

## بررسی عملکرد دستگاه جداکننده میز وزنی در میزان جداسازی جو از توده گندم

سعید آقاعیزی<sup>۱</sup>، منصور راسخ<sup>۲\*</sup>، یوسف عباسپور گیلانده<sup>۳</sup> و محمدحسین کیانمهر<sup>۴</sup>

### چکیده

طراحی بهینه برای فرآیندهای سورتینگ، درجه‌بندی و سایر عملیات پس از برداشت محصولات کشاورزی، نیازمند داشتن اطلاعات مناسب در مورد خواص فیزیکی آنهاست. همچنین دستیابی به محصولی با کمیت و کیفیت بالا نیازمند مبارزه با علف‌های هرز و جداسازی ناخالصی‌های موجود در آن است. از این‌رو در پژوهش حاضر، برخی از خواص فیزیکی گندم و جو اندازه‌گیری و از یک جداکننده وزنی برای جداکردن جو موجود در توده گندم استفاده شد. دستگاه مذکور دارای پنج پارامتر قابل تنظیم سرعت هوا، دامنه نوسان، فرکانس نوسان، شیب طولی و شیب عرضی میز بود که تأثیر این پارامترها در قالب دو آزمایش فاکتوریل در طرح پایه کاملاً تصادفی برای دستیابی به حداکثر جداسازی جو از توده گندم مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج، در شرایط سرعت هوای ۶/۷۵ m/s، دامنه نوسان ۵ mm، شیب طولی  $2/5^\circ$ ، شیب عرضی  $0/75^\circ$  و فرکانس نوسان ۳۹۵ سییکل بر دقیقه، حداکثر جداسازی جو از گندم به میزان ۲۰/۶ درصد حاصل شد. در اغلب موارد با افزایش شیب عرضی میز از  $0/75^\circ$  تا  $2/25^\circ$  و شیب طولی میز از  $2/5^\circ$  تا  $4/5^\circ$  و همچنین با افزایش فرکانس تا ۴۳۵ سییکل بر دقیقه، مقدار جداسازی جو از توده گندم کاهش می‌یافت. همچنین کمترین مقدار جداسازی جو از گندم در شرایط فرکانس نوسان ۴۵۵ سییکل بر دقیقه، شیب طولی  $4/5^\circ$ ، شیب عرضی  $1/5^\circ$ ، دامنه نوسان ۵ mm و سرعت هوای ۶ m/s، برابر با ۹/۴۱۷ درصد به‌دست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** جو، جداکننده میز وزنی، خواص فیزیکی، گندم.

**ارجاع:** آقاعیزی س. راسخ م. عباسپور گیلانده ی. و کیانمهر م. ج. ۱۳۹۸. بررسی عملکرد دستگاه جداکننده میز وزنی در میزان جداسازی جو از توده گندم. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۸(۲): ۹۷-۱۰۶.

۱- دانشجوی دکتری رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۳- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۴- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

\* نویسنده مسئول: [raskh\\_ma@yahoo.com](mailto:raskh_ma@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۹

## مقدمه

تمامی خواص اندازه‌گیری شده افزایش می‌یابد و روند افزایش ضریب اصطکاک استاتیکی با افزایش رطوبت به‌صورت خطی می‌شود (Aghajani *et al.*, 2012). توکلی و همکاران معتقدند طراحی بهینه برای فرآیندهای سورتینگ، درجه‌بندی و سایر عملیات پس از برداشت محصولات کشاورزی نیازمند داشتن اطلاعات مناسب در مورد خواص فیزیکی آنها است (Tavakoli *et al.*, 2009). آنها تأثیر رطوبت در چهار سطح از ۷/۳۴ تا ۲۱/۵۸ درصد بر پایه خشک را بر روی خواص فیزیکی دانه‌های جو بررسی کردند. نتایج نشان داد میانگین‌های طول، عرض، ضخامت، قطر میانگین هندسی، وزن هزار دانه، مساحت سطح رویه و زاویه ریپوز با افزایش محتوای رطوبتی افزایش یافتند. این در حالی است که افزایش رطوبت باعث کاهش مقادیر چگالی توده، چگالی حقیقی و تخلخل شد. همچنین آن‌ها روند خطی را در افزایش ضریب اصطکاک استاتیکی در مقابل افزایش رطوبت گزارش کردند. در ایران بیش از ۲۰۰ گونه گیاهی به‌عنوان علف هرز مزارع گندم معرفی شده‌اند که گاهی در هنگام برداشت محصول، این بذرها و علف‌های هرز در توده محصول بوده و همین امر باعث کاهش ارزش اقتصادی و کیفی محصول می‌شود (Fallah-Mehrjerdi & Mirvakili, 2010). برای بالا بردن کیفیت گندم تولیدی، جدا کردن جو از گندم به‌عنوان یکی از علف‌های هرز موجود در آن، امری ضروری به‌نظر می‌رسد. بوجاری، تمیزکردن و جداسازی دانه‌ها سبب کاهش مشکلات ایجاد شده در طی فرآیند کاشت، تسهیل در عملیات داشت، کاهش فضای مورد نیاز برای انبار، افزایش عملکرد محصول و افزایش بازارپسندی می‌شود. فرآیند تمیزکردن و جداسازی، اساسی‌ترین کار در یک سیستم درجه‌بندی دانه‌ای است و از فرآیندهای بسیار مهم و کلیدی برای بازاریابی و بازارپسندی دانه‌ها محسوب می‌شود. جداسازی دانه‌ها با استفاده از روش نیوماتیکی یکی از روش‌های جداسازی پیوسته و انعطاف‌پذیر است که در آن مواد کشاورزی به‌واسطه فشار منفی یا مثبت جدا می‌شوند. این روش در چند دهه اخیر از لحاظ تجاری، سهم عمده جداسازی مواد کشاورزی را به خود اختصاص داده و مدت‌هاست در ماشین‌های کشاورزی و مهندسی فرآوری مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ebrahimi & Askari, 2015). در تحقیقی امکان جداسازی یولاف وحشی از گندم به کمک جداکننده وزنی مورد بررسی قرار

گندم، از مهم‌ترین غلات و از گیاهان گل‌دار تک‌لپه‌ای، یک‌ساله، از تیره گندمیان بوده و در تغذیه مردم از اهمیت بالایی برخوردار است. استان فارس و خوزستان از مناطق مهم تولید گندم در ایران هستند (AgaAzizi & Askari, 2017) که به ترتیب ۱۵/۹ درصد و ۱۰/۴ درصد از مجموع تولید گندم دیم و آبی کشور را به خود اختصاص داده‌اند (Ahmadvand & Najafpour, 2010). گندم از اولین گیاهانی است که کشت و زرع شده و از پرمصرف‌ترین و با ارزش‌ترین غلات برای بشر به شمار می‌رود. گندم در الگوی مصرف و به‌تبع آن در الگوی تولیدات کشاورزی جهان نقش حیاتی دارد (Kashi, 2010). برآیند آمارهای گزارش شده از سوی سازمان خواروبار جهانی حاکی از آن است که در ایران، در بین گیاهان زراعی، گندم از نظر سطح زیر کشت جایگاه اول را دارد و تولید آن رو به افزایش است (FAO, 2018). یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد گیاه زراعی، وجود علف‌های هرز و بذره‌های سایر گیاهان در مزارع است. از مهم‌ترین ناخالصی‌های موجود در توده دانه گندم که به کاهش کیفیت آرد تولیدی از گندم منجر می‌شود، دانه‌های جو موجود در آن است. شناخت خواص فیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی، همواره مورد توجه و علاقه متخصصین بوده است. این موضوع به‌ویژه در رابطه با ماشین‌های کشاورزی، از لحاظ تأثیری که در بخش‌های مختلف ماشین در مراحل کاشت، برداشت، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی و فرآوری محصول ایجاد می‌کند، حائز اهمیت است. از این‌رو تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شده است. در یک مطالعه خواص فیزیکی دانه‌های گندم، جو، نخود و عدس اندازه‌گیری شد (Gürsoy & Güzel, 2010). آنها در گزارش خود بر اهمیت شناخت خواص فیزیکی و آیرودینامیکی محصولات کشاورزی در راستای طراحی و ساخت ماشین‌های فرآوری، سورتینگ و پس از برداشت محصولات کشاورزی تأکید کرده‌اند. در پژوهشی دیگر تأثیر رطوبت بر خواص فیزیکی شامل: اندازه، ابعاد، حجم، چگالی حقیقی و توده، زاویه ریپوز پرکردن و تخلیه و ضریب اصطکاک استاتیکی بر روی سطوح مختلف بر روی دو رقم جو (صحرا و والفجر) بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش رطوبت از ۱۰/۱۲ تا ۴۲/۱۷ درصد بر پایه تر،

و مشخص شد که ماشین بوجاری کیمبریا<sup>۱</sup> بیشترین جداسازی برابر ۸۶/۷۲ درصد را دارد. همچنین آن‌ها گزارش دادند جداسازی در رقم به‌رنگ با مقدار ۸۴/۳۱ درصد بهتر از ارقام دیگر انجام می‌گیرد. در تحقیقی دیگر یک جداکننده نیوماتیکی آزمایشگاهی ارزیابی شد (Rouzegar *et al.*, 2013). ارزیابی آن‌ها شامل پارامترهای محتوای رطوبتی (۱۲ و ۱۸ درصد بر پایه تر)، میزان نرخ تغذیه (۱۳، ۲۵ و ۳۲ کیلوگرم بر دقیقه) و دور فن مکنده (۸۵۰، ۹۵۰ و ۱۱۵۰ دور در دقیقه) در چهار تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان پاک‌کنندگی به مقدار ۹۹/۵۵ درصد در دور فن ۸۵۰ دور در دقیقه است. همچنین با افزایش محتوای رطوبتی دانه و افزایش نرخ تغذیه، میزان پاک‌کنندگی نیز به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. محققان دیگری برای جداسازی و درجه‌بندی دانه‌های گندم، یک جداکننده آزمایشگاهی را ارزیابی کردند (Ebrahimi & Askari asli arde, 2015). آزمایش‌های آن‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با پارامترهای سه سرعت دورانی فن و سه نرخ تغذیه با محصول گندم رقم آذر ۲ انجام شد. نتایج نشان داد افزایش نرخ تغذیه همراه با کاهش دور فن باعث افزایش پاک‌کنندگی می‌شود. آن‌ها بیشترین میزان پاک‌کنندگی را ۹۸/۸۷ درصد گزارش کردند.

با توجه به پایین بودن ارزش غذایی جو نسبت به گندم، در صورتی که این دانه در توده گندم باشد، در فرآیندهای مختلف عمل‌آوری می‌تواند موجب افت کیفیت محصول نهایی و کاهش ارزش اقتصادی محصول تولیدی شود. چنانچه از این محصول برای بذر استفاده شود، وجود آن باعث کاهش درجه خلوص محصول تولیدی می‌شود. همچنین با توجه به بیشتر بودن قدرت و سرعت جوانه‌زنی در جو و نیاز آبی بیشتر آن در این مرحله، در صورتی که دانه‌های جو همراه گندم به‌عنوان بذر محصول بعدی باشد، می‌تواند به کاهش عملکرد محصول اصلی یعنی گندم منجر شود. با توجه به مطالب ذکر شده ضرورت جداسازی جو موجود در توده گندم به‌عنوان ناخالصی، کاملاً مشخص است. لذا در این تحقیق برخی از خواص فیزیکی دانه‌های گندم و جو بررسی و مقایسه شد و با استفاده از یک جداکننده میز وزنی، پارامترهای مؤثر در جداسازی دانه جو موجود در توده گندم بررسی و با تعیین و تنظیم

گرفته است (Kashi (2010). ایشان در آزمایش‌های خود از یک دستگاه جداکننده میز وزنی استفاده کردند. نتایج نشان داد هنگامی که شیب طولی میز ۴ درجه و شیب عرضی آن ۱ درجه، فرکانس نوسان ۴۵۰ سیکل بر دقیقه، سرعت هوا ۵/۷ متر بر ثانیه و دامنه نوسان ۷ میلی‌متر باشد، حداکثر جداسازی یولاف از گندم حاصل می‌شود و مقدار آن برابر ۵۶/۲۴ درصد است. جداسازی گندم سن-زده از گندم سالم توسط جداکننده میز وزنی مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه گرفته شد دستگاه جداسازی میز وزنی در شرایط شیب عرضی ۲ درجه، شیب طولی ۳ درجه، فرکانس نوسان ۴۵۰ سیکل بر دقیقه و سرعت هوای ۸ متر بر ثانیه در جداسازی گندم سن‌زده از سالم بهترین عملکرد را دارد (Rasekh *et al.*, 2005). در تحقیقی دیگر از آنالیز ابعادی برای تعیین پارامترهای مؤثر دستگاه جداکننده میز وزنی، به منظور کاهش ناخالصی موجود در توده عدس استفاده شد (Bagheri *et al.*, 2017). در این تحقیق، از یک دستگاه جداکننده میز وزنی با پارامترهای قابل تنظیم شیب عرضی میز (در سه سطح)، شیب طولی میز (در پنج سطح)، دامنه نوسان میز (در دو سطح)، فرکانس نوسان در (چهار سطح) و سرعت هوای ثابت در ۵/۷ متر بر ثانیه برای جداسازی ناخالصی‌های توده دانه عدس استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش شیب عرضی میز از ۰/۵ به ۱ درجه و افزایش شیب طولی میز از ۱ به ۲ درجه سبب افزایش جداسازی ناخالصی موجود در توده عدس می‌شود. همچنین اثر عدد بدون بعد  $V/a\omega$  (سرعت جریان هوای دمیده شده به میز نسبت به حاصل ضرب دامنه در سرعت نوسان میز) در نسبت جداسازی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد هنگامی که مقدار  $V/a\omega$  برابر با ۱۷۱، شیب عرضی میز ۱ درجه و شیب طولی میز ۲ درجه باشد، درصد جداسازی ناخالصی موجود در توده عدس به بیشترین مقدار می‌رسد. به‌منظور ارزیابی و تعیین بازده ماشین‌های بوجاری بذر گندم، آزمایشی انجام گرفت (Chenari *et al.*, 2012). فرآیند بوجاری کردن در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی با چهار فاکتور: نوع ماشین (سه سطح)، میزان تغذیه (دو سطح)، سرعت باد (سه سطح) و رقم بذر گندم (سه سطح) در سه تکرار انجام و اثر عوامل مذکور بر جداسازی ماشین بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که هر چهار فاکتور بر روی جداسازی اثر معنی‌داری دارند

سطح شیب‌دار به تدریج افزایش داده شد تا حدی که استوانه شروع به سر خوردن کرد. در این لحظه، زاویه سطح شیب‌دار ( $\alpha$ )، توسط یک شیب‌سنج دیجیتالی ثبت شد. ضریب اصطکاک استاتیکی ( $\mu_s$ ) برابر با تانژانت زاویه سطح شیب‌دار در لحظه شروع حرکت ظرف بود (معادله (۲)).

$$m_s = \tan \alpha \quad (3)$$

به منظور تعیین تأثیر نوع دانه و نوع سطوح بر مقدار ضریب اصطکاک استاتیکی، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در ۵ تکرار انجام شد.

برای تعیین سرعت حد از تونل باد عمودی استفاده شد. برای این کار دانه‌ها در مسیر جریان هوای قائم در داخل تونل قرار گرفتند و سرعت هوا به تدریج افزایش یافت تا این‌که دانه‌ها بدون حرکت و یا حرکت قائم جزئی، معلق ماندند. در این حالت نیروهای وارد بر دانه در تعادل بوده و سرعت هوای دمیده شده، سرعت حد ذره است. برای ایجاد جریان هوا از یک دستگاه دمنده با مارک Unique مدل 7921u و برای اندازه‌گیری سرعت هوا از یک سرعت‌سنج سیم داغ مارک Testo مدل 1340 با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه استفاده شد.

برای جداسازی جو از توده گندم، دستگاه جداکننده میز وزنی مدل LA-K ساخت شرکت WESTRUP دانمارک مورد استفاده قرار گرفت. این دستگاه دارای پنج پارامتر قابل تغییر شامل: شیب طولی میز، شیب عرضی میز، فرکانس نوسان میز، دامنه نوسان میز و سرعت هوای دمیده شده بود و دانه‌ها را براساس چگالی آن‌ها از هم جدا می‌کرد. شکل ۱ تصویر دستگاه جداکننده میز وزنی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

در شکل ۲ طرح‌واره دستگاه جداکننده میز وزنی نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲، دستگاه دارای یک مخزن تغذیه لرزان است. ارتفاع میز در جهت مثبت x (شیب طولی) و جهت مثبت y (شیب عرضی) افزایش می‌یابد. لذا گوشه پایین‌تر سمت چپ میز (نقطه O) کمترین ارتفاع را دارد. مواد در امتداد ضلع Ox از میز خارج می‌شوند. میز در امتداد محور x حرکت رفت و برگشتی دارد و جریان هوا از زیر به مواد روی آن برخورد می‌کند. در اثر ارتعاش میز و نیروی هوا، مواد سبک‌تر بر روی مواد سنگین‌تر شناور شده و در اثر شیب‌های طولی و عرضی میز در گوشه پایین‌تر سمت چپ میز جدا می‌شوند.

صحیح پارامترهای دستگاه، حداکثر جداسازی این ناخالصی از گندم حاصل شد.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق از گندم رقم آذر ۲ استفاده شد که در استان اردبیل به‌طور گسترده‌ای کشت می‌شود. توده گندم پس از تهیه به آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی دانشگاه محقق اردبیلی منتقل و خواص فیزیکی دانه گندم و جو شامل: طول، عرض، قطر میانگین هندسی، ضریب کرویت، وزن هزار دانه، سرعت حد و ضریب اصطکاک استاتیکی اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن هزار دانه گندم و جو، ابتدا توسط دستگاه بذرشمار الکتریکی، سه نمونه هزار دانه‌ای گندم و جو شمارش و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شد.

برای اندازه‌گیری ابعاد هندسی دانه‌ها، تعداد ۱۵ عدد دانه گندم و جو به صورت تصادفی انتخاب شد. سه بعد اصلی دانه‌ها شامل قطر بزرگ، قطر متوسط و قطر کوچک توسط کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. از روی این سه بعد، قطر میانگین هندسی و ضریب کرویت با استفاده از معادلات (۱) و (۲) تعیین شدند (Stroshine & Hamann, 1994).

$$d_g = \sqrt[3]{abc} \quad (1)$$

$$S_p = \frac{d_g}{a} \quad (2)$$

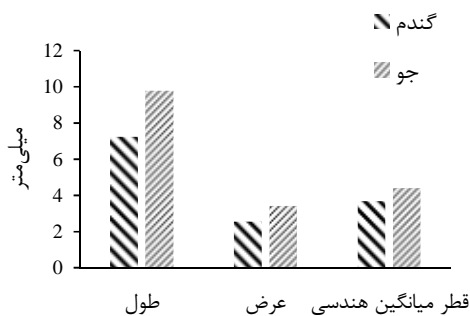
که در آن:  $a$ ،  $b$  و  $c$  به ترتیب قطر بزرگ، قطر متوسط و قطر کوچک دانه‌ها برحسب میلی‌متر،  $d_g$  قطر میانگین هندسی برحسب میلی‌متر و  $S_p$  ضریب کرویت است. خواص هندسی گندم و جو در طرح کاملاً تصادفی با ۱۵ تکرار تجزیه واریانس شد.

برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی از دستگاه تعیین ضریب اصطکاک استاتیکی موجود در آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی دانشگاه محقق اردبیلی استفاده شد. این دستگاه شامل یک سطح شیب‌دار است که انواع سطوح را می‌توان بر روی آن نصب کرد. در این تحقیق چهار سطح آلومینیومی، آهنی، استیلی و تخته سه‌لا برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام آزمایش از یک ظرف استوانه‌ای چرخ‌دار که دو سر آن باز بود استفاده شد. استوانه بر روی سطح با جنس مشخص و شیب قابل تنظیم قرار گرفت. شیب

گندم بررسی شد. در هر آزمایش مقداری از دانه‌های گندم به همراه ناخالصی‌ها از محل خروج مواد سبک (گوشه پایینی سمت چپ میز در شکل ۲) برداشته و به وسیله دستگاه بذر شمار الکترونیکی سه نمونه ۲۰۰ تایی از آن‌ها شمارش و انتخاب شد. سپس با مشاهده تک‌تک دانه‌ها و جداسازی بذرها جو از توده‌های ۲۰۰ تایی و شمارش آن‌ها، درصد جداسازی جو از توده دانه گندم به دست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C و مقایسه میانگین‌های معنی‌دار شده با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

### نتایج و بحث

تجزیه واریانس پارامترهای هندسی دانه‌های گندم و جو نشان داد طول، عرض، قطر میانگین هندسی و ضریب کرویت در سطح یک درصد، اختلاف معنی‌دار دارند. شکل ۳ میانگین پارامترهای هندسی گندم و جو را نشان می‌دهد. مقادیر به دست آمده برای ابعاد هندسی گندم با مقادیر گزارش شده توسط Razavi *et al.* (2006) برای ارقام مختلف گندم مطابقت دارد. همچنین نتایج به دست آمده برای خواص هندسی جو با مقادیر گزارش شده از سوی Gürsöy & Güzel, (2010) و Öztürk & Esen, (2008) مطابقت دارد.



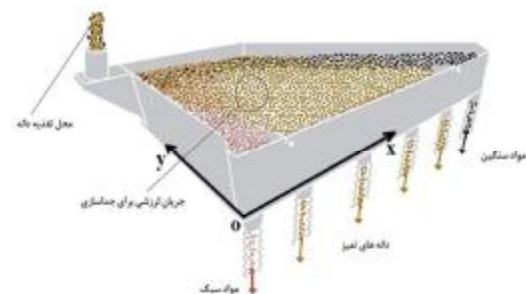
شکل ۳- میانگین پارامترهای هندسی گندم و جو

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس وزن هزار دانه و سرعت حد گندم و جو را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود گندم و جو از نظر وزن هزار دانه و سرعت حد در سطح یک درصد با هم اختلاف معنی‌دار دارند. این تفاوت معنی‌دار، با توجه به اساس جداسازی دستگاه میز وزنی، می‌تواند در دستیابی

قسمت‌های سنگین‌تر که در تماس با میز باقی می‌ماند، در اثر حرکت رفت و برگشتی میز به بالای شیب طولی (گوشه پایینی سمت راست میز) منتقل شده و در آنجا از میز خارج می‌شوند.



شکل ۱- دستگاه جداکننده میز وزنی



شکل ۲- طرح‌واره میز دستگاه جداکننده میز وزنی

به‌منظور تعیین تأثیر پارامترهای شیب طولی میز، شیب عرضی میز، فرکانس نوسان میز، دامنه نوسان میز و سرعت هوای دمیده شده بر درصد جداسازی جو از توده دانه گندم از دو آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی استفاده شد. در آزمایش اول از سه شیب عرضی میز (۰/۲۵، ۱/۵ و ۲/۲۵ درجه)، سه شیب طولی میز (۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ درجه) و چهار فرکانس نوسان میز (۳۹۵، ۴۱۵، ۴۳۵ و ۴۵۵ سیکل بر دقیقه) در پنج تکرار برای تعیین سطح بهینه هر پارامتر به منظور رسیدن به بیشترین درصد جداسازی استفاده شد. در آزمایش دوم با داشتن مقادیر مطلوب سه پارامتر حاصل از آزمایش اول، تأثیر پارامترهای مربوط به چهار سرعت هوا (۵/۲۵، ۶، ۷/۲۵ و ۸ متر بر ثانیه) و دو دامنه نوسان میز (۵ و ۷ میلی‌متر) در پنج تکرار بر درصد جداسازی جو از توده دانه

استاتیکی گندم و جو بر روی تخته سه‌لا بوده و مقدار آن ۰/۰۷ است.

در مطالعه (Tabatabaefar (2003)، بر روی خواص فیزیکی پنج رقم گندم ایرانی، بیشترین ضریب اصطکاک استاتیکی مربوط به تخته چندلا و کمترین میزان به ورق استیل ضدزنگ گزارش شد. در بررسی‌های Öztürk & Esen (2008) بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی دانه جو نیز گزارش شده است که بیشترین مقدار ضریب اصطکاک استاتیکی جو به آهن گالوانیزه و تخته چندلا مربوط است. نتایج تجزیه واریانس اثر پارامترهای شیب طولی، شیب عرضی و فرکانس نوسان میز بر میزان جداسازی جو از توده دانه گندم، در جدول ۳ نشان داده شده است.

**جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل شیب طولی، شیب عرضی و فرکانس نوسان میز بر درصد جداسازی جو از توده**

گندم		
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
فرکانس نوسان میز	۳	۸۱/۶۹۵ <sup>**</sup>
شیب طولی میز	۲	۵۱۵/۷۵۰ <sup>**</sup>
فرکانس نوسان میز و شیب طولی میز	۶	۱۳/۴۵۰ <sup>*</sup>
شیب عرضی میز	۲	۷۴/۶۷۲ <sup>**</sup>
فرکانس نوسان میز و شیب عرضی میز	۶	۱۳/۱۲۲ <sup>*</sup>
شیب طولی میز و شیب عرضی میز	۴	۲۴/۱۴۵ <sup>**</sup>
فرکانس نوسان میز، شیب طولی میز و شیب عرضی میز	۱۲	۵/۲۴۳ <sup>ns</sup>
خطا	۱۴۴	۵/۰۶۳
کل	۱۷۹	-

<sup>\*\*</sup> وجود اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد، <sup>\*</sup> وجود اثر معنی‌داری در سطح ۵ درصد، <sup>ns</sup> عدم وجود معنی‌داری.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، اثر اصلی فاکتورهای فرکانس نوسان میز، شیب عرضی میز، شیب طولی میز و اثرات متقابل دوتایی شیب عرضی و شیب طولی میز در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. همچنین اثر متقابل دوتایی فرکانس نوسان و شیب طولی میز و فرکانس نوسان و شیب عرضی میز در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند. اما اثر متقابل سه‌تایی فرکانس نوسان و شیب طولی و شیب عرضی میز معنی‌دار نشده است.

شکل ۴ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوتایی شیب عرضی در فرکانس نوسان میز را در سطح ۵ درصد نشان می‌دهد.

به بیشترین درصد جداسازی جو از توده گندم عامل تعیین‌کننده‌ای باشد.

**جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس وزن هزار دانه و سرعت حد**

گندم و جو			
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ضریب تغییرات
وزن هزار دانه	۱	۴۹۸/۴۹۱ <sup>**</sup>	۰/۷۶%
خطا	۱۸	۰/۱۰۰	
سرعت حد	۱	۳/۷۰۹ <sup>**</sup>	۳/۴۵%
خطا	۸	۰/۰۵	

<sup>\*\*</sup> وجود اثر معنی‌داری در سطح یک درصد

نتایج آزمایش‌های اندازه‌گیری سرعت حد نمونه‌های گندم و جو نشان داد میانگین سرعت حد دانه‌های گندم و جو به ترتیب برابر ۵/۸۴ و ۶/۵۵۸ متر بر ثانیه است. با توجه به اختلاف معنی‌دار در مقدار سرعت حد دانه‌های گندم و جو، انتخاب صحیح سرعت هوای دمنده موجود در دستگاه جداساز وزنی می‌تواند در افزایش راندمان جداسازی این ناخالصی از توده گندم مؤثر باشد. مقادیر به‌دست آمده از آزمایش‌های سرعت حد در محدوده مقادیر گزارش شده توسط (Rasekh & Kashi (2012) برای گندم و جو (به ترتیب دارای میانگین‌های ۷/۱۵ و ۵/۹۰ متر بر ثانیه) است.

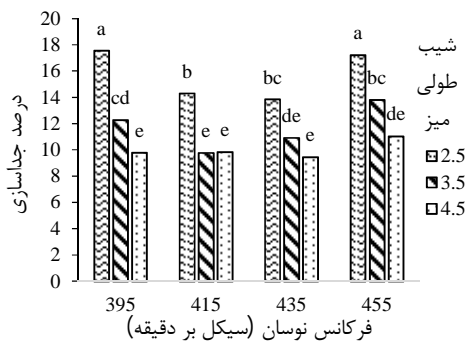
نتایج تجزیه واریانس ضریب اصطکاک استاتیکی نشان داد که اثر متقابل دوتایی نوع دانه و نوع سطح و اثر اصلی نوع سطح، در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. جدول ۲ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوتایی نوع دانه و نوع سطح اصطکاکی را نشان می‌دهد.

**جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع دانه در نوع**

نوع دانه	سطح اصطکاکی		
	نوع سطح	آهن	آلومینیوم
گندم	۰/۴۴۶b	۰/۴۱۴b	۰/۲۸d
جو	۰/۴۰۸b	۰/۳۵۲c	۰/۳۳۶c

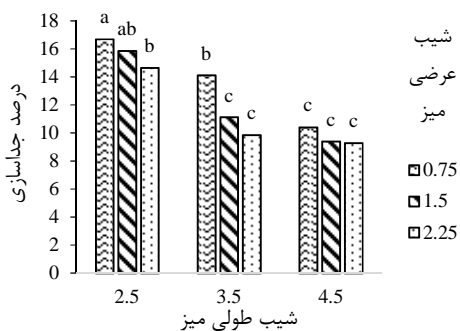
با توجه به جدول ۲، گندم دارای کمترین مقدار ضریب اصطکاک استاتیکی روی استیل با مقدار ۰/۲۸ بود. همچنین جو بر روی سطح تخته سه‌لا دارای بیشترین مقدار ضریب اصطکاک استاتیکی برابر ۰/۵۲۲ بود. مشاهده می‌شود که بیشینه اختلاف بین ضرایب اصطکاک

۴۳۵ سیکل بر دقیقه و شیب طولی ۴/۵ درجه با مقدار ۹/۴۶ درصد مربوط است که البته این حالت در شیب طولی ۴/۵ درجه برای سایر فرکانس‌های مورد بررسی نیز بدون اختلاف معنی‌دار مشاهده می‌شود. Rasekh *et al.* (2005) در بررسی امکان جداسازی گندم سن‌زده از گندم سالم توسط دستگاه جداساز وزنی، گزارش شد که با افزایش شیب طولی، مقدار جداسازی گندم سن‌زده از گندم سالم کاهش می‌یابد.



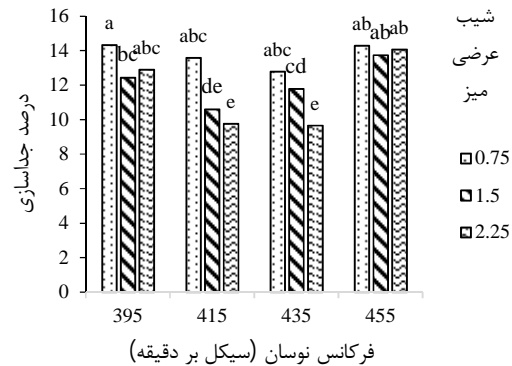
شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوتایی فرکانس نوسان میز در شیب طولی میز در سطح ۵ درصد

شکل ۶ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوتایی شیب عرضی در شیب طولی میز را در سطح یک درصد نشان می‌دهد.



شکل ۶- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوتایی شیب عرضی میز در شیب طولی میز در سطح یک درصد

همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است افزایش شیب طولی و افزایش شیب عرضی به کاهش درصد جداسازی جو از توده گندم منجر شده است. همچنین در شیب طولی ۲/۵ درجه و شیب عرضی ۰/۷۵ درجه، بیشترین مقدار جداسازی به میزان ۱۶/۷۱ درصد حاصل شده است.



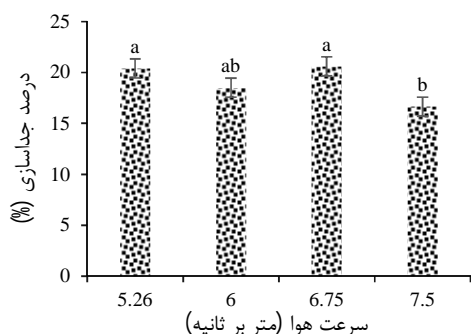
شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوتایی شیب عرضی در فرکانس نوسان میز در سطح ۵ درصد

همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، بیشترین درصد جداسازی در حالت فرکانس نوسان ۳۹۵ سیکل بر دقیقه و شیب عرضی میز ۰/۷۵ درجه بوده که مقدار آن برابر با ۱۴/۳۳ درصد است. همچنین کمترین میزان جداسازی با مقدار ۹/۶۷ درصد در شرایط فرکانس ۴۳۵ سیکل بر دقیقه و شیب عرضی ۲/۲۵ درجه است. با افزایش فرکانس تا ۴۳۵ سیکل بر دقیقه مقدار جداسازی کاهش پیدا می‌کند ولی در فرکانس نوسان ۴۵۵ سیکل بر دقیقه این مقدار با افزایش ناگهانی در هر سه سطح شیب عرضی مواجه می‌شود. افزایش شیب عرضی نیز در فرکانس‌های ۴۱۵ و ۴۳۵ سیکل بر دقیقه به کاهش درصد جداسازی منجر می‌شود، لیکن این روند کاهشی در فرکانس‌های ۳۹۵ و ۴۵۵ سیکل بر دقیقه حاصل نشده است. این عدم رعایت الگوی معین با افزایش شیب عرضی در فرکانس‌های مختلف در کاهش یا افزایش مقدار جداسازی در بررسی جداسازی علف هرز شیرسگ از توده دانه عدس نیز گزارش شده است (Bagheri *et al.* 2017). در شکل ۵ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوتایی فرکانس نوسان در شیب طولی میز در سطح ۵ درصد نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۵ الگوی تغییرات فرکانس نوسان که در شکل ۴ توضیح داده شد، در اینجا نیز رعایت شده و بیشترین مقادیر جداسازی مربوط به فرکانس‌های ۳۹۵ و ۴۵۵ سیکل بر دقیقه به ترتیب برابر با ۱۷/۵۸ و ۱۷/۲۳ درصد است. با افزایش شیب طولی در هر چهار فرکانس نوسان میز، درصد جداسازی جو از توده گندم کاهش یافته است. کمترین مقدار جداسازی، به حالت فرکانس نوسان

به سطح میز از قسمت‌هایی که با مواد تغذیه‌شده پوشانده نشده است بدون برخورد با دانه‌ها به بالا منتقل شده و لذا عمل شناورسازی و دستیابی به الگوی صحیح حرکت مواد روی سطح میز انجام نمی‌شود.

شکل ۷ مقایسه میانگین اثر اصلی سرعت هوای دمیده شده در سطح احتمال یک درصد، بر درصد جداسازی جو از توده دانه گندم را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که سرعت هوای ۶/۷۵ متر بر ثانیه بیشترین درصد جداسازی را داشته است ولی سرعت‌های ۵/۲۵ و ۶ متر بر ثانیه نیز بدون اختلاف معنی‌دار با سرعت هوای ۶/۷۵ متر بر ثانیه، سرعت‌های هوای مناسبی برای دستیابی به بیشترین درصد جداسازی هستند. با توجه به سرعت حد دانه‌های جو که در آزمایش خواص فیزیکی، ۶/۵۵ متر بر ثانیه به‌دست آمد، به‌نظر می‌رسد سرعت‌های هوا در این محدوده، توانایی شناورسازی مناسب دانه‌های جو بر روی گندم را داشته و این نکته می‌تواند یکی از علت‌های دستیابی به بیشترین درصد جداسازی در سرعت هوای ۶/۷۵ متر بر ثانیه باشد.



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر سرعت هوای دمیده شده در سطح احتمال یک درصد

در بررسی امکان جداسازی یولاف وحشی از توده عدس، بهترین سطح سرعت هوا ۵/۷ متر بر ثانیه گزارش شد که منجر به دستیابی به جداسازی ۳۷ درصد از یولاف وحشی موجود در توده عدس شده بود (Rasekh et al., 2017). همچنین نتایج Kashi (2010) نشان داد که در شیب طولی ۴ درجه، شیب عرضی ۲ درجه، فرکانس نوسان ۴۵۰ سیکل بر دقیقه، سرعت هوای ۵/۷ متر بر ثانیه و دامنه نوسان ۷ میلی‌متر، بیشترین درصد جداسازی یولاف وحشی از توده گندم حاصل می‌شود.

با استفاده از آنالیز ابعادی، امکان جداسازی ناخالصی‌های توده دانه عدس بررسی شد (Bagheri et al., 2017). نتایج آن‌ها در مقدار پارامتر بدون بعد  $V/a\omega$  حاصل از مقادیر مختلف سرعت هوای دمیده شده ( $V$ )، دامنه نوسان میز ( $a$ ) و فرکانس نوسان میز ( $\omega$ ) برابر با ۱۲۸/۵۷ و ۱۲۲/۱۴، نشان داد افزایش شیب طولی و شیب عرضی میز باعث ایجاد روند کاهش در میزان جداسازی ناخالصی کل توده دانه عدس می‌شود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌های به‌دست آمده، حداکثر جداسازی جو از توده دانه گندم در فرکانس نوسان ۳۹۵ سیکل بر دقیقه، شیب طولی ۲/۵ درجه و شیب عرضی ۰/۷۵ درجه حاصل شد.

در جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل دامنه نوسان میز و سرعت هوای دمیده شده به میز نشان داده شده است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل دامنه نوسان میز و سرعت هوای دمیده شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
دامنه نوسان میز	۱	۱۷۸/۵۰۶**
سرعت هوا	۳	۳۴/۲۹۰**
دامنه نوسان و سرعت هوا	۳	۵/۰۰۶ <sup>NS</sup>
خطا	۳۲	۶/۸۲۲
کل	۳۹	-

\*\* وجود اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد، NS عدم وجود اثر معنی‌داری است.

همان‌طور که جدول ۴ نشان می‌دهد، اثر اصلی عوامل دامنه نوسان و سرعت هوا در سطح یک درصد معنی‌دار شده ولی اثر متقابل دوتایی دامنه نوسان میز و سرعت هوا معنی‌دار نشده است. با توجه به این‌که دامنه نوسان میز در دو سطح ۵ و ۷ میلی‌متر بررسی شده مقایسه این دو میانگین نشان می‌دهد دامنه نوسان ۵ میلی‌متر با مقدار جداسازی ۲۱/۱۵ درصد بیشترین و دامنه نوسان ۷ میلی‌متر با درصد جداسازی ۱۶/۹۲۵ درصد پس از آن قرار دارد. در دامنه نوسان میز ۵ میلی‌متر انتقال مواد روی سطح میز یکنواخت‌تر بوده و به‌نظر می‌رسد به همین علت شناورسازی جو روی دانه گندم بهتر صورت گرفته و در نتیجه جداسازی توسط دستگاه افزایش یافته است. علت عدم شناورسازی مواد سبک روی سنگین در دامنه نوسان ۷ میلی‌متر این است که چون قسمتی از سطح میز در این دامنه با مواد پوشانده نمی‌شود، جریان هوای دمیده شده



## نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌های خواص فیزیکی نمونه‌های گندم و جو نشان داد، طول، عرض، قطر میانگین هندسی، ضریب کرویت، وزن هزار دانه و سرعت حد در سطح یک درصد با هم اختلاف معنی‌دار دارند. همچنین نتایج نشان داد بیشترین مقدار ضریب اصطکاک استاتیکی را جو روی تخته سه‌لا و کمترین این مقدار را گندم روی سطح استیل دارد. معلوم شد بیشترین جداسازی جو از گندم در شرایط فرکانس نوسان ۳۹۵ سیکل بر دقیقه، شیب طولی ۲/۵ درجه، شیب عرضی ۰/۷۵ درجه، دامنه نوسان ۵ میلی‌متر و سرعت هوای ۶/۷۵ متر بر ثانیه برابر با ۲۰/۶ درصد بوده و همچنین کمترین جداسازی جو از گندم در شرایط فرکانس نوسان ۴۵۵ سیکل بر دقیقه، شیب طولی ۴/۵ درجه، شیب عرضی ۱/۵ درجه، دامنه نوسان ۵ میلی‌متر و سرعت هوای ۶ متر بر ثانیه برابر با ۹/۴۱۷ درصد است. در اغلب موارد با افزایش شیب عرضی میز از ۰/۷۵ تا ۲/۲۵ درجه و شیب طولی میز از ۲/۵ تا ۴/۵ درجه، درصد جداسازی جو از توده گندم کاهش می‌یابد.

## منابع

6. Ebrahimi, R. and Askari asli arde, E. 2015. Evaluation of a pneumatic separator wheat. Proceedings of the 3rd International Conference on Modern Ideas in Agriculture, the Environment and Tourism, Aug. 31. University of Mohaghegh Ardebili, Ardebil, Iran. 1-7. (In Farsi)
7. Fallah-Mehrjardy, H. and Mirvakili, S. M. 2010. Identification of wheat (*Triticum aestivum*) fields weeds after harvesting in Yazd Province. The 3<sup>rd</sup> Iranian Weed Science Congress. Babolsar, Iran. (In Farsi).
8. Food and Agriculture Organization. 2018. Biodiversity: Agricultural biodiversity in FAO. Retrieved November 12, 2016, from <http://www.fao.org/biodiversity>
9. Gürsoy, S. and Güzel, E. 2010. Determination of Physical Properties of Some Agricultural Grains. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2(5): 492-498.
10. Kashi, M. 2010. Investigating the possibility of separating wild oats from wheat by weight separation device. M. Sc. Thesis. Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources. University of Mohaghegh Ardebili, Ardebil, Iran. (In Farsi)
11. Öztürk, T. Esen, B. 2008. Physical and Mechanical Properties of Barley. *Agricultura Tropica Et subtropica*, 41(3): 117-121.
12. Rasekh, M. and Kashi, M. 2012. Some physical properties of Avena fatua and wheat (Alvand Variety). *Food Science and Technology*, 39(9): 107-116. (In Farsi)
13. Rasekh, M. Magheri, H. Kianmehr, M. H. Kouravand, Sh. 2017. A Study of Some Physical Properties of Lentil and Wild Oat Weed and Parameters Affecting the Separation of Wild Oat Weed from Lentil by a Gravity Table Separator. *Journal of Agricultural Sciences*, 23: 42-52.
14. Rasekh, M. Tavakoli, T. Firooz Abadi, B. and Kianmehr, M. H. 2005. Experimental studying of performance of gravity separator apparatus in separation of sunn Pest-Damaged wheat. *Journal of Food Science and Technology*, 2(3): 33-47. (In Farsi)
15. Razavi, S. M. A. Haji Mohammadi Farimani R. and Tavakoli, J. 2006. Study of physical properties of four modified Iranian wheat cultivars. Proceedings of the 2nd major food industry fair and conference. Agu. 28. Esfahan. Iran. 1-6. (In Farsi)
16. Rouzegar, M. R. Askari Asli-Arde, E. Abbaspour-Gilandeh, Y. and Khalifeh, A. A. 2013. Study effects of moisture content, feed rate and fan revolution on separation efficiency in a paddy laboratory winnower. 1. AgaAzizi, S. and Askari Asli- Ardeh, E. 2017. Regression model of wheat grain bulk resistance. The 1<sup>st</sup> International and 5<sup>th</sup> National Conference on Organic vs. Conventional Agriculture. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil. Iran (In Farsi).
2. Aghajani, N. Ansaripour, E. and Kashaninejad. M. 2012. Effect of Moisture Content on Physical Properties of Barley Seeds. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*. 14: 161-172.
3. Ahmadvand, M.R. and Najafpour, Z. 2010. Survey of the area under cultivation, production and support policies of wheat during the first to fourth development plans. *Journal of Economic Research and Policies*. 17(53):59-76
4. Bagheri, H. Rasekh, M. and Kianmehr, M. H. 2017. Study of properties of lentils and weed of Euphorbia helioscopia and the parameters affecting the separation that from lentils by gravity table separator. *Iranian Journal of Pulses Research*. 1(8): 33-44. (In Farsi)
5. Chenari, M. Shahid zadeh, M. and Javadi, A. 2012. Evaluate the efficiency of wheat seed cleaning machines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 14(2): 69-80. (In Farsi)

- International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5(21): 2576-2578.
17. Strohine, R. and Hamann, D. 1994. Physical Properties of Agricultural Materials and Food Products. Purdue University West Lafayette. Indiana.
18. Tabatabaeefar, A. 2003. Moisturedependent physical properties of wheat. International Agrophysics, 17: 207-211.
19. Tavakoli, M. Tavakoli, H. Rajabipour, A. Ahmadi, H. and Gharib-Zahedi, S. H. T. 2009. International Journal of Agricultural and Biology Engineering, 2(4): 84-91.