# جداسازی غده‌های سیب‌زمینی از کلوخه و سنگ و بررسی امکان درجه‌بندی غده‌ها با استفاده از مفهوم ضریب بازگشت

**داود قنبریان[1*] و اعظم طاهری[2]**

تاریخ دریافت: 92/1/15 تاریخ پذیرش: 92/6/2

1- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
2- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
*مسئول مکاتبه E-meil:dghanbarian@yahoo.com

**چکیده**

**سیب‌زمینی یکی از محصولات استراتژیک در بخش کشاورزی است. به دلیل ارزش اقتصادی سیب‌زمینی، قبل از انتقال به مخازن ذخیره‌سازی، جداسازی غده‌ها از کلوخه ضروری است. این کار جزء اصلی‌ترین وظایف ماشین‌های برداشت سیب‌زمینی است. بافت نامناسب خاک‌های زراعی و عدم استفاده صحیح از کودهای شیمیایی در ایران که موجب تخریب بافت خاک می‌شوند، باعث شده است که کمباین‌های برداشت سیب‌زمینی علی‌رغم فواید زیاد، مورد استقبال کشاورزان قرار نگیرد، لذا سامانه‌ای که بتواند در این کمباین‌ها نصب شود تا عمل جداسازی را به نحو قابل قبولی انجام دهد ضروری است. در این راستا امکان استفاده از ضریب بازگشت برای جداسازی غده‌های سیب‌زمینی از سنگ و کلوخه مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش به کمک دستگاه آونگی عوامل موثر بر ضریب بازگشت غده‌ها بررسی و در بخش دیگری ضریب بازگشت سیب‌زمینی، سنگ و کلوخه مقایسه شد. همچنین به منظور بررسی چگونگی توزیع غده‌ها و کلوخه‌ها پس از برخورد با یک سطح جدا کننده، وسیله مخصوصی طراحی، ساخته و ارزیابی شد. این وسیله یک صفحه به شکل نیم‌دایره است که سطح آن به کمک دیواره های چوبی و لاستیکی قسمت‌بندی و در مرکز آن ربع‌کره‌ای از جنس فولاد نصب شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اثر جرم غده، سرعت برخورد غده به سطح و جنس سطح برخورد و نیز اثر متقابل سرعت برخورد و جنس سطح برخورد بر میزان ضریب بازگشت غده‌های سیب‌زمینی در سطح 5 درصد معنی‌دار است. همچنین نتایج بخش دیگر این پژوهش نشان می‌دهد که بهترین بازه جرمی برای جداسازی سیب‌زمینی از کلوخه و سنگ جرم‌های بیش از 60 گرم و زمانی است که رطوبت کلوخه‌ها بین 12 تا 39 درصد است. چگونگی توزیع و پراکندگی غده‌های سیب‌زمینی و کلوخه پس از سقوط بر سطح کروی نیز نشان می‌دهد که با توجه به نحوه توزیع غده‌ها و کلوخه‌ها و نیز مطابقت عرض کار قطعه طراحی شده با عرض کار کمباین‌های وارداتی در کشور، امکان نصب این قطعه روی کمباین‌های مزبور و جداسازی غده‌ها از مواد زائد به کمک مفهوم ضریب بازگشت وجود دارد.**

**واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، کلوخه، جداسازی، ضریب بازگشت، سنگ**

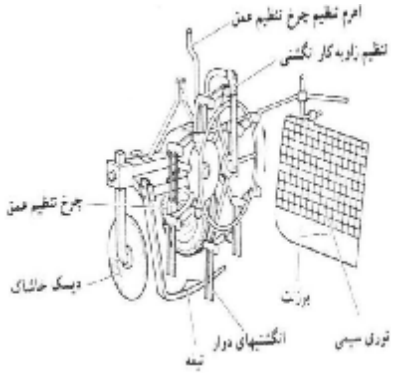
## 1- مقدمه

سیب‌زمینی یکی از محصولات استراتژیک و با عملکرد بالا در بخش کشاورزی است که علاوه بر مصارف صنعتی در بسیاری از کشورهای اروپایی به عنوان غذای اصلی محسوب می‌شود. سطح زیر کشت سیب‌زمینی در جهان 22 میلیون هکتار و در حال حاضر هر ساله بیش از 300 میلیون تن سیب‌زمینی در سراسر جهان تولید می‌شود. در ایران این محصول با سطح زیرکشت 184 هزار هکتار و با تولید سالیانه 5/24 تن در هر هکتار به عنوان غذای سوم بعد از گندم و برنج محسوب می‌شود (بی‌نام، 1388).

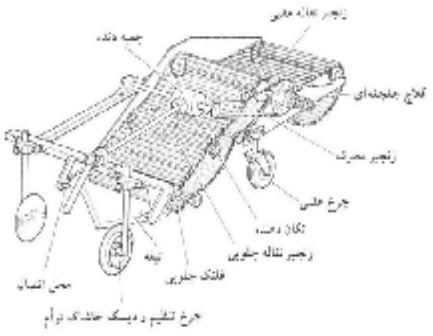
عملیات کامل برداشت سیب‌زمینی با خارج کردن غده‌ها از زیر خاک آغاز شده و قبل از انتقال، با جداسازی غده‌ها از مواد زائد همچون کلوخه و سنگ تکمیل می‌شود. کلوخه و سنگ‌های موجود در داخل محصول ضمن کاهش ارزش اقتصادی آن، فضای زیادی را اشغال کرده و به دلیل سایش در طول حمل و نقل و انتقال به انبار، باعث آسیب‌های مکانیکی به محصول می‌شوند. همچنین وجود کلوخه و سنگ همراه با محصول باعث کاهش گردش هوا، جلوگیری

از کنترل دما و رطوبت مناسب داخل انبار، و در نتیجه منجر به افزایش ضایعات محصول خواهد شد (مین، 1971و اسچاورز و همکاران، 2007).

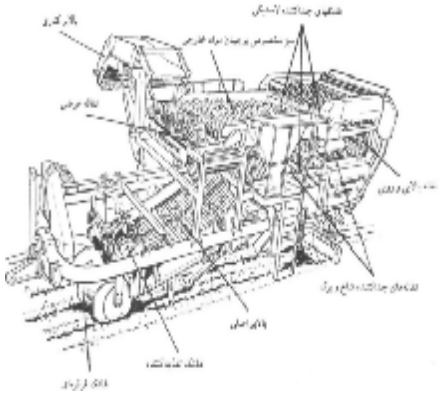
به طورکلی ماشین‌های برداشت سیب‌زمینی را می‌توان به سه دسته سیب‌زمینی‌کن‌های دوار، سیب‌زمینی‌کن‌های با زنجیر نقاله و ماشین‌های برداشت کامل سیب‌زمینی (کمباین‌های سیب‌زمینی) تقسیم نمود (شکل1). دستگاه‌های نوع اول و دوم، فقط غده‌های سیب‌زمینی را از زیر خاک در می‌آورند. بنابراین جداسازی غده‌ها از سنگ و کلوخه و بارگیری آن‌ها به مقصد با نیروی انسانی است. این موضوع به خصوص در مزارع بزرگ باعث افزایش شدید هزینه‌ها خواهد شد. به همین دلیل از کمباین‌های سیب‌زمینی در مزارع بزرگ و بیشتر در کشورهای پیشرفته استفاده می‌شود. کمباین سیب‌زمینی پس از خارج کردن غده‌ها از خاک، آن‌ها را از بخش‌های مختلف دستگاه عبور داده و در طی این مسیر، کلوخه، سنگ و سایر مواد جدا می‌شوند. سپس غده‌ها به داخل کیسه، جعبه و یا تریلی منتقل می‌شوند (منصوری‌راد، 1387).




الف)




ب)



ج)

**شکل 1- ماشین‌های برداشت سیب‌زمینی**
**الف) سیب‌زمینی‌کن دوار ب) سیب‌زمینی‌کن با زنجیر نقاله ج) ماشین برداشت کامل سیب‌زمینی (کمباین سیب‌زمینی)**

از موارد مهمی که در برداشت سیب‌زمینی بخصوص در تناژهای بالا حائز اهمیت است، نحوه جداسازی غده‌های سیب‌زمینی از دیگر مواد است. این امر از مشکلات اساسی برداشت این محصول در ایران است. البته این مشکل در دیگر کشورهای تولید و صادر کننده سیب‌زمینی هم وجود دارد، اما شاید بتوان به جرات بیان کرد که مشکل کشور در این مرحله از برداشت، به دلیل سنگلاخی و کلوخه‌ای بودن خاک‌های زراعی و همچنین استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی که موجب تخریب بافت خاک و در نتیجه تشکیل کلوخه‌های پایدار شده است، بسیار حائز اهمیت و حادتر است.

مطالعات زیادی برای جداسازی سیب‌زمینی از سنگ و کلوخه انجام شده که اکثر آن‌ها مبتنی بر مکانیزم‌های غربال هستند. کلچین (1957) از روش نوسانی ( مکانیک همراه با نیوماتیک) در ماشین‌های برداشت سیب‌زمینی برای جداکردن محصول از مواد اضافی استفاده کرد. ماک (1957) برای جداسازی سیب‌زمینی از سنگ و کلوخه از روش شناورسازی در محلول‌های نمکی که دارای وزن مخصوص بیشتر از سیب‌زمینی بود و روش وزش باد عمودی استفاده کرد. البته استفاده از محلول نمکی در ماشین‌های مزرعه‌ای مناسب تشخیص داده نشد.

پالمر و همکاران (1973) برای جداسازی سیب‌زمینی از سنگ و کلوخه از نسبت جذب و انعکاس انرژی تابشی بین سیب‌زمینی و اجزا خارجی استفاده کردند. تفاوت در انتقال پرتوهای ایکس نشان داد که این روش، روشی قابل اعتماد برای جداسازی سیب‌زمینی از سنگ و کلوخه است. مشکل عمده این روش گران و خطرناک بودن منبع انرژی آن است. از دیگر مشکلات این روش وجود سنگ‌هایی با رنگ روشن و کلوخه‌های خشک است که بازتاب نور از آن‌ها مشابه بازتاب نور از سطح سیب‌زمینی است.

استوری و همکاران (1973) از خاصیت بازتابش نور مادون قرمز برای جداسازی محصول از سنگ و کلوخه استفاده کردند. برخی دیگر

از محققان همانند الملاحی و همکاران (2008) این کار را به کمک روش پردازش تصویر انجام دادند. آن‌ها در این تحقیق نرخ شناسایی صحیح سیب‌زمینی و کلوخه را به ترتیب 91/2 و 94/4 درصد بدست آوردند؛ در حالی که اگر کلوخه‌ها رطوبت خود را از دست می‌دادند، دقت شناسایی به میزان چشمگیری کاهش می‌یافت. بنابراین این روش‌ها در شرایط نامساعد کاری مزرعه جداسازی را با دقت مطلوبی انجام نمی‌دهند و دارای ظرفیت پایینی هستند.

حسین‌پور و همکاران (2011) با ارائه سامانه صوتی هوشمند از آزمون پاسخ آکوستیک برای جداسازی سریع کلوخه از سیب‌زمینی استفاده کردند. در این تحقیق نمونه‌هایی از سیب‌زمینی و کلوخ (مواد غیر از سیب‌زمینی) روی نوار نقاله ریخته شد و با راه‌اندازی آن، نمونه‌ها به طور گسسته با صفحه فولادی برخورد کرده و صدای حاصل از برخورد ضبط شده و با پردازش در دو حوزه زمان و فرکانس صفات مورد نیاز برای جداسازی استخراج و از شبکه عصبی چند لایه نیز به عنوان واحد استنتاج و تصمیم گیرنده استفاده شد. در سرعت 1 متر بر ثانیه دقت تشخیص این سامانه برای سیب‌زمینی و کلوخ به ترتیب برابر با 97/3 و 97/6 درصد بود. دقت و ظرفیت شناسایی بالا، نیاز به فضای کم و ارزانی ابزار مورد استفاده از مزایای این سامانه بود. از جمله معایب این سامانه می‌توان به کاهش شدید دقت شناسایی در سرعت‌های بالاتر از 1/5 متر بر ثانیه نوار نقاله اشاره کرد.

مصلی‌نژاد و همکاران (1388) از جداکن نوع تسمه‌ای در کمباین سیب‌زمینی برای جداسازی محصول از سنگ و کلوخه استفاده کردند. در این تحقیق ابتدا بخش جداکننده سنگ و کلوخه از سیب‌زمینی طراحی و ساخته شد سپس پارامترهایی نظیر زاویه سطح، سرعت حرکت تسمه و نوع تسمه مورد بررسی قرار گرفت.

عادلخانی و همکاران (1389) برای جمع‌آوری سیب‌زمینی ماشینی مناسب با خاک‌های سنگلاخی ایران طراحی کردند. با استفاده از این ماشین به طور قابل ملاحظه‌ای در تعداد کارگر مورد نیاز برای جمع‌آوری محصول صرفه‌جویی می‌شود و عمل جداسازی سیب‌زمینی از غده‌های سبز، کلوخه‌های خرد نشده و سنگ باید توسط دو کارگر، به صورت دستی انجام شود.

تجربه ناموفق چند مورد استفاده از کمباین‌های وارداتی از جمله کمباین Standen Pearson مدل QM (Quality Master) ساخت انگلستان، نشان می‌دهد در کشور ما به دلیل بافت نامناسب خاک‌های زراعی و عدم استفاده صحیح از کودهای شیمیایی، امکان استفاده از این کمباین‌ها حتی در مزارع بزرگ وجود ندارد. در صورتی که همین مشکل در دیگر کشورها به علت وجود خاک‌های اسفنجی و مرغوب کمتر است. به همین دلیل برداشت سیب‌زمینی در ایران به صورت دستی و نیمه مکانیزه و بیشتر با استفاده از سیب‌زمینی‌کن‌ها، بخصوص سیب‌زمینی‌کن‌های دارای زنجیر نقاله انجام می‌شود. این امر، هم بازدهی برداشت را کاهش می‌دهد و هم انرژی مصرفی در واحد سطح را برای عملیات برداشت بالا می‌برد.

نظر به اینکه کمباین برداشت سیب‌زمینی علی‌رغم فواید زیاد اما به دلایل یاد شده مورد استقبال قرار نگرفته است، لذا سامانه‌ای که بتواند در این کمباین نصب شود تا عمل جداسازی را به نحو قابل قبولی انجام دهد بسیار احساس می‌شود. هدف اصلی از این پژوهش بررسی امکان جداسازی غده‌های سیب‌زمینی از کلوخه و سنگ با استفاده از ضریب بازگشت است. نتایج این تحقیق می‌تواند در طراحی، ساخت و اصلاح ماشین‌های برداشت و پس از برداشت سیب‌زمینی متناسب با شرایط مزارع ایران مورد استفاده قرار گیرد.

## 2- مواد و روش‌ها

در این بخش نحوه انتخاب و نگهداری نمونه‌ها، آماده‌سازی دستگاه آزمون ضربه (آونگی)، طراحی و ساخت سطح جدا کننده، روش‌های انجام آزمون و نحوه تعیین ضریب بازگشت ارائه شده است.

### 2-1- انتخاب، نگهداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

همزمان با فصل برداشت سیب‌زمینی نمونه‌هایی از واریته اگریا که در حال حاضر بیشترین سطح زیر کشت را در استان چهارمحال و بختیاری دارد، از یکی از مزارع نمونه منطقه بروجن تهیه و پس از جداسازی غده‌های سالم و بسته‌بندی، به سردخانه دانشگاه شهرکرد منتقل و تا روز آزمون در دمای 4 درجه سانتیگراد نگهداری شدند. در برداشت نمونه‌ها حداکثر احتیاط به عمل آمد تا به نمونه‌ها نیروی نامتعارفی که منجر به ایجاد خطا در نتایج گردد وارد نیاید.

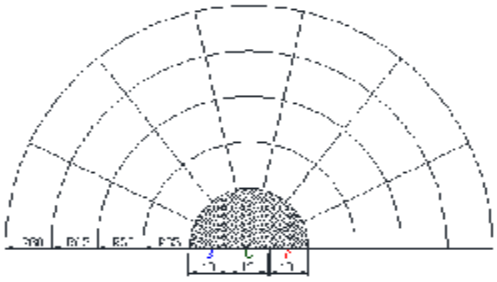
### 2-2- آماده‌سازی دستگاه آزمون ضربه

آزمایشات با استفاده از دستگاه آزمون ضربه آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی دانشگاه شهرکرد انجام گرفت. به منظور ایجاد کمترین ارتعاش در عامل ضربه از یک نخ نایلونی به عنوان رابط آونگ استفاده شد (افشاری و همکاران 1387). برای تعیین دقیق زوایای رهاسازی و بازگشت، نیم‌نقاله دستگاه با نرم‌افزار اتوکد، با دقت یک درجه ترسیم و بر روی دستگاه نصب و به منظور اندازه‌گیری زاویه بازگشت نمونه‌ها از یک دوربین دیجیتالی سونی مدل DSC-S90 استفاده، و این دوربین بر روی سه‌پایه در فاصله مناسب از دستگاه نصب شد.

### 2-3- طراحی و ساخت سطح جدا کننده

به منظور بررسی چگونگی توزیع غده‌ها و کلوخه‌ها پس از برخورد با سطح جدا کننده، وسیله مخصوصی طراحی و ساخته شد. مطابق شکل 2، دستگاه مورد نظر به شکل نیم‌دایره با شعاع 80

سانتی‌متر و از جنس نئوپان است که با استفاده از 8 عدد تخته به ضخامت 1 سانتی‌متر و عرض 10 سانتی‌متر و نیز چهار عدد نوار لاستیکی، تعداد 28 عدد سلول در آن ایجاد و در مرکز این نیم‌دایره، ربع‌کره‌ای فولادی به قطر 40 سانتی‌متر نصب شد. با توجه به اینکه محل سقوط غده‌ها و کلوخه‌ها بر روی سطح ربع‌کره به طور دقیق مشخص نبود، سطح رویه آن به سه منطقه A، B و C که به فاصله تقریبا 13 سانتی‌متر از یکدیگر واقع شده‌اند، تقسیم شد.



**الف**

**ب**

**شکل 2- الف) طرح اولیه سطح جدا کننده ب) سطح جدا کننده**

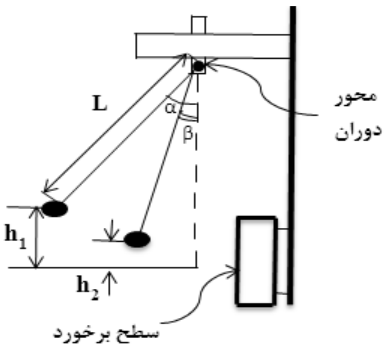
## 2-4- انجام آزمون

در بخش اول طرح برای تعیین عوامل موثر بر ضریب بازگشت غده‌ها، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با 27 تیمار در هر تکرار، شامل ترکیب سه عامل جرم، جنس سطح برخورد و سرعت برخورد با 3 تکرار استفاده شد. این عوامل به همراه سطوح آن‌ها در جدول 1 آورده شده است. در مجموع 81 عدد غده به صورت تصادفی از بین کلیه سیب‌زمینی‌ها انتخاب شد. قبل از انجام آزمون، نمونه‌ها تمیز و با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی وزن شدند. سطوح برخورد انتخاب شده نیز دارای ابعاد یکسان به‌طول 55 سانتی‌متر، عرض 13/5 سانتی‌متر و ضخامت 1/5 سانتی‌متر بودند.

**جدول 1- عوامل موثر بر ضریب بازگشت غده و سطوح آن‌ها**

| عامل متغیر | سطح |
|---|---|
| جرم غده (گرم) | 50، 80 و 110 |
| جنس سطح برخورد | فولاد، چوب و لاستیک فشرده |
| سرعت برخورد غده به سطح (متر بر ثانیه) | 0/65، 0/97 و 1/29 |

تحقیقات انجام شده از جمله کار افشاری و همکاران (1387) نشان می‌دهد که در زوایای رهاسازی بالاتر از 40 درجه صدمات مکانیکی ناشی از برخورد از جمله کوفتگی و کنده‌شدن قسمتی از پوست در غده‌ها بیشتر و قابل توجه است. به همین دلیل در این تحقیق زوایای 20 ، 30 و 40 درجه به عنوان زوایای رهاسازی در نظر گرفته شد. با توجه به شکل 3، غده از ارتفاعی معادل $h_1 = L - L\cos a$ رها می‌شود، که در آن L طول رابط آونگ از محور دوران و α زاویه رهاسازی است. پس از برخورد غده به صفحه، آونگ تا ارتفاعی معادل $h_2 = L - L\cos b$ بالا می‌آید، که در آن β زاویه بازگشت آونگ است. با فرض برقراری رابطه (1)، سرعت برخورد غده به سطح در پایین‌ترین نقطه نوسان معادل $v = \sqrt{2gh_1}$ خواهد بود.




**شکل 3- طرحواره دستگاه تست ضربه**

$$(mgh)_{top} = \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{bottom} \qquad (1)$$

ضریب بازگشت (ضریب برجهندگی) به صورت منفی نسبت سرعت نسبی جسم‌های برخوردکننده پس از برخورد به سرعت نسبی آن‌ها پیش از برخورد تعریف شده است و به صورت زیر بیان می شود:

$$e = -\frac{(v_2 - v_1)}{(u_2 - u_1)} \qquad (2)$$

در این رابطه $v_1$ و $v_2$ به ترتیب بزرگی بردار سرعت نسبی جسم‌های اول و دوم پس از برخورد، $u_1$ و $u_2$ نیز بزرگی بردار سرعت نسبی این جسم‌ها پیش از برخورد است. در آزمون ضربه به دلیل ثابت بودن دستگاه آزمون ضربه $u_2$ و $v_2$ صفر می‌باشند. بنابراین رابطه (2) به صورت زیر ساده می‌شود:

$$e = -\left(\frac{v_1}{u_1}\right) \qquad (3)$$

از توابع مثلثاتی:

$$\sin^2\frac{b}{2} = \frac{1-\cos 2\frac{b}{2}}{2} = \frac{1-\cos b}{2} \rightarrow \sqrt{1-\cos b} = \sqrt{2} \qquad (4)$$

و به همین ترتیب:

$$\sqrt{1-\cos a} = \sqrt{2}\sin\frac{a}{2} \quad (5)$$

همچنین با توجه به رابطه (1):

$$v_1 = \sqrt{2gh_2} \quad \text{و} \quad u_1 = \sqrt{2gh_1} \quad (6)$$

با جایگذاری رابطه (6) در رابطه (3) و به کمک روابط $h_1 = L - L\cos a$ و $h_2 = L - L\cos b$:

$$e = \sqrt{\frac{1-\cos b}{1-\cos a}} \quad (7)$$

در عمل برای تعیین ضریب بازگشت در آزمون ضربه، به کمک روابط (4) و (5) و نیز صرف نظر از علامت منفی، از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$e = \left(\frac{\sin b/2}{\sin a/2}\right) \quad (8)$$

که در آن α زاویه رهاسازی آونگ و β زاویه پس از جهش آن است (شکل3). در این تحقیق با توجه به مشخصات دستگاه و شرایط آزمایش مقدار L برابر با 36 سانتیمتر انتخاب شد. بنابراین با محاسبه $h_1$ به ازای زوایای رهاسازی 20، 30 و40 درجه و با استفاده از رابطه (1) سرعت‌های برخورد برای این زوایا به ترتیب برابر با 0/65، 0/97و 1/29 متر بر ثانیه بدست آمد.

نمونه‌های انتخاب شده به صورت تصادفی برداشته و پس از بسته شدن به نخ نایلونی، طبق زوایای انتخاب شده به سمت سطح مورد نظر رها شدند. با استفاده از دوربین دیجیتالی از این عملیات تصویربرداری و بعد از انتقال این تصاویر به کامپیوتر، با استفاده از دور آهسته نرم‌افزار مدیا پلیر، زاویه بازگشتی نمونه‌ها استخراج و از طریق رابطه (8) ضریب بازگشت هر کدام محاسبه شد.

برای بررسی تاثیر جهت برخورد سیب‌زمینی در ضریب بازگشت، تعداد 20 عدد غده با جرم 80 گرم انتخاب شد. هر کدام از این غده‌ها یک بار در راستای طول، یک بار در راستای عرض و بار دیگر در راستای ضخامت غده، تحت زاویه30 درجه، به سطح لاستیک فشرده برخورد کرده و با استفاده از رابطه (8) میزان ضریب بازگشت آن‌ها نیز محاسبه شد.

به منظور مقایسه ضریب بازگشت سیب‌زمینی با کلوخه و سنگ، غده‌هایی با جرم 15 تا 195 گرم و برای ساخت کلوخه هایی با جرم مشابه در حدود 10 کیلوگرم خاک با بافت رسی- شنی از مزارع سیب‌زمینی بروجن انتخاب و به آزمایشگاه دانشگاه شهرکرد منتقل شد. تعیین بافت خاک به روش دستی انجام شد (قنبریان 1389). ابتدا کل خاک را توزین، سپس به مدت 24 ساعت داخل آون در دمای 105 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. با استفاده از رابطه (9) رطوبت اولیه خاک برابر با 22/5 درصد بدست آمد (علیزاده 1387). همچنین به کمک رابطه (9) میزان آب مورد نیاز برای ساخت هر کلوخه محاسبه و کلوخه‌ها به صورت دستی ساخته، و بلافاصله داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند. برای تعیین زاویه بازگشت، کلوخه‌ها از کیسه خارج و همانند سیب‌زمینی‌ها، ضریب بازگشت آن‌ها محاسبه شد. سنگ‌های مورد نیاز با جرم مشابه از مزارع دانشگاه شهرکرد جمع‌آوری شدند. این آزمایشات نیز با زاویه رهاسازی 30 درجه و بر سطح لاستیک فشرده انجام شد.

$$q_m = \frac{M_w}{M_s} = \frac{M_{wet} - M_{dry}}{M_{DRY}} \quad (9)$$

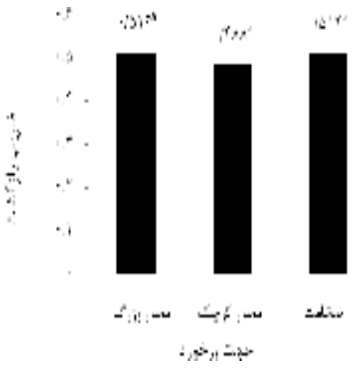
در رابطه فوق، $q_m$ نسبت رطوبت جرمی (وزنی)، $M_w$ و $M_s$ به ترتیب جرم آب موجود در خاک و جرم بخش جامد خاک است که در صورتی که جرم هوای خاک ناچیز فرض شود برابر جرم خاک خشکی است که از آون خارج می‌شود ($M_{DRY}$)، و $M_{wet}$ نیز بیانگر جرم خاک مرطوب است.

به منظور بررسی چگونگی توزیع غده‌ها و کلوخه‌ها در سلول‌های ایجاد شده بر روی دستگاه، تعداد 380 عدد غده سیب‌زمینی و نیز تعداد 380 عدد کلوخه از ارتفاع 33 سانتی‌متر بر روی سه منطقه مذکور (یکبار بر روی منطقه A، یکبار بر روی منطقه B و بار دیگر بر روی منطقه C) رها شدند. پس از پایان آزمایشات تعداد غده‌ها و کلوخه‌های هر سلول شمارش و ثبت شد.

عملیات آماده‌سازی داده‌ها و محاسبات مقدماتی با نرم‌افزار Excel Ver.2010 و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS Ver.17 انجام شد. به منظور مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

## 4- نتایج و بحث

شکل 4 اثر جهت برخورد غده‌های سیب‌زمینی را روی میزان ضریب بازگشت آن‌ها نشان می دهد. مطابق این نمودار جهت برخورد غده به سطح، تاثیر معنی‌داری بر مقدار ضریب بازگشت آن نداشته است.



**شکل 4 - تاثیر جهت برخورد غده بر ضریب بازگشت آن میانگین‌های با علامت یکسان در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)**

در جدول 2 نتایج عوامل موثر بر ضریب بازگشت غده‌های سیب‌زمینی ارائه شده است. مطابق این جدول اثر جنس سطح برخورد، سرعت برخورد، جرم غده و نیز اثر متقابل جنس سطح برخورد و سرعت برخورد بر میزان ضریب بازگشت در سطح 5 درصد معنی‌دار شده است. اما اثر متقابل جرم غده وجنس سطح برخورد، جرم غده و سرعت برخورد غده به سطح و نیز اثر متقابل سه‌گانه جرم غده، سرعت برخورد غده به سطح و جنس سطح برخورد معنی‌دار نشد. بنابراین اثر جرم در سطح و سرعت‌های برخورد مختلف یکسان است.

**جدول 2- جدول تجزیه واریانس میانگین مربعات آثار اصلی و برهمکنش سطوح مختلف عوامل جنس سطح برخورد، سرعت برخورد و جرم سیب‌زمینی بر ضریب بازگشت غده**

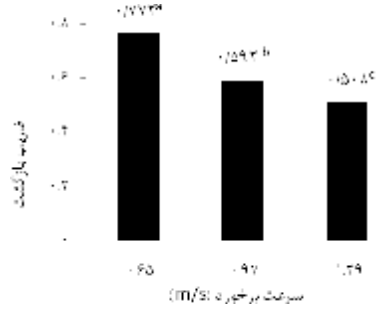
| منبع تغییر | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | F |
|---|---|---|---|---|
| تیمار | 26 | 1/418 | 0/055 | 49/655* |
| جنس سطح | 2 | 0/342 | 0/171 | 155/787* |
| سرعت برخورد | 2 | 0/979 | 0/489 | 455/318* |
| جرم | 2 | 0/072 | 0/036 | 32/871* |
| چنس سطح * جرم | 4 | 0/001 | 0/000 | 0/25ns |
| سرعت برخورد * جرم | 4 | 0/002 | 0/001 | 0/486ns |
| جنس سطح * سرعت برخورد | 4 | 0/017 | 0/004 | 3/914* |
| جنس سطح * سرعت برخورد * جرم | 8 | /005 | 0/001 | 0/56 ns |
| خطا | 54 | 0/059 | 0/001 | |

*: بیانگر تاثیر معنی‌دار پارامتر مربوطه در سطح 5 درصد

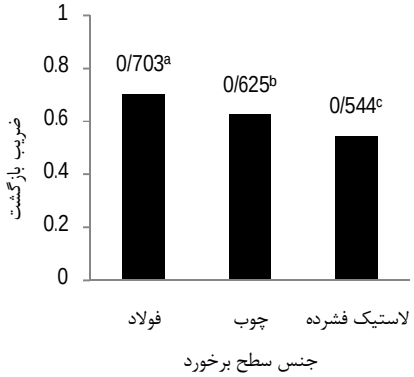
ns: بیانگر عدم تاثیر پارامتر مربوطه

شکل 5، نمودار تاثیر سرعت برخورد غده را بر میزان ضریب بازگشت آن نشان می‌دهد. طبق نمودار با افزایش سرعت برخورد غده به سطح، ضریب بازگشت کاهش پیدا می‌کند. این موضوع با توجه به اینکه نسبت $v_1$ به $u_1$ در سرعت‌های برخورد پایین نسبت به سرعت‌های برخورد بالاتر به عدد 1 نزدیک‌تر می‌باشد قابل توجیه است.

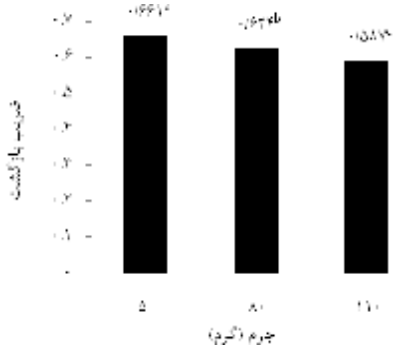
در شکل 6 نمودار تغییرات ضریب بازگشت غده برای سطوح مختلف برخورد ارائه شده است. با توجه به نمودار مذکور مقدار ضریب بازگشت برای سطح فولادی بیشتر از سطوح چوبی و لاستیک فشرده است که با توجه به بیشتر بودن مدول الاستیسیته فولاد در مقایسه با دو سطح دیگر کاملا منطقی است. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از سطح فولادی برای جداسازی سیب‌زمینی به کمک ضریب بازگشت بهتر از سطوح چوبی و لاستیک فشرده باشد. البته برای حصول نتیجه بهتر، میزان آسیب غده‌های سیب‌زمینی پس از برخورد به این سطح مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نیز نشان داد که چون زوایای رهاسازی کمتر از 50 درجه انتخاب شده بودند میزان آسیب وارده به غده‌های سیب‌زمینی بسیار ناچیز بود و در مواردی فقط کندەشدن قسمت کوچکی از پوست غده‌ها مشاهده شد که عملا قابل صرف نظر کردن بود.



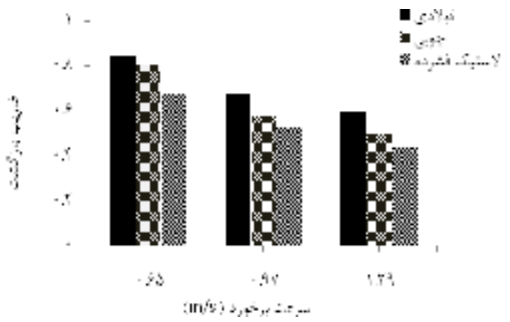
**شکل 5- تغییرات ضریب بازگشت غده برای سرعت‌های مختلف برخورد میانگین‌های با علامت یکسان در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)**



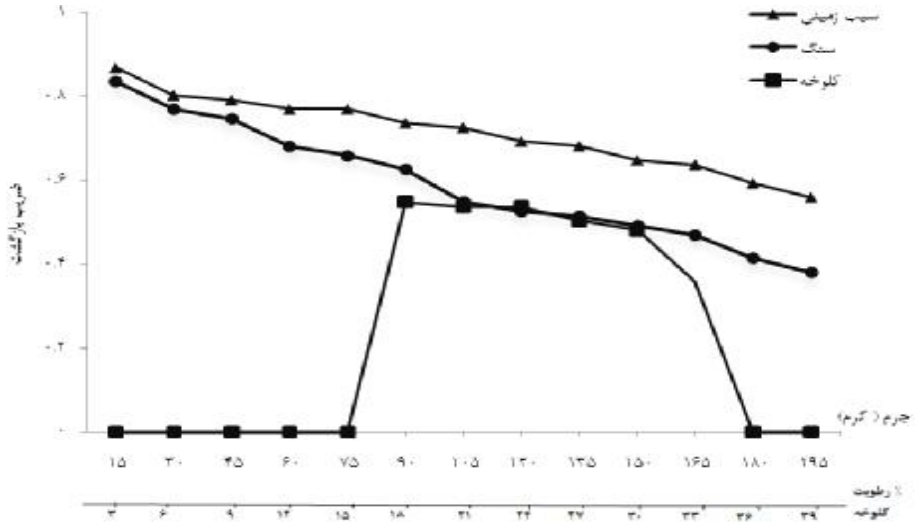

**شکل 6- تغییرات ضریب بازگشت غده برای سطوح مختلف برخورد میانگین‌های با علامت یکسان در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)**



**شکل 7 - تغییرات ضریب بازگشت غده برای جرم‌های مختلف میانگین‌های با علامت یکسان در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)**



**شکل 8- اثر متقابل سرعت و نوع سطح بر ضریب بازگشت**



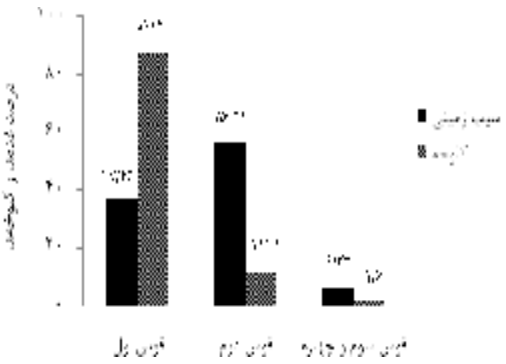
**شکل 9- منحنی‌های ضریب بازگشت برای سیب‌زمینی، سنگ و کلوخه به ازای جرم‌های مختلف**

شکل 7 تغییرات ضریب بازگشت را برای غده‌هایی با جرم‌های مختلف نشان می‌دهد. مطابق نمودار با افزایش جرم غده‌ها ضریب بازگشت کاهش پیدا می‌کند. یکی از دلایل این امر آن است که تحت زاویه رهاسازی یکسان، غده‌های سنگین‌تر به دلیل اینرسی بیشتر، نسبت به غده‌های سبک‌تر، با زاویه کمتری بر می‌گردند. شکل 8 اثر متقابل سرعت و نوع سطح را بر ضریب بازگشت غده‌ها نشان می‌دهد. طبق نمودار با افزایش سرعت برخورد و نیز با تغییر سطح برخورد از فولاد به لاستیک فشرده، ضریب بازگشت کاهش می‌یابد. به این ترتیب به نظر می‌رسد بتوان غده‌های سیب‌زمینی را با استفاده از مفهوم ضریب بازگشت و بر اساس جرم آن‌ها درجه‌بندی نمود. طبق نمودار ارائه شده در شکل 5 سرعت‌های برخورد پائین (حدود 0/6 متر بر ثانیه) برای چنین هدفی مناسب‌تر می‌باشند؛ این امر خود کاهش انرژی مورد نیاز برای جداسازی و نیز کاهش صدمات مکانیکی غده‌ها را به همراه خواهد داشت.

شکل 9 نمودار میزان ضریب بازگشت برای سیب‌زمینی، سنگ و کلوخه را به ازای جرم‌های مختلف نشان می‌دهد. برای بررسی چگونگی تاثیر رطوبت کلوخه بر ضریب بازگشت آن، کلوخه‌ها با رطوبت‌های مختلف ساخته شد. به دلیل عدم چسبندگی لازم بین اجزا خاک، ساخت کلوخه با جرم پایین‌تر از 75 گرم و با رطوبت کمتر از 15 درصد بسیار مشکل بود. همچنین به دلیل رطوبت زیاد کلوخه‌های ساخته شده با رطوبت‌های بالاتر از 36 درصد به هنگام برخورد با سطح مورد نظر به آن می‌چسبیدند. بنابراین مطابق نمودار میزان ضریب بازگشت آن‌ها صفر در نظر گرفته شد. با توجه به نمودار می‌توان نتیجه گرفت که بهترین بازه جرمی برای جداسازی سیب‌زمینی از کلوخه و سنگ، جرم‌های بیشتر از 60 گرم و زمانی است که رطوبت کلوخه‌ها بین 12 تا 39 درصد است. زیرا در این محدوده بیشترین مقدار اختلاف بین ضریب بازگشت آن‌ها مشاهده

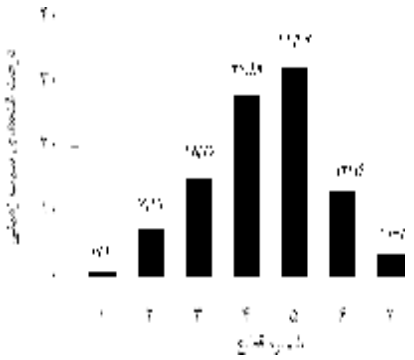
می‌شود. همچنین در محدوده رطوبتی 21 تا 30 درصد منحنی ضریب بازگشت کلوخه و سنگ تقریبا بر هم منطبق شده است ولی از آنجا که هدف، جداسازی غده‌ها از سنگ و کلوخه است، این هم‌پوشانی مشکلی ایجاد نخواهد کرد.

نتایج مربوط به چگونگی توزیع و پراکندگی غده‌های سیب‌زمینی و کلوخه پس از سقوط بر سطح کروی در داخل سلول‌های واقع شده روی قوس‌های دستگاه ساخته شده در این تحقیق در نمودار ارائه شده در شکل 10 نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به طور میانگین فقط 6/33 درصد از کل غده‌های سیب‌زمینی در سلول‌های مربوط به دو قوس آخر (قوس سوم و چهارم)قرار گرفته‌اند. بنابراین عملا می‌توان از این دو قوس صرف‌نظر کرد. همچنین مطابق شکل، 37/46 و 56/21 درصد از غده‌های سیب‌زمینی به ترتیب در قوس اول و دوم قرار گرفته‌اند؛ این در حالی است که میزان کلوخه‌ها در این دو قوس به ترتیب 87/41 و 11/03 درصد است.



**شکل10- نمودار چگونگی توزیع و پراکندگی غده‌های سیب‌زمینی و کلوخه پس از سقوط بر سطح کروی**

شکل 11 نیز نمودار چگونگی توزیع غده‌های سیب‌زمینی پس از سقوط بر ناحیه C سطح کروی دستگاه مذکور را در داخل سلول‌های واقع شده بر قطاع‌های آن نشان می‌دهد. مطابق نمودار مذکور در سلول‌های مربوط به قطاع اول و آخر به ترتیب 0/79 و 3/42 درصد (به طور میانگین 4/21 درصد) از کل غده‌های سیب‌زمینی واقع شده‌اند. بنابراین عملا می‌توان از این دو قطاع نیز صرف‌نظر نمود.



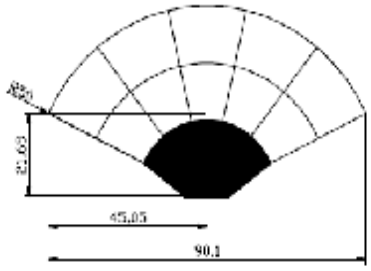
**شکل11- نمودار چگونگی توزیع غده‌های سیب‌زمینی بر روی قطاع به هنگام برخورد با ناحیه C سطح کروی**

## 5- نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با توجه به وجود اختلاف بین ضریب بازگشت غده‌های سیب‌زمینی، کلوخه و سنگ امکان جداسازی غده‌های سیب‌زمینی از این مواد زائد وجود دارد. همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که استفاده از سطح فولادی و سرعت‌های برخورد پائین (حدود 0/6 متر بر ثانیه) برای چنین هدفی مناسب‌تر هستند.

نتایج مربوط به تاثیر جرم روی ضریب بازگشت غده‌ها بیانگر آن است که با توجه به وجود اختلاف معنی‌دار بین ضریب بازگشت غده‌ها با جرم‌های متفاوت، می‌توان از مفهوم ضریب بازگشت علاوه بر جداسازی غده‌های سیب‌زمینی از کلوخه و سنگ برای درجه‌بندی غده‌ها بر اساس جرم آن‌ها نیز استفاده کرد.

در شکل 12 مشخصات نهایی قطعه طراحی شده پس از حذف دو قوس سوم و چهارم و نیز حذف دو قطاع اول و آخر نشان داده شده است. با توجه به این شکل عرض کار قطعه پس از حذف قسمت‌های اضافی حدودا به 90 سانتی‌متر کاهش پیدا کرد که مطابقت آن با عرض کار کمباین وارداتی Standen Pearson مدل QM (عرض کار 150 سانتی‌متر)، نشان می‌دهد که امکان نصب این قطعه روی واحد جدا کننده این مدل از کمباین وجود دارد.




الف

ب

**شکل12- الف) عرض کار سطح جدا کننده ب) شکل نهایی سطح جدا کننده به کمک نرم‌افزار Rhinoceros Ver.4**

## منابع مورد استفاده


افشاری، ح.، س. مینایی، م. الماسی، و پ. عبدالمالکی- 1387. **میزان آسیب سیب‌زمینی تحت بارگذاری دینامیکی**، فصلنامه علمی - پژوهشی علوم و صنایع غذایی، دوره 5، شماره 2، صفحات 79-69، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

بی‌نام- 1388. **آمارنامه جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت، تولید و میزان عملکرد سیب‌زمینی در کل کشور در سال زراعی 89-1388**.

عادلخانی، ع.، ر. علیمردانی، و ح. احمدی- 1389. **طرح ماشین جمع‌آوری سیب‌زمینی، بخش اول _ طراحی و ساخت و ارزیابی**، ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.

علیزاده، ا- 1387. **رابطه آب و خاک و گیاه**، ویرایش دوم، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).

قنبریان، د- 1389. **مبانی مهندسی ماشین‌های خاک‌ورزی**، شهرکرد، انتشارات دانشگاه شهرکرد،

مصلی‌نژاد، ح.، ح. مبلی، و ا. پورسلطان- 1388. **بررسی پارامترهای اساسی در جداکن (نوع تسمه‌ای) محصول از سنگ و کلوخ در کمباین سیب‌زمینی**، مجله علمی _ پژوهشی مهندسی مکانیک مجلسی، سال 3، شماره 2، صفحات 84-79، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی.

منصوری‌راد، د- 1387. **تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی**، جلد دوم، همدان، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا.

Al-Mallahi. T., H. Kataoka, and Okamoto. 2008. *Discrimination between potato tubers and clods by detecting the significant wavebands.* Biosystems Engineering. (100): 29-337.

Hosainpour. A., M. H. Komarizade, A. Mahmoudi, and M. G. Shayesteh. 2011. *High speed detection of potato and clod using an acoustic based intelligent system.*Expert Systems with Applications. 38(10): 12101-12106.

Kolchin, N. N. 1957. *Combined pneumatic and mechanical separation of potato tubers from clods.* Translated from Russian by E. Harris. Jornal of Agricultural Engineering Research. 2(3): 238-240.

Maack, L. O. 1957. *Die mechanische trennung von kartoffeln und Steiner (The mechanical separation of potatoes and stones).* Translated by W.E. Klinner. Landtechnische forschung7 (3):71. Translation No. 35. NIAE. UK.

Main, J. C. 1971. *Potatoes in the UK developments in production and marketing.* Span. 14(2): 87–90.

Palmer, J., A. W. Kitchenman, J. B. Mimer, A. B. Moore, and G. M. Owen. 1973. *Development of a field separator of potatoes from stones and clods by means of X-ray*. Journal of Agricultural Engineering Research. 18(4: 293-300.

Story, A.G., and G. S. V. Raghavan. 1973. *Sorting potatoes from stones and soil clods by infrared reflectance.* ASAE. (16): 304-309.

Schweers, V. H., R. E. Voss, K. G. Baghott, H. Timm, J. C. Bishop, and D. N. Wright. 2007. *Potato Harvesting.* University of California. Vegetable Research and Information Center.

# Separation of Potatoes from Clods and Stones and a Feasibility Study on Grading of Tuber Using Coefficient of Restitution

**Davoud Ghanbarian [1*] and Azam Taheri[2]**

[1]Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of agriculture, University of Shahrekord, Iran
[2]Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of agriculture, University of Shahrekord, Iran
*Coressponding author: dghanbarian@yahoo.com

## Abstract

Potato is a strategic agricultural product. Due to a high economic value, it is necessary to separate the tubers from clods and stones before being transferred into storage tanks. This is one of the most important tasks in potato harvesting machineries. Despite many advantages, potato harvesting combines are not welcomed by farmers in Iran due to the lack of suitable agricultural soil textures and missuse of chemical fertilizers. Therefore, it is necessary to install an extra system in the combines to enable them to carry out an efficient separation task. In this article, a feasibility study was carried out on the separation of potatoes from clod and stone using the coefficient of restitution. A pendulum apparatus was used to determine those factors affecting the coefficient of restitution and the latter was compared in potato, stone and clod. A special device was designed, constructed, and evaluated in order to study the distribution pattern of tubers and clods after colliding with a separator surface. It was a semicircular plate, mounted at its center a quarter sphere made of steel. The surface of the aforementioned plate was divided into sections using wooden and rubber strips. The results showed that the effect of mass, velocity, and material of the colliding body as well as the effect of the velocity and material of the colliding body on the coefficient of restitution is significant at 5% level. An efficient separation of potato from clods and stones was achieved for the masses of greater than 60 g, and when the moisture content of the clods was 12 to 39%. The distribution pattern of potato tubers and clods on catch surface showed that the device could successfully be installed on the combines in Iran and it could be used to separate tubers from other materials efficiently using the coefficient of restitution.

**Keywords:** Clod, Coefficient of restitution, Potato, Separation, Stone