

## ارزیابی عملکرد دستگاه جداکننده ثقلی در مقایسه با حوض تر مرسوم برای جداکردن

### پسته‌های پوک

احمد صادقی<sup>۱</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۶

#### چکیده

دستگاه جدا کننده ثقلی (حوض خشک) یکی از تجهیزات متداول جداسازی است که به طور گسترده‌ای در واحدهای فرآوری پسته کاربرد دارد. در این تحقیق ارزیابی عملکرد دستگاه جدا کننده ثقلی در جداسازی دانه‌های پوک پسته و سایر بخش‌های محصول که چگالی کمتری دارند، مورد نظر قرار گرفت. به همین منظور جداسازی کامل محصول پسته پوست‌گیری شده توسط آب به عنوان مبنا در نظر گرفته شد و بر این اساس شاخص نسبی جداسازی (R.S.I.) برای بررسی عملکرد دستگاه جدا کننده ثقلی تعریف گردید. با استفاده از شاخص تعریف شده، عملکرد جداسازی دستگاه برای دو رقم پسته (رقم فندق و رقم ممتاز) و حالت‌های مختلف وضعیت دریچه‌های زیربادی و روبادی دستگاه شامل تنظیم متداول (هر دو دریچه A و R در موقعیت دوم) معین

گردید. این تحقیق نشان داد درصد شاخص نسبی جداسازی در رقم ممتاز بالاتر از رقم فندق بوده و صرف‌نظر از رقم محصول بالاترین مقدار به دست آمده برای شاخص نسبی جداسازی (R.S.I.) برابر با ۶۴/۵ درصد است. همچنین نتایج حاکی از آن بود که با تغییر تنظیمات دستگاه از حالت متداول، امکان ارتقای شاخص نسبی جداسازی دستگاه از ۷۹ درصد (نسبت به جداسازی در حوض تر) به ۹۳ درصد (نسبت به جداسازی در حوض تر) وجود دارد. از سوی دیگر مشاهده شد با تغییر تنظیمات حوض خشک، گرچه می‌توان به عملکرد بهتری در شاخص نسبی جداسازی دست یافت ولی این کار منجر به افزایش شدیدی در کمیت محصول خروجی روبادی از دستگاه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** پسته، جداسازی، دستگاه جدا

کننده ثقلی، فرآوری

<sup>۱</sup> استادیار موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
نویسنده مسئول: a\_msadeghi@yahoo.com

## مقدمه

روی آن انجام می‌شود. ارزیابی عملکرد ماشین‌ها و تجهیزات فرآوری پسته از جمله موضوعاتی است که مورد نظر پژوهشگران بوده است. شمسی و همکاران عملکرد یک مدل ماشین پوست‌گیری که در مرحله حذف پوست سبز پسته مورد استفاده است را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها تفاوت معنی‌داری در عملکرد ماشین طی پوست‌گیری محصول در اول و آخر فصل مشاهده نکردند. همچنین آن‌ها گزارش نمودند که ماشین پوست‌گیری مورد ارزیابی در بهترین تنظیم، عملکردی معادل ۷۳/۸ درصد داشته است (Shamsi *et al.*, 2011).

در مراحل مختلف فرآوری محصول پسته، عملیات جداسازی با هدف خارج ساختن بخش‌هایی از محصول که باعث کاهش ارزش تجاری یا بهداشتی آن هستند صورت می‌گیرد. جداسازی پوست سبز، دانه‌های پوک، گوها، پسته‌های لکه‌دار و پسته‌های ناخندان از جمله این موارد است که هر کدام طی یک یا چند مرحله جداسازی توسط دستگاه‌های جداساز انجام می‌گیرد. در برخی از ترمینال‌ها محصول جهت شستشو و پوک‌گیری درون حوضچه آب ریخته می‌شود و در حالی که پسته‌های پوک، بقایای پوست و مواد خارجی، پسته‌های پوست‌گیری نشده (گوها) و بخشی از دانه‌های ظاهراً سالم طبیعی روی آب شناورند، پسته‌های مغزدار و پوست‌گیری شده در آب فرو رفته و از قسمت کف حوضچه جمع‌آوری می‌گردند. در این واحدها که

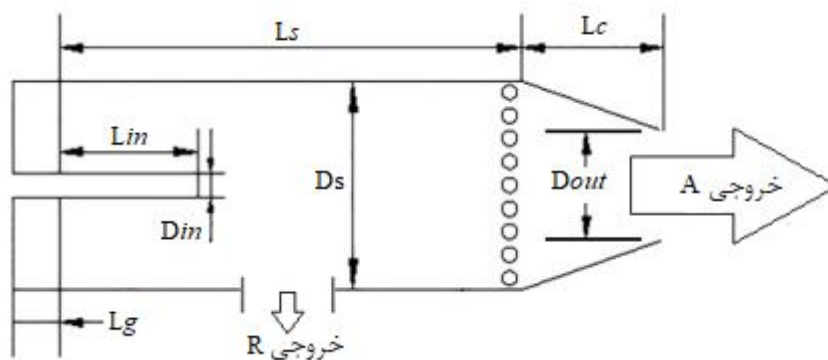
پسته یکی از محصولات عمده صادراتی ایران است و کشور ما از تولیدکنندگان عمده و صادر کننده آن در سطح جهان می‌باشد (FAO, 2018). این محصول با توجه به سیاست‌های کلی اقتصاد کشور در قطع وابستگی از درآمدهای نفتی و رونق صادرات غیر نفتی از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و بررسی راهکارهای توسعه و بهبود تولید و تجارت آن از جمله موضوعاتی است که مؤسسات پژوهشی و دستگاه‌های اجرایی آن را پی‌گیری می‌نمایند (بی‌نام، ۱۳۸۲).

امروزه باغداران و تولیدکنندگان پسته از خدمات فنی شرکت‌های خصوصی در امر آب و خاک، تغذیه، بیماری‌شناسی، کنترل آفات و امراض گیاهی بهره‌مند هستند. همچنین واحدهای فرآوری محصول پسته در نواحی پسته‌خیز و حتی استان‌های مجاور به بهره‌برداری رسیده‌اند (بی‌نام، ۱۳۹۷). این واحدهای فرآوری با عنوان ترمینال‌های ضبط پسته شناخته می‌شوند. محصول پسته پس از برداشت به دو صورت حمل توده‌ای و حمل در سبد به واحد فرآوری منتقل می‌گردد. در واحد فرآوری دانه‌ها پوست‌گیری شده و مواد زائد و ضایعاتی چون برگ‌ها و ترکه‌ها به همراه پوست خارجی از محصول جدا می‌گردد. در ادامه‌ی مراحل فرآوری؛ محصول پسته شسته شده و پس از آن به ترتیب عملیات پوک‌گیری، گوگیری، نم‌گیری، خشک‌کردن، درجه‌بندی و جداسازی دستی یا ماشینی

رو به بالا است در اثر شیب دستگاه به قسمت خروجی روبرادی یا پوک (خروجی R یا Reject or Blank Outlet) ارسال می‌گردند (Falconer, 2003). نیروی رو به بالای وارده بر دانه‌ها از طرف سیال تابعی از اندازه، شکل، وزن و احتمالاً زبری سطحی می‌باشد (Stroshine & Hamann, 2004). مهم‌ترین خاصیت فیزیکی که می‌تواند تا حدودی در برگیرنده اثرات موارد فوق‌الذکر باشد، سرعت حد (Terminal Velocity) نام دارد (توکلی‌هشجین، ۱۳۸۲؛ Sitkei, 1987). از جمله پژوهش‌هایی که پیرامون تعیین خواص فیزیکی محصول پسته صورت گرفته است می‌توان به مطالعه‌ی خواص فیزیکی و گرمایی محصول پسته شامل ابعاد فیزیکی (طول، عرض، ضخامت)، سطح رویه، وزن مخصوص توده، گرمای ویژه، ضریب رسانش گرما و ضریب نفوذ گرما به عنوان تابعی از رطوبت محصول که توسط سو و همکاران انجام شد اشاره نمود. آن‌ها افزایش خطی برخی از خواص فیزیکی مورد بررسی مانند وزن مخصوص توده و ضریب نفوذ گرما با افزایش رطوبت را گزارش نمودند (Hsu et al., 1991). برخی از عوامل طراحی و کاربردی دستگاه جداکننده ثقلی می‌تواند در عملکرد آن مؤثر باشد. سه عامل مهم برای کارایی بهتر حوض خشک شدت جریان هوا، زاویه دریچه خروجی پسته‌های سالم و خوب و زاویه قسمت خروجی پسته‌های روبرادی است (شاکر اردکانی، ۱۳۹۵).

اصطلاحاً دارای حوض تر یا حوض آبی هستند عموماً جهت تکمیل شستشو از دوش آب نیز استفاده می‌شود (Nakhei-Nejad, 2003).

در برخی از ترمینال‌ها به دلایلی چون کمبود و محدودیت منابع آب و یا مشکل دفع فاضلاب حاصله و برخی ملاحظات دیگر به جای حوض تر (Flotation Tank) از دستگاه جداکننده ثقلی (Gravity Separator) یا حوض خشک جهت پوک‌گیری استفاده می‌گردد (صادقی، ۱۳۸۵). این دستگاه همانند حوض تر بر اساس غوطه‌وری کار می‌کند با این تفاوت که سیال جداکننده در این دستگاه به جای آب، هوا می‌باشد. هوا توسط فن از زیر به دستگاه دمیده شده و عمل جداسازی بر روی بستر سیال (Fluidized Bed) صورت می‌گیرد. خروجی‌های زیربادی و روبرادی بر حسب طراحی دستگاه می‌تواند جانمایی متفاوت داشته باشد. در شکل ۱ طرح‌واره یک جداکننده ثقلی که به عنوان حوض خشک در جداسازی و پوک‌گیری محصول پسته استفاده می‌شود به همراه خروجی‌های A (زیربادی) و R (روبادی) نشان داده شده است (Henderson & Perry, 1976). حرکت ارتعاشی دستگاه باعث می‌شود دانه‌هایی که برآیند نیروهای وارد بر آنها (نیروی رو به بالای شناوری (Lifting or Floating Force) و نیروی وزن) رو به پایین است به سمت کانال خروجی زیربادی (خروجی A یا Accept Outlet) هدایت شوند در حالی که دانه‌هایی که برآیند دو نیروی فوق‌الذکر در آنها



شکل ۱- نمای از بالای طرح‌واره جداکننده ثقلی (جریان مواد در حوض خشک).

امکان حذف تمام دانه‌های زودخندان با شرایط فوق نمی‌باشد. همچنین پیروسون و همکاران گزارش نمود که محتوای رطوبتی پسته‌های پوست‌گیری نشده، چگالی، ضخامت پوست خارجی (پوست سبز)، سرعت حد و ضریب اصطکاک پوست خارجی (Hull Friction Factor) در پسته‌های زودخندان و پسته‌های سالم دارای تفاوت معنی داری نیستند (Pearson *et al.*, 1994). هادوی و همکاران در تحقیق دیگری ارزیابی اثر ماشین‌ها و تجهیزات جداسازی (حوض تر و حوض خشک) و پوست‌گیری را بر جداسازی و کاهش محصول آلوده به آفلاتوکسین را مورد مطالعه و مقایسه با جداسازی دستی قرار دادند. آنها نشان دادند نوع تجهیزات پوست‌گیری و جداسازی بر جداسازی اثر معنی‌داری دارد (Hadavi *et al.*, 2017).

شاکراردکانی و همکاران در تحقیقی عملکرد حوض تر در جداسازی پسته‌های آلوده به آفلاتوکسین را مورد بررسی قرار دادند. آنها بهترین عملکرد حوض تر برای جداسازی با زمان غوطه‌وری ۵ دقیقه در آب با

طی پژوهشی که پیروسون به منظور بررسی امکان ارائه یک معیار جهت جداسازی پسته‌های زودخندان از سایر پسته‌ها انجام داد معلوم گردید که پسته‌های زودخندان (که احتمال آلودگی آنها به آفلاتوکسین در مرحله باغ بیشتر است) بطور معنی‌داری از پسته‌های سالم از نظر طول، عرض، ارتفاع، جرم و حجم کوچکترند. تحلیل‌های تشخیصی (Discrimination Analysis) در جداسازی، نشان داد خواص فوق به تنهایی یا به صورت ترکیبی نمی‌توانند به عنوان مبنایی برای جداسازی مناسب و حذف دانه‌های زودخندان در نظر گرفته شوند. ولی این خواص می‌توانند جهت بهبود دقت به همراه سایر روش‌ها مورد استفاده قرار گیرند. به عنوان مثال بر اساس تخمین آماری فوق درصد دانه‌های زودخندانی که با معیار خصوصیات مرتبط با رنگ پوست شاخی بطور صحیحی طبقه‌بندی می‌شوند با تلفیق خصوصیات فوق‌الذکر از حدود ۸۲ درصد به ۱۰۰ درصد نزدیک می‌گردد (Pearson, 1994). توجه گردد مطلب فوق به معنای

عملکرد حوض خشک و مقایسه آن با حوض تر ضروری بنظر می‌رسد. هدف از پژوهش حاضر بررسی و ارزیابی حوض خشک به لحاظ عملکرد آن در جداسازی و مقایسه‌ی آن با حوض تر (متداول در منطقه) است. در این تحقیق حداکثر جداسازی توسط آب به عنوان مبنا جهت ارزیابی جداسازی محصول پسته پوست‌گیری شده در نظر گرفته شد و بر این اساس شاخص نسبی جداسازی (Relative Separation Index) تعریف گردید. ارزیابی حوض خشک با استفاده از شاخص نسبی جداسازی مورد نظر قرار گرفت.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش روی حوض خشک مستقر در یکی از دو خط فرآوری ترمینال وابسته به "مزرعه یاسایی" واقع در حومه کرمان انجام گردید. حوض خشک مورد نظر در این پژوهش ساخت شرکت ممتازان بوده، طراحی و ساخت آن به گونه‌ای است که محصول پس از گذشتن از قسمت ابتدایی دستگاه که در واقع نوعی غربال معروف به نخودگیر است به درون محفظه اصلی هدایت می‌گردد. این دستگاه با ظرفیت فرآوری ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم محصول پسته در ساعت مجهز به یک موتور الکتریکی با توان ۵/۷ کیلووات است. پنکه دستگاه با استفاده از توان تولیدی موتور الکتریکی باد را از زیر به کف مشبک محفظه جداسازی می‌دمد. ضمناً کف محفظه اصلی دستگاه شیب‌دار می‌باشد. در

دمای ۲۰ درجه سلسیوس و نسبت ۱ به ۴ پسته به آب را گزارش نمودند (شاکراردکانی و همکاران، ۱۳۸۶). تاج‌آبادی‌پور و همکاران در پژوهش دیگری کارایی معمول‌ترین دستگاه‌های مورد استفاده در مرحله فرآوری برای جداسازی پسته‌های مشکوک به آلودگی آفلاتوکسین را بررسی کردند. حوض تر (شامل دو نوع حوض آب معمولی یا راکد و حوض آب پمپی) و حوض خشک از جمله دستگاه‌های مورد نظر در این تحقیق بود. آنها گزارش نمودند که حوض آبی پمپی از نظر جداسازی پسته‌های آلوده کارایی بهتری داشته و کارایی آن بصورت معنی‌داری بزرگتر از دو نوع دیگر بوده است (تاج‌آبادی‌پور، ۱۳۸۷).

Drincha & Pavlov آزمایش‌هایی را جهت ارتقای راندمان جداسازی بذر در یک جداکننده وزن مخصوص انجام دادند. آنها خواص مرتبط با جداسازی دانه توسط بستر سیال را با استفاده از روش‌های ریاضی و تحلیل‌های تشخیصی بررسی نمودند. داده‌های حاصل از این آزمایش‌ها منجر به ارائه‌ی گونه‌ای جدید از جداکننده وزن مخصوص گردید که توانایی جداسازی بهتر و دقیق‌تری را فراهم می‌نماید (Drincha & Pavlov, 2004).

با عنایت به مرور منابع انجام شده در بالا و با توجه به گسترش استفاده از دستگاه جداکننده ثقلی در خطوط فرآوری محصول پسته و جایگزینی تدریجی آن با حوض تر مرسوم در خطوط فعلی، بررسی و ارزیابی

انتقال توان) و مجموعه فن دمنده است. بخش متحرک شامل محفظه اصلی جداسازی است که در واقع میزی است که از جریان هوا از پایین به آن دمیده می‌شود و به لحاظ شکلی و وظیفه‌مندی به عنوان تانک جداسازی شناخته می‌شود. تمام مجموعه محفظه جداکننده در اثر اتصال به سیستم لنگ از حرکت ارتعاشی برخوردار می‌باشد که مهم‌ترین مشخصات آن عبارتند از:

۱- تعداد دوران محور لنگ جهت ایجاد حرکت ارتعاشی: ۳۴۰ دور بر دقیقه

۲- بیشینه سرعت رفت و برگشت محفظه جداسازی: ۱۸ تا ۲۱ متر بر دقیقه

۳- حداکثر شعاع لنگ: ۱۴ سانتیمتر

۴- تعداد دوران فن: ۲۴۰۰ دور بر دقیقه.

مدل‌های قدیمی، دستگاه مشتمل بر سه خروجی و در مدل‌های جدیدتر این دستگاه دارای دو خروجی می‌باشد که نوع جدید آن مورد بررسی قرار گرفت. در مدل‌های اخیر خروجی اصلی دستگاه جهت محصول زیربادی (خروجی A) و خروجی جانبی جهت بخش روبادی محصول شامل پسته‌های پوک و مواد زائد و ضایعات کم وزن به عنوان خروجی پوک (خروجی R) عمل می‌نماید (شکل ۱). در هر کدام از دو خروجی فوق دریچه‌ای وجود دارد که کنترل و هدایت محصول خروجی توسط آنها امکان‌پذیر است.

همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود دستگاه از دو بخش ثابت و متحرک تشکیل شده است. بخش ثابت شامل شاسی، سیستم توان (موتور الکتریکی و سیستم



شکل ۲- جداکننده ثقیلی پسته‌های پوک (حوض خشک).

گرفته و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

هنگامی که خط فرآوری یک توده از ارقام مورد نظر را مورد فرآوری قرار می‌داد دستگاه جداکننده ثقلی در هر کدام از تنظیمات شش‌گانه قرار می‌گرفت و پس از تقریباً ۵ دقیقه که دستگاه به تعادل رسیده و بر اساس تنظیمات جدید اقدام به جداسازی محصول پسته می‌نمود، هر واحد آزمایشی مشتمل بر ۴ کیلوگرم پسته بود که پس از گذشت زمان فوق از خروجی زیربادی (پسته‌های غیرپوک) اخذ گردید.

اندازه‌گیری شاخص نسبی جداسازی با توجه به مبنا بودن آب برای جداسازی برای هر کدام از نمونه‌ها مورد نظر قرار گرفت. به همین منظور نمونه‌های اخذ شده از خروجی زیربادی که توسط دستگاه جداکننده ثقلی به عنوان غیرپوک جداسازی شده بود پس از وزن کردن و تعیین جرم درون یک سطل استوانه‌ای بسیار بزرگ که از آب پر شده بود (به عنوان تانک جداسازی) ریخته شد. با استفاده از روش جداسازی با آب (درون سطل بسیار بزرگ) پس از چند دقیقه بخشی از محصول به زیر آب رفته و بخش دیگری روی آب شناور می‌شوند. با انجام آزمایش‌های مقدماتی زمان دو دقیقه برای جداسدن روآبی‌ها و زیرآبی‌ها مناسب تشخیص داده شد. بنابراین پس از گذشت زمان دو دقیقه و جداسدن دانه‌ها به دو بخش روآبی و زیرآبی، پسته‌های شناور از روی آب و پسته‌های فررفته در آب از ته سطل جمع‌آوری و

در این تحقیق جداسازی کامل محصول توسط آب به عنوان مبنا در نظر گرفته شد و بر این اساس شاخص نسبی جداسازی (R.S.I.) تعریف گردید. سپس اثر سه عامل تنظیم دریچه A، تنظیم دریچه R و رقم به عنوان متغیرهای مستقل بر شاخص نسبی جداسازی به عنوان متغیر وابسته مورد بررسی قرار گرفت. فاکتور اول (تنظیم دریچه A) در سه سطح شامل وضعیت‌های I، II و III (متناظر با پایین‌ترین موقعیت دریچه، میانه موقعیت دریچه و بالاترین موقعیت دریچه)، فاکتور دوم (تنظیم دریچه R) در دو سطح شامل وضعیت‌های I و II (متناظر با پایین‌ترین و بالاترین موقعیت دریچه) و فاکتور رقم نیز در دو سطح (ارقام فندق و ممتاز) مورد نظر قرار گرفت (شکل ۳ الف و شکل ۳ ب). رقم‌های نامبرده شده در بالا با توجه اهمیت شکل دانه‌ها در امر جداسازی توسط سیال (متناظر با تغییرات در سرعت حد و سایر خواص آیرودینامیکی در اثر تفاوت‌های ابعاد و شکل دانه‌ها) از دو گروه پسته‌های گرد و کشیده انتخاب گردید. با توجه به فاکتورهای گفته شده و سطوح هر کدام در مجموع ۱۲ تیمار آزمایشی در نظر گرفته شد. با احتساب ۳ تکرار برای هر تیمار، آزمایش شامل ۳۶ واحد آزمایشی بود که بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD, Randomized Complete Block Design) انجام پذیرفت. داده‌های حاصل از آزمایش فوق توسط نرم‌افزار آماری Mstat-C مورد تجزیه و تحلیل قرار

$$R.S.I. = \frac{W_s}{W_s + W_f} \times 100$$

که در رابطه فوق R.S.I. شاخص نسبی جداسازی دستگاه بر حسب درصد،  $W_s$  جرم بخشی از محصول که زیر آب رفته (برحسب گرم) و  $W_f$  جرم بخش شناور شده محصول روی آب (برحسب گرم) می‌باشد.

به صورت جداگانه توزین و تعیین جرم شدند. برای توزین نمونه‌ها قبل از جداسازی و بخش‌های روآبی و زیرآبی پس از جداسازی در آب، از یک دستگاه ترازوی دیجیتال (Digital Scale, Model: Gm-5001, Lutron با حساسیت توزین حداقل یک گرم استفاده شد. شاخص نسبی جداسازی (برحسب درصد) از رابطه زیر محاسبه شد:



(الف)



(ب)

شکل ۳- سطوح فاکتورهای ۱ و ۲

الف- وضعیت‌های سه گانه خروجی زیربادی (A) ب- وضعیت‌های دوگانه دریچه روبادی (R).



نم‌گیری شده و سپس مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از فاز دوم این پژوهش پس از انجام تست نرمال بودن با استفاده از آزمون t استیودنت در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ با هم مقایسه گردیدند.

### نتایج و بحث

گرچه آزمایش فاز اول به عنوان یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در نظر گرفته شد ولی جدول تجزیه واریانس مربوط نشان داد که در عمل تفاوت معنی‌داری بین بلوک‌های آزمایشی وجود ندارد. بنابراین به منظور بالا بردن دقت نتایج (در اثر افزایش درجه آزادی خطا) در ادامه مراحل تجزیه و تحلیل داده‌ها این پژوهش بر اساس طرح کاملاً تصادفی (Completely Randomized Design) صورت پذیرفت (جدول ۱). همان‌گونه که در جدول ۱ نیز مشاهده می‌گردد، تجزیه واریانس نشان داد که اثر هر سه فاکتور (تنظیم دریاچه A، تنظیم دریاچه R و رقم) در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردیده است. همچنین در مورد اثرات متقابل مشاهده می‌گردد تنها اثر برهم کنش بین فاکتورهای ۱ و ۲ (تنظیم دریاچه A × تنظیم دریاچه R) و بین فاکتورهای ۲ و ۳ (تنظیم دریاچه R × رقم) معنی‌دار گردیده و اثر برهم کنش بین فاکتورهای ۱ و ۳ (وضعیت دریاچه A × رقم) و اثر برهم کنش سه‌گانه (وضعیت دریاچه A × وضعیت دریاچه R × رقم) در سطح ۵ درصد معنی‌دار

برای انجام این فاز از این آزمایش در مجموع ۳۶ نمونه از خط فرآوری در حالیکه در حال انجام عملیات با اعمال متغیرهای مستقل (تنظیم‌های دریاچه‌ها) بود اخذ گردید. استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی ضمن نشان دادن تفاوت درون بلوک‌ها تغییرات ناشناخته بین محصولات مربوط به یک رقم را کنترل می‌نماید.

در فاز دوم این تحقیق شاخص نسبی جداسازی دستگاه حوض خشک در حالت تنظیم متداول در منطقه با شاخص نسبی جداسازی حوض تر مورد مقایسه قرار گرفت. از آنجا که در واحدهای فرآوری عموماً دستگاه را در حالت تنظیم دریاچه A در موقعیت II و تنظیم دریاچه R در موقعیت II قرار می‌دهند، تنظیم متداول از نظر علمی در این پژوهش تنظیمی تعریف گردید که به لحاظ فراوانی بیشترین کاربرد را دارد. در این تنظیم خروجی روبادی و خروجی مناسب از نظر حجم در حالت متعادلی قرار دارند. به همین منظور هنگامی که هر کدام از خطوط فرآوری یک رقم یکسان از محصول (فندق) را مورد فرآوری قرار داده بودند از هر کدام ۹ نمونه ۴ کیلوگرمی جهت تعیین شاخص نسبی جداسازی اخذ گردید. لازم به ذکر است در این مرحله خروجی زیر آبی و در حوض خشک خروجی زیربادی مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های خروجی زیرآبی حوض تر پس از بسته بندی درون بسته‌های مشبک همراه با محصول روی خط فرآوری

متفاوت دو دریچه توضیح داد. در واقع دریچه A محل خروجی زیربادی‌هایی است در اثر جریان باد (سیال جداساز) در هوا شناور نشده‌اند و بنابراین وضعیت دریچه نمی‌تواند تغییری در شاخص نسبی جداسازی ایجاد نماید و این در حالی است که در دریچه R وضعیت متفاوت می‌باشد.

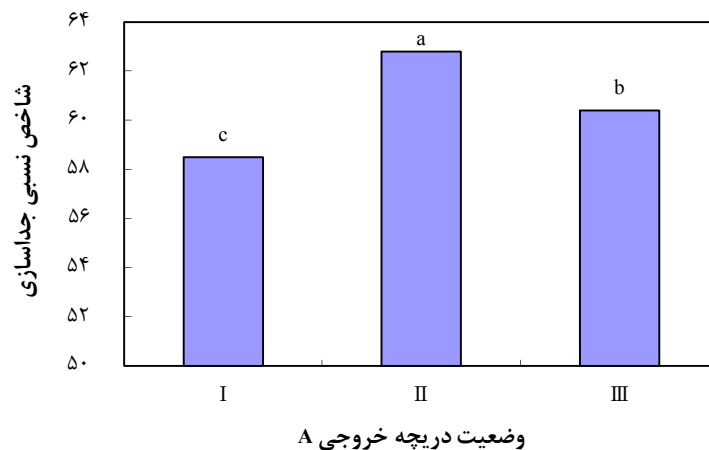
میانگین شاخص نسبی جداسازی در وضعیت I کمترین میزان را پیدا می‌کند. مقایسه میانگین‌ها همچنین نشان داد که میانگین شاخص نسبی جداسازی در حالی که دریچه R در وضعیت I قرار دارد در حدود ۲/۵ درصد کمتر از زمانی است که این دریچه در وضعیت II قرار داشته باشد.

نشده است. همانگونه که بیان شد علاوه بر معنی‌دار شدن عوامل وضعیت دریچه‌های A و R، اثر متقابل این دو عامل نیز با احتمال ۹۹ درصد بر شاخص نسبی جداسازی معنی‌دار است. همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده تنظیم دریچه A در وضعیت II و III منجر به افزایش شاخص نسبی جداسازی و رسیدن آن به حداکثر ۶۲/۸ درصد (در وضعیت II) می‌شود. همچنین دیده می‌شود که عامل رقم با احتمال ۹۹ درصد بر شاخص نسبی جداسازی اثر معنی‌دار داشته است. نکته جالب توجه عدم معنی‌دار شدن اثر متقابل دریچه A و رقم است در حالی که دریچه R و رقم اثر متقابل معنی‌دار نشان داده‌اند. این موضوع را می‌توان با ماهیت

جدول ۱- تجزیه واریانس (ANOVA) مقادیر شاخص نسبی جداسازی.

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
وضعیت دریچه A	۲	۱۱۲/۹۷۴	۵۶/۴۸۷	۱۸/۷۸۹**
وضعیت دریچه R	۱	۵۷/۷۰۹	۵۷/۷۰۹	۱۹/۱۹۶**
وضعیت دریچه A × وضعیت دریچه R	۲	۴۸/۱۶۷	۲۴/۰۸۳	۸/۰۱۱**
رقم	۱	۸۷/۶۱۰	۸۷/۶۱۰	۲۹/۱۴۲**
وضعیت دریچه A × رقم	۲	۵/۸۷۱	۲/۹۲۵	۰/۹۷۳
وضعیت دریچه R × رقم	۱	۳۴/۳۰۱	۳۴/۳۰۱	۱۱/۴۰۹**
وضعیت دریچه A × وضعیت دریچه R × رقم	۲	۵/۰۰۹	۲/۵۰۵	۰/۸۳۳
خطای آزمایش	۲۴	۷۲/۱۵۱	۳/۰۰۶	۱۸/۷۸۹**
جمع کل	۳۵	۴۲۳/۷۷۲		

\*\* اختلاف در سطح ۱ درصد معنی‌دار



شکل ۴- میانگین شاخص نسبی جداسازی (درصد) در وضعیت‌های دریاچه خروجی A.

تنظیم دریاچه R در وضعیت I می‌توان به نتایج بهتری از شاخص نسبی جداسازی دست یافت.

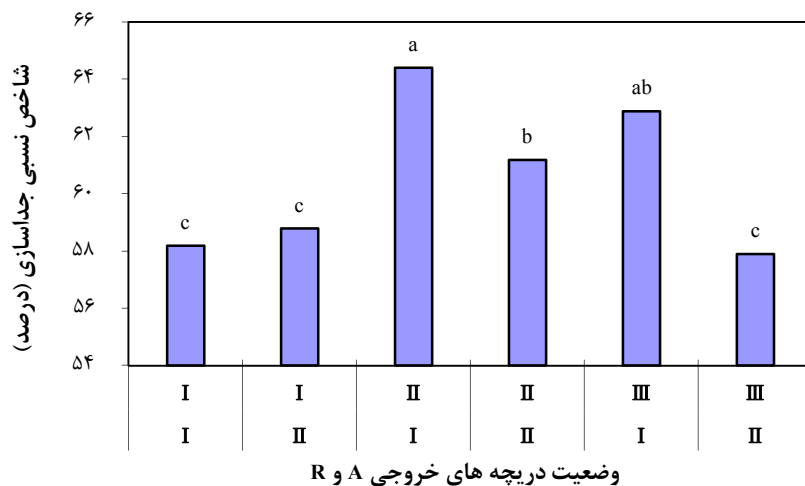
در شکل ۶ مقایسه میانگین‌های مربوط به شاخص نسبی جداسازی برای وضعیت‌های سه گانه دریاچه A، وضعیت‌های دوگانه دریاچه R در دو رقم پسته مورد آزمایش (فندق و ممتاز) نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل دیده می‌شود که بالاترین شاخص نسبی جداسازی برای رقم ممتاز و در حالتی که دریاچه‌ها به ترتیب در وضعیت‌های II و I قرار داشته باشند اتفاق می‌افتد. در این حالت شاخص نسبی جداسازی به ۶۷/۳ درصد می‌رسد.

کمترین مقدار فوق برای رقم فندق و در حالتی که دریاچه‌های A و R به ترتیب در وضعیت‌های I و II قرار داشته باشند رخ می‌دهد که مقدار آن معادل ۵۵/۶ درصد می‌باشد. حداکثر شاخص نسبی جداسازی برای رقم فندق از ۶۲ درصد تجاوز نمی‌نماید و جالب

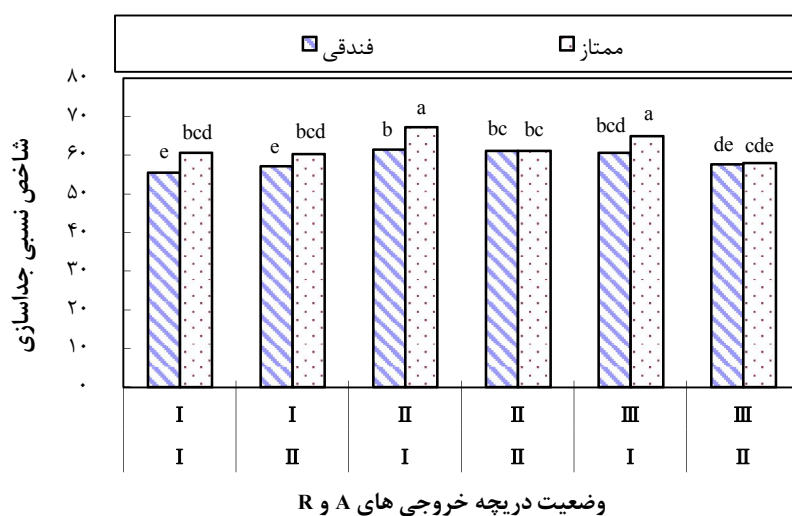
شکل ۵ بررسی اثر متقابل وضعیت‌های دو دریاچه را نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، صرف نظر از رقم، بهترین وضعیت برای افزایش شاخص نسبی جداسازی وضعیتی است که دریاچه A در وضعیت II و دریاچه R در وضعیت I قرار داشته باشد. در این حالت میزان شاخص نسبی جداسازی به ۶۴/۴ درصد می‌رسد.

نتایج نشان دادند که کمترین میزان شاخص نسبی جداسازی برابر با ۵۷/۹ درصد و مربوط به تنظیم همزمان دریاچه A در وضعیت III و دریاچه R در وضعیت II می‌باشد که البته از نظر آماری تفاوتی با شاخص نسبی جداسازی دستگاه در حالیکه دریاچه A در وضعیت I تنظیم شده است ندارد. به عبارت دیگر چنانچه دریاچه A روی هر وضعیتی تنظیم شود شاخص نسبی جداسازی به کمترین میزان خود می‌رسد و این در حالی است که در حالت تنظیم آن در وضعیت III و

اینکه برای این رقم نیز اتفاق فوق (حداکثر شدن دریاچه‌های A و R به ترتیب در وضعیت‌های I و II شاخص نسبی جداسازی) در حالی رخ می‌دهد که قرار داشته باشند.



شکل ۵- میانگین شاخص نسبی جداسازی در وضعیت‌های مختلف دریاچه‌ها.



شکل ۶- شاخص نسبی جداسازی در وضعیت‌های مختلف دو دریاچه و ارقام.

بالاتر بودن شاخص نسبی جداسازی در این رقم را می‌توان به تفاوت مشخص بین سطح تصویر (Projected Area) و سرعت حد در دو رقم مذکور نسبت داد. این نتیجه با یافته‌های سایر منابع و پژوهش‌های مشابه از جمله نتایج منتشره توسط فالکنر مطابقت دارد (Falconer, 2003). به عبارت دیگر بزرگتر بودن سطح تصویر رقم کشیده‌تر (ممتاز) نسبت به رقم کروی‌تر (فندق) باعث گردیده رقم ممتاز بیش از رقم فندق در حالت شناوری قرار گرفته و این تفاوت در غوطه‌وری (درون سیال جداکننده) منجر به افزایش معنی‌دار شاخص نسبی جداسازی در رقم ممتاز گردد. این موضوع با نتایجی که سایر محققان از جمله Drincha & Pavlov نیز گزارش نمودند تطابق دارد (Drincha & Pavlov, 2004). این پژوهش نشان داد درصد شاخص نسبی جداسازی به طور متوسط برای ارقام فندق ۵۹ درصد و برای ارقام بادامی ۶۲ درصد می‌باشد.

همانگونه که پیش از این در جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) مشاهده شد اثر متقابل وضعیت دریاچه زیربادی و رقم محصول به احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار است. در جدول ۲ مقایسه میانگین شاخص نسبی جداسازی در سه وضعیت دریاچه برای دو رقم مشاهده می‌شود. همانطور که در این جدول نیز مشاهده می‌شود بالاترین شاخص نسبی جداسازی برای وضعیت II و رقم ممتاز معادل ۶۴/۳ درصد و کمترین میزان درصد شاخص نسبی جداسازی معادل ۵۶/۴ درصد برای رقم فندق و در وضعیت I دریاچه رخ داده است.

این آزمایش در خصوص اثر رقم بر شاخص نسبی جداسازی دستگاه نشان داد که عملاً شاخص نسبی جداسازی این دستگاه در جداسازی رقم ممتاز بالاتر از شاخص نسبی جداسازی برای رقم فندق می‌باشد. با توجه به این که رقم پسته ممتاز حالت کشیدگی داشته و جزء ارقام بادامی محسوب می‌شود،

جدول ۲- شاخص نسبی جداسازی در وضعیت‌های مختلف دریاچه A در ارقام ممتاز و فندق.

رقم محصول	وضعیت دریاچه خروجی A	شاخص نسبی جداسازی
ممتاز	I	۶۰/۶ <sup>bc</sup>
ممتاز	II	۶۴/۲۸ <sup>a</sup>
ممتاز	III	۶۱/۴۳ <sup>b</sup>
فندق	I	۵۶/۴ <sup>d</sup>
فندق	II	۶۱/۳۷ <sup>bc</sup>
فندق	III	۵۹/۲۳ <sup>c</sup>

اختلاف بین اعداد دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن (۰/۰۵) معنی‌دار نیست.

فاز دوم آزمایش که به منظور مقایسه شاخص نسبی جداسازی در حوض تر با شاخص نسبی جداسازی دستگاه جداکننده ثقلی انجام شد نشان داد که متوسط شاخص نسبی جداسازی در دستگاه جداکننده ثقلی (حوض خشک) در حالی که در ریچه A در وضعیت I و در ریچه R در وضعیت II تنظیم شده (این تنظیمات در منطقه متداول است) برای رقم فندقی حدود ۵۷ درصد می‌باشد. این در حالی است که شاخص نسبی جداسازی در حوض تر برای پسته فندقی نزدیک به ۷۲ درصد تعیین گردید. البته لازم است یادآوری گردد بنابر مطالب گفته شده در بالا، شاخص نسبی جداسازی در حوض خشک با استفاده از تنظیمات دستگاه بسته به رقم محصول، می‌تواند تا ۶۷/۳ درصد (در حالت تنظیم در ریچه A در موقعیت II و تنظیم در ریچه R در موقعیت I) افزایش یابد. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعه‌ای که هادوی و همکاران در خصوص بالاتر بودن عملکرد جداسازی پسته‌های آلوده در حوض تر نسبت به حوض خشک انجام دادند مطابقت دارد (Hadavi et al., 2017). نکته مهمی که در این پژوهش نشان داده شد آن است که گرچه در هر حال حوض تر شاخص نسبی جداسازی نسبی بالاتری از حوض خشک دارد؛ ولی در حالیکه مزایای نسبی حوض خشک (مانند عدم نیاز به آب برای جداسازی، مشکلات مربوط به فاضلاب و سایر مسائل فنی و بهداشتی) واحدهای فرآوری را به سمت استفاده از حوض خشک سوق می‌دهد، امکان

بهبود شاخص نسبی جداسازی این دستگاه با تنظیم مناسب در ریچه‌های آن وجود داشته و می‌توان عملکرد جدا کننده ثقلی را تا حد قابل قبولی نسبت به حوض تر ارتقا داد.

### نتیجه‌گیری کلی

۱- تنظیم متداول در دستگاه حوض خشک به گونه‌ای است که شاخص نسبی جداسازی در حوض خشک ۷۹ درصد حوض تر می‌باشد.

۲- با تنظیم دستگاه حوض خشک می‌توان نسبت شاخص نسبی جداسازی این حوض را تا ۹۳ درصد شاخص نسبی جداسازی حوض تر ارتقا داد. در این تحقیق دیده شد که در صورت استفاده از تنظیمات منجر به حداکثر شدن شاخص نسبی جداسازی، کمیت خروجی محصول از قسمت روبادی که به عنوان محصول پوک و نامناسب دستگاه شناخته می‌شود به شدت افزایش یافته و شامل پسته‌های به ظاهر سالم و غیر پوک نیز می‌گردد (شبیه محصول رو آبی در حوض تر). در این حالت پیشنهاد می‌گردد نسبت به تکمیل خط فرآوری و استفاده از تجهیزات اضافی از جمله نصب یک دستگاه جداکننده ثقلی جهت جداسازی دقیق‌تر خروجی روبادی اقدام گردد.

۳- با توجه به عدم وجود تفاوت معنی‌دار در چگالی پسته‌های زودخندان و پسته‌های سالم (Pearson, 1994)، به نظر می‌رسد جداسازی بر اساس چگالی

۶- با توجه به اهمیت تغذیه یکنواخت محصول ورودی روی دستگاه (Falconer, 2003)، پیشنهاد می‌گردد با نصب تجهیزات مورد نیاز، امکان تامین ورودی یکنواخت و مداوم روی دستگاه فراهم گردد.

### سپاسگزاری

نگارنده بر خود لازم می‌داند از مساعدت مدیران و کارشناسان محترم معاونت باغبانی وزارت جهاد کشاورزی و همچنین مدیر و کارشناسان محترم مدیریت باغبانی سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان تشکر نمایند.

یقیناً انجام این پژوهش بدون همکاری و کمک مدیریت محترم مزرعه یاسایی امکان‌پذیر نبود. بدینوسیله از جناب آقای مهندس یاسایی بدلیل شکیبایی و یاری طی انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌گردد.

### منابع

- ۱- بی‌نام. (۱۳۸۲). طرح ملی ردیابی و کنترل نقاط بحرانی تولید پسته- نظام‌نامه سیستم HACCP. دفتر امور پسته. معاونت امور باغبانی وزارت جهاد کشاورزی. ۲۸-۲۶.
- ۲- بی‌نام. (۱۳۹۷). آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۶ (جلد دوم)، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات،

(توسط آب یا جریان هوا) فقط روشی مناسب برای جداسازی پسته‌های پوک است و نمی‌توان از این روش برای جداسازی پسته‌های زودخندان (که مشکوک به آلودگی هستند) استفاده نمود. افزون بر آن در جداسازی محصول توسط آب در حوض‌تر، گوها نیز تمایل به شناور شدن روی سطح آب را دارند و این در حالی است که در حوض خشک (با تنظیمات متداول) گوها از دریچه خروجی زیربادی خارج می‌شوند. این مطلب می‌تواند بالاتر بودن احتمالی آلودگی در خروجی روآبی در حوض‌تر را توجیه نماید. البته لازم است یادآوری گردد در حوض خشک محصول خروجی از دریچه A در ادامه فرآوری مورد گوگیری قرار می‌گیرد.

۴- پیشنهاد می‌گردد سایر مشخصات فنی به‌ویژه مشخصات ارتعاشی دستگاه و شیب محفظه و تاثیر این عوامل بر جداسازی مورد ارزیابی و تحقیقات تکمیلی قرار گیرد. در این راستا میزان جداسازی دانه‌های بد شکل نیز می‌تواند مورد نظر قرار گیرد.

۵- با توجه به امکان بیشتر آلودگی در دانه‌های کوچکتر از معمول (نخودو) به آفلاتوکسین (Hadavi *et al.*, 2017) جداسازی آن‌ها روی غربال ابتدایی حوض خشک از مواردی است که باعث بالا بردن کیفیت جداسازی محصول می‌گردد. با اضافه کردن غربال مناسب و با بهره‌گیری از حرکت ارتعاشی دستگاه می‌توان نسبت به حذف این دانه‌ها پیش از حوض شناوری اقدام نمود.

- development gravity separator. International Quality Grains Conference. Chicago. 026031.
- 9- Falconer, A. (2003). Gravity separation: old technique/new methods. *Physical Separation in Science and Engineering*, 12(1), 31-48.
- 10- FAO. (2018). World Food and Agriculture – Statistical Pocketbook 2018. Rome. 254 pp. Available on the: <http://www.fao.org/faostat>
- 11- Hadavi, E, Feizi, H, & Gheibi, B. (2017). Aflatoxin-contaminated nut separation by applied machinery and processing stages in fresh pistachio processing plant. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2404
- 12- Henderson, SM & Perry, PL. (1976). Agricultural process engineering. The AVI Publishing Company Inc., Westport, Connecticut. 442p.
- 13- Hsu, MH, Mannapperuma, JD, & Singh, RP. (1991). Physical and thermal properties of pistachios. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 49, 311-321.
- 14- Nakhei-Nejad, M. (2003). Pistachio blanks separator, U.S. Patent No US6527124 B1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- 15- Pearson, TC. (1994). Separating early split from normal pistachio nuts for removal of nuts contaminated on the tree with aflatoxin. M. Sc. Thesis. University of California, Davis.
- 16- Pearson, TC, Slaughter, DC, & Studer, HE. (1994). Physical properties of pistachio nuts. *Transactions of the ASAE*, 37(3), 913-918.
- 17- Shamsi, M, Alavi, N, Mazlounzadeh, S, & Rokabi, M. (2011). Performance evaluation of a bolt type pistachio hulling machine. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی. تهران.
- ۳- تاج‌آبادی پور، ع، رستمی، مع، زاده‌پاریزی، ر، و ارجمندکرمانی، م. (۱۳۸۷). بررسی تعیین کارایی دستگاه‌های مختلف موجود در مرحله فرآوری در جداسازی پسته‌های مشکوک به آلودگی به آفلاتوکسین در باغ. موسسه تحقیقات پسته کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. تهران.
- ۴- توکلی‌هشجین، ت. (۱۳۸۲). مکانیک محصولات کشاورزی. نشر خدمات فرهنگی سالکان. تهران.
- ۵- شاکراردکانی، ا. حکم‌آبادی، ح. طاهری، ا. و صابری، ن. (۱۳۸۶). بررسی عملکرد حوض تر در جداسازی پسته‌های آلوده به آفلاتوکسین. موسسه تحقیقات پسته کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. تهران.
- ۶- شاکراردکانی، ا. (۱۳۹۵). راهنمای مدیریت برداشت و پس از برداشت پسته. انتشارات پژوهشکده پسته، رفسنجان.
- ۷- صادقی، ا. (۱۳۸۵). بررسی خواص ترموفیزیکی پسته پوست‌گیری نشده قبل از فرآیند خشک کردن. رساله دکترای مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- 8- Drincha, VM, & Pavlov, SA (2004). Increase of gravity separation efficiency and



- 19- Stroshine, RL, & Hamann, D. (2004). Physical properties of agricultural material and food products. R. Stroshine all right reserved. Purdue. *Journal of Agricultural Technology*, 7(1), 57–62.
- 18- Sitkei, G. (1987). Mechanics of agricultural materials. Elsevier Science Ltd.

## Performance Evaluation of Gravity Separator Apparatus Comparing to Traditional Pistachio Blanks Separator

### Abstract

Gravity separator (dry pond) is one of the common separation equipment that is widely used in pistachio processing units. In this study, the performance evaluation of the gravity separator in separating of blank pistachio nuts as well as other low density part of crop was aimed. For this purpose, complete separation of the pistachio nuts by water was considered as separation criteria, and based on this, the relative separation index (R.S.I.) was defined to evaluate the performance of the gravity separator. Gravity separator performance in separation of two varieties pistachio nuts (Fandoghi and Momtaz) was evaluated using the index for different outlet gates adjustments including regular adjustment

(both outlet gates in second position). This study indicated that Relative Separation Index of Momtaz variety was significantly higher than Fandoghi. Regardless of the variety, the highest value of R.S.I. was 64.5%. The results showed increasing of R.S.I. from 79% to 93% (compared with water separation) can be achieved by changing the facility adjustment. On the other hand, it was revealed that by changing the settings of the dry pond, although better performance can be achieved in the Relative Separation Index, but this leads to a sharp increase in the quantity of rejected output from the apparatus.

**Keywords:** Gravity Separator, Pistachio, Processing, Separation