# طراح و ساخت و ارزیابی یک دستگاه اتوماتیک برای اندازه گیری ضریب اصطکاک و زاویه سرخوردن محصولات کشاورزی

**احمد غضنفری مقدم۱- مهرداد پیمان۲**

## چکیده

تعیین ضریب اصطکاک و زاویه سرخوردن محصولات کشاورزی نقش عمده ای در طراحی ماشینهای جدید و بهینه سازی ماشینهای فعلی در ارتباط با انتقال، انبار و فرآوری محصولات کشاورزی را دارد. برای پیدا کردن سریع این کمیت ها دستگاهی براساس تئوری برابر بودن ضریب اصطکاک با تانژانت زاویه سرخوردن طراح گردید که بطور خودکار این کمیت ها را اندازه گیری می نماید. دستگاه پس از طراح و ساخت برای اندازه گیری ضریب اصطکاک و زاویه سرخوردن هفت محصول کشاورزی شامل جو، عدس، نخود، لوبیا، ذرت، چای و پسته مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایشات علاوه بر تعیین دو کمیت ذکر شده نشان دادند که در تعدادی از این محصولات غلتیدن به مراتب در زاویه کمتری نسبت به زاویه سرخوردن رخ میدهد و با ناهموار شدن سطح تماس امکان غلتیدن جسم تا سر خوردن آن بیشتر میشود. میانگین زاویه اصطکاک برای جو ۲۶، لوبیا ۲۲، عدس ۲۶، چای ۳۳، نخود ۲۹، پسته ۲۹ و برای ذرت ۲۵ درجه بدست آمد.

۱- استادیارگروه ماشینهای کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- دانشجوی سابق ماشینهای کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان

# مقدمه

ضریب اصطکاک و زاویه سر خوردن محصولات کشاورزی در طراحی و ساخت تجهیزات انتقال محصولات کشاورزی از جمله تسمه نقاله ها و هلیس های انتقال نقش عمده ای دارند. علاوه بر این در طراحی سیلوها و قیف های تغذیه دو عامل ذکر شده حائز اهمیت هستند. لذا قبل از طراحی یا نصب هر یک از اینگونه تجهیزات نیاز است که این فاکتور ها تعیین گردند. ضریب اصطکاک در تسمه نقاله های شیب دار تعیین کننده ثبات محصول بر روی تسمه در حین جابجایی است. در حالیکه در هلیس ها این ضریب در محاسبه نیروی مورد لزوم موتور نقش عمده ای دارد. برای تخلیه سیلو ها دهانه خروجی سیلو به صورت قیف مانند ساخته میشود و برای تضمین تداوم حرکت محصول زاویه مخروط قیف باید از زاویه سرخوردن محصول بیشتر باشد.

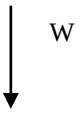
ضریب اصطکاک و زاویه سرخوردن بستگی به خصوصیات فیزیکی سطح محصول و سطح وسایل مورد تماس با محصول دارند. سطح مورد استفاده برای تجهیزات معمولا یک سطح با خصوصیات فیزیکی مشخص و قابلیت تولید یکنواختی دارند. ولی خصوصیات فیزیکی سطح محصولات کاملا مشخص نیستند و از محصولی تا محصول دیگر حتی از یک واحد محصول (مثلا دانه) تا واحدی دیگر تفاوت دارند. علاوه بر این خصوصیات فیزیکی سطح محصولات کشاورزی تابع عواملی چون رطوبت محصول، رطوبت محیط، درجه حرارت و چگالی محصول می باشند.

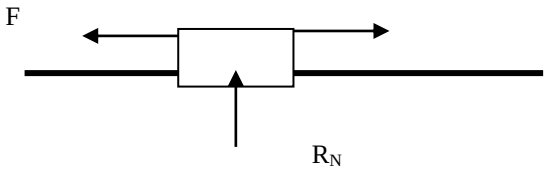
بمنظور طراحی، ساخت، بهینه سازی و بهره وری مناسب از تجهیزات کشاورزی که در تماس مستقیم با محصولات کشاورزی هستند نیاز است که ضریب اصطکاک و زاویه سرخوردن محصول بر روی سطح های مورد نظر اندازه گیری شوند. چون مقادیر این دو عامل در یک محصول خاص بسیار متغییر و با شرایط محیطی تغییر میکنند لازم است که در تعیین آنها آزمایش های متعددی صورت پذیرد. هدف از این پژوهش طراحی و ساخت دستگاهی بود که با آن به سهولت و با دقت بتوان ضریب اصطکاک و زاویه سرخوردن محصولات کشاورزی را تعیین نمود.

**روش تعیین ضریب اصطکاک و زاویه سرخوردن**

زمانیکه جسمی برروی سطحی قرار میگیرد برای به حرکت در آوردن آن باید نیرویی بیش از نیروی اصطکاک بین آن جسم و سطح به آن وارد کنیم. مطابق شکل ۱، نیروی $\mathcal{P}$ باید از نیروی اصطکاک $\mathcal{F}$ بزگتر باشد:

$$if\ \mathcal{P} > \mathcal{F}\ then\ \mathcal{M}\ moves$$



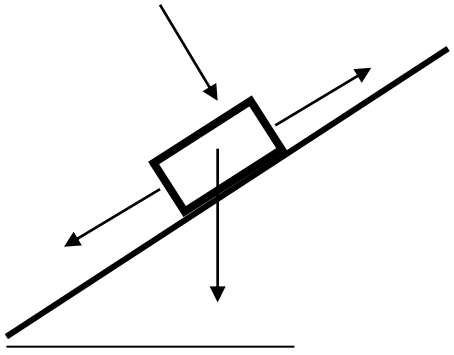



با توجه به شکل ۱ ضریب اصطکاک به صورت زیر تعریف میشود:

$$\mu = \frac{F}{R_N}$$

هنگامیکه جسم بروی سطح شیب دار قرار میگیرد نیروی حاصل از وزن جسم تحت تاثیر نیروی ثقل در دو راستا یکی عمود بر سطح شیب و دیگری در امتداد شیب قرار میگیرد (شکل ۲). نیرویی که در امتداد شیب است در جهت خلاف نیروی اصطکاک عمل می کند و برای به حرکت در آمدن جسم باید مجموع نیروی $\mathcal{P}$ و نیروی وارده در امتداد شیب از نیروی اصطکاک بیشتر باشد:

$$if\ \mathcal{P} + mg\ sin\ \theta > \mathcal{F}\ then\ \mathcal{M}\ moves$$



شکل ۲- وضعیت یک جسم بر روی یک سطح شیب دار

با توجه به شکل ۲ نسبت $mg\ sin\ \theta$ به $mg\ cos\ \theta$ تانژانت زاویه شیب میباشد. اگر شیب سطح را افزایش دهیم تا جسم خود به خود شروع به حرکت بنماید ($\mathcal{P} = 0$) با توجه به رابطه ۱، در لحظه ابتدای حرکت جسم نیروی $mg\ sin\ \theta$ برابر با نیروی اصطکاک میشود:

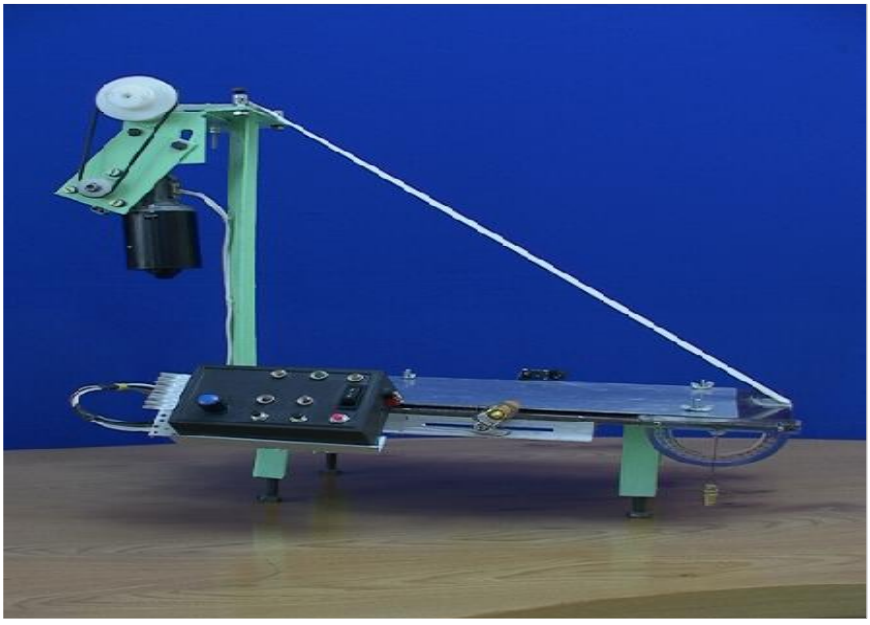
$$\mu = \frac{F}{R_N} = \frac{mg\sin\theta}{mg\cos\theta} = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \tan\theta$$

یعنی تانژانت زاویه شیب برابر با ضریب اصطکاک بین جسم و سطح می باشد. از طرفی چون در همین لحظه جسم شروع به حرکت می نماید بنابراین زاویه شیب در لحظه حرکت همان زاویه سرخوردن محسوب میشود.

از طرفی باید توجه کرد که بر روی سطوح ناهموار و یا در هنگام قرار گرفتن اجسام ناهموار برروی سطوح صاف با افزایش شیب جسم تعادل خود را از دست میدهد و شروع به غلتیدن مینماید. با متمایل شدن اجسام از حالت مسطح به حالت کروی میزان غلتیدن افزایش می یابد وبه همین ترتیب امکان سرخوردن کمتر میشود.

**شرح دستگاه**

با توجه به تئوری شرح داده شده دستگاهی طراح و ساخته گردید که با استفاده از آن ضریب اصطکاک و زاویه سر خوردن محصولات کشاورزی در سه مقدار کمینه (حداقل)، بیشینه (حد اکثر) و میانگین اندازه گیری مینماید. دستگاه اندازه گیری ضریب اصطکاک و زاویه سرخوردن (شکل ۳) بطور کلی تشکیل میشود از یک شاسی که نگاه دارنده سایر اجزا میباشد، صفحه که محصول بر روی آن قرار میگیرد، موتور الکتریکی که نیروی لازم برای بالا و پایین کردن صفحه را تامین می کند، زاویه سنج که زاویه سرخوردن و ضریب اصطکاک را تعیین میکند و مدار فرمان که حرکت موتور را کنترل می کند.



شکل ۳. تصویر دستگاه اندازه گیری ضریب اصطکاک و زاویه سر خوردن محصولات کشاورزی

برای کار با این دستگاه پس از اطمینان از تراز بودن دستگاه، ابتدا محصول مورد نظر بر روی صفحه که در حالت افقی قرار دارد گذاشته میشود و سپس موتور را روشن میکنیم و با بلند شدن یک طرف صفحه بتدریج شیب آن افزایش می یابد. به محض حرکت محصول و عبور آن از جلوی حسگر لیزری و قطع اشعه موتور متوقف میگردد و زاویه و تانژانت آن ثبت میگردد. در صورت نیاز به ادامه حرکت، با برداشتن مانع از جلوی حسگر و فرمان دادن به موتور شیب افزایش می یابد.

**آزمایش دستگاه**

بمنظور پی بردن به عمل کرد دستگاه ضریب اصطکاک و زاویه سرخوردن هفت محصول شامل جو، عدس، پسته، نخود، ذرت، چای و لوبیا بر روی دو سطح مختلف مورد اندازه گیری قرار گرفتند و نتایج حاصله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

## نتایج

پس از طراحی و ساخت دستگاه سرعت های زاویه ای مختلفی را برای دستگاه امتحان نمودیم. سرعت های مختلف با از یک پتانسیومتر متصل به موتور بدست آمدند. آنچه مسلم است سرعت زاویه ای کم دقت اندزه گیری را افزایش میدهد ولی زمان انجام آزمایش را به تاخیر می اندازد. پس باید سرعت تا آنجا افزایش یابد که مقدار قابل ملاحظه ای از دقت کاسته نشود. در حال حاضر دستگاه با سرعت زاویه ای ۱,۴ رادیان در دقیقه حرکت می نماید و آزمایشات نیز با همین سرعت انجام گرفتند.

نتایج حاصل از اندازه گیری ضریب اصطکاک و زاویه سرخوردن محصولات آزمایش شده در جدول ۱ نشان داده شده اند. در جدول زاویه کمینه و زاویه بیشینه، به ترتیب کمترین زایه و بیشترین زاویه ای بوده اند که در آن زوایا محصول شروع به حرکت نموده است و میانگین بر اساس ۱۰ تکرار بدست آمده است. همانطور که جدول نشان میدهد لوبیا بواسطه داشتن سطح صاف کمترین و چای به دلیل وجود ناهمواریهای کوچک و بزرگ و بریدگی های مویینه در سطح محصول از ضریب اصطکاک بالایی برخوردار است. غلتش بیشتر در محصولاتی مشاهده گردیده که سطح آنها چند وجهی بوده و در مجموع دارای سطح مقطع دایره ای در راستای شیب می باشد.

**جدول ۱. نتایج حاصل از تعیین ضریب اصطکاک و زاویه سرخوردن برروی سطح آلمینیوم**

| محصول | ضریب | زاویه کمینه | زاویه بیشینه | زاویه میانگین | زاویه غلتش |
|---|---|---|---|---|---|
| جو | ۰/۴۹ | ۲۲ | ۳۲ | ۲۶ | - |
| لوبیا | ۰/۴۰ | ۲۰ | ۲۵ | ۲۲ | - |
| عدس | ۰/۴۹ | ۱۹ | ۳۱ | ۲۶ | - |
| چای | ۰/۶۵ | ۲۹ | ۳۵ | ۳۳ | - |
| نخود | ۰/۵۵ | ۲۵ | ۳۴ | ۲۹ | ۱۷ |
| پسته | ۰/۵۵ | ۲۵ | ۳۲ | ۲۹ | ۱۵ |
| ذرت | ۰/۴۷ | ۲۰ | ۲۹ | ۲۵ | ۱۴ |

نتایج حاصل از آزمایشات با سطح لاستیکی موج دار در جدول ۲ آمده است. مقایسه آمار این جدول با جدول ۱ نشان میدهد که با افزایش زبری سطح زوایای سرخوردن و ضریب اصطکاک افزایش چشمگیری پیدا میکنند. تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی داری بین کلیه کمیت های اندازه گیری شده با دو سطح وجود دارد. مقایسه زاویه غلتش دو جدول نشان میدهد که با افزایش

ناهمواریهای سطحی زاویه غلتش کاهش پیدا میکند. مشاهدات آزمایشات نشان دادند که غلتیدن محصول همبستگی معنی داری با جهت قرار گرفتن محصول برروی سطح شیب دار دارد.

**جدول ۱. نتایج حاصل از تعیین ضریب اصطکاک و زاویه سرخوردن برروی سطح لاستیکی موج دار.**

| محصول | ضریب | زاویه کمینه | زاویه بیشینه | زاویه میانگین | زاویه غلتش |
|---|---|---|---|---|---|
| جو | ۰/۷۵ | ۲۸ | ۴۵ | ۳۷ | ۱۹ |
| لوبیا | ۰/۵۵ | ۲۴ | ۳۳ | ۲۹ | ۱۴ |
| عدس | ۰/۹۰ | ۳۵ | ۴۵ | ۴۲ | - |
| چای | ۱/۰۷ | ۴۰ | ۵۱ | ۴۷ | - |
| نخود | ۰/۶۷ | ۲۸ | ۴۵ | ۳۴ | ۱۶ |
| پسته | ۰/۷۰ | ۲۸ | ۳۹ | ۳۵ | ۱۳ |
| ذرت | ۰/۷۰ | ۲۹ | ۴۵ | ۳۵ | ۱۰ |

## منابع


۱- عملیت واحد در فرآوری محصولات کشاورزی ۱۳۸۱، ترجمه هاشم پورآذرنگ و حمید رضا ضیا الحق- انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

2. *Mohsenin, N. 1970. PHYSICAL PROPERTIES OF PLANT AND ANIMAL MATERIALS.*
3. *Marion J.B. and W.F. Hornyak. 1984. PRINCIPLE OF PHYSICS.*