بررسی نیروی فشاری وارد بر سطوح تماس از طرف توده دانه گندم

عزت اله عسکری اصلی اردهٔ[۱]، عادل حکیمی[۲]، یوسف عباسپور گیلانده[۱]

۱- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، ezzataskari@yahoo.co.uk
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

از طرف توده گندم به سطوح تماس مخازن سیلو ها نیرو وارد می‌شود و در طراحی مخازن سیلوها از آن استفاده می‌شود، هدف از این تحقیق تعیین نیروهای افقی و عمودی وارد بر سطوح تماس بود. آزمایشات برروی سه رقم دانه گندم (گوهدشت، مروارید و رقم لاتین N-30-19)، در چهار سطح رطوبتی دانه (۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ w.b.)، سه سطح از سطوح تماس استوانه ای (پلی اتیلن، ورق روغنی و ورق گالوانیزه)، در شش سطح از ارتفاع دانه (۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ cm) انجام شد. قطر و ارتفاع استوانه ها به ترتیب ۲۵ و ۷۰ cm بود. نتایج آنالیز داده ها نشان داد که اثرات اصلی هر چهار عامل و اثرات متقابل آنها بر نیروهای نرمال و جانبی از لحاظ آماری معنی دار می‌باشند. حداکثر و حداقل مقادیر نیرو (به ترتیب ۷۳/۸۵۳ Nو ۱۱۴/۶۰۷ N) در آزمایش با رقم N-30-19 بدست آمد. بیش‌ترین مقدار نیروهای نرمال و جانبی با مقادیر میانگین ۷۳/۹۲۶ و ۱۲۶/۵۳۰ N، به ترتیب در آزمایشات استوانه های های پلی اتیلن و گالوانیزه عاید شد. بطور عموم، با افزایش ارتفاع توده دانه از داخل استوانه ها از ۲۰ الی ۷۰ cm، نیروهای نرمال و جانبی به ترتیب از ۴۹/۸۲۸ الی ۹۱/۹۳۷ N و ۲۸/۲۷۰ الی ۲۰۲/۶۴۷N افزایش یافت. با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۸ به ۲۰٪ w.b. نیروی جانبی از مقدار میانگین ۴۹۵/ ۹۹ به ۱۳۴/۸۸۱ N و نیروی نرمال ازمقدار میانگین ۶۳/۱۲۷ به ۸۰/۷۳۸ N افزایش معنی داری داشت. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل چهار تایی نشان داد که بیش-ترین مقدار نیروی جانبی (۲۸۴/۳۳۹ N)در آزمایش با رقم N-30-19 در محتوای رطوبتی دانه ۱۲٪ w.b.، سطح تماس ورق روغنی با ارتفاع توده دانه ۷۰ cm و بیش‌ترین مقدار نیروی نرمال (۱۱۷/۱۲۶ N)در آزمایش با رقم کوهدشت در محتوای رطوبتی دانه ۸٪ w.b. سطح تماس ورق گالوانیزه با ارتفاع توده دانه ۷۰cm حاصل شد.

کلمات کلیدی: دانه گندم، محتوای رطوبت، سطح تماس، نیروی جانبی و نیروی نرمال

مقدمه

در حال حاضر در اکثر استانهای کشور گندم کشت و سپس در مخزن یا سیلوها ذخیره می‌شوند.گندم توسط کمباین برداشت شده و در مخزن کمباین تا ارتفاع مشخصی ذخیره می‌شود. بعد توسط یک نقاله مارپیچی به داخل مخزن کامیون‌ها و سپس در واحدهای سیلو، توسط تجهیزات انتقال (نقاله‌ها) به مخازن جهت ذخیره و نگهداری منتقل می‌شود. دانه گندم یک ماده نیمه سیال تلقی می‌شود در کلیه این موارد بر جداره مخزن مخصوصا در مخازن عمیق، از طرف دانه نیرو وارد می‌شود. ضخامت جداره مخزن نگهدارنده‌ها و اتصالات بکار برده شده در ساخت این مخازن تحت تاثیر نیروهای وارده از طرف توده دانه قرار می‌گیرند. طراحان این مخازن به اندازه این نیروها نیاز دارند. در اثر ارتباط مخازن دانه با هوای جو، ممکن است تغییراتی در نقاط مختلف توده دانه

در مخازن بوجود آید (Chakraverty and Singh, 2001). لذا تعیین نیروهای وارده از طرف توده دانه تحت شرایط مختلف ضرورت پیدا می‌کند. جانسن (Janssen) برای اولین بار در سال ۱۹۸۷، در خصوص ارتباط نیروهای افقی و عمودی وارده از طرف دانه بر سطوح تماس مدلی را ارئه داده است. در این مدل ارتفاع دانه، ضریب اصطکاک خارجی، نسبت فشارجانبی به فشار عمودی نسبت مساحت کف مخزن به مساحت جانبی مخزن از جمله عوامل دخیل در مدل در نظر گرفته شده اند. به نقل از چاکراورتی و سینگ(Chakraverty and Singh, 2001)، آیری و رانکین (Airy and Rankine) ، مدل هایی را برای طراحی مخازن سیلوها ارائه نمودند که هنوز بطور وسیعی از آن استفاده می‌شود. مدلها نیرو های وارد بر سطوح سیلو را برحسب ضریب اصطکاک داخلی، زاویه اصطکاک خارجی دانه، وزن مخصوص توده دانه و ارتفاع توده دانه پیش بینی می‌کنند. هرابیک و مولندا(Horabik and Molenda, 2000) تحقیقی را برای اندازه گیری نیروهای فشاری دانه در مخازن سیلو در اثر متورم شدن دانه در اثر جذب رطوبت انجام دادند. در این تحقیق مخزن دانه از دو نیمه استوانه به قطر و ارتفاع ۰/۶۱ و m ۰/۷۵ ساخته شده بود. سطح دانه داخل مخزن از بالا کاملا بوسیله یک صفحه صلب مهار شده بود تا در اثر انبساط توده دانه در مخزن، نیروها به سطوح جانبی و کف مخزن انتقال یابند. برای اندازه گیری نیروهای جانبی و قائم وارد بر سطوح از چندین نیروسنج استفاده شد. دال و رابینسون (Dale and Robinson, 1990) طی تحقیقی در مورد تاثیر محتوای رطوبت دانه بر نیروهای فشاری سطوح مخازن دانه به این نتجه رسیدند که هرگاه محتوای رطوبت دانه .w.b۴٪ افزایش یابد، نیروی فشاری جانبی ۶ برابر و نیروی عمودی ۴ برابر افزایش می‌یابد. در تحقیقی دیگرکه توسط کبلی (Kebli, 1998) انجام شده است، نشان داده شد که هرگاه در محتوای رطوبت دانه افزایشی به اندازه .d.b۱۱٪ رخ دهد، نیروی فشاری جانبی ۴ برابر و نیروی عمودی وارد بر سطوح ۲ برابر می‌شود. لاپکو و اندرزج(Lapko and Prusiel, 1997) توزیع تنش حاصل از فشار جانبی دانه را بر جداره سیلو در اثر افزایش درجه حرارت مورد تحلیل قرار داده است. گوپتا و موایر (Gupta and Muir, 1971) فشارهای جانبی دانه را بر سطوح پلی اتیلنی، در ازای مقادیر مختلف نسبت قطر به ضخامت لوله تحت ارتفاعهای مختلف دانه در آن مورد بررسی قراردادند. سپس نتایج حاصله با نتایج حاصل از مدل جانسن (Janssen) مقایسه شده است. مولندا و همکاران (Molenda *et al.*, 2007) در بررسی عملکرد یک سلول فشاری زمینی[1] در سنجش نیروهای وارد بر سطوح تماس نشان داد که وسیله بکار برده شده به عنوان یک مبدل میتواند برای اندازه‌گیری نیروی فشاری دانه همانند لود سل (Load cell) عمل کند. هدف از اجرای این طرح بررسی نیروهای افقی و عمودی وارد بر سطوح در سه رقم گندم متداول در کشور برحسب محتوای رطوبتی دانه و ضخامت توده دانه در مخزن بوده است.

مواد و روشها

گندم مورد استفاده در آزمایش‌ها از ارقام متداول کشت شده در استان اردبیل (سرداری، آذر ۲، سبلان) از شرکت خدماتی حمایتی کشاورزی تهیه شد. رطوبت اولیه نمونه‌ها بوسیله دستگاه رطوبت سنج دیجیتالی مدل (GMK-303) تعیین شد.

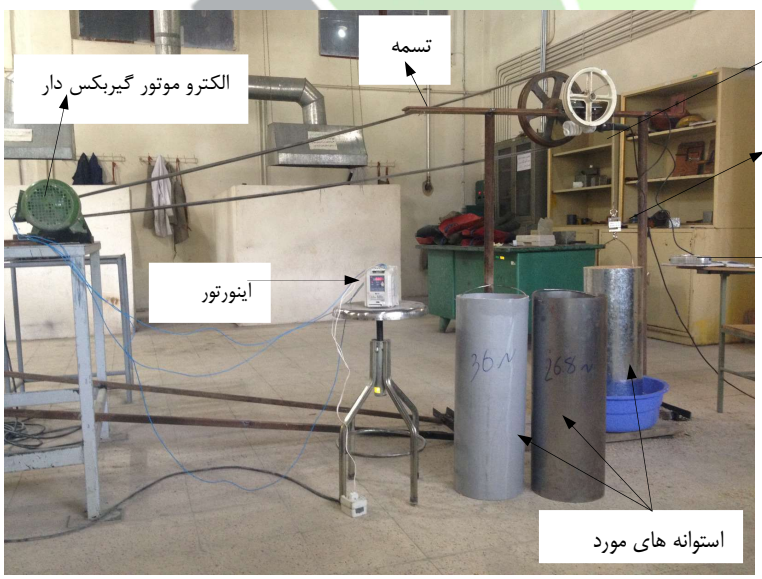
[1]Earth Pressure Cell

محتوای رطوبت دانه گندم در موقع برداشت از ۱۲ الی ۱۴ ٪ w.b. متغیر می‌باشد و حتی ممکن است در حین نگهداری در سیلوها، محتوای رطوبت دانه افزایش فاحشی داشته باشد (Chakraverty and Singh, 2001). لذا برای انجام این تحقیق تصمیم گرفته شد از سطوح مختلف رطوبتی دانه گندم (۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰٪ w.b.) استفاده شود. از روابط زیر مقدار آب مقطر مورد نیاز برای اضافه کردن به نمونه‌ها تعیین می‌شود(Stroshine, 1994).

$$w_i\left(1-\frac{m_i}{100}\right)=w_f\left(1-\frac{m_f}{100}\right) \quad (1)$$

$$w_w = w_f - w_i \quad (2)$$

که در این روابط w_i جرم نمونه دانه با رطوبت اولیه (gr) ، w_f جرم نمونه دانه با رطوبت نهایی (gr)، w_w جرم آب مقطر اضافه شده به دانه‌ها(gr)، m_i درصد رطوبت اولیه نمونه دانه بر پایه تر(w.b.) و m_f = درصد رطوبت نهایی نمونه دانه بر پایه تر(w.b.) می‌باشند. دانه‌های گندم بعد از مخلوط شدن با آب مقطر در کیسه‌های پلاستیکی ریخته میشوند و در دمای ۱۰ درجه سلسیوس به مدت دو روز در یخچال نگهداری شدند(Reddy and Chakraverty, 2004). مدتی قبل از شروع آزمایش نمونه‌ها از یخچال بیرون آورده می‌شوند تا با محیط آزمایشگاه هم دما شوند. سپس آزمایشها بر روی آنها انجام می‌شود. سپس برای تامین سطوح رطوبتی پایین تر جهت آزمایش نمونه ها در معرض تابش نور خورشید و در صورت لزوم در معرض حرارت گرماتاب ها در یک سالن توزیع می‌شدند. بطور مداوم در چندین نقاط دانه توزیع شده، عمل کنترل رطوبت دانه بوسیله رطوبت سنج دیجیتالی انجام و در صورت تامین محتوای رطوبت مطلوب دانه ها جمع سپس آزمایشات برروی آنها انجام می‌شد.



شکل۱- تجهزات مورد استفاده برای اندازه گیری نیروهای نرمال و جانبی از طرف توده دانه

برای انجام آزمایشات از یک الکتروموتور گیربکس دار، تسمه و فلکه، نیروسنج بهمراه لودسل، اینورتور و یک کلید خاموش–روشن مطابق آنچه که در شکل ۱ دیده می‌شود، استفاده شد. برای کاهش سرعت حرکت استوانه ها تا mm/s ۵ از اینورتور استفاده شد.

قبل از آزمایش استوانه در امتداد قائم مسیر کشش فلکه قرار میگرفت و از دانه پر میشد و توسط یک خط کش دانه های اضافی از روی سطح استوانه به بیرون ریخته می‌شد. برای انجام هر آزمایش کلید مربوط به اینورتور روشن می‌شد و حرکت بسیار آهسته از الکتروموتور گیربکس دار ، تسمه و فلکه به فلکه متحرک (به رنگ سفید) منتقل شده سپس بواسطه یک سیم بوکسیر که به آن متصل شده بود، نمونه با سرعت mm/s ۲ بسمت بالا کشیده شده و در صورت رسیدن به هر ارتفاع در داخل استوانه نیرو توسط نیرو سنج اندازه گیری و توسط یک فرد خوانده و ثبت می‌شد. بین سیم بوکسیر و دسته استوانه لودسل قرار داشت. حرکت آهسته استوانه و اندازه‌گیری نیروی کشش برای کشیدن استوانه ها، اندازه گیری نیروی اصطکاک را فراهم می‌کرد. با کم کردن مقدار نیروی اصطکاک روی جداره استوانه از نیروی وزن توده دانه موجود در استوانه وزن یا نیروی نرمال وارد بر سطح افقی که دانه ها بر روی آن قرار داشتند، بدست می‌آمد. با اندازه گیر ی نیروی اصطکاک بدین ترتیب و نیز تعیین ضریب اصطکاک خارجی توده دانه به وسیله یک سطح شیب دار قابل تنظیم، نیروی جانبی عمود بر جداره داخلی استوانه محاسبه شد. به منظور انجام آزمایشات از مخازن استوانه ای به قطر و ارتفاع ۲۵ و cm ۷۰ از جنس ورق گالوانیزه، آهنی روغنی و پلی اتیلنی استفاده شد، آزمایشها در شش سطح از ارتفاع دانه شامل ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و cm ۷۰ ، در چهار سطح از محتوای رطوبت دانه شامل ۸، ۱۲، ۱۶، w.b. ۲۰٪ برای سه رقم دانه گندم متداول در استان اردبیل (کوهدشت، مروارید و رقم هیبرید N-30-19) اجرا شد. هر آزمایش پنج بار تکرار شد. در نهایت با توجه تعداد سطوح ارتفاع سطح دانه در مخزن(۶ سطح)، محتوای رطوبتی دانه (۴ سطح)، تعداد ارقام مورد آزمایش (۳ سطح) و جنس سطوح تماس (۳ سطح) و تعداد تکرار هر آزمایش (۵ سطح) ، ۱۰۸۰ داده در ازای هر کدام از نیرو های فشاری و نرمال (عمودی یا قائم) برای تجزیه و تحلیل آماده شد. برای تجزیه و تحلیل داده های بدست آمده از آزمایشها از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا" تصادفی و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

نیروی نرمال

نتایج تجزیه واریانس داده های حاصل از اندازه‌گیری نیروی نرمال وارد بر سطوح استوانه ای (جدول۱) نشان داد که اثرات اصلی رقم، سطح تماس، ارتفاع توده دانه، محتوای رطوبت دانه و کلیه اثرات متقابل این عوامل بجز اثرات متقابل رقم در ارتفاع و اثرات متقابل چهارتایی این عوامل بر نیروی نرمال یا قائم اثر معنی داری داشته است. یعنی با تغییر رقم در سطوح ارتفاع توده دانه تغییر معنی داری در مقدار میانگین این عامل حاصل نشده است.

جدول۱- نتایج تجزیه واریانس داده های حاصل از اندازه‌گیری نیروهای نرمال وارد بر سطوح تماس

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدارF
رقم (V)	۲	۶۷/۸۹۱	۵/۷۸۰۸ **
سطح تماس(S)	۲	۶۶۰۷/۶۹۳	۵۳۲/۶۴۱۳**
اثرات متقابل(V × S)	۴	۳۳۲/۵۲۹	۲۸/۳۱۴۶**
ارتفاع (H)	۵	۴۱۲۷۳/۱۸۸	۳۵۱۴/۳۸۸۱ **
اثرات متقابل(V × H)	۱۰	۱۳/۹۵۸	۱/۱۸۸۵ ns
اثرات متقابل(S × H)	۱۰	۴۸۷/۰۴۶	۴۱/۴۷۱۷ **
اثرات متقابل(V × S × H)	۲۰	۱۱/۳۴۴	۰/۹۶۵۹ ns
محتوای رطوبت دانه (M)	۳	۱۵۰۰۴/۲۷۷	۱۲۷۷/۶۰۵۵ **
اثرات متقابل(V × M)	۶	۹۳۴/۸۶۳	۷۹/۶۰۳۰ **
اثرات متقابل(S × M)	۶	۲۰۶۵/۷۴۲	۱۷۵/۸۹۶۷**
اثرات متقابل(V × S × M)	۱۲	۶۸/۷۹۳	۵/۸۵۷۷**
اثرات متقابل(H × M)	۱۵	۹۳۷/۲۷۹	۷۹/۸۰۸۷**
اثرات متقابل(V × H×M)	۳۰	۳۸/۹۸۷	۳/۳۱۹۷**
اثرات متقابل(S × H×M)	۳۰	۱۱۳/۰۵۸	۹/۶۲۶۹**
اثرات متقابل(V × S×H×M)	۶۰	۱۵/۰۰۵	۱/۲۷۷۷ ns
خطا	۸۶۴		
مجموع	۱۰۷۹		

** اثر معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد ، ns عدم اثر معنی دار

نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی عوامل مورد بررسی بر نیروی نرمال (جدول ۲) نشان داد که در بین ارقام مورد آزمایش رقم کوهدشت از کمترین مقدار نیروی نرمال (۷۳/۰۵۸ N) با اختلاف غیر معنی دار با رقم مروارید و رقم لاتین N-30-19 از بیشترین مقدار میانگین نیروی نرمال (۷۳/۹۲۹ N) برخودار بوده است. سطوح تماس پلی اتیلن از بیشترین مقدار میانگین نیروی نرمال (۷۷/۸۵۲N) و ورق روغنی از کمترین نیروی نرمال (۶۹/۲۸۸ N) برخوردار بوده است. ضمنا تفاوت معنی داری در میانگین اثرات هر سه سطح تماس مورد آزمایش مشاهده می‌شود.

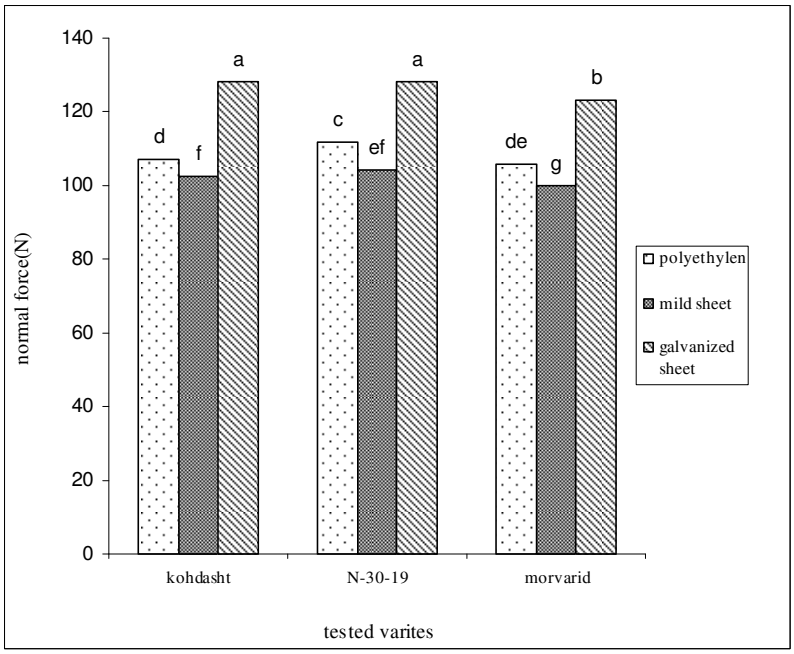
جدول۲ - نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی عوامل مورد بررسی بر نیروی نرمال (N)

رقم	میانگین اثرات	سطح تماس	میانگین اثرات	ارتفاع توده دانه (cm)	میانگین اثرات	محتوای رطوبت دانه(w.b.)	میانگین اثرات
کوهدشت	۷۳/۰۵۸b	پلی اتیلن	۷۷/۸۵۳a	۲۰	۴۹/۸۲۸f	۸	۸۰/۷۳۸a
N-30-19	۷۳/۹۲۹a	ورق روغنی	۶۹/۲۸۸c	۳۰	۶۳/۷۳۵e	۱۲	۷۶/۰۲۰b
مروارید	۷۳/۵۱۵ab	ورق گالوانیزه	۷۳/۳۵۹b	۴۰	۷۲/۳۸۹d	۱۶	۷۴/۱۱۵c
				۵۰	۷۸/۴۴۵c	۲۰	۶۳/۱۲۷d
				۶۰	۸۴/۶۲۹b		
				۷۰	۹۱/۹۷۳a		

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار اثرات (در سطح احتمال ۵٪) در هر ستون می‌باشند

با افزایش ارتفاع دانه از ۲۰ cm الی ۷۰ cm، میانگین نیروی نرمال از مقدار ۴۹/۸۲۸ N به ۹۱/۹۷۳ N افزایش معنی داری داشته است. با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۸ الی ۲۰ w.b.٪، میانگین نیروی نرمال وارده از مقدار ۸۰/۷۳۸ به مقدار ۶۳/۱۲۷ افت داشته است. علت آن ممکن است این باشد که با افزایش محتوای رطوبت دانه ها، دانه ها متورم شده و افزایش محسوسی در جرم حجمی ظاهری آنها پدید نیامده است.

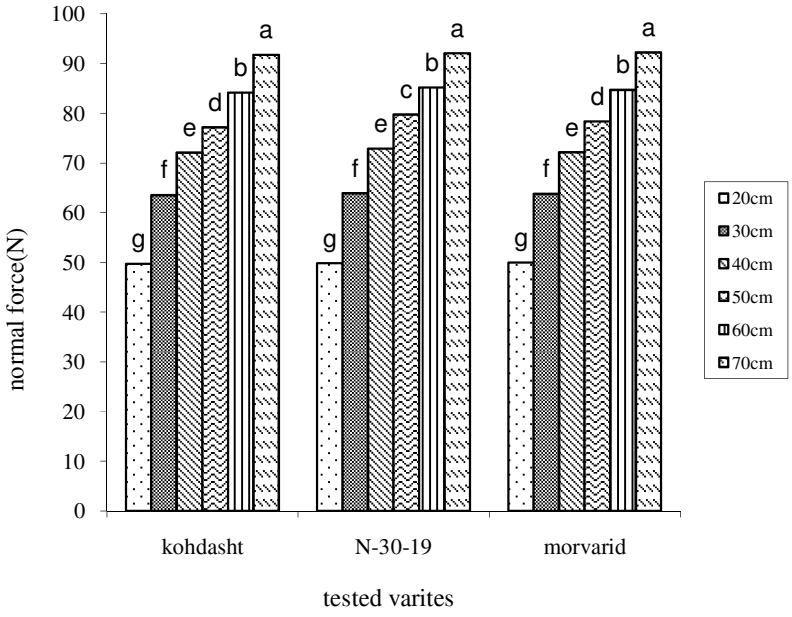
نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و سطح تماس استوانه (شکل۱) نشان داد که در آزمایش با هر سه رقم، بیشترین مقدار نیروی نرمال در آزمایش با استوانه از جنس پلی اتیلن و کمترین نیروی نرمال در آزمایش با ورق روغنی حاصل شده است. در هرقم با تغییر جنس استوانه اختلاف معنی داری در نیروی نرمال حاصل شده است.



شکل ۱ – نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و سطح تماس بر نیروی نرمال(N)

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار اثرات (در سطح احتمال ۵٪) می‌باشند

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و ارتفاع توده دانه در استوانه های مورد آزمایش نشان داد که در آزمایش با کلیه ارقام با افزایش ارتفاع توده دانه، افزایش معنی داری در نیروی نرمال حاصل شده است. در آزمایش با کلیه ارقام در ارتفاعهای یکسان تفاوت معنی داری در نیروی نرمال مشاهده نشد. علت آن ممکن است در عدم اختلاف فاحش جرم حجمی دانه ها در ارقام مختلف باشد (شکل۲).



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و ارتفاع توده دانه بر نیروی نرمال (N)

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار اثرات (در سطح احتمال ۵٪) می‌باشند

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و محتوای رطوبت دانه نشان داد که در آزمایش با ارقام کوهدشت و مروارید با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۸ الی ۲۰٪ w.b. کاهش معنی داری در نیروی نرمال حاصل شده است. ولی در آزمایش با رقم لاتین N-30-19 فقط با تغییر محتوای رطوبت دانه از ۱۶ به ۲۰٪w.b. کاهش معنی داری در نیروی نرمال حاصل شده است. علت اختلاف این پدیده ممکن است تفاوت در خواص فیزیکی دانه ارقام نسبت به محتوای رطوبت دانه ها باشد. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم، جنس استوانه و محتوای رطوبت دانه نشان داد که کمترین مقدار میانگین نیروی نرمال (۵۳/۰۴۴ N) در آزمایشات با رقم کوهدشت، ورق گالوانیزه، و بیشترین مقدار میانگین نیروی نرمال (۸۷/ ۸۱۰ N) در آزمایشات با رقم مروارید (با اختلاف غیر معنی دار با رقم کوهدشت)، استوانه از جنس گالوانیزه در محتوای رطوبتی ۸٪ w.b. بدست آمده است. نتایج مقایسه میانگین اثرات چهار عامله نشان داد که حداقل نیروی نرمال (۴۴/۳۵۳ N) در آزمایشات با رقم مروارید، استوانه از جنس ورق روغنی و در ارتفاع دانه ۲۰ cm، با محتوای رطوبت دانه ۲۰٪ w.b. و بیشترین مقدار آن در آزمایشات با رقم کوهدشت، ورق گالوانیزه، ارتفاع دانه ۷۰ cm و در محتوای رطوبت ۸٪ w.b. حاصل شده است. معادلات موجود در جدول۳ ، نحوه تغییرات نیروی نرمال در آزمایش با ارقام و استوانه های از جنس مختلف بر حسب محتوای رطوبت دانه و ارتفاع دانه در استوانه را نشان می‌دهد. البته کلیه معادلات نیروی نرمال برحسب ارتفاع تقریبا خطی

ولی برحسب محتوای رطوبت دانه در برخی موارد غیر خطی میباشند. البته حالات مختلف امتحان شده و معادله ای که بیشترین ضریب تبیین را همراه داشته باشد، اختیار شده اند.

جدول۳- معادلات نیروی نرمال (N) و ضریب تبیین مربوطه (R^2) وارد برسطح تماس برحسب ارتفاع (h) و محتوای رطوبت دانه (m) برای ارقام و سطوح تماس مورد آزمایش

رقم	سطح تماس	بر حسب ارتفاع(cm)	برحسب رطوبت(w.b.)
کوهدشت	پلی اتیلن	$F_N = 0.957h + 34.46, R^2 = 0.98$	$F_N = -0.047m^3 + 2.013m^2 - 27.24m + 194, R^2 = 1$
	ورق روغنی	$F_N = 0.710h + 38.10, R^2 = 0.98$	$F_N = -1.945m + 97.28, R^2 = 0.98$
	ورق گالوانیزه	$F_N = 0.704h + 39.82, R^2 = 0.94$	$F_N = -2.476m + 106.2, R^2 = 0.98$
N-30-19	پلی اتیلن	$F_N = 0.948h + 34.1, R^2 = 0.98$	$F_N = -0.038m^3 + 1.525m^2 - 18.64m + 147.4, R^2 = 1$
	ورق روغنی	$F_N = 0.714h + 37.64, R^2 = 0.98$	$F_N = -264m^2 + 6.622m + 34.21, R^2 = 0.99$
	ورق گالوانیزه	$F_N = 0.749h + 41.46, R^2 = 0.93$	$F_N = -0.181m^2 + 3.546m + 64.63, R^2 = 0.95$
مروارید	پلی اتیلن	$F_N = 0.970h + 35.54, R^2 = 0.98$	$F_N = -0.043m^3 + 1.752m^2 - 22.63m + 174, R^2 = 1$
	ورق روغنی	$F_N = 0.668h + 37.92, R^2 = 0.98$	$F_N = -2.398m + 106.9, R^2 = 0.93$
	ورق گالوانیزه	$F_N = 0.761h + 39.05, R^2 = 0.95$	$F_N = -0.192m^2 + 3.416m + 61.8, R^2 = 1$

نیروی جانبی

نتایج تجزیه واریانس داده های حاصل از اندازه‌گیری نیروی جانبی وارد بر سطوح استوانه ای (جدول۴) نشان داد که اثرات اصلی رقم، سطح تماس، ارتفاع توده دانه، محتوای رطوبت دانه و کلیه اثرات متقابل این عوامل بجز اثرات متقابل رقم در ارتفاع و اثرات متقابل چهارتایی این عوامل بر نیروی نرمال یا قائم اثر معنی داری داشته است. یعنی با تغییر رقم در سطوح ارتفاع توده دانه تغییر معنی داری در مقدار میانگین این عامل حاصل نشده است.

نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی عوامل مورد بررسی بر نیروی جانبی (جدول ۵) نشان داد که در بین ارقام مورد آزمایش رقم مروارید از کمترین مقدار نیروی جانبی (۱۰۹/۶۸۵ N) با اختلاف معنی دار با دو رقم دیگر و رقم لاتین N-30-19 از بیشترین مقدار میانگین نیروی جانبی (۱۱۴/۶۰۷ N) برخودار بوده است. سطوح تماس ورق گالونیزه از بیشترین مقدار میانگین نیروی جانبی (۱۲۶/۵۳۰N) و ورق روغنی از کمترین نیروی جانبی(۱۰۲/۱۵۸ N) برخوردار بوده است. ضمنا تفاوت معنی داری در میانگین اثرات هر سه سطح تماس مورد آزمایش مشاهده می‌شود. با افزایش ارتفاع دانه از ۲۰ cm الی ۷۰ cm، میانگین نیروی جانبی از مقدار ۲۸/۲۷۰ N به ۲۰۲/۶۴۷ N افزایش معنی داری داشته است. با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۸ الی ۲۰ w.b.٪، میانگین نیروی جانبی وارده از مقدار ۱۳۴/۸۸۱ به مقدار ۹۹/۴۹۵ N افت داشته است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس داده های حاصل از اندازه‌گیری نیروهای جانبی وارد بر سطوح تماس

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	نسبت F
رقم (V)	۲	۲۲۰۲/۴۷	۳۲/۹۲۰ **
سطح تماس(S)	۲	۵۸۰۲۳/۱۸۲	۸۶۷/۱۶۱**
اثرات متقابل(V × S)	۴	۱۶۳/۸۸۶	۲/۴۵۰*
ارتفاع (H)	۵	۷۹۸۲۳۷/۱۹۷	۱۱۹۳۱/۰۹۹ **
اثرات متقابل(V × H)	۱۰	۸۶/۲۵۴	۱/۲۸۹ns
اثرات متقابل(S × H)	۱۰	۳۶۹۸/۳۱۶	۵۵/۲۷۸ **
اثرات متقابل(V × S × H)	۲۰	۲۳/۸۷۳	۰/۳۵۷ ns
محتوای رطوبت دانه (M)	۳	۷۱۳۴۱/۰۰۶	۱۰۶۶/۳۲۰ **
اثرات متقابل(V × M)	۶	۴۴۴۴/۰۹۳	۶۶/۴۲۵ **
اثرات متقابل(S × M)	۶	۵۸۵۵/۱۸۸	۸۷/۵۱۶**
اثرات متقابل(V × S × M)	۱۲	۴۵۷/۴۱۳	۶/۸۳۷**
اثرات متقابل(H × M)	۱۵	۳۶۶۹/۱۰۸	۵۴/۸۴۲**
اثرات متقابل(V × H×M)	۳۰	۱۹۹/۷۱۳	۲/۹۸۵**
اثرات متقابل(S × H×M)	۳۰	۳۳۰/۷۵۵	۴/۹۴۴**
اثرات متقابل(V × S×H×M)	۶۰	۴۵/۶۰۰	۰/۶۸۱ ns
خطا	۸۶۴	۶۶/۹۰۴	
مجموع	۱۰۷۹		

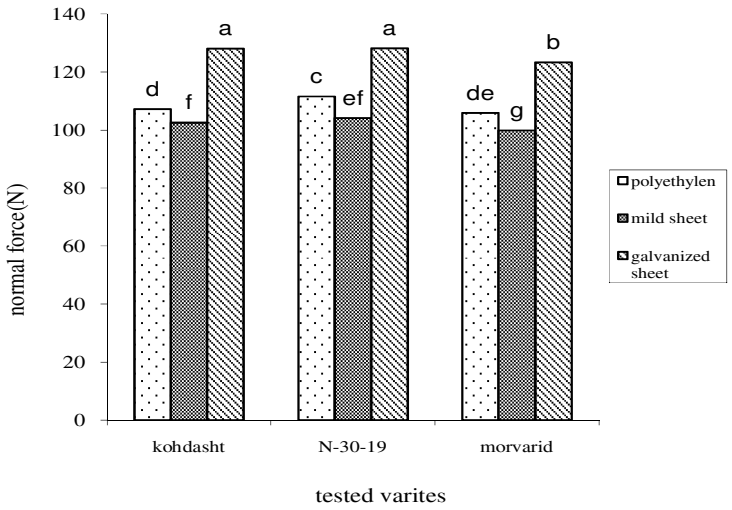
** اثر معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد ، * اثر معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد ، ns عدم اثر معنی دار،

جدول۵- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی عوامل مورد بررسی بر نیروی جانبی (N)

رقم	میانگین اثرات	سطح تماس	میانگین اثرات	ارتفاع توده دانه (cm)	میانگین اثرات	محتوای رطوبت دانه(w.b.)	میانگین اثرات
کوهدشت	۱۱۲/۵۷۱a	پلی اتیلن	۱۰۸/۱۷۶b	۲۰	۲۸/۲۷۷۰f	۸	۱۳۴/۸۸۱a
N-30-19	۱۱۴/۶۰۷b	ورق روغنی	۱۰۲/۱۵۸c	۳۰	۵۵/۸۵۰e	۱۲	۱۱۳/۳۲۸b
مروارید	۱۰۹/۶۸۵c	ورق گالوانیزه	۱۲۶/۵۳۰a	۴۰	۹۰/۷۰۶d	۱۶	۱۰۱/۴۴۸c
				۵۰	۱۲۹/۰۲۵c	۲۰	۹۹/۴۹۵d
				۶۰	۱۶۷/۲۲۸b		
				۷۰	۲۰۲/۶۴۷a		

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار اثرات (در سطح احتمال ۵٪) می‌باشند

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و سطح تماس استوانه بر نیروی جانبی (شکل۳) نشان داد که در آزمایش با رقم کوهدشت، بیشترین مقدار نیروی جانبی (۱۲۸/۱۹۵ N) در آزمایش با استوانه از جنس ورق گالوانیزه و کمترین نیروی جانبی (۹۹/۹۱۵ N) در آزمایش با استوانه از جنس ورق روغنی و رقم مروارید حاصل شده است. در هرقم با تغییر جنس استوانه اختلاف معنی داری در نیروی نرمال حاصل شده است.

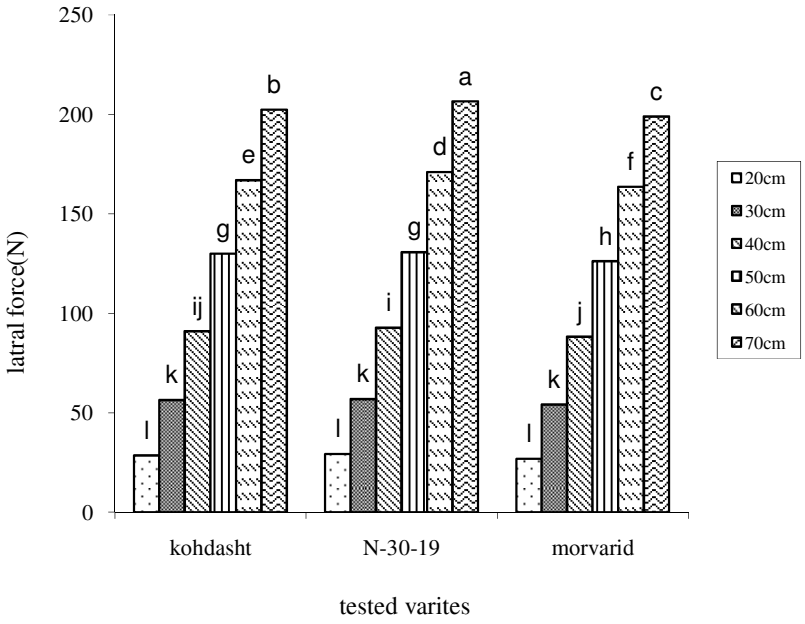


شکل۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و سطح تماس استوانه بر نیروی جانبی(N)

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار اثرات (در سطح احتمال ۵٪) می‌باشند

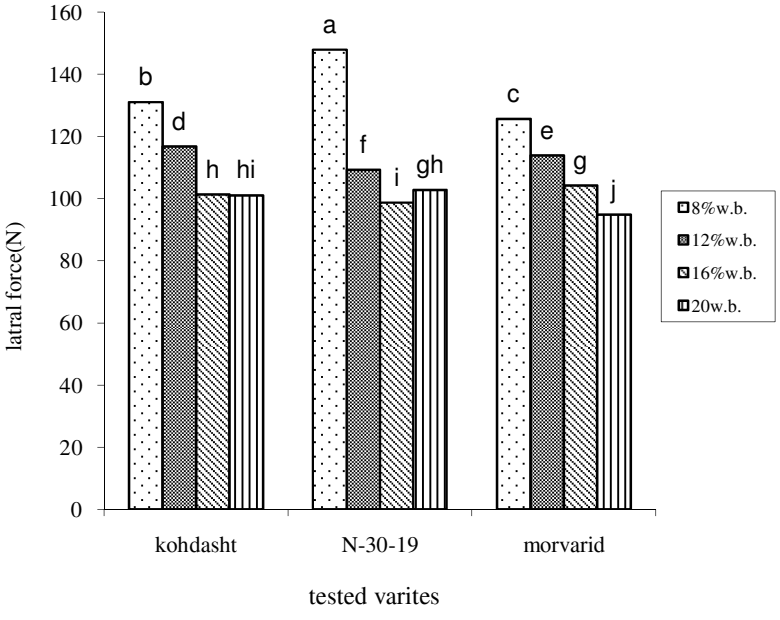
نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و ارتفاع توده دانه بر نیروی جانبی در استوانه های مورد آزمایش (شکل ۴) نشان داد که در آزمایش با کلیه ارقام با افزایش ارتفاع توده دانه، افزایش معنی داری در نیروی جانبی پدید آمده است. در آزمایش با کلیه ارقام در ارتفاعهای یکسان تفاوت معنی داری در نیروی نرمال مشاهده نمیشود. علت آن ممکن است در اثر عدم اختلاف فاحش جرم حجمی دانه ها در ارقام مختلف باشد.

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و محتوای رطوبت دانه نشان داد که در آزمایش با ارقام کوهدشت و مروارید با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۸ الی w.b. ۲۰٪، کاهش معنی داری در نیروی جانبی حاصل شده است. ولی در آزمایش با رقم لاتین N-30-19 فقط با تغییر محتوای رطوبت دانه از ۱۶ به w.b.۲۰٪ کاهش معنی داری در نیروی جانبی حاصل شده است. علت اختلاف این پدیده ممکن است تفاوت در خواص فیزیکی دانه ارقام نسبت به محتوای رطوبت دانه ها باشد (شکل ۵).



شکل ۴ – نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و ارتفاع توده دانه بر نیروی جانبی (N)

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار اثرات (در سطح احتمال ۵٪) می‌باشند



شکل ۵ – نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و محتوای رطوبت دانه بر نیروی جانبی

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار اثرات (در سطح احتمال ۵٪) می‌باشند

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم، جنس استوانه و محتوای رطوبت دانه بر نیروی جانبی نشان داد که کمترین مقدار میانگین نیروی جانبی (۸۵/۸۲۴ N) در آزمایشات با رقم کوهدشت، استوانه از جنس پلی اتیلن، با محتوای رطوبتی دانه ۲۰٪ w.b. و بیشترین مقدار میانگین نیروی جانبی (۱۶۲/۸۷۵ N) در آزمایشات با رقم N-30-19 ، استوانه از جنس گالوانیزه در محتوای رطوبتی دانه ۸٪ w.b. بدست آمده است. نتایج مقایسه میانگین اثرات چهار عامله نشان داد که حداقل نیروی جانبی (۱۶/۵۱۳ N) در آزمایشات با رقم کوهدشت، استوانه از جنس پلی اتیلن و در ارتفاع دانه ۲۰ cm، با محتوای رطوبت دانه ۲۰٪ w.b. و بیشترین مقدار میانگین نیروی جانبی (۲۸۶/۳۳۹ N) در آزمایشات با رقم N-30-19، ورق گالوانیزه، ارتفاع دانه ۷۰ cm و در محتوای رطوبت ۸٪ w.b. بدست آمده است.

معادلات موجود در جدول ۶ ، نحوه تغییرات نیروی جانبی در آزمایش با ارقام و استوانه های از جنس مختلف بر حسب محتوای رطوبت دانه و ارتفاع دانه در استوانه را نشان میدهد. البته کلیه معادلات نیروی جانبی برحسب ارتفاع تقریبا خطی ولی برحسب محتوای رطوبت دانه در برخی موارد غیر خطی میباشند. البته حالات مختلف امتحان شده و معادله ای که بیشترین ضریب تبیین را همراه داشته باشد، اختیار شده اند.

جدول ۶ – معادلات نیروی جانبی و ضریب تبیین مربوطه (R^2) برسطح تماس برحسب ارتفاع (h) و محتوای رطوبت دانه برای ارقام و سطوح تماس مورد آزمایش

رقم	سطح تماس	بر حسب ارتفاع(cm)	برحسب رطوبت(w.b.)
کوهدشت	پلی اتیلن	$F_h = 3.465h - 48.76, R^2 = 0.99$	$F_h = 0.038h^3 - 1.377h^2 + 10.47h + 120.6, R^2 = 1$
	ورق روغنی	$F_N = 3.16hh - 39.84, R^2 = 0.99$	$F_h = 0.053h^3 - 2.90h^2 + 23.72h + 29.18, R^2 = 99$
	ورق گالوانیزه	$F_N = 3.996h - 51.8, R^2 = 0.99$	$F_h = 0.038h^3 - 1.268h^2 + 10.77h + 120.9, R^2 = 1$
N-30-19	پلی اتیلن	$F_N = 3.575h - 49.34, R^2 = 0.99$	$F_h = -0.117h^3 + 5.573h^2 - 88.26h + 566.0, R^2 = 0.99$
	ورق روغنی	$F_N = 3.237h - 41.61, R^2 = 0.99$	$F_h = -0.014h^3 + 1.276h^2 - 28.40h + 577.3, R^2 = 0.99$
	ورق گالوانیزه	$F_N = 4.064h - 53.9, R^2 = 0.99$	$F_h = 0.692h^2 - 23.39h + 306.2, R^2 = 1$
مروارید	پلی اتیلن	$F_N = 3.526h - 52.89, R^2 = 0.99$	$F_h = -0.037h^2 - 2.391 + 147.3, R^2 = 0.98$
	ورق روغنی	$F_N = 3.030h - 37.12, R^2 = 1$	$F_h = -0.028h^3 + 1.314h^2 - 20.28h + 201.9, R^2 = 1$
	ورق گالوانیزه	$F_N = 3.898h - 52.1, R^2 = 0.99$	$F_h = 0.057h^3 - 2.378h^2 + 27.92h + 40.58, R^2 = 0.99$

نتیجه گیری

اثرات اصلی رقم، جنس سطوح تماس استوانه ، ارتفاع دانه در استوانه و محتوای رطوبت دانه و بطور کلی اثرات متقابل آنها بر نیروهای نرمال و جانبی وارد بر سطوح تماس دانه معنی دار میباشد. رقم لاتین N-30-19 دارای بیشترین میانگین نیروی نرمال وارد بر سطح تماس(۷۳/۹۲۶ N) و رقم کوهدشت دارای کمترین (۷۳/۰۵۸ N)میانگین نیروی نرمال دانه بوده است. در

بین سطح تماس آزمایش شده، بیشترین و کمترین نیروی نرمال وارده به ترتیب در آزمایش با استوانه پلی اتین و روغنی حاصل شده است. با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۸٪ w.b. الی ۲۰٪ w.b. میانگین نیروی نرمال از مقدار ۸۰/۷۳۸ N به مقدار ۶۳/۱۲۷ N کاهش یافت. با افزایش ارتفاع دانه از ۲۰ cm الی ۷۰ cm، میانگین نیروی نرمال وارد بر سطح تقریبا ۸۵٪ افزایش داشته است. بیشترین مقدار نیروی نرمال وارد بر سطح از طرف توده دانه گندم (۱۱۷/۱۲۶ N) در آزمایشات با رقم کوهدشت، ورق گالوانیزه، ارتفاع دانه ۷۰ cm و در محتوای رطوبت ۸٪ w.b. حاصل شده است. رقم لاتین N-30-19 دارای بیشترین میانگین نیروی جانبی وارد بر سطح تماس(۱۱۴/۶۰۷ N) و رقم مروارید دارای کمترین (۱۰۹/۶۸۵ N) میانگین نیروی جانبی بوده است. در بین سطح تماس آزمایش شده، بیشترین و کمترین نیروی جانبی وارده به ترتیب در آزمایش با استوانه گلوانیزه و روغنی حاصل شده است. با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۸٪ w.b. الی ۲۰٪ w.b. میانگین نیروی جانبی از مقدار ۱۳۴/۸۳۱ N به مقدار ۹۹/۴۹۵ N کاهش یافت. با افزایش ارتفاع دانه از ۲۰ cm الی ۷۰ cm، میانگین نیروی جانبی وارد بر سطح تماس تقریبا شش برابر افزایش داشته است. بیشترین مقدار نیروی جانبی وارد بر سطح از طرف توده دانه گندم (۲۸۶/۳۳۹ N) در آزمایشات با رقم لاتین N-30-19، ورق گالوانیزه، ارتفاع دانه ۷۰ cm و در محتوای رطوبت ۸٪ w.b. حاصل شده است.

فهرست منابع

Chakraverty, A. and R. Paul Singh. 2001. Postharvest technology, Science Publishers, Inc. USA.

Dale A. C., R.N. Robinson. 1990. Pressure in deep grain storage structures. Agricultural Engineering, 35(5): 570-573.

Horabik, J. and M. Molenda. 2000. Grain pressure in a model silo as affected by moisture content increase, 24, 385-392

Gupta, D. K. and W. E. Muir. 1971. Lateral grain pressures in polyethylene containers, Canadian Agricultural Engineering, 13(2): 56-59.

Kebli H.V. 1998. The effect of changes in grain moisture content on the loads in grain bins. M. Sc. Thesis (Unpublished), University of Florida

Lapko, A. and J. Prusiel. 1997. Stress Analysis of silo wall subjected to grain pressure and thermal actions, Engenharia Civil UM, 3-16.

Molenda, M., M. D. Montross and J. Horabik. 2007. Performance of earth pressure cell as grain pressure transducer in a model silo, International Agrophysics, 21, 73-79.

Reddy, B.S., A. Chakravertty. 2004. Physical properties of raw and parboiled paddy. Biosystems Engineering. 88(4): 461-466.

Stroshine, R. 1994. Physical properties of agricultural materials and food products, Purdue University West Lafayette, Indiana.

Study of grain pressure force acted on contact surfaces by wheat grain mass

Ezzatollah Askari[1*] Asli Ardrh, Adel Hakimi and Yousef Abbaspour Gilandeh[1]
1- Associate Professor, Department of Agricultural Machineries Mechanics, University of Mohagheghe Ardabili, ezzataskari@yahoo.co.uk

Abstract
The grain wheat mass exert pressure on contact surfaces of silos. These forces are applied for designing of silos. The aim of this research was determination of lateral and normal forces acted on contact surfaces. Tests are accomplished with three grain varieties (*Kohdasht, N-30-19 and Morvarid*), at four levels of grain moisture content (8, 12, 16, 20 w.b.%), at three levels of contact surface materials type (polyethylene, mild steel sheet and galvanized sheet in cylinder) and at six levels of grain mass height (20, 30, 40, 50, 60 and 70cm) at five replications. cylindrical contact surfaces had diameter and height 25 and 70cm, respectively. Apparatus to measuring of forces were included digital force meter, gearbox electromotor, rotational speed decreasing mechanism, inverter, connector wire and cylinders. Gearbox electromotor was used for raising of cylinders slowly. To analysis of obtained data, completely randomized design was used. For comparing of effects mean, Duncan's Multiple Range Test was used**.** The results of data variance analysis showed that effects of each four factors and interactions were significant probability on normal and lateral forces. The most normal and lateral forces means (73.853 N and 114.607N, respectively) obtained at tests with N-30-19 variety. The most normal and lateral forces with mean values 73.926 and 126.530 N obtained at tests with polyethylene and galvanized material cylinders, respectively. In general, with increasing of grain mass into cylinders from 20 to 70 cm, the normal and lateral forces means increased 49.828 to 91.973 N and 28.27 to 202.647 N, respectively. With increasing of grain moisture content from 8 to 20%w.b., the normal and lateral forces means increased significantly from63.127 to 80.738 N and 99.195 and 134.8814 N, respectively. The results of mean comparison of four factors interactions showed that the most of lateral force mean (284.339 N) obtained at tests with N-30-19 variety, grain moisture content 12%w.b., contact surface material of milled steel sheet and grain mass height of 70cm. The most of lateral normal mean (117.126 N) obtained at tests with *Kohdasht* variety, grain moisture content 8 w. b. %, contact surface material of galvanized sheet and grain mass height of 70cm.
Keywords: Contact surface, Grain wheat, Lateral force, Moisture content and Normal force