

## طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه برگ‌جمع‌کن مخصوص تراکتورهای باغی

آزاد غفاری<sup>۱</sup>، شمس‌الله عبدالله پور<sup>۲\*</sup> و پرویز احمدی‌مقدم<sup>۳</sup>

### چکیده

جمع‌آوری برگ درختان پاییزی از سطوح معابر و خیابان‌ها همواره مشکلات عدیده‌ای را در پی داشته است که بدین منظور ماشین‌های خاصی طراحی شده‌اند. در طراحی این‌گونه ماشین‌ها فاکتورهایی نظیر سادگی اجزاء، صرفه اقتصادی، ظرفیت عملکردی بالا و مانورپذیری آسان دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. در این مطالعه عملکرد یک ماشین برگ‌جمع‌کن ساخته شده برای تراکتورهای گلدونی مورد بررسی قرار گرفته است. برای ساخت ماشین علاوه بر محاسبات تئوری، شبیه‌سازی قسمت‌های مختلف دستگاه از نظر استحکام و دوام در نرم‌افزار Solid works 2013 انجام شده است. به‌منظور ارزیابی صحت عملکرد دستگاه، از برگ درختان چنار و توت استفاده شده است. ارزیابی دستگاه در سه سطح از سرعت پیشروی ۴/۵، ۶ و ۹ کیلومتر بر ساعت در سه تکرار انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سرعت پیشروی، مقدار جمع‌آوری برگ توسط هر دو محفظه مکش و لوله مکش کاهش می‌یابد به طوری که افزایش سرعت پیشروی دستگاه از ۴/۵ به ۹ کیلومتر بر ساعت باعث افت ۴۹/۸ درصدی توسط لوله مکش و افت ۳۴/۶ درصدی توسط محفظه مکش می‌شود. همچنین نتایج حاصل از آزمون ماشین نشان می‌دهد که لوله مکش، مقدار برگ بیشتری را جمع‌آوری می‌نماید. به‌علاوه نتایج حاصل از ارزیابی بادزن نشانگر این است که هرچه ابعاد برگ بزرگ‌تر باشد مقدار خردشدگی بیشتر خواهد بود و هرچه ابعاد برگ کوچک‌تر باشد، خرد شدگی نیز کمتر خواهد بود. پس از بررسی‌های به عمل آمده مشخص شد که با افزایش درصد رطوبت برگ‌ها میزان خرد شدگی برگ نیز کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس، میانگین متغیر محفظه مکش و لوله مکش سه گروه در سرعت‌های یاد شده یکسان نبوده و در سطح ۵٪ معنی‌دار است. همچنین آزمون شفه نشان داده است میانگین تمامی دو دویی گروه‌ها از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ دارند ( $p < 0.05$ ).

**واژه‌های کلیدی:** بازده، برگ‌جمع‌کن، صرفه اقتصادی، طراحی و ساخت.

ارجاع: غفاری آ. عبدالله پور ش. و احمدی‌مقدم پ. ۱۴۰۰. طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه برگ‌جمع‌کن مخصوص تراکتورهای باغی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۱۰: ۱۹-۹.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

\* نویسنده مسئول: [shamstabriz@tabrizu.ac.ir](mailto:shamstabriz@tabrizu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۲

## مقدمه

با توجه به ریزش برگ درختان در فصل پاییز و به وجود آوردن مشکلاتی چون نامطلوب نمودن ظاهر محیط و بالا بردن هزینه‌های ناشی از جمع‌آوری برگ در سطح شهر، می‌توان روش‌هایی را برای استفاده بهینه و بازیافت برگ‌ها ارائه نمود. عملیات تولید کمپوست یکی از روش‌های اصلی مصرف برگ‌های ریزشده بوده و یکی از بخش‌های حیاتی در کاهش و بازیافت زباله در کشورهای پیشرفته است (Shirneshan, 2012). امروزه توجه بسیاری از کلان‌شهرها به بازیافت بقایای شهری معطوف شده است. با توجه به اینکه اوره دارای مقادیر زیادی آمونیاک است، می‌توان از آمونیاک موجود در برگ برای تزریق به خاک استفاده نمود (Rajan & Khan, 1978).

برای جمع‌آوری برگ‌ها وسایل مکانیکی متعددی وجود دارد که می‌تواند جایگزین کار کارگر شود. برگ جمع‌کن‌ها ممکن است تراکتوری یا دستی باشند (Bell & Cousins, 1991). حاصلخیزی خاک با استفاده از کود سبز بهبود می‌یابد و همچنین از برگ برای خوراک دام می‌توان استفاده نمود. جمع‌آوری برگ‌ها از خیابان‌ها، سطوح چمن‌زار و پارک‌ها معمولاً زمان‌بر و پرهزینه است و با استفاده از برخی ماشین‌آلات که مشابه کار دست را انجام می‌دهند مانند غلتک‌های جاروبکی برگ‌ها جمع‌آوری می‌شوند (Azadbakht et al., 2014).

یک مطالعه میدانی در یکی از خیابان‌های اصلی دانشگاه تبریز در سال ۱۳۹۳ با ۲۶۰ اصله درخت مورد بررسی قرار گرفته است. آمارها نشان می‌دهد برای جمع‌آوری برگ این درختان در فصل پاییز روزانه به ۵ نفر کارگر با ۶ ساعت کاری نیاز است، درحالی‌که جمع‌آوری همین مقدار برگ توسط جاروهای مکانیزه خودگردان ساخت شرکت Isal کشور ایتالیا با عرض کار ۲۵۰۰ میلی‌متر، ظرفیت مخزن ۳/۵ متر مکعب و با سرعت پیشروی ۸ کیلومتر بر ساعت در حدود ۳۰ دقیقه انجام می‌پذیرد (Ghaffari et al., 2016). مطالعات صورت گرفته در زمینه طراحی و ساخت دستگاه‌های برگ جمع‌کن ایرادات و اشکالاتی را در اغلب موارد نشان می‌دهد. در یک پژوهش، ماشین برگ جمع‌کنی معرفی شده است که شامل محور بالا، محور پایین، تسمه‌نقاله‌ی سرتاسری، مکانیسم جاروبکی، مخزن پارچه‌ای (برزنتی)، لوله‌ی مکش و خردکن است. با حرکت روبه‌جلو دستگاه، برگ توسط مکانیسم جاروبکی

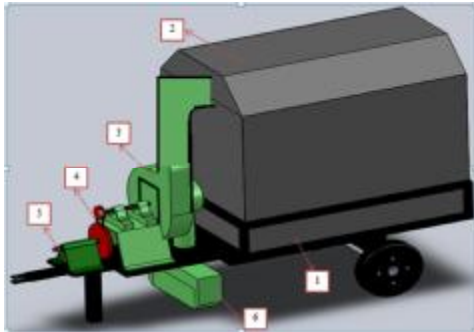
جمع‌آوری و روی نوار نقاله ریخته می‌شود و سپس برگ از داخل یک لوله‌ی مکشی که در داخل آن یک وسیله‌ی خردکن تعبیه شده خرد و به داخل کیسه یا مخزن منتقل می‌شود (Hammad, 2011). مهم‌ترین ایراد دستگاه ساخته شده توسط عدنان و همکاران پیچیدگی دستگاه به دلیل استفاده از تسمه نقاله و در نتیجه افزایش مصرف انرژی و نیز بالا رفتن هزینه‌های تعمیر و نگهداری است.

در یک پژوهش دستگاه برگ جمع‌کن پشت تراکتوری ساخته شده که مجهز به سیستم مکش و دهش است، یعنی در مرحله اول برگ‌ها به داخل محفظه مکش منتقل و سپس توسط پره‌های بادزن سانتریفیوژ خرد و به داخل مخزن برگ هدایت می‌شود (Kiapey & Jafari, 2007). همچنین Azadbakht et al. (2014) یک دستگاه برگ جمع‌کن پشت تراکتوری مجهز به سیستم مکشی را مورد مطالعه قرار دادند. یکی از مهم‌ترین عیوب این دستگاه دو مرحله‌ای بودن مکش و خردکردن برگ‌ها است که موجب مصرف انرژی بالا، بالا رفتن هزینه‌های تعمیر و نگهداری و نداشتن صرفه اقتصادی می‌شود.

در مطالعه‌ای دیگر دستگاه برگ جمع‌کنی ارائه شده است که قادر است برگ‌های ریخته‌شده از درختان در سطح خیابان‌ها را جمع‌آوری و به محل موردنظر انتقال دهد. همچنین این وسیله قادر است برگ‌ها را خرد کرده و به‌صورت پودر تحویل دهد. کاربرد این دستگاه در فصل پاییز است که برگ‌های درختان به مقدار زیاد در سطح خیابان‌ها وجود دارد. این سیستم به‌صورت یدک‌کش ساخته شده و مجهز به جک تخلیه مخزن و دستگاه خردکن برگ است. نازل مکشی برای جمع‌آوری برگ به‌صورت خرطومی روی زمین کشیده می‌شود و برگ‌ها توسط مکش و نتیلاتور به داخل مخزن هدایت می‌شود. این دستگاه از دو قسمت اصلی سیکلون و خردکن تشکیل شده است. این دو واحد به‌طور مجزا از یکدیگر قرار گرفته‌اند؛ سیکلون وظیفه ایجاد خلأ و مکش و واحد خردکن وظیفه‌ی خردکردن برگ‌ها را بر عهده دارد (Izadpanahi, 1996). این دستگاه نیز عملیات جمع‌آوری و خردکردن برگ را در دو مرحله انجام می‌دهد، به عیوب دو مرحله‌ای بودن فرآیند، در دستگاه ساخته شده توسط کیاپی و همکاران اشاره شد.

با بررسی اختراعات انجام شده در این زمینه، می‌توان به مطالعاتی در این زمینه اشاره نمود (Bedrad & Dubois, 2014).

۴۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. محاسبات مربوط به عملکرد ماشین و حداکثر نیروهای اعمال شده بر اساس وزن بخش‌های مختلف روی شاسی انجام گرفته است. همچنین تنش استاتیکی حاصل از نیرو و بار اعمال شده بر روی شاسی تحلیل و بررسی شده است. تحلیل‌های انجام شده روی شاسی توسط یکی از قابلیت‌های نرم‌افزار SolidWorks و از بخش تحلیلی CosMos Motion صورت پذیرفت.



شکل ۱- طرح واژه اولیه‌ی دستگاه، ۱- شاسی ۲- مخزن ۳- واحد مکش (باد زن) ۴- مکانیسم تسمه و پولی ۵- گیربکس تک محور ۶- محفظه مکش

### طراحی مخزن برگ

برای تعیین میزان تنش، جابه‌جایی و تغییر طول در مخزن برگ و با توجه به اینکه نیروی اعمال شده از سوی برگ به صورت عمودی است وزن و مقدار نیرو متناسب با یک مخزن پر از برگ (۵۰۰ نیوتون) در نظر گرفته شده و پس از مشاهده نتایج حاصل از تحلیل و اندازه‌گیری چگالی برگ، طراحی مخزن انجام شده است.

### فرآیند انتخاب سیستم مکش و تغذیه (بادزن)

نحوه‌ی انتخاب سیستم مکش و تغذیه با توجه به هدف (مکش، خردکردن و انتقال) و مسیر حرکت برگ‌ها صورت می‌گیرد. برای اینکه دستگاه بتواند روزانه ۵۰۰ کیلوگرم برگ را جمع‌آوری نماید، ظرفیت بادزن با استفاده از معادله (۱)، به دست می‌آید.

$$\mu = \frac{r_{\text{g}}}{r_{\text{g}}} \quad (1)$$

که در این معادله،  $\mu$  نسبت جرمی فاز رقیق،  $r_{\text{g}}$  بده جرمی فاز جامد و  $r_{\text{g}}$  بده جرمی گاز است (در فاز رقیق نسبت جرمی هوا بیش از نسبت جرمی ماده‌ی جامد است).

2008; Batchelder & Batchelder, 2012; Burchfield et al., 2014; Dunning & Saathoff, 2008; Martin, 2002; Mueller, 2012; Mc Guffey, 2014; Yardley et al., (2006).

مطالعات و بررسی‌های میدانی انجام شده در سطح استان‌های آذربایجان غربی و شرقی نشان می‌دهد که جاروهای مکانیزه خودگردان به دلیل پیچیدگی ساختار، قیمت اولیه‌ی بسیار زیاد و بالابودن هزینه‌های تعمیر و نگهداری با عدم استقبال شهرداری‌ها از این دستگاه‌ها روبرو است.

هدف از این تحقیق ساخت و ارزیابی دستگاه برگ‌جمع‌کن با توانایی جمع‌آوری، خردکردن و انتقال برگ به صورت هم‌زمان است که دارای عملکرد و قیمت تمام شده مناسبی با شرایط ایران باشد.

### مواد و روش‌ها

#### الف) طراحی و ساخت دستگاه

برای اینکه دستگاه بتواند برگ‌ها را از زمین جمع‌آوری نموده و خرد نماید از اجزایی نظیر شاسی، مخزن، بادزن، واحد انتقال قدرت، محفظه مکش و لوله مکش تشکیل شده است. در ابتدا بادزن توسط محور توانده‌ی تراکتور با سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه راه‌اندازی شده و به واسطه خلاء، مکش برگ‌ها انجام می‌گیرد. به دلیل طراحی خاص پره‌های بادزن و قرارگیری تیغه‌ی ثابت در پوسته‌ی آن، برگ‌ها مکیده شده و سپس خرد و به داخل مخزن دستگاه هدایت می‌شوند. فرآیند مکش به واسطه‌ی لوله‌ی مکش یا محفظه مکش انجام می‌شود. در صورتی که ماشین مسیر مستقیمی را طی نماید و هدف برگ‌روبی خیابان باشد از محفظه مکش استفاده می‌شود لذا چنانچه هدف جمع‌آوری برگ‌ها در مسیر پیاده روها، داخل جوی‌های آب و یا پاکسازی پای درختان باشد از لوله‌ی مکش استفاده می‌شود. شکل ۱، طرح‌واره دستگاه را نشان می‌دهد.

### طراحی شاسی

شاسی دستگاه بر اساس ابعاد و ارتفاع تراکتور باغی مدل OTM.H.938 ساخت شرکت تراکتورسازی ارومیه طراحی شده است. ابعاد هندسی شاسی بر اساس ابعاد مخزن، ابعاد بادزن و همچنین ابعاد گیربکس تک‌محور نصب شده روی دستگاه با طول و عرض و ارتفاع به ترتیب ۱۰۰۰، ۲۷۰۰ و

مجرای مکش محتمل خواهد بود؛ از طرفی هرچه عدد به سمت صفر نزدیک تر شود مقدار هوای ورودی بیشتر شده و ظرفیت کاری دستگاه را کاهش می دهد که به ناچار در این مطالعه نسبت جرمی معادل ۴ در نظر گرفته شده است. بنابراین بده جرمی فاز گاز (هوا)  $m_g$  توسط معادله (۴) قابل محاسبه است.

$$m_g = \frac{0.017 \text{ kg/s}}{8} = 0.002125 \text{ kg/s} \quad (۴)$$

با توجه به معادله بده جرمی و بده حجمی، بده هوای مورد نیاز به ترتیب با استفاده از معادلات (۵) الی (۷) تعیین شده است.

$$v = \frac{m}{r} = \frac{0.002125 \text{ kg/s}}{1/22 \text{ kg/m}^3} = 0.00174 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (۵)$$

$$\frac{500 \text{ kg}}{8h} = 62.5 \text{ kg/hr} = 1.041 \text{ kg/min} \quad (۶)$$

طبق رابطه (۱) داریم:

$$m = \frac{500/8}{3600} = \frac{62.5}{3600} = 0.017 \text{ kg/s} \quad (۷)$$

مترمکعب بر ساعت  $6/4 =$  بده بازن مرتبط

نوع بازن از بین بازن های موجود به گونه ای انتخاب شده است که بتواند علاوه بر تولید بدهی معادل  $6/4$  مترمکعب بر ساعت، توانایی خرد کردن و انتقال برگ ها به طور هم زمان را داشته باشد. مشخصات بازن انتخاب شده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات بازن انتخاب شده برای نصب روی ماشین

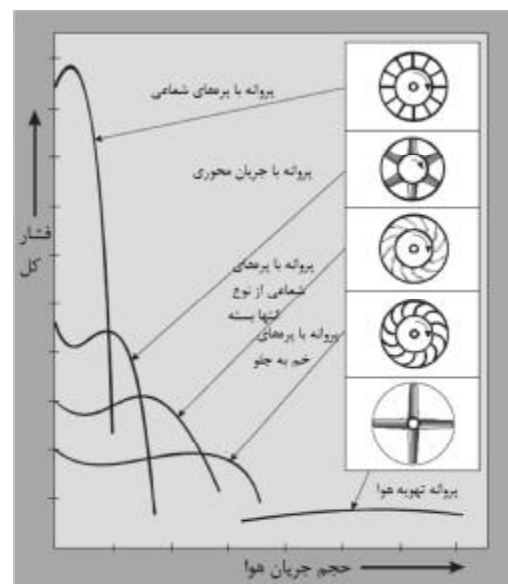
قطر پروانه بازن	۵۰ سانتی متر
تعداد پره های بازن	۶ عدد
نوع پره های بازن	شعاعی (Radial)
سرعت دورانی بازن	۲۸۰۰ دور در دقیقه
حداکثر بده هوا	$6/4$ مترمکعب بر ساعت

### سیستم انتقال قدرت

طراحی سیستم انتقال قدرت بر اساس اندازه گیری سرعت حد برگ ها و میزان سرعت دورانی مورد نیاز بازن برای جمع آوری برگ صورت گرفته است.

در پژوهش حاضر از مکانیسم تسمه و پولی با نسبت های مختلف استفاده شده است (شکل ۳). در این دستگاه، توان از طریق محور تواندهی تراکتور به صورت موازی به یک مبدل منتقل می شود که به یک سر محور تواندهی و به

چنانچه فاز انتقال رقیق بوده ( $0 < \mu \leq 15$ ) و بده جرمی فاز جامد  $500$  کیلوگرم بر ساعت باشد، بده جرمی گاز و در نتیجه بده بازن قابل تخمین است ( Rizk & Leung, 2010). با توجه به منحنی های مشخص بازن ها می توان، بازن مناسب را انتخاب نمود. برای این که امکان انتقال برگ با حداکثر سرعت و حداقل افت فشار وجود داشته باشد می بایست یکی از انواع بازن با پره های خم به جلو (forward)، خم به عقب (backward) و شعاعی (radial) را برای دستگاه انتخاب نمود. شکل ۲، منحنی مشخصه بازن ها را نشان می دهد.



شکل ۲- منحنی مشخصه بازن ها

با توجه به اینکه از اهداف ساخت دستگاه، جمع آوری روزانه  $500$  کیلوگرم برگ است در نتیجه با در نظر گرفتن ساعت کاری، بده جرمی فاز جامد (برگ)  $m_g$  توسط معادله (۶) محاسبه می شود.

$$m_g = \frac{500 \text{ kg}}{8h} = 62.5 \text{ kg/h} \quad (۲)$$

با تبدیل آن به کیلوگرم بر ثانیه بده جرمی توسط معادله (۷) به دست می آید.

$$m_g = \frac{62.5 \text{ kg}}{3600} = 0.017 \text{ kg/s} \quad (۳)$$

چنانچه برای انتقال مواد فاز رقیق در نظر گرفته شود، می توان نسبت جرمی را بین ۰ تا ۱۵ اختیار نمود. این بدان معناست که هر چه عدد به سمت ۱۵ نزدیک تر شود ظرفیت کاری دستگاه افزایش می یابد لیکن گرفتگی

که در این معادله،  $p_f$  توان موردنیاز برای غلبه بر اصطکاک (kw)،  $\beta$  میانگین قوس پوسته بادزن (rad)،  $\mu$  ضریب اصطکاک،  $m_f$  شدت جریان تغذیه (kg/s) و  $v_{pc}$  سرعت محیطی پروانه (m/s) است.

با در اختیار داشتن متغیرهایی چون ابعاد بادزن، ضریب اصطکاک برگ‌ها، شدت جریان محصول و سرعت محیطی تیغه‌ها مقدار توان موردنیاز برای شتاب دادن به برگ، قابل محاسبه است.

$$P_{accel} = \frac{m_f}{2000} \times v_p^2 \quad (10)$$

که در این معادله،  $P_{accel}$  توان لازم برای شتاب دادن برگ (kW) و  $v_p$  سرعت محیطی پروانه بادزن (m/s) است.

$$P_{air} = \frac{v^3 p}{16600} \quad (11)$$

که در این معادله،  $P_{air}$  توان لازم برای جریان هوا (kW) است.

#### اندازه‌گیری سرعت‌حد

برای اندازه‌گیری سرعت‌حد، از سازوکار تونل باد قائم استفاده شده است. شکل ۴ ساز و کار تونل باد قائم را نشان می‌دهد. پس از اندازه‌گیری، حداقل و حداکثر سرعت حد برگ درختان چنار به ترتیب ۲/۱ و ۴/۸ متر بر ثانیه و حداقل و حداکثر سرعت حد برگ درختان توت به ترتیب ۲/۱ و ۴/۳ متر بر ثانیه به دست آمد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری سرعت حد بر اساس محدوده سرعت دورانی بادزن ۱۸۰۰ و ۲۸۰۰ دور بر دقیقه حاصل شده است. بر اساس اندازه‌گیری سرعت حد، حداقل و حداکثر میزان دور موردنیاز بادزن برای جمع‌آوری برگ، به ترتیب ۱۸۰۰ و ۲۸۰۰ دور در دقیقه است و چون حداکثر میزان سرعت دورانی محور تواندهی تراکتور ۱۰۰۰ دور در دقیقه است، این مقدار دور می‌بایست حداقل دو برابر افزایش یابد. در این پژوهش به دلیل سادگی مکانیسم، صرفه اقتصادی و تعمیر و نگهداری آسان از مکانیسم تسمه و پولی استفاده شده است. پولی‌ها V شکل بوده و از جنس آلومینیوم هستند.

سر دیگر یک پولی دوشیاره از نوع B با قطر ۲۵۰ میلی‌متر وصل شده است. با توجه به اینکه سرعت خروجی از محور تواندهی تراکتور ۱۰۰۰ دور در دقیقه است، برای تأمین سرعت دورانی بادزن و بازده عملکردی دستگاه می‌بایست این دور حداقل به دو برابر افزایش یابد که به همین دلیل قطر پولی نصب‌شده روی محور بادزن ۱۰۰ میلی‌متر انتخاب شده و از این‌رو می‌توان روی محور بادزن، در حدود ۲۵۰۰ دور در دقیقه را دریافت نمود.



شکل ۳- سیستم انتقال قدرت با مکانیسم تسمه و پولی

#### طراحی محفظه مکش

در طراحی محفظه مکش یک دستگاه برگ‌جمع‌کن می‌بایست پارامترهایی چون ابعاد کلی دستگاه، ظرفیت کلی ماشین، بده بادزن بر اساس مترمکعب بر ساعت، درصد رطوبت برگ، ارتفاع شاسی دستگاه از زمین و زاویه دهانه ورودی محفظه مکش را در نظر گرفت که تعیین ابعاد محفظه بر اساس معادله (۸) امکان‌پذیر می‌باشد.

$$A = \frac{pD^2}{4} \quad (8)$$

که در این معادله  $\pi$ ، عدد ثابت (۳/۱۴) و  $D$ ، قطر لوله مکش (cm) است.

#### تعیین توان موردنیاز برای راه‌اندازی بادزن

محاسبه توان لازم برای خردکردن و انتقال برگ به ترتیب از طریق معادلات (۹) تا (۱۱) امکان‌پذیر است که به ترتیب توان موردنیاز برای غلبه بر اصطکاک برگ، توان لازم برای شتاب دادن برگ و توان لازم برای جریان هوا هستند.

$$P_f = \frac{bmm_f v_{pc}^2}{1000} \quad (9)$$

پره‌های بادزن بادن بر خورد نموده و توسط حرکت پرتابی به داخل مخزن دستگاه هدایت می‌شوند. واحد خردکن از یک بادزن با پره‌های شعاعی بهره می‌برد که در داخل پوسته‌ی آن یک تیغه ثابت تعبیه شده است. پره‌های شعاعی که به پره‌های انتقال مواد نیز معروفند علاوه بر ایجاد مکش، برگ‌ها را منتقل می‌نمایند که به دلیل قرارگیری تیغه ثابت با فاصله‌ی ۲۰ میلی‌متری از تیغه‌ها و با برخورد با آن‌ها خرد شده و به داخل مخزن هدایت می‌شوند. در این روش به دلیل خردشدگی برگ‌ها، حجم کمتری از مخزن اشباع شده و فرآیند تولید خاک برگ کاهش می‌یابد همچنین تعداد دفعات تخلیه‌ی مخزن برگ نیز به حداقل ممکن کاهش می‌یابد. شکل ۶ نمونه پروانه بادزن مورد استفاده در دستگاه برگ جمع کن را نشان می‌دهد.



شکل ۶- نمونه پروانه بادزن با پره‌های شعاعی

در روش دیگر، از یک لوله مکشی برای جمع‌آوری برگ استفاده می‌شود. لوله مکشی برای جمع‌آوری برگ‌های ریخته‌شده در پای درختان، مسیرهای مخصوص تردد عابران پیاده و جوی‌های آب کاربرد دارد. به هنگام استفاده از لوله مکش یک کارگر با در دست داشتن لوله، آن را به سمت برگ‌های ریخته‌شده در زمین هدایت نموده و برگ‌ها پس از برخورد با پره‌های بادزن به داخل مخزن دستگاه هدایت می‌شوند.

برای ارزیابی دستگاه از لوله‌ی مکش به قطر ۸ اینچ (۲۰۳ میلی‌متر) و طول ۳۰۰۰ میلی‌متر و محفظه مکش به طول و عرض به ترتیب ۶۰۰ و ۱۰۰ میلی‌متر استفاده شده است.



شکل ۴- ساز و کار اندازه‌گیری سرعت حد (تونل باد)

#### نمونه دستگاه ساخته شده

بر اساس محاسبات طراحی نمونه‌ای از دستگاه ساخته شده است. شکل ۵ نمونه ساخته شده دستگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نمونه دستگاه ساخته شده

#### ب) آزمون عملکرد دستگاه برگ جمع کن

پس از ساخت دستگاه نیاز به ارزیابی کارایی آن است. پس از راه‌اندازی محور تواندهی تراکتور، سرعت دورانی به واسطه تسمه و پولی با اقطار مختلف از ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به ۲۵۰۰ دور بر دقیقه افزایش می‌یابد. روش اول استفاده از دستگاه بکارگیری محفظه مکش است که در مسیرهای مستقیم مانند خیابان‌ها، محوطه دانشگاه‌ها، بیمارستان‌ها و سایر محوطه‌ها کاربرد دارد به طوری که محفظه در زیر شاسی تراکتور و با فاصله ۱۰۰ میلی‌متر از سطح زمین تعبیه شده است و برگ‌ها پس از جمع‌آوری توسط محفظه مکش از طریق لوله‌های انتقال‌دهنده با

### ارزیابی دستگاه

میلی‌متر انتخاب شده است. طراحی مخزن برگ بر اساس مقدار برگ جمع‌آوری شده توسط دستگاه در یک روز، انجام شده به طوری که پس از اتمام کار دستگاه در یک روز کاری (۸ ساعت)، مخزن برگ فقط یک‌بار تخلیه گردد. این امر باعث می‌شود در صورتیکه مکان جمع‌آوری برگ با مکان تخلیه فاصله زیادی داشته باشد مشکلی ایجاد نکند چراکه در صورت کوچک‌بودن مخزن دستگاه می‌بایست مخزن هرچند ساعت یک‌بار تخلیه شود که موجب اتلاف زمان می‌شود. پس از اندازه‌گیری چگالی برگ، مخزن دستگاه با قابلیت گنجایش ۵۰۰ کیلوگرم (جدول ۲)، طراحی شده است.

### طراحی محفظه مکش

نتیجه‌گیری نهایی در رابطه با ساخت محفظه مکش با در نظر گرفتن ۶ متغیر و بر اساس مشخصات و منحنی عملکردی بادزن به انجام رسیده است. برای ساخت محفظه مکش علاوه بر متغیرهای یادشده به نیاز به تعیین متغیرهای دیگری چون سرعت دورانی بادزن، قطر دهانه‌ی ورودی و خروجی بادزن و نیز مساحت قطر لوله مکش است. تعیین مساحت قطر لوله مکش به ترتیب با استفاده از معادلات (۱۲) و (۱۳) امکان‌پذیر است.

$$(12) \quad 3/14 \times 20/3^2 = 323/4 \text{ cm}^2 = \text{مساحت لوله مکش}$$

$$(13) \quad \frac{323/4}{60} = 5/39 \text{ cm} = \text{تعیین عرض محفظه مکش}$$

با توجه به ابعاد نشیمنگاه بادزن  $60 \times 60$  سانتی‌متر، طول محفظه ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است و با تقسیم مساحت لوله مکش به طول محفظه، عرض آن  $5/39$  سانتی‌متر حاصل می‌شود که به دلیل محدودیت در ابعاد برگ‌ها، عرض محفظه ۱۰ سانتی‌متر تعیین شده است همچنین ارتفاع محفظه مکش بر اساس آزمایشات عملی تعیین خواهد شد.

### محاسبه توان مصرفی بادزن

توان مصرفی بادزن از معادله (۱۴) به دست می‌آید.

$$(14) \quad p_4 = C_p r w^3 d^5$$

که در این معادله،  $C_p$ ، بازده توان که برابر است با  $0/16$ ،  $p$ ، چگالی هوا که برابر است با  $1/2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ ،  $\omega$ ، سرعت دورانی بادزن ( $\text{rad/s}$ ) و  $d$  لایه‌ای از فشار هوا (m) است.

$$(15) \quad w = \frac{2800}{60} = \frac{n}{60} = 46.66 \text{ (rad/s)}$$

در این مطالعه اثر سرعت پیشروی (متغیر مستقل) بر روی عملکرد واحد مکش (متغیر وابسته) مورد بررسی قرار گرفته به طوری که اثر سرعت پیشروی ماشین در سه سطح  $4/5$ ،  $6$  و  $9$  کیلومتر بر ساعت با دو متغیر محفظه مکش و لوله مکش بررسی شده است. ارزیابی توسط آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) و در سه تکرار انجام شده است.

### جدول ۲- تعیین حجم مخزن بر اساس چگالی

وزن برگ داخل جعبه آزمایش	حجم جعبه آزمایش
۱۱/۵ کیلوگرم	۰/۰۳۶ مترمکعب
۵۰۰ کیلوگرم گنجایش مخزن	۱/۵ مترمکعب (حجم مخزن)
دستگاه	

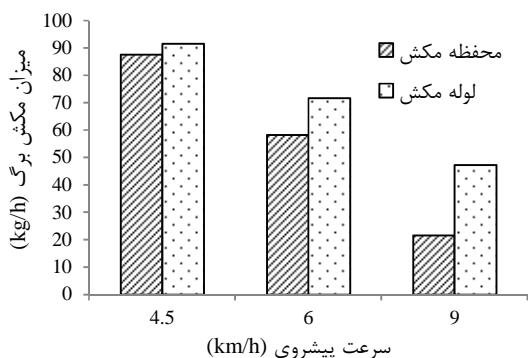
### نتایج و بحث

پس از تحلیل استاتیکی شاسی، نیروهای وارد بر آن به ترتیب  $500$ ،  $700$  و  $200$  نیوتون بوده است که به ترتیب روی نشیمنگاه مخزن، نشیمنگاه بادزن و محل قرارگیری سیستم انتقال قدرت اعمال شده است. پس از مشاهدات نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار، حداکثر تنش استاتیکی، جابه‌جایی و تغییر طول به ترتیب  $531/578 \text{ (n/m}^2\text{)}$ ،  $1/18 \times 10^{-3} \text{ (mm)}$  و  $2/16 \times 10^{-3}$  به دست آمد. پس از مشاهده نتایج حاصل از تحلیل، جنس پروفیل از فولاد S235j2G3 با چگالی، نسبت پواسون و مدول یانگ به ترتیب  $7870$ ،  $0/29$  و  $120 \text{ (Gpa)}$  و با ابعاد  $40 \times 80$  میلی‌متر انتخاب شده است.

به‌طور کلی می‌توان گفت که اجزای ماشین قابلیت تحمل بار وارده را داشته و هیچ‌کدام بعد از بارگذاری وارد محدوده پلاستیک و گسیختگی نخواهند شد. ضریب اطمینان قطعات با تقسیم بیش‌ترین تنش قطعه به تنش نهایی ماده مورد استفاده به دست آمده است. میانگین ضریب اطمینان شاسی نیز  $18/6$  به دست آمد.

### طراحی مخزن

نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی مخزن به ترتیب برابر است با  $71535/36 \text{ (n/m}^2\text{)}$  و  $2/842 \times 10^{-3} \text{ (mm)}$  و  $10^{-4}$  پس از مشاهده نتایج، جنس پروفیل استفاده شده در شاسی مخزن از فولاد S235j2G3 و با ابعاد  $40 \times 40$



شکل ۷- اثر سرعت پیشروی بر میزان مکش برگ

جوی‌های آب و پای درختان جمع‌آوری نماید در حالی که محفظه مکش فقط مسیرهای مستقیم و با عرض کار ۶۰ سانتی‌متر را جمع‌آوری می‌نماید. همچنین با بررسی مقدار برگ‌های جمع‌آوری شده در داخل مخزن ماشین، نسبت برگ‌های خردشده به برگ‌های خردنشده به‌منظور عملکرد بادزن مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۸). نتایج حاصل نشان می‌دهد که هرچه اندازه برگ‌های جمع‌آوری شده کوچک‌تر باشند مانند برگ درختان زبان گنجشک، مقدار خردشدگی حداقل و هرچه ابعاد برگ‌ها بزرگ‌تر باشند مانند برگ درختان چنار و توت میزان خرد شدگی توسط واحد بادزن حداکثر خواهد بود، که از عمده‌ترین دلایل آن می‌توان به سطح مقطع برگ‌ها اشاره نمود یعنی هر چه سطح مقطع برگ بیشتر باشد، به‌دلیل برخورد با پره‌های بادزن خرد شدگی بیشتر و هرچه سطح مقطع برگ کمتر باشد، برخورد با پره‌های بادزن کمتر و در نتیجه خردشدگی کمتر خواهد بود. همچنین پس از بررسی‌های انجام شده مشخص شد که با افزایش رطوبت برگ‌ها میزان خرد شدگی برگ کاهش می‌یابد که مهم‌ترین دلیل آن تغییر حالت برگ در داخل بادزن به هنگام برخورد با پره‌های بادزن است. از طرفی می‌توان دریافت که با افزایش درصد رطوبت برگ‌ها از میزان تردی برگ کاسته شده و خردشدگی کاهش می‌یابد.

نتایج آماری حاصل از آزمون ماشین نشان می‌دهد که لوله مکش، مقدار برگ بیشتری را جمع‌آوری می‌کند که دلیل آن، مانورپذیری و قابلیت جابه‌جایی لوله مکش بوده که می‌تواند برگ‌ها را از سطوح مختلف اعم از پیاده‌روها و کنار جداول جمع‌آوری کند.

در معادله فوق  $\Pi$  سرعت دورانی بادزن بر اساس دور در دقیقه است.

$$(w)=0/16 \times 1/2 \times 101586/080 \times 0/01024 = 199/72 \approx 200 \text{ W}$$

در نتیجه توان مصرفی بادزن حدود ۲۰۰ وات به دست می‌آید.

### نتایج مربوط به ارزیابی دستگاه

آزمون عملکرد ماشین در سه سطح پیشروی ۴/۵، ۶ و ۹ کیلومتر بر ساعت و با دو متغیر محفظه مکش و لوله مکش در سه تکرار انجام شده است. تحلیل آماری نتایج توسط آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) صورت پذیرفت. در جدول ۳، مقادیر میانگین و انحراف استاندارد (SD) دیده می‌شود.

جدول ۳- تحلیل واریانس مقایسه سطح محفظه مکش و لوله

مکش در سه سطح ۴/۵ و ۶ و ۹			
متغیر	گروه	Mean±SD	سطح معنی‌داری
محفظه مکش	۴/۵	72.03±0.92	0.000
	۶	47±1.57	
	۹	22.3±1.85	
لوله مکش	۴/۵	92.5±0.89	0.000
	۶	87.47±1.35	
	۹	58.6±2.42	

با توجه به نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس میانگین متغیر محفظه مکش و لوله مکش در سه گروه با سرعت‌های ۴/۵، ۶ و ۹ کیلومتر بر ساعت یکسان نبوده و در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. همچنین آزمون شفه نشان داده است میانگین تمامی دودویی گروه‌ها در دو متغیر محفظه مکش و لوله مکش با هم یکسان نبوده و از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد دارند ( $P < 0.05$ ). نتایج نشان می‌شود در سرعت‌های یکسان، کارایی لوله مکش بیشتر از محفظه مکش است در نتیجه می‌توان دریافت که با افزایش سرعت پیشروی دستگاه مقدار کمتری برگ از سطح زمین جمع‌آوری می‌شود به طوری که افزایش سرعت پیشروی دستگاه از ۴/۵ به ۹ کیلومتر بر ساعت باعث افت ۴۹/۸ درصدی توسط لوله مکش و افت ۳۴/۶ درصدی توسط محفظه مکش خواهد شد. نمودارهای شکل ۷ اثر سرعت پیشروی بر روی مقدار برگ جمع‌آوری شده توسط محفظه مکش و لوله مکش را نشان می‌دهد.



4. Batchelder, R. A., & Batchelder, J. S. (2012). *Blower and rotary rake for debris herding*. Google Patents.
5. Burchfield, BL., Crisp, R. S., Fickas, E. J., Kolada, P. P., Lorenz, M. A., & Meves, D.C. (2014). *Biodegradable lawn waste collection system*. Google Patents.
6. Dunning, C. E., & Saathoff, R. B. (2008). *Collector and separator apparatus for lawn and garden*. Google Patents.
7. Ghaffari, A., Abdollah Pour, S. H., & Ahmadi Moghaddam, P. (2016). Design, Construction and Evaluation of Leaf Collector, *University of Tabriz*, 70-72 (In Persian).
8. Hammad, A. A. (2011). *Leaf gathering apparatus*. Google Patents.
9. Izadpanahi, H. (1995). *Tow leaf collector*. Iran Scientific and Industrial Research Organization.
10. Kiapey, A., & Jafari, A. (2007). *Design and development of leaf collectors behind tractors*. University of Tehran.
11. Martin, J. L. (2002). *Lawn sweeper and bagger*. Google Patents.
12. Mueller, B. (2012). *Rolling leaf removal device*. Google Patents.
13. Mc Guffey R W. (2014). *Device for Collecting Debris*. Google Patents.
14. Rajan, S. N., & Khan, M. Y. (1978). *Effect of sodium hydroxide or lime-treated wheat straw on the digestibility of nutrients*. *Indian Journal of Animal Science*. 48, 9-14.
15. Shirneshan, A. (2012). *Design of Vacuum Section of a Leaf Collector Machine*. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*. 10(3), 225-228.
16. Yardley, M. W., Yardley, K. S., & Yardley, M. A. (2006). *Leaf collector*. Google Patents.



شکل ۸ - نسبت برگ‌های خردشده به برگ‌های خردنشده

### نتیجه‌گیری

جمع‌آوری برگ توسط دستگاه برگ‌جمع‌کن امکان خردشدگی و کاهش فرآیند تولید کمپوست به دلیل طراحی خاص پره‌های بادزن را امکان‌پذیر می‌کند. از این رو فراهم نمودن بستر ساخت و انبوه‌سازی دستگاه می‌تواند عملیات مکانیزاسیون خدمات شهری در جمع‌آوری برگ را بهبود بخشد که پیشنهاد می‌شود دستگاه ساخته شده در سازمان‌های مدیریت پسماند، پارک‌ها و فضای سبز کشور به کار گرفته شود. نتایج حاصل از ارزیابی دستگاه ساخته شده برگ‌جمع‌کن نشان می‌دهد که افزایش سرعت پیشروی دستگاه از ۴/۵ به ۹ کیلومتر بر ساعت باعث کاهش معنی‌دار جمع‌آوری برگ توسط واحد مکش می‌شود. نتایج نشان می‌دهد با توجه به توان و ابعاد تراکتور باغی، مناسب‌ترین سرعت پیشروی ۴/۵ کیلومتر بر ساعت است. همچنین از ارزیابی دستگاه در شرایط واقعی می‌توان دریافت که هرچه ابعاد برگ‌های جمع‌آوری شده بزرگ‌تر باشد به دلیل برخورد کامل برگ با پره‌های بادزن خردشدگی بیشتر خواهد بود و هرچه ابعاد برگ کوچک‌تر باشد، خردشدگی کمتر خواهد بود. با افزایش میزان رطوبت برگ‌ها، به دلیل عدم تردی برگ، خردشدگی کاهش می‌یابد.

### منابع

1. Azadbakht, M., Kiapey, A., & Jafari, A. (2014). Design and fabrication of a tractor powered leaves collector machine equipped with suction-blower system. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(3), 77-86. (In Persian).
2. Bell, B., & Cousins, S. (1991). *Machinery for horticulture*. Farming Press Books.
3. Bedard M., & Dubois A. (2008). *Mobile vacuum sweeper*. Google Patents.

