





دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده کشاورزی

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه جمع آوری بقایای یونجه تلف شده حین عملیات بسته-  
بندی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی

جمیله شجاعی ارانی

استاد راهنما  
دکتر امین اله معصومی



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک ماشینهای کشاورزی خانم جمیله شجاعی

تحت عنوان

**طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه جمع آوری بقایای یونجه تلف شده حین عملیات بسته-  
بندی**

در تاریخ ۱۳۸۷/۱۲/۱۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

- |                      |                             |
|----------------------|-----------------------------|
| دکتر امین اله معصومی | ۱- استاد راهنمای پایان نامه |
| دکتر جلیل رضوی       | ۲- استاد مشاور پایان نامه   |
| دکتر مرتضی صادقی     | ۳- استاد داور               |
| دکتر خورشید رزمجو    | ۴- استاد داور               |

دکتر فرشید نوربخش

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

” الهی ، ادای شکر تو را هیچ زبان نیست و

دریای فضل تو را هیچ کران نیست و

سر حقیقت تو بر هیچکس عیان نیست.

هدایت کن بر ما رهی که

بہتر از آن نیست .”

از استاد ارجمندم جناب آقای **دکتر امین اله معصومی** برای راهنمایی‌های صمیمانه و قدم به قدمشان در تکمیل کردن این پایان‌نامه تشکر و قدردانی کرده و مراتب سپاسگزاری خویش را نسبت به ایشان ابراز می‌دارم. از استاد بزرگوارم جناب آقای **دکتر جلیل رضوی** که مشاورت این پایان‌نامه را بر عهده داشتند و در راه تحقق اهداف این پایان‌نامه در قالب پدری مهربان و دلسوز نهایت محبت را به من ارزانی داشتند کمال تشکر و امتنان را دارم.

از جناب آقایان دکتر مرتضی صادقی و دکتر خورشید رزمجو که زحمت بازخوانی و داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند، صمیمانه سپاسگزارم.

سپاس تنها کلامی است که در خاطر می‌ماند و احساس شیرین آن خاطره‌ای است که تا آخرین لحظه عمر با من و یادآور لحظات شیرین آشنایی با دوستان عزیزم همچون خانم‌ها زهرا قربانی، ناهید عقیلی ناطق، آذر خرسندی و آقایان مسلم نامجو و ایرج بگوند است.

از همکاری آقایان مهندس عراقی و مهندس چمی کمال تشکر و سپاسگذاری را دارم.

از همکاری کارکنان اداره نقلیه دانشکده کشاورزی سپاسگزارم.

جمیله شجاعی

اسفند 87

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،  
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق  
موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه  
صنعتی اصفهان است.

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار ،  
به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند،  
به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می -  
گراید

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان  
است .

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم و همسر م تقدیم می کنم .

## چکیده

با توجه به ارزش غذایی بالای برگ یونجه، کاهش تلفات آن در حین برداشت تا زمان مصرف از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. حین عملیات برداشت این گیاه برگ و ساقه‌های خشک در سطح مزرعه ریزش می‌کند. در تحقیقات انجام شده افت ناشی از ریزش برگ‌ها در مرحله بسته‌بندی محصول ۱۵-۷ درصد گزارش شده است. در تحقیق حاضر دستگاهی جهت جمع‌آوری برگ‌های ریزش یافته طراحی، ساخته و ارزیابی شد. مناسب‌ترین روش جهت جمع‌آوری بقایای ریزش یافته در سطح مزرعه استفاده از یک سیستم مکشی می‌باشد، برای جداسازی بقایای ریزش یافته برگ و ساقه گیاه یونجه از گرد و خاک و حتی بقایای پوسیده گیاهی که ناخواسته مکش می‌گردند، از یک سیکلون استفاده شد. جهت انجام مراحل طراحی و انتخاب ابعاد دستگاه و سیکلون برخی از خواص فیزیکی و آئرونامیکی برگ یونجه از جمله ضریب اصطکاک استاتیکی بر روی سطوح مختلف، میانگین قطر هندسی و توزیع اندازه برگ‌های جدا شده، سرعت حد برگ و ساقه‌ی یونجه تازه برداشت شده و قبلاً برداشت شده (پوسیده شده) اندازه‌گیری شد. قسمت‌های ساخته شده شامل قاب، اتصال سه نقطه، سیکلون و مجاری جریان هوا بود. مکنده ضمیمه شده به این دستگاه با ایجاد جریان مکشی مواد ریزش یافته را از سطح زمین برداشت می‌کرد. توان مورد نیاز این دستگاه از محور تواندهی تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ تأمین گردید. پس از ساخت دستگاه مذکور در دو مرحله ایستگاهی و مزرعه‌ای ارزیابی شد. ارزیابی ایستگاهی به منظور بررسی صحت عملکرد واحدهای مختلف دستگاه انجام گرفت. پس از این ارزیابی دستگاه در شرایط کاملاً طبیعی مزرعه در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار با سه تیمار (سرعت‌های پیشروی ۲ و ۴ و ۶ کیلومتر در ساعت) مورد ارزیابی قرار گرفت. خواص اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: درصد برگ‌های جمع‌آوری شده و درصد خاک‌های جدا نشده از برگ‌ها که به ترتیب بیان‌کننده کیفیت مکش و جدایش دستگاه بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس عوامل آزمایشی نشان داد که تأثیر سرعت بر صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین عملکرد دستگاه از نظر برداشت برگ‌های ریزش یافته (حدود ۸۰ درصد معادل ۴۴۰ کیلوگرم در هکتار) در کمترین مقدار سرعت پیشروی بود. در نهایت برای تعیین مناسب‌ترین سرعت پیشروی دستگاه در مزرعه ضریبی به نام  $k$  تعریف شد که نسبت درصد برگ‌های جمع‌آوری شده به درصد خاک جدا نشده در هر سرعت پیشروی بود. مقدار بیشتر این ضریب برای سرعت پیشروی ۴ کیلومتر در ساعت نشان‌دهنده مناسب بودن این سرعت برای پیشروی دستگاه در مزرعه بود.

واژه‌های کلیدی: یونجه، سرعت حد، سیستم پنوماتیکی، جداکننده سیکلونی.

## فصل اول

### مقدمه

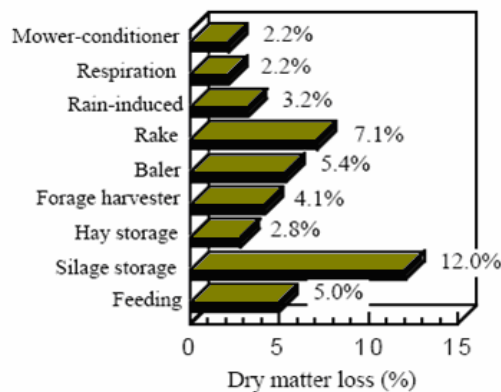
#### ۱-۱- مقدمه:

یونجه<sup>۱</sup> با نام علمی *medicago sativa* متعلق به تیره‌ی *Fabaceae* می‌باشد [۱۹]. یونجه به معنی علف مادها اولین بار توسط مادها برای تامین غذای اسب‌هایشان اهلی گردید. یونجه اصولاً مبدا کویری دارد و در حال حاضر در تمام مناطق معتدل و شبه قاره کشت می‌گردد [۱۰]. یکی از مهمترین منابع تغذیه دام و طیور می‌باشد که در جنوب غربی آسیا کشت می‌شود [۱۴]. با توجه به استقرار چند ساله در خاک، این گیاه می‌تواند مانعی در مقابل فرسایش آبی و بادی خاک باشد. یونجه همچنین توانایی همزیستی با باکتری‌های ریزوبیوم و تثبیت ازت خاک را داراست، به همین دلیل به طلای سبز و یا ملکه‌ی نباتات علوفه‌ای مشهور است [۱۰]. یونجه سرشار از ویتامین‌های A, C, E, K و همچنین دارای آمیلاز که آنزیم مخصوص هضم مواد نشاسته‌ای است، می‌باشد. آنزیم‌های بسیاری در یونجه یافت می‌شود، به‌عنوان مثال می‌توان از امولسین، اینورتاز، و پکتیاز نام برد. یونجه دارای حدود ۲۰٪ پروتئین می‌باشد. پروتئین‌های موجود در یونجه عبارتند از: لیزین، آرژینین، آدنین، فنیل آلانین، آسپاراژین و سیستین. یونجه دارای اسید



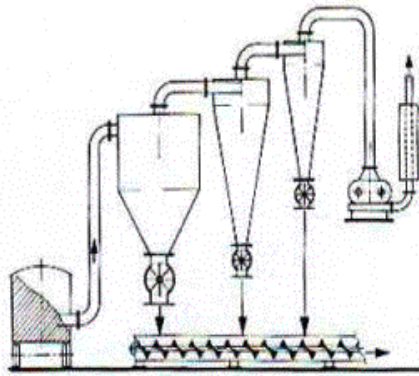
فسفریک، منیزوم، آهن و مقدار جزئی ارسنیک و سیلیس است. بنابراین یونجه از نظر مواد غذایی بسیار قوی است و غذای خوبی برای حیوانات به شمار می‌رود [۱۰]. نیاز علوفه‌ای کشور در سال برای احشام و طیور ۳۱/۱ میلیون تن می‌باشد که مجموع زراعت‌های تولیدی علوفه‌ای کشور معادل ۲۱/۶ میلیون تن و مجموع تولید مراتع و محصولات ثانویه ۵/۳ میلیون تن می‌باشد [۱۳]. سطح زیر کشت یونجه در سال زراعی (۸۱ - ۱۳۸۰) در ایران ۵۳۷ هزار هکتار و میزان تولید آن ۴۰۶۸ هزار تن بوده است [۱۴]. ازدیاد روز افزون جمعیت و صنعتی شدن دامداری‌ها و دامپروری‌ها باعث افزایش سطح زیر کشت یونجه شده است. سیاست واردات و صادرات نیز به گونه‌ای است که روند این افزایش را تسریع نموده است که در این راستا مکانیزه کردن مزارع و استفاده صحیح ماشین‌آلات رخ می‌نماید. افزایش سطح زیر کشت این محصول و ورود انواع ماشین‌های کشاورزی به عرصه تولید این محصول متعاقباً باعث افزایش میزان تلفات این محصول شده است. در تحقیقات انجام شده افت برگ یونجه در مراحل مختلف برداشت تا تغذیه آن تا ۴۴٪ گزارش شده است که افت ناشی از عملکرد دستگاه بسته‌بند ۵/۴٪ می‌باشد (شکل ۱-۱) [۲۷]. یکی از منابع اصلی افت یونجه در مرحله برداشت حین استفاده از دستگاه بسته‌بند است. در مرحله بسته‌بندی دیده شده است که عمده تلفات این محصول ناشی از خرد شدن برگ یونجه در اثر برخورد با چنگال‌های بردارنده بسته‌بند و عبور از کانال فشار می‌باشد.

از آنجا که خشک بودن محصول منجر به ریزش بیشتر محصول می‌شود لذا در مدیریت برداشت که از جمله کاربردهای مرسوم برای به حداقل رسانیدن تلفات محصول در حین بسته‌بندی است عمل بسته‌بندی محصولات در ساعات ابتدایی و انتهایی روز که درصد رطوبت مواد به دلیل وجود شبنم مناسب است انجام می‌شود. اما محدود بودن زمان کار در این شیوه از جمله معایب این شیوه محسوب می‌شود که گاهی به ۲-۳ ساعت در روز کاهش می‌یابد و باعث به تأخیر افتادن زمان بسته‌بندی محصولات می‌شود و این تأخیر ممکن است منجر به خراب شدن و گندیدن محصولات قرار گرفته در لایه‌های زیرین در اثر زیاد بودن رطوبت گردد. بنابراین لازم است دستگاه بسته‌بند به گونه‌ای طراحی یا تجهیز شود که بتواند در رطوبت‌های کم (در ظهر یا بعد از ظهر) که رطوبت ناشی از شبنم از بین رفته است به طور بهینه کار کند.



شکل ۱-۱- درصد تلفات برگ یونجه در مراحل مختلف [۲۷].

از آنجایی که برگ‌های ترد و شکننده این گیاه بیشترین درصد ریزش و تلفات را در بر می‌گیرند و با توجه به غنی‌تر بودن برگ یونجه از نظر ارزش غذایی، اهمیت کاهش تلفات فوق دو چندان شده است. به این منظور طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاهی به منظور جمع‌آوری بقایای ریزش یافته یونجه در راستای کاهش میزان تلفات برگ برداشت شده در مرحله بسته‌بندی ضروری به نظر می‌رسد. مناسب‌ترین روش برای این منظور استفاده از یک سیستم مکشی می‌باشد. این دستگاه با ایجاد جریان مکشی (فشار منفی) عملیات جمع‌آوری برگ‌های ریزش یافته یونجه را انجام می‌دهد. بلند کردن مواد ریزش یافته از سطح زمین توسط یک هود صورت می‌گیرد که ابعاد و فاصله تأثیرگذاری هود با توجه به اطلاعات فیزیکی برگ یونجه و نوع هود محاسبه می‌شود. برای جداسازی بقایای ریزش یافته برگ و ساقه گیاه یونجه از گرد و خاک و حتی بقایای پوسیده گیاهی که ناخواسته مکش می‌گردند، استفاده از یک سیکلون مطلوب می‌باشد. سیکلون دستگاهی است که به دلیل داشتن شکل خاص خود موجب جدا شدن مواد می‌شود [۱۵]. اساس کار الگوی مکشی را می‌توان اینگونه بیان کرد که: ذرات سنگین‌تر طی حرکت گردابی مشخصی از جریان هوا جدا شده و تخلیه می‌گردند و سایر ذرات به همراه هوا از خروجی بالای سیکلون خارج می‌شوند. بر اساس تنوع مواد و طرح تفکیکی موردنظر می‌توان تعداد سیکلون‌ها را افزایش داد (شکل ۱-۲) [۴۹].



شکل ۱-۲- قرارگیری سیکلون ها به صورت سری برای بالا بردن کیفیت تفکیک مواد [۴۹].

دستگاه طراحی و ساخته شده شامل یک هود می باشد که در ارتفاع مناسب و تحت زاویه مناسب از زمین قرار می گیرد و بقایای مکیده شده توسط لوله انتقال به درون سیکلون منتقل می گردد. در سیکلون دو فاز گرد و خاک از بقایای یونجه جمع آوری شده بوجود می آید که عامل جدا کننده مواد از گرد و خاک می باشد. برای طراحی این دستگاه نیاز به اندازه گیری برخی خواص فیزیکی از جمله توزیع اندازه، اصطکاک خارجی محصول بر روی سطوح پلکسی گلاس، ورق گالوانیزه و لاستیک و سرعت حد می باشد.

#### ۲-۱- اهداف

- با توجه به مطالبی که در بالا ذکر گردید، اهدافی که در این تحقیق دنبال می گردد، عبارتند از:
- اندازه گیری برخی از خواص برگ یونجه ریزش یافته در مرحله بسته بندی از جمله توزیع اندازه، اصطکاک خارجی بر روی سطوح پلکسی گلاس، ورق گالوانیزه و لاستیک و سرعت حد برگ یونجه.
  - طراحی و ساخت دستگاه جمع آوری برگ یونجه ریزش یافته در قسمت بردارنده دستگاه بسته بند حین عملیات بسته بندی محصول.
  - ارزیابی دستگاه ساخته شده.

## فصل دوم

### بررسی منابع

انتخاب مناسب‌ترین مکانیزم جهت تحقق اهداف ذکر شده و شناسایی عوامل موثر در طراحی و ساخت مکانیزم مطلوب و معرفی طرح‌های مشابه توسط دیگر محققین از جمله مطالب بیان شده در این فصل می‌باشند.

#### ۱-۲- خواص فیزیکی محصولات کشاورزی:

قدم اول برای انجام این تحقیق اندازه‌گیری برخی خواص فیزیکی از جمله توزیع اندازه، اصطکاک خارجی محصول و سرعت حد برگ یونجه می‌باشد.

#### ۱-۱-۲- ضریب اصطکاک خارجی:

در فرآیندهای مختلف کشاورزی از جمله برداشت، انتقال، جابجایی و انبارداری مواد، محصول با اجزاء مختلف ماشین‌های مرتبط در تماس است و این تماس باعث اعمال نیرویی بر سطح مواد و در نهایت

ایجاد اصطکاک می‌شود. نیروی اصطکاک باعث ایجاد مقاومت نسبی در سطح تماس دو جسم در حال حرکت می‌شود. اطلاع از ضریب اصطکاک محصول در مقابل سطوح مختلف برای طراحی سازه‌های انباری، انتقال و حمل و نقل محصول ضروری است. طراحی تجهیزات جابه‌جایی نیازمند تعیین ضریب اصطکاک بین محصول و سطوح مختلف در تماس با محصول می‌باشد. این قبیل اطلاعات در مشخص کردن ویژگی‌های موتور مورد نیاز برای تجهیزات انتقال و جابه‌جایی محصول مهم هستند [۴۳].

اصطکاک استاتیکی اندازه نیرو را درست در لحظه قبل از آغاز حرکت و اصطکاک دینامیکی اندازه نیرو را در حین حرکت و لغزش مواد روی همدیگر پیش‌بینی می‌کند.

ضریب اصطکاک خارجی بیانگر ضریب اصطکاک بین ماده و سطح وسیله در تماس با ماده می‌باشد. اطلاع از این فاکتور از جمله نیازهای اولیه طراحی و ساخت دستگاه‌های انتقال مواد، سیلوها و واحدهای خرد کننده مواد می‌باشد. شروود (۱۹۵۱) قوانینی را در رابطه با نیروی اصطکاک ارائه نمود. او بیان کرد [به نقل از ۱۲]:

- نیروی اصطکاک برآیند نیروهای مقاومتی بین نقاط تماسی است.
- نیروی اصطکاک ترکیبی از دو نیرو، نیروی غالب بر مقاومت برشی نقاط تماس و نیروی چسبندگی بین سطوح تماس است.
- نیروی اصطکاک بر سطح واقعی تماس، کاملاً عمود است.
- نیروی اصطکاک وابسته به سرعت لغزش دو سطح تماس است زیرا این سرعت نسبی بر دمای سطوح تماس تأثیرگذار است.

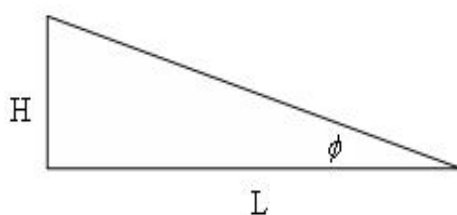
برخی محققین (محسنین، ۱۹۸۶؛ چانگ و ورما، ۱۹۸۹) دلایل تغییرات مقادیر خواص بیولوژیکی محصولات کشاورزی از جمله ضریب اصطکاک خارجی را بررسی کردند. نتایج آزمایشات ایشان حاکی از وابستگی ضریب اصطکاک خارجی محصولات کشاورزی به عوامل مختلفی از جمله جنس سطح تماس، مقدار رطوبت، سرعت، فشار عمودی، دما و روش انجام عملیات بود [۳۰ و ۴۸]. یک روش ساده و سریع برای تعیین ضریب اصطکاک خارجی نمونه‌ها استفاده از سطح شیب‌دار می‌باشد (شکل ۲-۱).

(رابطه ۲-۱) برای محاسبه تعیین ضریب اصطکاک با استفاده از سطح شیب‌دار ارائه شده است.

$$\phi = \tan^{-1}(H/L)$$

(۱-۲)

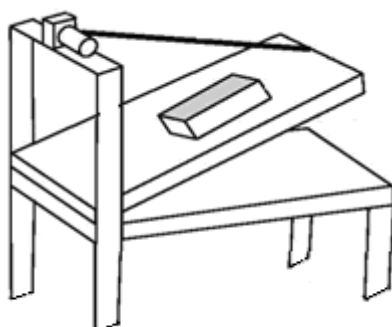
کارمن (۱۹۹۶) و گوپتا (۱۹۹۲) تحقیقات زیادی در ارتباط با ضریب اصطکاک محصولات مختلف کشاورزی و عوامل مؤثر بر روی آن انجام دادند. تحقیقات آنها حاکی از افزایش ضریب اصطکاک خارجی با افزایش رطوبت بود [۲۸ و ۳۴]. نتایج برخی از تحقیقات بیان کننده تأثیر مستقیم عواملی چون زبری سطح سرش، میزان رطوبت، فشار قائم و درجه حرارت بر روی ضریب اصطکاک خارجی است [۴۸]. بلوینز و هانسن (۱۹۵۶) ضریب اصطکاک یونجه خرد شده را روی سطح استیل صیقل شده برای سطوح مختلف رطوبت تعیین کردند. آنها گزارش نمودند که ضریب اصطکاک برای سطح رطوبتی بالای ۳۰٪ با زیاد شدن رطوبت به سرعت افزایش می یابد، ولی برای سطح بالای ۵۰٪ نرخ افزایش ضریب اصطکاک با افزایش رطوبت کندتر می شود [۲۵]. ریچتر (۱۹۹۱) تحقیقاتی در زمینه ضریب اصطکاک یونجه، کاه و علوفه خرد شده را روی سطح استیل در سرعت‌ها و فشارهای قائم متفاوت بدست آورد و به این نتیجه رسید که اندازه علوفه تأثیری بر مقدار ضریب اصطکاک علوفه ندارد [۵۰]. شینرز و همکاران (۱۹۹۱) ضریب اصطکاک یونجه و عوامل مؤثر بر آن را جهت طراحی دمنده علوفه تعیین کردند. ایشان بیان کردند که با افزایش رطوبت، ضریب اصطکاک افزایش می یابد. نتایج ایشان همچنین بیانگر این بود که تغییر فشار قائم از ۳۷ تا ۲۰۷ کیلو پاسکال تأثیر چشمگیری روی ضریب اصطکاک علوفه ندارد [۵۲].



۱-۲- نمای شماتیک دستگاه سطح شیب دار برای اندازه گیری نیروی اصطکاک خارجی

آتوبارت پلانگ و باریه (۲۰۰۳) در آزمایشی خواص اصطکاکی دانه کاکائو را بدست آوردند. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش محتوای رطوبتی، ضریب اصطکاک نیز افزایش پیدا می کرد [۲۲]. معصومی و تبیل (۲۰۰۳) ضریب اصطکاک استاتیکی واریته‌های مختلف نخود را در سه سطح مختلف رطوبتی روی چهار سطح فولادی، چوبی، شیشه‌ای و گالوانیزه با استفاده از سطح شیب‌دار اندازه گیری

کردند [۴۶]. گوپتا و همکاران (۱۹۹۸) مطالعاتی روی ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی تخم گل آفتاب‌گردان و بذر آن انجام دادند. آزمایشات ایشان در ۶ سطح تماس اصطکاکی لاستیک، آهن گالوانیزه، آلومینیوم، فولاد ضدزنگ، تخته چن‌دلا و فولاد نرم و ۵ سطح محتوای رطوبتی بود. نتایج ایشان نشان دهنده بیشتر بودن ضرایب بدست آمده در هر سطح رطوبتی برای بذر نسبت به تخم آفتاب‌گردان بود [۳۴].



شکل ۲-۲- طرحواره سطح شیب دار استفاده شده توسط معصومی و تبیل [۴۶].

ورسال و بریتون (۱۹۸۷) از سطح شیب‌دار برای تعیین ضریب اصطکاک مواد با سطوح فلزی مختلف که معمولاً در وسایل انتقال‌دهنده مواد کاربرد دارند، استفاده نمودند. نتایج کار آنها نشان دهنده کاهش ضریب اصطکاک با افزایش فشار عمودی بود [۵۹].

#### ۲-۱-۲- توزیع اندازه محصولات کشاورزی:

خصوصیات فیزیکی محصولات کشاورزی از جمله توزیع اندازه و میانگین قطر هندسی ذرات یکی از مهمترین فاکتورهایی است که در طراحی و ساخت دستگاه‌های انتقال‌دهنده پنوماتیکی و سیکلون‌ها و سیستم‌های خشک‌کن و هوادهی مورد توجه قرار می‌گیرد. چون این پارامترها بر مقاومت جرمی که در مقابل جریان هوا قرار می‌گیرد، تأثیر می‌گذارد [۶]. محاسبه توزیع اندازه مواد بر حسب نوع آنها یعنی ذرات و مواد خرد شده متفاوت است. توزیع اندازه ذرات طبق استاندارد (S319.3) ASAE Standard بر حسب میانگین قطر هندسی ذرات و انحراف میانگین هندسی ذرات بیان می‌شود. معادلات ۲-۲، ۲-۳ و ۲-۴ برای بیان میانگین قطر هندسی ذرات و انحراف میانگین هندسی بر حسب میلی متر استفاده می‌شوند.

$$d_{gw} = \log^{-1} \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \log \bar{d}_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] \quad (2-2)$$

$$S_{\log} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n w_i (\log d_i - \log \bar{d}_{gw})^2}{\sum_{i=1}^n w_i} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{S_{ln}}{2.3} \quad (3-2)$$

$$S_{gw} \approx \frac{1}{2} d_{gw} \left[ \log^{-1} S_{\log} - (\log^{-1} S_{\log})^{-1} \right] \quad (4-2)$$

در روابط بالا  $w_i$  جرم مواد باقیمانده روی الک  $i$  ام بر حسب گرم،  $d_i$  اندازه سوراخ الک  $i$  ام بر حسب میلی متر،  $d_{gw}$  میانگین هندسی اندازه ذرات بر حسب میلی متر،  $n$  تعداد الک‌ها بعلاوه یک،  $S_{\log}$  انحراف معیار توزیع لگاریتمی و  $S_{gw}$  انحراف معیار هندسی ذرات می‌باشد. یکی از ساده‌ترین و مرسوم‌ترین شیوه‌های تعیین توزیع اندازه نمونه‌ها استفاده از الک‌های استاندارد تیلور می‌باشد. جهت اندازه‌گیری توزیع اندازه نمونه‌ها طبق استاندارد ASAE S424.1 از الک‌های استاندارد استفاده می‌شود [۲۰].

تیبیل (۱۹۹۶) توزیع اندازه یونجه خردشده را بر مبنای استاندارد S319.2 به وسیله الک‌های استاندارد آمریکا بدست آورد وی آزمایش‌های خود را برای حدود ۵ لیتر یونجه خرد شده در مدت زمان ۱۰ دقیقه به وسیله دستگاه Ro-Tap در سه تکرار انجام داد. بعد از آزمایش مقدار مواد باقیمانده در هر الک را اندازه‌گیری کرد و مقادیر میانگین قطر هندسی ذرات و انحراف معیار لگاریتمی را محاسبه کرد [۵۸].

## ۲-۲- خواص آئروودینامیکی<sup>۱</sup>

### ۲-۲-۱- سرعت حد<sup>۲</sup>

سرعت حد از جمله مهم‌ترین خواص آئروودینامیکی جهت تمیز دادن مواد از یکدیگر است که در پروسه‌های مختلف جداسازی مواد از یکدیگر استفاده می‌شود؛ بنابراین اطلاع از سرعت حد مواد برای طراحی سیستمی جهت جدایش مواد از اساسی‌ترین اقدامات این تحقیق می‌باشد.

۱- Aerodynamic properties

۲-Terminal velocity



حرکت یک جسم در سیال باعث ایجاد نیروهای عمل و عکس العمل در سطح مشترک جسم و سیال می‌شود. نیروی مقاوم حرکت دارای دو مؤلفه مقاوم حرکت اصطکاکی و مقاوم حرکت فشاری می‌باشد که این نیروها نتیجه تنش‌های عمودی ایجاد شده توسط فشار و تنش‌های برشی به وجود آمده در اثر لزجت می‌باشند. برآیند این نیروها در جهت سرعت جریان نیروی مقاوم حرکت و در جهت عمود بر سرعت جریان نیروی بالابری<sup>۱</sup>، نامیده می‌شود. نیروی مقاوم حرکت فشاری وابسته به سطحی که فشار بر آن اعمال می‌شود و مقدار فشار اعمال شده بر سطح می‌باشد. اگر سطح جسم عمود بر جریان سیال باشد، تنش برشی روی نیروی مقاوم حرکت بی‌تأثیر است و چنانچه سطح جسم موازی جریان باشد، تنش عمودی روی نیروی مقاوم حرکت بی‌تأثیر است. بنابراین هر جسمی که در سیال حرکت می‌کند، از طرف سیال نیرویی بر آن اعمال می‌شود؛ چنانچه جسم متقارن باشد، این نیروی مقاوم حرکت و اگر جسم نامتقارن باشد این نیرو، نیروی بالابری می‌باشد [۳۱].

۲-۲-۲- ضریب پسا<sup>۲</sup>:

زمانیکه ذره‌ای در یک سیال ساکن غوطه‌ور شود، نیروی شناوری که متناسب با چگالی و حجم سیال جابجا شده است، سعی در خنثی کردن نیروی جاذبه وارده به ذره را دارد. مقدار نیروی شناوری هوا معمولاً مقداری ناچیز است و در سیالات دارای جریان این نیروی حاصل از جابجایی سیال است که قابل ملاحظه است [۳۱]. بنابراین حتی سیالات با چگالی کم مانند هوا نیز می‌توانند نیروهای قابل توجهی به ذرات اعمال کنند. نیروهای اعمالی به یک دانه ذرت در جریان باد در شکل (۲-۳) نشان داده شده است [۴۸].

مطابق شکل ۲-۳، این نیروها شامل نیروی پسا و نیروی اصطکاک پوسته می‌باشد. نیروی پسا ناشی از اختلاف فشار بین نقاط بالا و پایین جسم و توسعه سریع فشار است. در مواردی که سطح جسم صاف

---

۱-Lift force

۲- Drag coefficient

است، از نیروی اصطکاک به علت ناچیز بودن، صرفنظر می‌شود. روابط ۲-۵ و ۲-۶ نتیجه در توازن بودن نیروهای وارده بر سطح جسم می‌باشند [۴۸].

$$mg \left[ \frac{(\rho_p - \rho_f)}{\rho_p} \right] = C_D \cdot \frac{A \cdot V_t^2 \cdot \rho_f}{2} \quad (۵-۲)$$

برای محاسبه ضریب پسا رابطه (۲-۶) به صورت زیر ساده می‌شود:

$$C_D = \frac{2mg(\rho_p - \rho_f)}{A \cdot V_t^2 \cdot \rho_p \cdot \rho_f} \quad (۶-۲)$$

که در آن:

$C_D$  = ضریب پسا، بی بعد،

$A$  = سطح مقطع تصویر شده مواد<sup>۱</sup>، بر حسب  $m^2$ ،

$\rho$  = چگالی ذره، بر حسب  $kg/m^3$ ،

$\rho_f$  = چگالی سیال، بر حسب  $kg/m^3$  و

$V_t$  = سرعت حد مواد می‌باشد.



شکل ۲-۳- نیروهای اعمالی به یک دانه ذرت در مسیر جریان باد [۴۸].

گوریال و اکالاگان (۱۹۹۰) ضریب پسا را برای بذور و کاه کلش بدست آوردند. با توجه به شکل خاص کاه و کلش و عدم کرویت آنها، ایشان تأثیر گره‌ها را بر راستای قرارگیری مواد در جریان عمودی باد مورد بررسی قرار دادند و یک فرمول برای محاسبه سرعت حد پیشنهاد کردند [۳۳].

۱-Projected area

اطلاع از سطح مقطع تصویر شده برای بررسی خواص آئرودینامیک مواد ضروری می‌باشد، لذا بیان روشی برای محاسبه سطح مقطع تصویر شده مواد در جریان باد ضروری می‌باشد. روش‌های متفاوتی برای بیان اندازه و ابعاد مواد با شکل هندسی نامنظم که محور تقارن مشخصی ندارند ارائه شده است که می‌توان از مساحت بدست آمده برای محاسبه ضریب پسا استفاده کرد. محسنین (۱۹۹۸) بیان کرد می‌توان بسیاری از مواد را به صورت کروی فرض کرد و قطر ذرات را معادل قطر کره هم‌حجم با آنها فرض نمود. در مواردی که حجم ذرات به سختی بدست می‌آید، میانگین قطر هندسی تخمین خوبی از قطر معادل جسم می‌باشد.

$$d = (a \times b \times c)^{\frac{1}{3}} \quad (7-2)$$

که در آن،

$d$  = میانگین قطر هندسی و

$a$ ،  $b$  و  $c$  = ابعاد جسم در ۳ راستای عمود بر هم می‌باشد.

کک و گاوس (۱۹۶۵) میانگین قطر هندسی بذرها را در ۳ راستای عمود بر هم برای اندازه‌گیری ابعاد در نظر گرفتند. آنها مشاهده کردند که با در نظر گرفتن قطر کره هم‌حجم ذرات برای محاسبه سرعت حد، سرعت حدی کمتر از آنچه در واقع اندازه‌گیری شده است را در پی خواهد داشت. این امر دلالت بر این دارد که ممکن است در مقادیر میانگین قطر هندسی ذرات با شکل هندسی نامنظم مانند انواع بذور تفاوت‌های زیادی وجود داشته باشد [۴۱]. هاک و همکاران (۱۹۶۶) در تحقیقی خواص آئرودینامیکی گندم و سویا را اندازه‌گیری کردند. سرعت حد و ضریب بادبردگی به دو روش شناوری و سقوط آزاد بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد حالت ایده‌آل آزمایش زمانی رخ می‌دهد که ذرات در مرکز لوله دستگاه اندازه‌گیری سرعت حد قرار گرفته بوده و کمترین حرکت جانبی را دارا باشند. ایشان همچنین به این نتیجه رسیدند که ذرات با وزن مخصوص بیشتر ضریب بادبردگی بیشتری دارند [۳۵].

۲-۲-۳- عدد رینولدز:

رینولدز عددی ارائه داد که بستگی به ویسکوزیته سینماتیک، زبری نسبی، سرعت جریان سیال و قطر

کانال دارد و بیانگر وضعیت جریان می‌باشد [۱۵].

$$Re = \frac{Vd}{K} \quad (۸-۲)$$

V: سرعت جریان هوا بر حسب fpm،

d: قطر کانال بر حسب in،

K: ویسکوزیته سینماتیک بر حسب  $ft^2/min$  و

Re: عدد رینولدز می باشد.

عدد رینولدز<sup>۱</sup> به سرعت حد ذرات با جذر ریشه سطح مقطع ارتباط داده می شود و با ضریب پسا  $C_D$  که بر مبنای سطح مقطع تصویر شده است، سازگاری داده می شود (گوریال و اکالاگان، ۱۹۹۰). ضریب کشش شامل اصطکاک پوسته و فشار پسا<sup>۲</sup> می شود.

همه فرآیندهای انتقال بادی، شناورسازی و جدایش مخلوطهای بذور و کاه و کلش و یا مخلوطهای بذر با بذر، بستگی به رفتار ذرات در جریان باد دارد. با وجود اینکه در مراجع زیادی از لحاظ موضوعی به طور ویژه به اندازه گیری ضریب پسا جویات پرداخته شده است، ولی در زمینه ایجاد ارتباط و همبستگی نتایج برای گستره ای که شامل هر دو ماده بذر و کاه می شود، تلاش اندکی صورت گرفته است. این همبستگی می تواند به عنوان مبنایی برای طراحی دستگاه های جدا کننده، تمیز کننده و درجه بندی به کار گرفته شود (گوریال و اکالاگان - ۱۹۹۰).

#### ۲-۲-۴- روش های تعیین سرعت حد مواد

سرعت حد بر اساس نیروهای آئرو دینامیکی که بر نمونه اعمال می گردد، تخمین زده می شود. زمانی که نمونه به حالت شناوری برسد، سرعت حد، سرعت نسبی جریان می باشد. روش تعیین سرعت حد، برای مواد دارای شکل منظم هندسی و نامنظم متفاوت است.

الف) مواد متجانس<sup>۳</sup>: محسنین (۱۹۷۰) استفاده از روش سعی و خطا را یکی از روش های تئوری تعیین سرعت حد مواد با شکل منظم هندسی بیان کرد. در این روش با به دست آوردن عدد رینولدز با استفاده از نمودار  $CN^2_R$  بر حسب عدد رینولدز سرعت حد مواد از رابطه ۲-۹ تعیین می شود [۴۸].

۱- Reynolds number

۲- Pressure drag

۳- Homogeneous