

استفاده از آنالیز ابعادی جهت تعیین پارامترهای مؤثر دستگاه جداکننده میز ثقلی برای کمینه نمودن ناخالصی موجود در توده عدس

هادی باقری^۱ - منصور راسخ^{۲*} - محمد حسین کیانمهر^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۱۲

چکیده

در تحقیق حاضر از یک جداکننده میز ثقلی برای حداکثر جداسازی ناخالصی موجود در توده عدس استفاده شد. دستگاه جداکننده میز ثقلی دارای پنج پارامتر قابل تنظیم شیب طولی میز، شیب عرضی میز، دامنه نوسان میز، فرکانس نوسان میز و سرعت هوا می‌باشد، تأثیر این پارامترها برای حصول به حداکثر جداسازی ناخالصی موجود در توده عدس، مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از روش آنالیز ابعادی، پارامترهای بدون بعدی حاصل شد که در بررسی اثر و کاهش تعداد پارامترها مؤثر بوده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که افزایش شیب عرضی میز از 5° به 1° و افزایش شیب طولی میز از 1° تا 2° سبب افزایش جداسازی ناخالصی موجود در توده عدس می‌شود. همچنین اثر عدد بدون بعد $\frac{V}{a\omega}$ که نسبت سرعت جریان هوای دمیده شده به عدس‌ها به حداکثر سرعت نوسانات میز را نشان می‌دهد، در نسبت جداسازی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان داد که در $\frac{V}{a\omega} = 171$ ، شیب عرضی میز 1° و شیب طولی میز 2° ، درصد جداسازی ناخالصی موجود در توده عدس به $90/2\%$ می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز ابعادی، جداسازی ثقلی، عدد بدون بعد، عدس، ناخالصی

مقدمه

بررسی راه‌کارهای رسیدن به این هدف اجتناب‌ناپذیر است. از جمله محدودیت‌های مهم کشت عدس در سطح دنیا تداخل علف‌های هرز است (Amin et al., 2004). که وجود این عامل، خود یکی از عوامل منفی در خلوص محصول برداشت شده از مزارع عدس، نیز می‌باشد، بدین ترتیب وجود و یا عدم وجود علف‌هرز، در نهایت کمیت و کیفیت محصول را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Turk and Tawaha, 2003). از علف‌های هرز موجود در مزارع کشت عدس، می‌توان به شیر پنیر (*Galiumtricornne*)، یولاف وحشی (*Avenaludoviciana*)، گل‌جالیز (*Orobanch Crenate*)، قیاق (*Sorghum Halepense*)، پیچک (*Convolvulus arvensis*) و پنجه مرغی (*Cynodon dactylon*) اشاره نمود. یکی از راه‌های از بین بردن علف‌هرز استفاده از مواد شیمیایی مانند تری بوتیل^۴ و مالوران^۵ است، اما با توجه به اثرات سوء زیست‌محیطی و کاهش کیفیت و بالاخره اثر سوء آن‌ها بر سلامت انسان استفاده از روش‌های تکنولوژی پس از برداشت در جدا نمودن علف‌هرز از محصول عدس بیش از پیش اهمیت پیدا می‌کند. در صنایع غذایی، برای دو مورد اساسی تمیز کردن و مرتب کردن (دسته‌بندی) مواد از دستگاه جداکننده وزنی استفاده می‌شود. استان

عدس (*Lens culinaris medic*) گیاهی متعلق به خانواده بقولات است که در فصل سرد و در شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای رشد می‌نماید (Johnson et al., 2015; Kaur et al., 2014). سطح زیرکشت محصول عدس در جهان در سال ۲۰۱۳ در حدود ۴۳۲۰۰۰۰ هکتار و میزان تولید آن برابر ۴۹۷۰۰۰۰ تن بود، سطح زیر کشت محصول عدس در ایران در این بازه زمانی، در حدود ۱۲۰۰۰۰ هکتار و میزان تولید عدس برابر ۷۳۰۰۰ تن بود (Anonymous, 2015). نظر به این که در کشاورزی کنونی یکنواختی و خلوص محصول تولیدی، از موارد لازم و ضروری است، بنابراین

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
* - نویسنده مسئول: (Email: dr.mara1349@gmail.com)
۳- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، پردیس اهوریحان، پاکدشت، ایران

روش را مورد بررسی و مقایسه قرار داد. وی بیان داشت که انتخاب وسیله جداسازی مناسب برای کاربرد مشخص باید همیشه به‌وسیله آزمایش‌های کاری در اولویت قرار گیرد، درحالی‌که بهینه‌سازی عملیات جداسازی در شرایط تولید نیاز به بررسی کارخانه تحت پارامترهای مختلفی دارد (Falconer, 2003). در مطالعات تخصصی‌تر، راسخ^۴ (۲۰۰۶)، به جداسازی گندم سن زده از گندم سالم توسط جداکننده وزنی پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد چگالی گندم سن زده و گندم سالم به‌ترتیب $1102/21 \text{ kg m}^{-3}$ و $1298/65 \text{ kg m}^{-3}$ است. آن‌ها در این مطالعه نتیجه گرفتند که افزایش شیب عرضی میز از $0/5^\circ$ به 1° و کاهش شیب طولی میز از 5° به 3° باعث افزایش درصد جداسازی گندم سن زده می‌شود، که این تغییرات با درصد جداسازی رابطه خطی داشتند و این تنظیمات به‌همراه فرکانس نوسان میز $450 \text{ cycle min}^{-1}$ و سرعت هوای 8 m s^{-1} بهترین کارایی را ارائه داد (Rasekh, 2006). در تحقیق دیگری هولاتز و کوپک^۵ (۲۰۰۳) گزارش دادند که در نرخ تغذیه پایین، جدایش آبرودینامیکی دانه از کاه و کلش در روی غربال‌ها اتفاق می‌افتد و در نرخ تغذیه بالا ذرات ریز، در روی غربال به شکل یک عامل منفی، تلفات جدایش را افزایش می‌دهد (Hollatz and Quick, 2003).

در تحقیق دیگر روند حذف پوسته سویای رسیده به‌صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت. به‌طوری‌که قطر میانگین سویا، با نسبت میانگین ۹۵٪ مغز سویا و ۵٪ پوسته در رطوبت $11/8 \text{ mm}$ ، $2/75 \text{ mm}$ و چگالی واقعی پوسته و مغز سویا 1090 kg m^{-3} و 1267 kg m^{-3} برای میانگین قطر از $2/11 \text{ mm}$ و $2/74 \text{ mm}$ بود. پوسته عمدتاً در سرعت هوای $2/7 \text{ m s}^{-1}$ - $4/5 \text{ m s}^{-1}$ و مغز سویا در سرعت هوای $9/1 \text{ m s}^{-1}$ - $13/7 \text{ m s}^{-1}$ به‌صورت معلق در سیستم قرار گرفتند و بدین ترتیب از همدیگر جدا شدند. در این حالت هم‌پوشانی پروفیل سرعت حد مورد نیاز عملیات پنوماتیک و تفکیک برای جداسازی بهینه شد. همچنین در این پژوهش تأثیر غلظت ذرات در جداسازی پوسته از مغز سویا برای سه نسبت میزان تغذیه مواد به دستگاه در شرایط سرعت هوای متغیر دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیان داشت که در شرایط بهینه، توسط روش جدایش پنوماتیکی ۹۹٪ پوسته‌ها را از مغز سویا جدا می‌شود (Murilo et al., 2009).

همچنین کاشی (۲۰۱۰) در تحقیق خود با استفاده از یک دستگاه جداکننده وزنی، توانست به جداسازی یولاف وحشی (*Avena Sativa*) از گندم پردازد و در شیب طولی میز 4° ، شیب عرضی میز 1° و فرکانس نوسان میز $450 \text{ cycle min}^{-1}$ ، سرعت هوا $5/7 \text{ m s}^{-1}$

اردبیل یکی از تولیدکنندگان اصلی عدس در کشور می‌باشد، به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۱ میزان ۲۳۸۰۰ تن عدس از ۳۲۰۰۰ هکتار مزارع استان اردبیل برداشت شده است. بیشترین میزان تولید عدس در این استان مربوط به شهرستان بيله سوار می‌باشد که در سال ۱۳۹۱، ۵۰۰۰ هکتار از ۲۰۰۰۰۰ هکتار اراضی آبی و دیم این شهرستان به زیرکشت این محصول اختصاص یافته، که از این اراضی ۳۵۰۰ هکتار عدس برداشت شد.

در رابطه با استفاده از جداکننده‌های وزنی مطالعات متعددی صورت گرفته است. گال^۱ و همکاران (۱۹۸۶) از یک جداکننده ثقلی برای تقسیم‌بندی سه وارسته لوبیا استفاده کردند و نتیجه‌گیری نمودند که اجزاء تقسیم‌بندی شده اختلاف مؤثر در جرم بذر داشتند و سبک‌ترین جزء، چگالی کمتری داشت (Gaul et al., 1986). همچنین در تحقیق دیگری فیلر^۲ و همکاران (۱۹۸۱) از یک جداکننده ثقلی برای جداکردن سنگ و کلوخ از بادام زمینی استفاده کردند. این جداکننده سطح سوراخ‌داری بود که جریان هوا از زیر آن به طرف بالا دمیده می‌شد. اجزاء سبک‌تر به‌وسیله نیروی هوا به طرف بالا پرتاب می‌شدند و سپس در اثر نیروی وزنشان به پایین می‌افتادند. تکه‌های سنگین در تماس با سطح باقی می‌ماندند و نیروی هوا قادر به بلند کردن آن‌ها نبود. در این دستگاه ارتعاش مکانیکی در دستگاه برای انتقال و به‌هم زدن اجزاء به‌کار می‌رفت (Feller et al., 1981). در تحقیقی اساس کار جداکننده وزنی بررسی و معادلات حرکت برای یک بذر معلوم شد و از این مطالعات، شبیه‌سازی کامپیوتری انجام شد، تا تأثیر سرعت ارتعاش میز، شیب میز و مکش هوا روی جداسازی مطالعه و معلوم شود. لذا این نتایج ممکن است در بهبود بخشیدن به کیفیت جداسازی و پارامترهای طراحی جداکننده استفاده شود (Chen and Hua, 1991). در تحقیقی دیگر از یک الک بادی که در یک جداکننده وزنی قرار داشت، برای تقسیم‌بندی بذرهای نخودفرنگی که در شرایط مختلف آب و هوایی در مرحله رسیدگی و برداشت قرار گرفته بودند، استفاده شد. نتیجه این کار بهبود درجه خلوص و مؤثر بودن دستگاه در طبقه‌بندی بذرها بود (Amaral et al., 1984). در تحقیقی دیگری جداسازی پنوماتیک دانه و کاه در مخلوط کاه و دانه بررسی شد. هوای تحت فشار برای جداسازی کاه و دیگر ناخالصی‌ها از مواد کوبیده شده به‌کار رفت. به‌طوری‌که در سرعت هوای $9/14 \text{ m s}^{-1}$ همه گندم جدا و در سرعت هوای $8/53 \text{ m s}^{-1}$ ، ۹۳٪ گندم جدا شد (Uhl and Lamp, 1966). فالكونر^۳ در سال ۲۰۰۳، تحقیقی مقایسه‌ای بر روی تکنیک‌های قدیمی و روش‌های جدید جداسازی وزنی انجام داد و در آن مزایا، معایب، اصول و متغیرهای هر

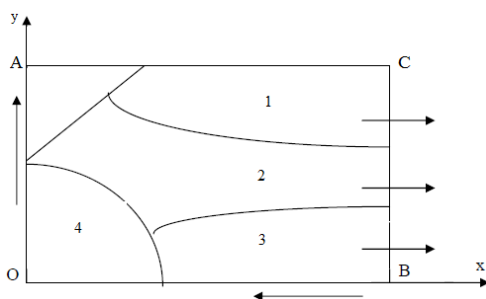
4- Rasekh
5- Hollatz and Quick

1- Gaul
2- Feller
3- Falconer

هوا (در جهت بدست آمدن حداکثر جداسازی ناخالصی از توده عدس) محاسبه شد.

مواد و روش ها

در این آزمایش از عدس (رقم بیله سوار) تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی استان اردبیل استفاده شد. توده عدس مورد آزمایش دارای درجه خلوص ۶۸٪ بود. از دستگاه جداکننده ثقلی مدل LA-K ساخت شرکت (WESTRUP) دانمارک استفاده شده است (شکل ۱). دستگاه جداکننده ثقلی دارای یک میز است که در دو جهت طولی و عرضی شیبدار است و سطح آن مشبک و سوراخدار است. میز در راستای طولی حرکت نوسانی رفت و برگشتی دارد و جریان رو به بالای هوا توسط دمنده از زیر میز به دانه‌ها برخورد می‌کند.



شکل ۲- طرح‌واره میز جداکننده میز ثقلی: ۱- مواد سنگین، ۲- مواد متوسط،

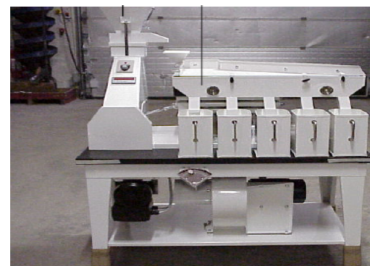
۳- مواد سبک، ۴- محل تغذیه مواد

Fig. 2. A schematic vertical view of the surface of the gravity table separator: 1- Heavy materials, 2- Medium materials, 3- Light materials, 4- Feed place

دامنه نوسان دستگاه، زوایای طولی و عرضی میز و سرعت نوسان میز به‌وسیله اهرم‌های مربوط به آن‌ها واقع در روی دستگاه تنظیم شد. در هنگام انجام آزمایش سرعت نوسان میز به‌وسیله سرعت‌سنج دیجیتال واقع در روی دستگاه مشاهده و کنترل می‌شد. محدوده قابل تنظیم پارامترهای دستگاه به شرح زیر است: شیب طولی میز (α_1) : $6^\circ - 0^\circ$ ؛ شیب عرضی میز (α_2) : $3^\circ - 0^\circ$ ؛ فرکانس نوسان میز (ω) : $500 \text{ cycle min}^{-1}$ ، سرعت هوا $13/3 \text{ m s}^{-1}$ ، دامنه‌های نوسان میز 5 mm ، 7 mm و 9 mm ، براساس نتایج آزمایش محققان سرعت حد عدس در محدوده $1/3 - 1/8 \text{ m s}^{-1}$ است (Tang *et al.*, 1991; Gorial and O'Callaghan, 1990). آزمایش‌های انجام گرفته در این تحقیق نشان داد که تنظیم سرعت باد با این سرعت، در حرکت دانه‌های عدس روی سطح میز آشفتگی شدیدی به‌وجود می‌آورد و دانه‌ها را از تماس با سطح میز جدا می‌کند. در نتیجه برای حصول الگوی صحیح حرکت مواد روی میز مناسب

دامنه نوسان میز 7 mm حداکثر میزان جداسازی برابر با مقدار $56/243\%$ ، را به‌دست آورد. چگالی ذره یولاف و گندم به‌ترتیب برابر با 0.902 gr cm^{-3} و $1/327 \text{ gr cm}^{-3}$ بوده و چگالی توده یولاف و گندم به‌ترتیب برابر با 0.439 gr cm^{-3} و 0.810 gr cm^{-3} تعیین شد (Kashi, 2010). با توجه به مطالب بیان شده و بررسی‌های انجام شده تاکنون مطالعه جامعی در خصوص جداسازی ناخالصی‌های توده عدس ایرانی (منطقه اردبیل) توسط دستگاه جداکننده میز ثقلی، صورت نپذیرفته است و این امر ضرورت مطالعه در این زمینه را بیان می‌دارد.

هدف این پژوهش استفاده از جداکننده میز ثقلی برای جداسازی ناخالصی موجود در توده عدس می‌باشد. در این پژوهش با تکیه بر روش آنالیز ابعادی، مناسب‌ترین مقدار پارامتر قابل تنظیم شیب طولی میز، شیب عرضی میز، دامنه نوسان میز، فرکانس نوسان میز و سرعت



شکل ۱- دستگاه جداکننده میز ثقلی

Fig. 1. Gravity table separator

ارتفاع میز در شکل ۲ در جهت مثبت y (شیب طولی میز) و در جهت منفی x (شیب عرضی میز) و در جهت فلش‌های نشان داده شده در شکل ۲ افزایش می‌یابد. بنابراین در شکل ۲، گوشه پایین سمت راست (نقطه B) کمترین ارتفاع و گوشه بالا سمت چپ (نقطه A) بیشترین ارتفاع را دارد. مواد در گوشه پایین سمت چپ میز (نقطه O) از مخزن خارج شده و روی میز می‌ریزند و در امتداد ضلع CB از میز خارج می‌شوند. حرکت رفت و برگشتی میز در جهت محور y است. دانه‌های سبک‌تر که به‌وسیله جریان هوا و حرکت نوسانی میز روی دانه‌های سنگین‌تر شناور هستند و در اثر شیب‌های طولی و عرضی میز در گوشه پایین سمت راست (نقطه B) میز جدا می‌شوند و مواد سنگین‌تر در تماس با میز باقی می‌مانند و در اثر حرکت نوسانی رفت و برگشتی به گوشه بالای سمت راست (نقطه C) منتقل شده و در آن‌جا جدا می‌شوند. برای اندازه‌گیری سرعت هوا در دستگاه جداکننده ثقلی از بادسنج دیجیتال با دقت 0.1 m s^{-1} استفاده شد.

۷ mm) و فرکانس نوسان (ω) ($380 \text{ cycle min}^{-1}$ ، $400 \text{ cycle min}^{-1}$ و $450 \text{ cycle min}^{-1}$) مقدار ثابت $\left(\frac{v}{a\omega}\right)$ به دست می‌آید (Rasekh, 2006). به طور مثال برای پارامترهای سرعت هوا (v) ($5/7 \text{ m s}^{-1}$)، دامنه نوسان (a) (۵ mm) و فرکانس نوسان (ω) ($380 \text{ cycle min}^{-1}$)، مقدار ثابت $\left(\frac{v}{a\omega}\right)$ برابر با ۱۸۰ محاسبه شد.

نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس پارامترهای شیب طولی، شیب عرضی و فرکانس نوسان میز در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول ۱، اثر اصلی فاکتورهای فرکانس نوسان میز، شیب عرضی میز، شیب طولی میز و اثرات متقابل دوتایی شیب عرضی میز در شیب طولی میز، فرکانس نوسان میز و اثرات متقابل سه تایی فرکانس نوسان میز در شیب عرضی میز در شیب طولی میز در سطح احتمال ۱ درصد، در دامنه نوسان ۵ mm و اثرات متقابل دوتایی فرکانس نوسان میز در شیب عرضی میز در سطح احتمال ۵ درصد، در دامنه نوسان ۵ mm معنی دار شد.

نبوده و الگوی صحیح کار میز به دست نمی‌آید. ذکر این نکته لازم است که دانه‌های عدس در این دستگاه صرفاً براساس سرعت حد حرکت نمی‌کنند. لذا سرعت هوای مورد استفاده در این تحقیق $5/7 \text{ m s}^{-1}$ انتخاب شد. به منظور تعیین تأثیر پارامترهای شیب طولی، شیب عرضی و فرکانس نوسان میز بر درصد جداسازی مواد خارجی از دانه‌های عدس، آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در شرایط شیب عرضی میز در سه سطح $0/5$ ، 1 و $1/5$ ، شیب طولی میز در پنج سطح 1 ، $1/5$ ، $1/75$ ، 2 و $2/5$ ، دامنه نوسان میز در دو سطح ۵ mm و ۷ mm، فرکانس نوسان میز در ۴ سطح $380 \text{ cycle min}^{-1}$ ، $400 \text{ cycle min}^{-1}$ و $450 \text{ cycle min}^{-1}$ انتخاب شد و هر آزمایش در ۵ تکرار انجام شد. در هر آزمایش مقداری دانه‌های عدس به همراه مواد خارجی همراه از محل خروج دانه‌های سبک (گوشه پایینی سمت راست میز در شکل ۲ برداشته و به وسیله دستگاه بذرشمار الکترونیکی ۵ نمونه ۱۰۰ تایی از آن‌ها شمارش و انتخاب شد. سپس با مشاهده تک تک دانه‌ها و میانگین‌گیری، درصد جداسازی مواد خارجی همراه دانه عدس، در هر تکرار و در نتیجه در هر آزمایش معلوم شد. با توجه به مقادیر پارامترهای سرعت هوا (v) ($5/7 \text{ m s}^{-1}$)، دامنه نوسان (a) (۵ mm) و

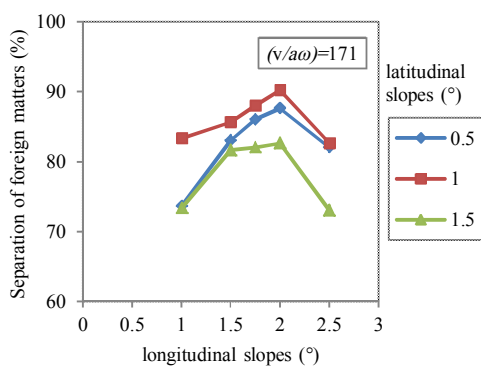
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس بررسی اثر شیب طولی، شیب عرضی و فرکانس نوسان میز بر درصد جداسازی ناخالصی از دانه‌های عدس

Table 1- The results of variance analysis effect longitudinal slope, latitudinal slope and frequency of oscillation on separation percentage of impurities from lentil

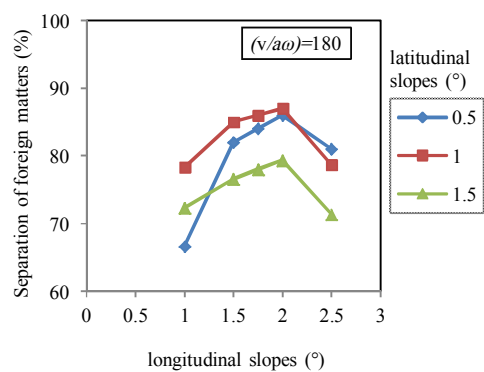
منابع تغییرات Source of variations	میانگین مربعات Mean of square	درجه آزادی Degree of freedom
شیب طولی میز Longitudinal slope	1015.025**	4
شیب عرضی میز Latitudinal slope	1421.490**	2
شیب طولی میز و شیب عرضی میز Longitudinal slope and latitudinal slope	94.026**	8
فرکانس نوسان میز Frequency of oscillation	1686.794**	3
شیب طولی میز و فرکانس نوسان میز Longitudinal slope and frequency of oscillation	24.370**	12
شیب عرضی میز و فرکانس نوسان میز Latitudinal slope and frequency of oscillation	6.111*	6
شیب طولی میز، شیب عرضی میز و فرکانس نوسان میز Longitudinal slope, latitudinal slope and frequency of oscillation	16.013**	24
خطا Error	2.151	240
کل Total	-	299

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد. * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد. CV=2.41%

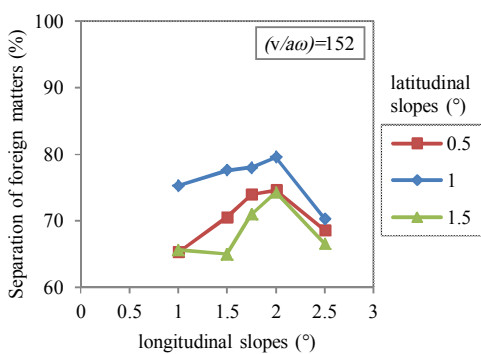
**Significant at 1% probability level, *significant at 5% probability level, CV=2.41%



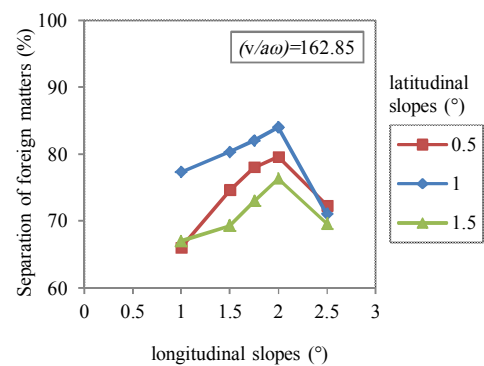
(b)



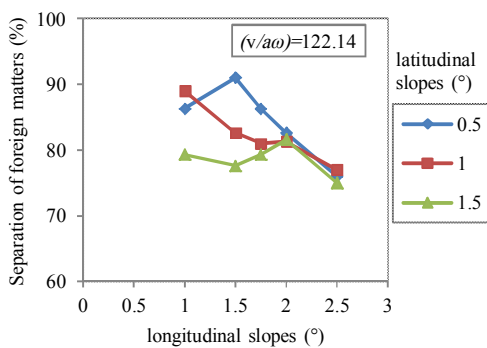
(a)



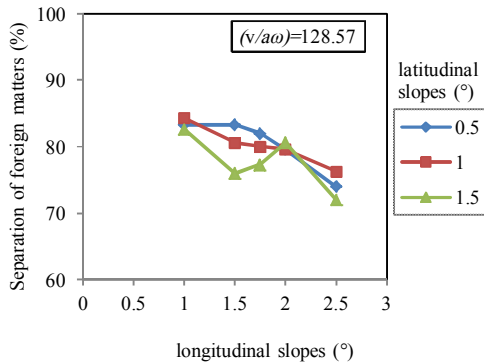
(d)



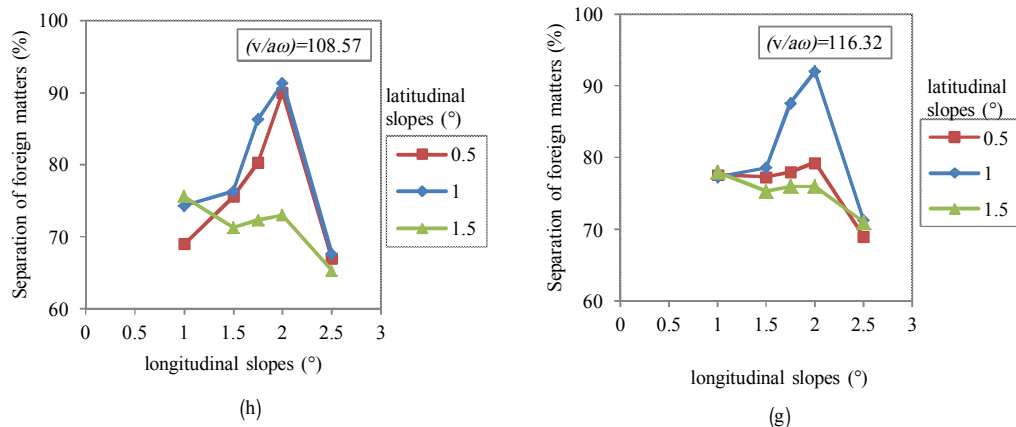
(c)



(f)



(e)



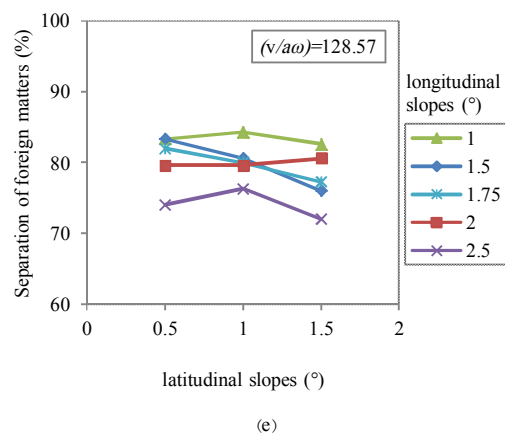
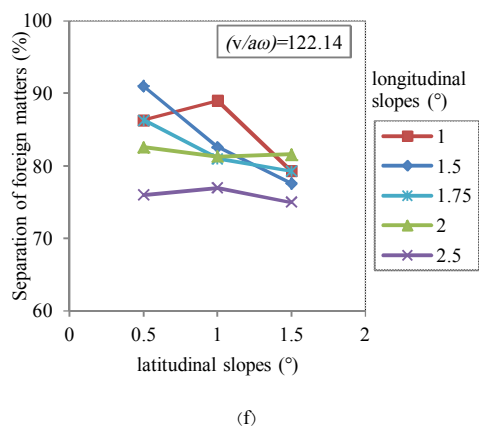
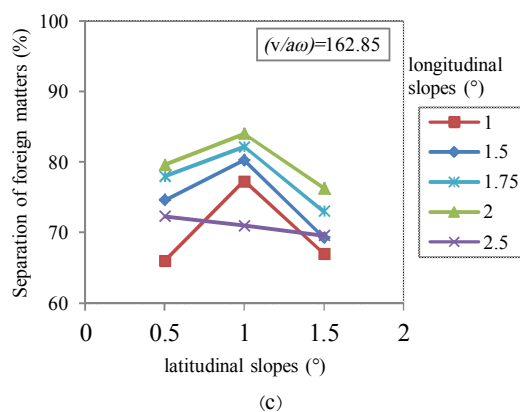
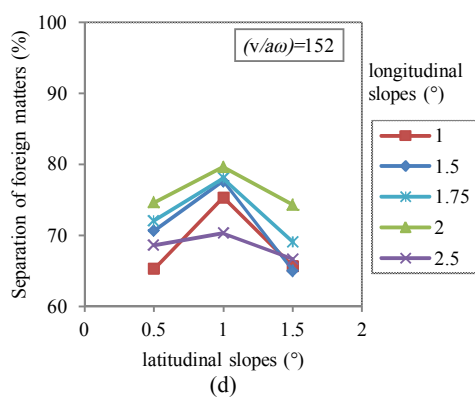
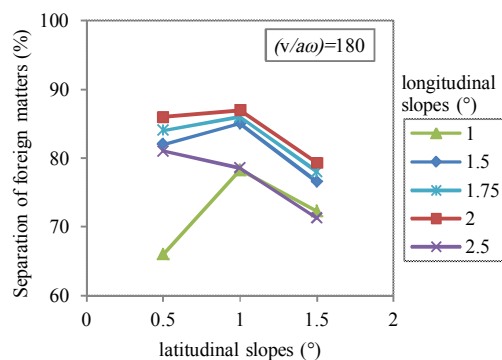
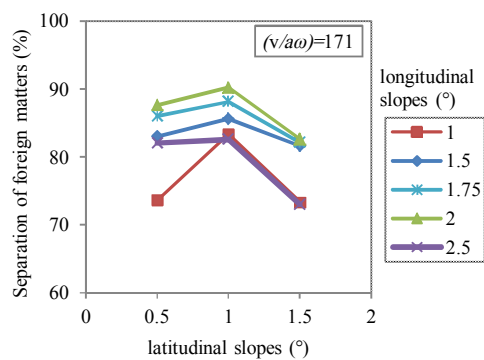
شکل ۳- (a-h): درصد جداسازی ناخالصی از عدس با تغییر شیب طولی میز و در شرایط شیب عرضی میز و ثابت $\frac{v}{aw}$
Fig. 3. (a-h): The separation percentage of impurities from lentil with the variation of longitudinal slopes under the different latitudinal slopes and dimensionless number of $\frac{v}{aw}$

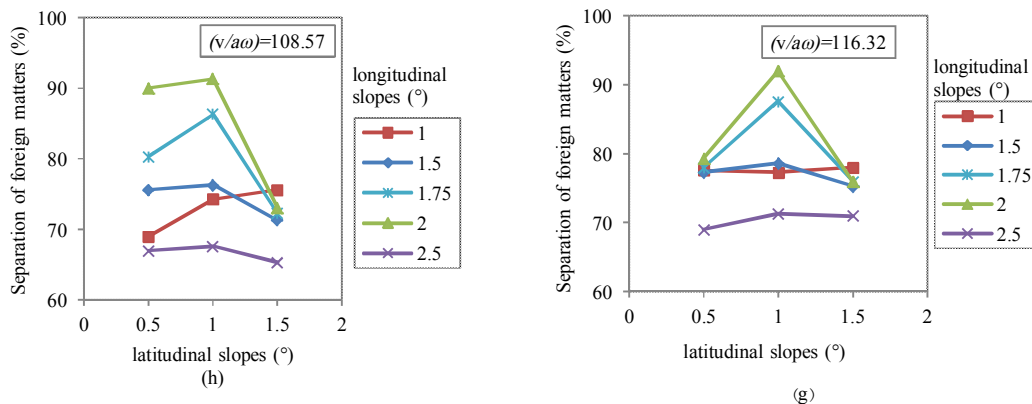
افزایش شیب عرضی میز از 0.5° به 2° و کاهش شیب طولی از 5° به 3° باعث افزایش جداسازی گندم سن زده از گندم سالم شد (Rasekh, 2006).

درصد جداسازی مواد خارجی همراه دانه‌های عدس نسبت به شیب عرضی میز و شرایط مختلف شیب طولی میز و پارامتر ثابت $\frac{v}{aw}$ حاصل از آنالیز ابعادی، در دامنه نوسان میز به مقدار 5 mm در شکل‌های 4a تا 4d و در دامنه نوسان میز به مقدار 7 mm در شکل‌های 4e تا 4h نشان داده شده است. مقایسه شکل‌های 4a تا 4d نشان می‌دهد، که افزایش شیب عرضی میز از 0.5° به 1° سبب افزایش جداسازی و افزایش شیب عرضی میز از 1° تا 1.5° سبب کاهش درصد جداسازی مواد خارجی همراه دانه‌های عدس می‌گردد. همچنین در شکل‌های 4e تا 4h در مقادیرهای $\frac{v}{aw} = 116/32$ و $\frac{v}{aw} = 108/57$ حاصل از آنالیز ابعادی، افزایش شیب عرضی میز از 0.5° به 1° سبب افزایش جداسازی و افزایش شیب عرضی میز از 1° تا 1.5° سبب کاهش درصد جداسازی مواد خارجی همراه دانه‌های عدس می‌گردد. علت این امر این است که اولاً در بازه اول (0.5° تا 1°) نسبت به بازه دوم (1° تا 1.5°)، اولاً تأثیر منفی اثرات متقابل سه‌تایی شیب طولی، شیب عرضی و فرکانس نوسان میز کمترین مقدار بود، دوماً مواد مدت زمان بیشتری بر روی سطح میز باقی‌ماند و در نتیجه توزیع دانه‌ها روی سطح میز (ارتفاع دانه‌ها روی میز) یکنواخت‌تر است. لذا در اثر نیروی باد دمیده شده به دانه‌ها از زیر میز، عمل شناورسازی بهتر انجام می‌شود و همین امر سبب افزایش جداسازی مواد خارجی همراه دانه‌های عدس می‌گردد.

نتایج آزمایش‌ها با تکیه بر آنالیز ابعادی در شکل‌های 3a تا 3h، 4a تا 4h، 5a تا 5c و 6a تا 6c نشان داده شده است.

درصد جداسازی مواد خارجی همراه دانه‌های عدس را نسبت به تغییرات شیب طولی میز و شرایط مختلف شیب عرضی میز و پارامتر ثابت $\frac{v}{aw}$ حاصل از آنالیز ابعادی، در دامنه نوسان میز به مقدار 5 mm در شکل‌های 3a تا 3d و در دامنه نوسان میز به مقدار 7 mm در شکل‌های 3e تا 3h نشان داده شده است. مقایسه شکل‌های 3a تا 3d نشان می‌دهد، که افزایش شیب طولی میز از 1° تا 2° سبب افزایش درصد جداسازی مواد خارجی همراه دانه‌های عدس می‌شود، این امر در همه حالات دیده می‌شود و افزایش شیب طولی میز از 2° تا 2.5° سبب کاهش درصد جداسازی می‌گردد. همچنین در شکل‌های 3e تا 3h در مقادیرهای $\frac{v}{aw} = 128/57$ و $\frac{v}{aw} = 122/14$ در شیب عرضی میز 0.5° و در مقادیرهای $\frac{v}{aw} = 116/32$ و $\frac{v}{aw} = 108/57$ حاصل از آنالیز ابعادی، شیب‌های عرضی میز 0.5° ، 1° و 1.5° در بازه شیب‌های طولی میز 0.5° تا 2° سبب افزایش درصد جداسازی مواد خارجی همراه دانه‌های عدس می‌شود. علت این امر بدین سبب است که در بازه‌های ذکر شده اولاً تأثیر منفی اثرات متقابل سه‌تایی شیب طولی، شیب عرضی و فرکانس نوسان کمترین مقدار بود، دوماً مواد مدت زمان بیشتری بر روی سطح میز باقی‌ماند و در نتیجه توزیع مواد روی سطح میز یکنواخت‌تر بوده و به همین علت شناورسازی مواد خارجی همراه دانه‌های عدس بهتر می‌شد و در نتیجه جداسازی توسط دستگاه افزایش می‌یافت. البته شایان ذکر است که در دامنه نوسان میز 7 mm در تمام بازه‌های ذکر شده، مواد به سمت راست لبه خروجی میز منتقل نمی‌شوند و این امر سبب ایجاد خطا در شرایط آزمایش می‌گردد. نتایج آزمایش‌های راسخ نشان داد که





شکل ۴- (a-h): درصد جداسازی ناخالصی از عدس با تغییر شیب عرضی میز و در شرایط مختلف شیب طولی میز و ثابت $\frac{v}{a\omega}$
Fig. 4. (a-h): The separation percentage of impurities from lentil with the variation of latitudinal slopes under the different longitudinal slopes and dimensionless number of $\frac{v}{a\omega}$

نامناسب $\frac{v}{a\omega}$ به کاهش شدید درصد جداسازی می‌انجامد. بین مقادیر شیب طولی میز (α_1)، شیب عرضی میز (α_2)، تابع سرعت هوا بر دامنه نوسان میز در فرکانس نوسان میز ($f(\frac{v}{a\omega})$)، درصد جداسازی مواد خارجی همراه دانه‌های عدس در خروجی دستگاه میز ثقلی (Q_h) و درصد مواد خارجی همراه توده عدس (Q_t)، می‌توان رابطه (۱) را بیان نمود:

$$\frac{Q_h}{Q_t} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times f\left(\frac{v}{a\omega}\right) \rightarrow f\left(\frac{v}{a\omega}\right) = \frac{Q_h}{Q_t \times \alpha_1 \times \alpha_2} \quad (1)$$

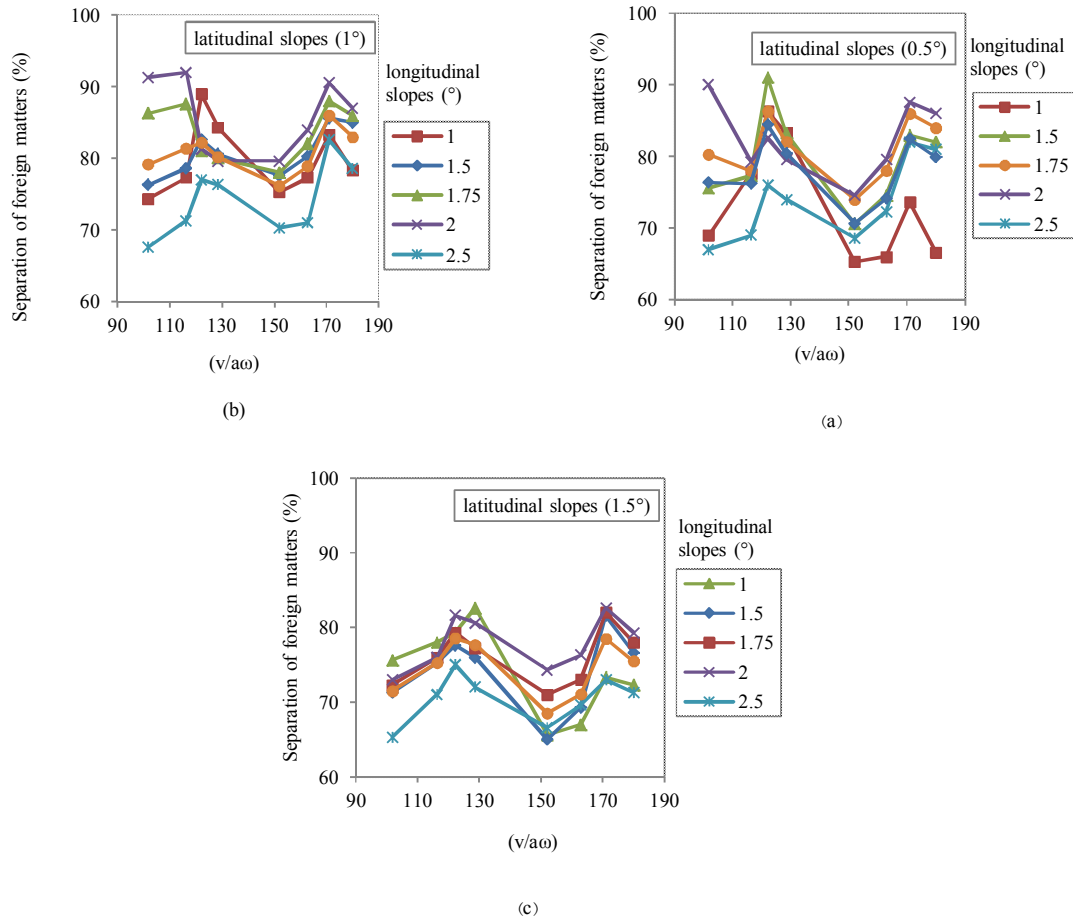
با محاسبه f به‌ازای مقادیر مختلف شیب طولی (α_1)، شیب‌های عرضی (α_2)، $\frac{v}{a\omega}$ ، $\frac{Q_h}{Q_t}$ و رسم منحنی‌های مربوطه می‌توان فرم تابع f و ضریب تبیین هر حالت (R^2) را به‌ازای شیب‌های عرضی میز مختلف و در مقادیر مختلف شیب طولی میز، $\frac{v}{a\omega}$ ، $\frac{Q_h}{Q_t}$ تعیین نمود (شکل ۶).

تابع مربوطه و مقادیر ضریب تبیین (R^2) در حالت‌های مختلف شیب عرضی میز در جدول ۲ نشان داده شده است. از این نتایج می‌توان برای به‌دست آوردن $\frac{Q_h}{Q_t}$ در حالت‌های مختلف α_1 ، α_2 و $\frac{v}{a\omega}$ استفاده کرد. نحوه استفاده از روابط جدول ۲ به این شرح است، با داشتن مقدار $\frac{v}{a\omega}$ و شیب‌های طولی و عرضی میز و انتخاب رابطه مربوطه از جدول ۲ مقدار $f(\frac{v}{a\omega})$ از محور قائم به‌دست می‌آید. سپس با استفاده از رابطه (۱) مقدار Q_h معلوم می‌شود.

به‌طوری‌که در دیگر بازه‌ها، انتقال مواد به سمت راست لبه خروجی میز منتقل نمی‌شود و توزیع مواد روی سطح میز یکنواخت نمی‌شود. نتایج آزمایش‌های راسخ (۲۰۰۶) نشان داد که در مقدار ثابت $\frac{v}{a\omega} = 152/3$ حاصل از آنالیز ابعادی، شیب عرضی 2° و شیب طولی 3° درصد جداسازی گندم سن زده به حداکثر ۹۵/۱۴٪ رسید (Rasekh, 2006). همچنین نتایج کاشی نشان داد که در شیب طولی 4° ، شیب عرضی 2° ، فرکانس نوسان $450 \text{ cycle min}^{-1}$ ، سرعت هوای $5/7 \text{ m s}^{-1}$ و دامنه نوسان ۷mm بیشترین درصد جداسازی صورت گرفت (Kashi, 2010).

در شکل‌های 3h و 4h (حالتی که سرعت هوا برابر با $5/7 \text{ m s}^{-1}$ ، دامنه نوسان میز برابر با ۷ mm و فرکانس نوسان برابر با $450 \text{ cycle min}^{-1}$ است) درصد جداسازی نسبت به حالت دیگر کمتر می‌باشد. دلیل این امر این است که در فرکانس نوسان میز $450 \text{ cycle min}^{-1}$ ، به‌علت محتوی رطوبتی کم دانه عدس حالت آشفته‌گی شدیدی در عدس‌های روی سطح میز دستگاه به‌وجود می‌آید و در این حالت الگوی منظم حرکت مواد در روی میز تشکیل نمی‌شود. البته همان‌طور که قبلاً اشاره شد، در دامنه نوسان میز ۷ mm در تمام بازه‌ها، انتقال مواد به سمت راست لبه خروجی میز انجام نمی‌شود. شکل‌های ۳ و ۴ نشان داد که تغییرات شیب طولی میز نسبت به تغییرات شیب عرضی میز، در جدا نمودن ناخالصی از توده عدس، تأثیر بیشتری دارد.

در شکل‌های 5a تا 5c درصد جداسازی مواد خارجی از دانه‌های عدس نسبت به مقادیر $\frac{v}{a\omega}$ حاصل از آنالیز ابعادی و در شرایط شیب‌های طولی و عرضی میز مختلف نشان داده شده است. انتخاب



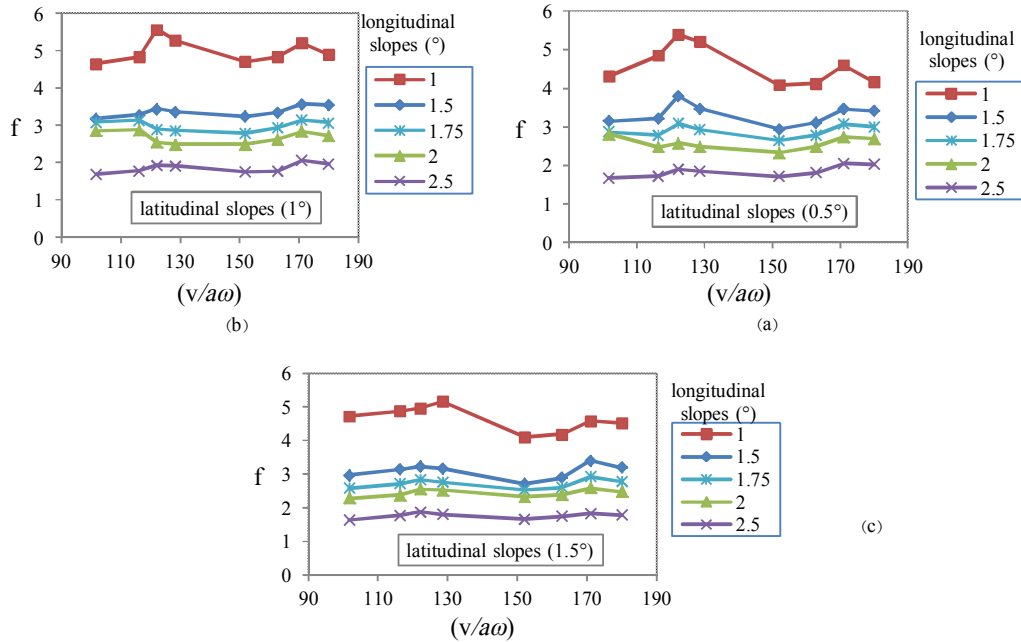
شکل ۵- (a-c): درصد جداسازی ناخالصی از عدس با تغییرات $\frac{v}{a\omega}$ و در سطوح مختلف شیب‌های طولی و عرضی میز
Fig. 5. (a-c): The separation percentage of impurities from lentil with the dimensionless number $\frac{v}{a\omega}$ under the various levels of latitudinal and longitudinal slopes

۷ mm، سرعت هوا برابر با $5/7 \text{ m s}^{-1}$ ، شیب عرضی میز $1/5^\circ$ و شیب طولی میز $2/5^\circ$ بیشترین درصد جداسازی ناخالصی همراه توده عدس برابر با $65/3\%$ می‌باشد که نسبت به ۷ حالت دیگر کمتر می‌باشد. دلیل این امر فرکانس نوسان زیاد میز است که باعث عدم دستیابی به الگوی صحیح حرکت دانه‌ها روی سطح میز است.

۴- برازش تابعی که نشان‌دهنده اثرات $\frac{v}{a\omega}$ باشد، به گونه‌ای انجام شده که حداکثر نقاط حاصل از آزمایش را پوشش دهد. در نتیجه به‌طور متوسط حدود $57/1\%$ نقاط آزمایش در مدل تئوری حاضر قرار دارند.

نتیجه‌گیری

- ۱- افزایش شیب عرضی میز از $0/5^\circ$ به 1° و افزایش شیب طولی میز از 1° به 2° باعث افزایش درصد جداسازی ناخالصی همراه توده عدس می‌گردد.
- ۲- در مقدار عدد بدون بعد $\frac{v}{a\omega} = 171$ حاصل از آنالیز ابعادی (فرکانس نوسان میز $400 \text{ cycle min}^{-1}$ ، دامنه نوسان میز 5 mm ، سرعت هوای $5/7 \text{ m s}^{-1}$ ، شیب عرضی میز 1° و شیب طولی 2° میز بیشترین درصد جداسازی برابر $90/2\%$ می‌باشد.
- ۳- در مقدار عدد بدون بعد $\frac{v}{a\omega} = 108/57$ حاصل از آنالیز ابعادی (فرکانس نوسان میز $450 \text{ cycle min}^{-1}$ ، دامنه نوسان میز برابر با



شکل ۶- (a-c): فرم تغییر تابع f نسبت به α_2 ، $\frac{v}{a\omega}$ و $\frac{Q_h}{Q_t}$ در شرایط شیب عرضی میز

Fig. 6. (a-c). The extent of f Function toward α_2 , $\frac{v}{a\omega}$ and $\frac{Q_h}{Q_t}$ under the various latitudinal slopes

جدول ۲- رابطه تابع f در شرایط شیب طولی میز و شیب عرضی میز مختلف

Table 2- The relation of function under the various latitudinal and longitudinal slopes

تابع Function	شیب عرضی (°) Latitudinal slopes (°)	شیب طولی (°) Longitudinal slopes (°)	R^2
$f = 2 \times 10^{-5} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.009 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 + 1.332 \left(\frac{v}{a\omega}\right) - 56.69$	0.5	1	0.727
$f = 1 \times 10^{-5} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 + 0.005 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 + 0.755 \left(\frac{v}{a\omega}\right) - 30.59$		1.5	0.467
$f = 5 \times 10^{-6} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.002 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 + 0.293 \left(\frac{v}{a\omega}\right) - 9.794$		1.75	0.360
$f = -2 \times 10^{-7} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.078 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 + 7.772$		2	0.739
$f = 4 \times 10^{-6} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.001 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 + 0.252 \left(\frac{v}{a\omega}\right) - 9.584$		2.5	0.703
$f = 1 \times 10^{-5} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.005 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 - 0.76 \left(\frac{v}{a\omega}\right) - 30.58$	1	1	0.416
$f = 5 \times 10^{-6} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.002 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 - 0.274 \left(\frac{v}{a\omega}\right) - 9.120$		1.5	0.714
$f = 1 \times 10^{-6} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 + 0.016 \left(\frac{v}{a\omega}\right) + 3.415$		1.75	0.569
$f = -8 \times 10^{-7} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.109 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 + 9.08$		2	0.554
$f = 5 \times 10^{-6} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.001 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 + 0.265 \left(\frac{v}{a\omega}\right) + 10.33$		2.5	0.561
$f = 2 \times 10^{-5} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.006 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 + 0.937 \left(\frac{v}{a\omega}\right) - 36.7$	1.5	1	0.745
$f = 9 \times 10^{-6} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.003 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 + 0.513 \left(\frac{v}{a\omega}\right) - 19.44$		1.5	0.402
$f = 6 \times 10^{-6} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.002 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 + 0.326 \left(\frac{v}{a\omega}\right) - 11.98$		1.75	0.527
$f = 4 \times 10^{-6} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.001 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 + 0.267 \left(\frac{v}{a\omega}\right) - 9.993$		2	0.476
$f = 4 \times 10^{-6} \left(\frac{v}{a\omega}\right)^3 - 0.001 \left(\frac{v}{a\omega}\right)^2 + 0.245 \left(\frac{v}{a\omega}\right) - 9.573$		2.5	0.603

References

1. Amaral, A., S. Dos, L. H. F. Bicca, and L. A. Wobeto. 1984. Classification of pea seeds. *Lavoura Arrozeira* 37: 187-193.
2. Amin, M. N., M. A. Hussein, and K. C. Roy. 2004. Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. *Journal of Food Engineering* 83: 83-87.
3. Anonymous. 2015. Agriculture Database of FAO-STAT. Available on the <http://FAOSTAT3.FAO.ORG>.
4. Chen, F. S., and G. Z. Hua. 1991. Computer-simulated separation process and design parameters of gravity separator. International agricultural mechanization conference. Proceeding of a conference held in Beijing, China 4: 26-30.
5. Falconer, A. 2003. Gravity separation: Old technique/New methods. *Physical separation in science and engineering* 12: 31-48.
6. Feller, R., A. Mizrach, A. Zaltzman, and Z. Schmilovitch. 1981. Gravity separation over a mesh belt conveyor. *Journal of Agricultural Engineering Research* 26: 371-377.
7. Gaul, A. D., M. K. Misra, C. J. Bern, and C. R. Hurburgh. 1986. Variation of physical properties in gravity separated soybeans. *Transactions of the ASAE* 29: 1146-1149.
8. Gorial, B. Y., and J. R. O' Callaghan. 1990. Aerodynamic properties of Grain /straw materials, *Journal of Agricultural Engineering Research* 46: 275-290.
9. Hollatz, B., and G. R. Quick. 2003. Combine tailings returns, part 1: the effects of combine performance and settings on tailings. In e- Proceedings of the International Conference on Crop Harvesting and Processing. Kentucky USA. ASAE Publication Number 701P1103e. St Joseph, Mich. ASAE.
10. Johnson, R. C., D. Thavarajah, P. Thavarajah, S. Payne, J. Moore, and J-B. Ohm. 2015. Processing, cooking, and cooling affect prebiotic concentrations in lentil (*Lens culinaris Medikus*). *Journal of Food Composition and Analysis* 38: 106-111.
11. Kaur, S., N. O. I. Cogan, A. Stephens, D. Noy, M. Butsch, J.W. Forster, and M. Materne. 2014. EST-SNP discovery and dense genetic mapping in lentil (*Lens culinaris Medik.*) enable candidate gene selection for boron tolerance. *Theoretical and Applied Genetics* 127: 703-713.
12. Kashi, M. 2010. Investigate the possibility of separating wild oats (*Avena Sativa*) of wheat by gravity separator. Faculty of Agriculture. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran. (In Farsi).
13. Murilo, D. M. Innocentini, W. S. Barizan, M. N. O. Alves, and R. Pisani Jr. 2009. Pneumatic separation of hulls and meats from cracked soybeans. *Food and Bioproducts Processing* 87 (4): 237-246.
14. Rasekh, M. 2006. Effective parameters in gravity separator apparatus of sunn pest- damaged wheat. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Farsi).
15. Tang, J., S. Sokhansanj, and F. Sosulski. 1991. Determination of the breakage susceptibility of lentil seeds. *American association of cereal chemists* 68: 647-650.
16. Turk M. A., and A. M. Tawaha. 2003. Weed control in cereals in Jordan. *Crop Protection* 22: 239-246.
17. Uhl, J. B., and B. J. Lamp. 1966. Pneumatic separation of grain and straw mixtures. *Transactions of the ASAE* 9 (2): 244-246.

Using of dimensional analysis to determine the parameters of gravity separator table device to minimize impurities in bulk lentils

H. Bagheri¹ - M. Rasekh^{2*} - M. H. Kianmehr³

Received: 11-06-2015

Accepted: 04-10-2015

Introduction

Lentil (*Lens culinaris medic*) is an important and highly nutritious crop belonging to the family of legumes. Lentil is cultivated worldwide but competition with weeds is a problem affecting production and can reduce yield by more than 80%. The study on the separation of impurities in bulk lentils (*Euphorbia helioscopia weed*, *Wild oat weed* and etc.) by a gravity separator has an extreme importance. Since no study has been done to date, in this study, the effects of different parameters of a gravity separator (longitudinal and latitudinal slopes, oscillation frequency and amplitude) on the separation of foreign matters in lentil seeds were evaluated. A dimensionless number ($v/a\omega$) which shows ration of air current velocity blown to lentil to the maximum velocity of table oscillation, was considered in ratio of separation.

Materials and Methods

In this research, lentil samples were taken from farms in Ardebil Province (Bileh-Savar cultivar). A gravity separator apparatus was also used for separating impurities from lentil seeds. A Laboratory Gravity Separator Type LA-K (Westrup A/S Denmark) was used to separate impurities from bulk lentils. In this machine, table settings were as follows; longitudinal slope parameters (1° , 1.5° , 1.75° , 2° and 2.5°), latitudinal slope (0.5° , 1° , and 1.5°), frequency of oscillation (380, 400, 420 and 450 cycles min^{-1}), and amplitude of oscillation (5 and 7 mm), these settings were all adjustable. Similarly, the instrument had 5 boxes whereby, through proper adjustment, the heavier material was transferred toward the right side of the table and lighter material moved toward the left side. Through proper adjustment of the main parameters of the instrument, the impurities were separated from bulk lentils. Then using an electronic seed counter, five groups of seed which each group containing 100 seeds were counted and selected.

Results and Discussion

The results of variance analysis of the factorial design with three factors of table settings; (longitudinal slope at 5 levels, latitudinal slope at 3 levels, and frequency of oscillation of the table at 4 levels) are demonstrated in Table 1. It showed the main effect of table settings. Oscillation of frequency, latitudinal slope, and longitudinal slope, the mutual binary effect of latitudinal and longitudinal slope, the mutual binary effect of the latitudinal slope and the frequency of oscillation, the mutual binary effect of the longitudinal slope and the frequency of oscillation and the mutual triple effect of oscillation frequency, longitudinal slope, and latitudinal slope, were significant at the probability level of 1% and the mutual binary effect of the latitudinal slope and frequency of oscillation significant at the probability level of 5%.

The results showed that increase of latitudinal slope of table and increase of longitudinal slope from 1 to 2 degrees will increase the separation percentage of impurities from lentil seeds. Moreover, the separation percentage of impurities from lentil seeds to longitudinal slope, under the various latitudinal slope and dimensionless number of ($v/a\omega$) and amplitude of oscillation of 5 mm and 7 mm, were investigated. Results showed that in all conditions with increasing of the longitudinal slope from 2° - 2.5° , separation percentage of impurities from bulk lentils will decrease. This was due to the fact that under the stated conditions, distribution of seeds on the surface of the table was more homogenous. Note that at the amplitude of oscillation of 7 mm, transference of materials towards the right side of the table output edge was halted and the surface of the table

1- Ph.D. Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3- Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tehran, College of Abouraihan, Pakdasht, Iran

(*- Corresponding Author Email: dr.mara1349@gmail.com)

was not fully covered by the fed materials, and separation decreased. The results of the experiment showed that the maximum separation of impurities from bulk lentils was 90.2 percent ($\frac{v}{a\omega} = 171$).

Conclusions

1- Increased latitudinal slope of the table from 0.5° to 1° and longitudinal slope of table from 1° to 2° were resulted in increased separation percentage of impurities from bulk lentils.

2- The results demonstrated that at settings of longitudinal slope of 2° , latitudinal slope of 1° , and frequency of oscillation of $400 \text{ cycles min}^{-1}$, air velocity of 5.7 m s^{-1} and amplitude of oscillation of 5 mm ($\frac{v}{a\omega} = 171$), the maximum separation will be 90.2%. In this case, the output lentil seeds contained the least amount of impurities here.

Keywords: Dimensional analysis, Dimensionless number, Gravity separation, Impurities, Lentil