ۱۲٪ w.b.، شدت جریان دانه افزایش معنی داری داشته است. علت آن ممکن است در تاثیر محتوای رطوبت دانه جو در جریان پذیری دانه در اثر افزایش وزن هزاردانه و در نتیجه نوع جریان دانه (جریان جرمی) در مخزن دانه باشد.

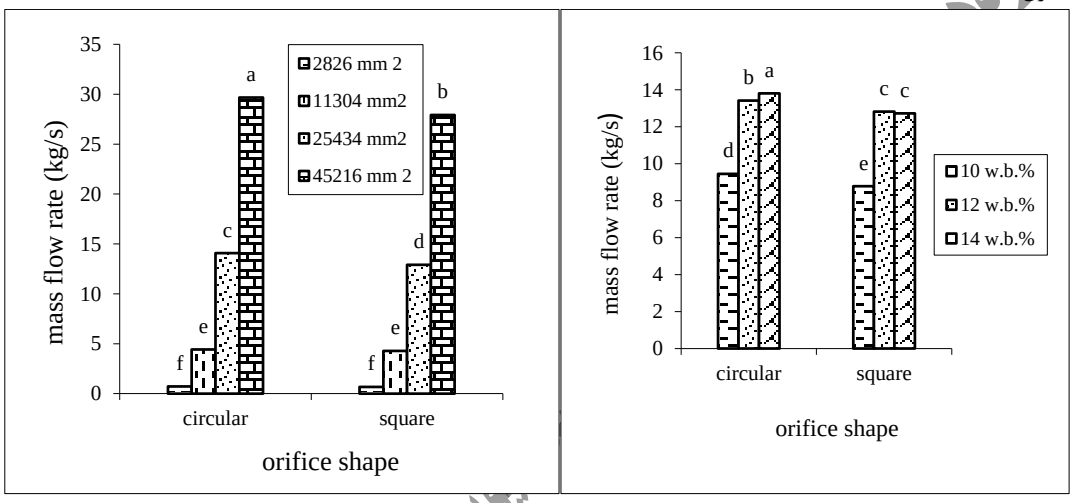


Figure 7. Results of interactions orifice shape and orifice area

شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع و مساحت دریچه بر شدت جریان دانه جو

Figure 8. Results of interactions orifice shape and moisture content

شکل ۸- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل شکل دریچه و محتوای رطوبت دانه جو

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه تایی شکل دریچه، محتوای رطوبت دانه و اندازه دریچه برشدت جریان دانه جو نشان داد که در آزمایش با دریچه های دایره‌ای و مربعی، در ازای هر سطح محتوای رطوبتی مورد آزمایش دانه، با افزایش اندازه قطر دریچه از ۲۸۲۷/۴۳ الی mm^2 ۴۵۲۳۸/۹۳، شدت جریان دانه افزایش معنی داری داشته است. شدت جریان دانه در آزمایشات با اسماحت دریچه mm^2 ۲۶۲۸ و mm^2 ۱۱۳۰۴، اختلاف معنی داری نداشته است. در بقیه حالات آزمایش، اختلاف شدت جریان دانه معنی دار بوده است. بیشترین مقدار میانگین شدت جریان دانه (۳۴/۵۴۱ kg/s) در آزمایش با دریچه دایره‌ای، محتوای رطوبت دانه ۱۴٪ w.b. و قطر دریچه mm ۲۴۰رخ داده است.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه تایی شکل دریچه، محتوای رطوبت دانه و اندازه دریچه برشدت جریان دانه جو

Table 3. Result of mean comparison of triplex interactions of orifice shape, moisture content and orifice diameter on mass flow rate (kg/s)

Orifice Shape					
Square			Circular		
grain moisture content (w.b.%)			grain moisture content (w.b.%)		
14	12	10	14	12	10
Orifice diameter (mm)			Orifice diameter (mm)		

[1] Mass flow rate

60	120	180	240	60	120	180	240	60	120	180	240	75.2	150.39	225.59	300.79	75.2	150.39	225.59	300.79	75.2	150.39	225.59	300.79
0.727 l	4.008 k	11.278 h	21.770 d	0.769 l	4.877 j	15.346 f	32.674 b	0.684 l	4.399 j	15.605 f	34.541 a	0.665 l	3.937 k	10.401 i	20.0137 e	0.705 l	4.537 jk	14.421 g	31.620 c	0.657 l	4.368 jk	13.885 g	31.999 bc

در جدول ۴ معادلات شدت جریان دانه (q, kg/s) برحسب اندازه دریچه (a, mm^2) و قطر هیدرولیکی دریچه (d, mm) در ازای سطوح مختلف پارامترهای مورد آزمایش ارائه شده است. کلیه این معادلات خطی با ضریب تبیین(R^2) بیشتر از ۰/۹ می‌باشند.

جدول ۴ - شدت جریان دانه (kg/s) برحسب اندازه دریچه (mm^2) و قطر دریچه ها (mm) در ازای دو نوع دریچه و سطوح مختلف محتوای رطوبت دانه

شکل دریچه	محتوای رطوبت (w. b. ٪)	معادلات نرخ جریان دانه برحسب قطر (mm) و مساحت دریچه (mm^2)	
دایره ای	۱۰	$q = 0.005d^2 - .00329d - 0.8595$	$R^2 = 1$
		$q = 0.0005A - 1.2059$	$R^2 = 1$
	۱۲	$q = 0.000d^2 - 0.098d + 3.3955$	$R^2 = 1$
		$q = 0.0008A - 2.7858$	$R^2 = 0.99$
	۱۴	$q = 0.0011d^2 - 0.1291d + 4.4.6393$	$R^2 = 1$
		$q = 0.0008A - 3.4697$	$R^2 = 0.99$
مربعی	۱۰	$q = -0.4323d^2 + 20.237d + 67.442$	$R^2 = 0.99$
		$q = 0.0005A - 1.021$	$R^2 = 0.99$
	۱۲	$q = 0.0006d^2 - 0.857d + 3.8716$	$R^2 = 1$
		$q = 0.0007A - 2.8734$	$R^2 = 0.99$
	۱۴	$q = 0.0006d^2 - 0.1017d + 4.8444$	$R^2 = 1$
		$q = 0.0007A - 3.16$	$R^2 = 0.98$

نتیجه گیری

۱- تاثیر محتوای رطوبت دانه، شکل دریچه اندازه دریچه بر شدت جریان دانه جو قابل توجه بوده است.۲

۲- شدت جریان دانه در دریچه دایره ای بیشتر از مربعی بوده است.

۳- با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۱۰ به ۱۲٪ w.b.، افزایش ۳۰ درصدی درشدت جریان بوجود آمد.

۴- با افزایش اندازه دریچه از ۲۸۲۶ الی mm^2 ۴۵۲۱۶، شدت جریان دانه از ۰/۷۰۱ الی kg/s ۲۸/۷۹۰ افزایش یافت.

۵- کمترین میانگین شدت جریان دانه (۰/۶۵۷ kg/s) در آزمایش با محتوای رطوبت دانه ۱۴٪ w.b. دریچه مربعی با اندازه mm^2 ۲۸۲۷/۴۳ و بیشترین میانگین شدت جریان دانه (۳۴/۵۴۱ kg/s) در آزمایش با دریچه دایره شکل با اندازه mm^2 ۴۵۲۳۸/۹۳ با محتوای رطبت دانه ۱۴٪ w.b. حاصل شد.

مراجع

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

1. Asoegwu, S. N., Ogunlowo, Agboolo, S. & Agebetoye, Leo A. Sunday. 2015. Moisture Content Effect on the Volumetric flow Rate of Egusi-Melon (Colocynthis citrullus) Seeds through horizontal Hopper Orifices, Global Journal of science Forontier Research. 15(8): 1-10.
2. Beverloo, W.A., Leniger, H.A., & Van de Velde, J. (1961). The flow of granular material through orifices, Journal of Chemistry Engineering Sciences. 260 – 296.
3. Brown, R. L, Richards, J.C., & Danckwerts, P. V. (1970). Principles of Powder Mechanics, Pergamon Press, London. P. 236
4. Chang C.S., & Converse H. H. (1988). Flow Rate of Wheat and Sorghum through Horizontal Orifices. Transactions of the ASAE, 31(1): 300-304.
5. Chang C. S., Converse H. H. & Lai. (1984). Flow rate of corn through orifices as affected by moisture content. Transactions of the ASAE, 25(5): 1586-1589.
6. Davies, C. E. & Desai, M. 2008. Blockage in vertical slots: Experimental measurement of minimum slot width for a variety of granular materials. Powder Technology, 183(3): 438-440.
7. Gregory J. M. & Felder C. B. (1987). Equation describing granular flow through orifices American Society of Agricultural and Biological Engineers, 30(2): 529-532.
8. Fowler, R.T, & Glastonbury,J.R (1959). The flow of granular solids through orifices, Chemical Engineering Science , 10(3): 150–156.
9. Kotchanova, I.I., (1970). Experimental and theoretical investigations on the discharge of granular materials from bins. Powder Technology 4, 32-37.
10. Mankoc, C., Janda, A., Arevalo, R., Pastor, J. m., Zuriguel, I.,& Garcimartín, A. and Maza, D. (2007). The flow rate of granular materials through an orifice. Granular Matter, 9: 407 – 414.
11. Marinelli, J. & Carson, J. W. (1992). Solve solid flow problems in bins, hoppers, and feeders. Cheminal Engineering Progress p. 22 – 28.
12. Moysey E. B. Lambert E.W. & Wang Z. (1988). Flow rates of grains and oilseeds through sharp-edged orifices. Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers. 31(1): 226-231.
13. Stahl, B. M. 1950. Grain Bin Requirements. USDA Circular No. 835 (Based on data in Engineering Data in Engineering Data on Grain Storage, Agricultural Engineering Data 1: 1-11.
14. Woodcock, C.R., & Mason, J.S. (1987). Bulk Solid Handing: An Introduction to the Practice and Technology, Blackie and Son Ltd, London. 47- 63.
15. Wieghardet, K. (1975). Experiments in granular flow, Annual Review Fluid Mechanics. 7: 89-114

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران