

## تعیین مقاومت برشی، مقاومت کششی، انرژی برش و کندن گلبرگ و کاسبرگ گل محمدی

نگین سهرابی\*، حکمت ربانی<sup>۱</sup>، رشید غلامی<sup>۳</sup>

\* نویسنده مسؤول: دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه (snegin.sohrabi@gmail.com)

۲ و ۳- به ترتیب استادیار و کارشناس ارشد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۰۷

### چکیده

آگاهی از خواص و رفتار مکانیکی گل‌ها یکی از فاکتورهای مهم در طراحی دستگاه‌های برداشت و پس از برداشت می‌باشد. در این تحقیق از طرح کاملاً تصادفی با آزمایش فاکتوریل برای بررسی تأثیر سرعت برش، قطر گل، حالت تیغه و زاویه برش بر روی مدول الاستیسیته، مقاومت برشی و انرژی برشی در واحد سطح ساقه و نیز تأثیر سرعت کندن و قطر گل (به عنوان فاکتوری از میزان بازشدگی گل) بر مقدار مقاومت کششی و انرژی مصرفی برای کندن گلبرگ و کاسبرگ گل محمدی استفاده شد. با افزایش زاویه برش از صفر به ۲۵ و ۴۵ درجه مشاهده گردید که مقدار مقاومت برشی کاهش یافت؛ اما این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. مقدار انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه و مدول الاستیسیته با افزایش زاویه برش کاهش پیدا کرد که این کاهش در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. با افزایش سرعت برش مقدار مقاومت برشی و مدول الاستیسیته کاهش یافت که این کاهش برای تغییر سرعت از ۱۵۰ به ۲۵۰ میلی‌متر بر دقیقه معنی‌دار نبود و برای ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. با افزایش سرعت برش انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه کاهش یافت. با افزایش قطر گل، مقادیر صفات مورد بررسی کاهش پیدا کرد. سرعت کندن و قطر گل بر روی مقادیر مقاومت کششی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه برای هر دو حالت کندن گل‌های محمدی از قسمت‌های گلبرگ و کاسبرگ معنی‌دار نبود.

کلید واژه‌ها: گل محمدی، خواص مکانیکی، انرژی برش، مقاومت برشی، انرژی کندن.

### مقدمه

آن می‌باشد که با وجود جذابیت و زیبایی منحصر به فرد آنها از قدیم الایام مصرف خوراکی داشته و در قرن چهارم هجری توسط ابوعلی سینا دانشمند معروف ایرانی از آنها گلاب استخراج شد و مورد استفاده قرار گرفت؛ همچنین گلبرگ‌های آن حاوی اسانس قابل استخراج است (طبایی عقدایی و رضایی، ۱۳۸۳). این اسانس ماده اصلی صنایع عطر سازی و آرایشی است و از نظر پزشکی این اسانس دارای خاصیت تقویت اعصاب است که برای درمان افسردگی و اضطراب به کار می‌رود. عصاره محلول در است. اسانس، گلاب و گل خشک از

گل محمدی از جنس *Rosa*، خانواده *Rosaceae* از مهم‌ترین رزهای دنیای قدیم و از مشهورترین گیاهان در تاریخ باغبانی است که به علت رایحه فوق العاده و تنوع ارقام در بسیاری از نقاط دنیا کشت شده است. این گیاه به عنوان یک گونه و با نام علمی *Rosa damascena Mill.* شناخته می‌شود (زینالی و همکاران، ۱۳۸۶). از نظر اقتصادی گل محمدی مهم‌ترین گیاه دارویی و معطر ایران است (عصاره و همکاران، ۱۳۸۵). بخش ارزشمند و قابل مصرف این گیاه، گل‌های

۲- تطبیق و استفاده از شیوه‌هایی که اساساً برای مواد غیر زنده توسعه یافته، به منظور توصیف رفتار مواد کشاورزی.

در زمینه طراحی و ساخت ماشین‌های مخصوص برداشت مکانیکی محصولات تحقیقاتی انجام شده است، که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

برای بررسی ویژگی‌های برشی و خمشی شاخه گل رز و درخت بادام آزمایش‌هایی ترتیب داده شد. این آزمایش‌ها در دو سطح رطوبتی برای گل رز و در دو سطح رطوبتی برای بادام انجام گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت برش مقدار تنش برشی برای گل رز مرطوب افزایش اما برای گل رز خشک کاهش می‌یابد؛ برای شاخه بادام نیز همین نتیجه گزارش شد. با افزایش سرعت و رطوبت مقدار تنش خمشی گل رز کاهش؛ ولی برای شاخه بادام با افزایش سرعت مقدار تنش خمشی در بادام مرطوب افزایش و در بادام خشک کاهش می‌یابد. میزان انرژی ویژه برشی در شاخه رز مرطوب و خشک با افزایش سرعت برش کاهش می‌یابد؛ ولی برای بادام با افزایش رطوبت، میزان انرژی ویژه برشی کاهش پیدا می‌کند و اثر تغییر سرعت بی‌معنی است. با افزایش سرعت میزان انرژی خمشی برای گل رز افزایش می‌یابد؛ همچنین برای بادام مرطوب نیز افزایش پیدا می‌کند؛ اما برای شاخه بادام خشک کاهش می‌یابد. مدول الاستیسیته برای هر دو محصول با افزایش قطر شاخه کاهش می‌یابد (حیسی‌گودرزی و همکاران، ۱۳۸۹). برای تعیین نیروی برشی بذریونجه یکساله آزمایش‌هایی انجام گرفت. نتایج نشان دادند که افزایش رطوبت در اکثر موارد باعث افزایش نیروی برشی می‌شود. مقدار نیروی برش با جهت برش رابطه معنی‌داری دارد و مقدار آن در جهت عمود بر محور پیچش غلاف نسبت به جهت موازی کمتر است. افزایش سرعت برش موجب کاهش نیروی برشی می‌شود (آق‌خانی و مینایی، ۱۳۸۶). در تحقیقی دیگر با انجام آزمون برش دو تیغه‌ای، اثرات زاویه تیزی، زاویه مایل، سرعت

محصولاتی هستند آب و متانول آن دارای فعالیت‌های ضد ویروس HIV<sup>۱</sup> که علاوه بر مصرف داخل کشور به خارج از کشور هم صادر می‌گردد (عصاره و همکاران، ۱۳۸۵). در گلبرگ‌های گل محمدی ترکیب‌های فلاونوئیدی کامفرول و کوئرستین وجود دارد. این ترکیب‌ها رادیکال‌های آزاد بدن را که باعث سرطان و بیماری‌هایی از قبیل اترواسکلروز می‌شود، پاکسازی نموده و در پیشگیری از بیماری‌های قلبی و عروقی سودمند هستند (جایمند و همکاران، ۱۳۸۹). گلبرگ‌های گل محمدی دارای بالاترین کمیت و کیفیت اسانس (درصد بالای ژرانیول و سیترونلول) و کم‌ترین میزان ترکیبات مومی کاهنده اسانس می‌باشند. برای مقاصد اسانس‌گیری مشخص گردیده است که بهتر است گلبرگ از سایر اجزای گل شامل نهنج، کاسبرگ، مادگی و پرچم جدا گردد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶). رفتار مواد کشاورزی در برابر نیروهای خارجی (فشاری، کششی، برشی، پیچشی یا ترکیبی از آنها) خواص مکانیکی مواد نامیده می‌شود. هر کدام از این خواص خود تابعی از پارامترهای متعدد چون شرایط محیطی و شرایط داخلی ماده مانند بافت، ابعاد، شکل، درجه رسیدگی و ... است که بر پیچیدگی موضوع می‌افزاید. با توجه به تأثیر خواص فیزیکی- مکانیکی در طراحی، ساخت، کاربرد و عملکرد بهینه ماشین‌های کشاورزی، تحقیق بر روی خواص فیزیکی- مکانیکی محصولات کشاورزی به عنوان رویکردی جدی برای رشته ماشین‌های کشاورزی مطرح بوده و هست (آق‌خانی و مینایی، ۱۳۸۶). مطالعات در زمینه خواص مکانیکی و فیزیکی محصولات کشاورزی را می‌توان به موارد زیر طبقه‌بندی نمود:

۱- به کارگیری اصول اساسی علم مکانیک در رفتار مکانیکی مواد کشاورزی.

برش و نوع تیغه (لبه صاف و لبه مضرس) بر مقاومت برشی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه گل پیرتروم مطالعه گردید. همچنین تأثیر سرعت کندن گل، بر نیرو و انرژی مصرفی برای کندن گل پیرتروم مطالعه گردید. نتایج نشان داد که زوایای مایل و تیزی تیغه تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ بر مقاومت برشی و انرژی مصرفی در سطح ساقه دارند؛ ولی اثر متقابل آنها معنی‌دار نیست. با افزایش سرعت برش مقاومت برشی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه روند کاهشی نشان دادند. برای تیغه‌های مضرس مقدار هر دو صفت مقاومت برشی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه بیشتر از آن برای تیغه‌های صاف بود. آزمایش‌های تعیین نیروی کندن گل پیرتروم نشان دادند که با افزایش سرعت کندن گل، نیرو و انرژی مصرفی افزایش، ولی مقاومت کششی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه کاهش می‌یابد (خزایی و همکاران، ۱۳۸۱). در تحقیقی که برای یافتن نیرو و انرژی برشی ساقه ذرت انجام شد، نتایج نشان داد که در برش مستقیم با افزایش سرعت، مقاومت و انرژی برشی کاهش می‌یابد (پراساد و گوپتا، ۱۹۷۵). برای بررسی عوامل مؤثر بر نیرو و مقاومت برشی ساقه برنج تحقیقی انجام شد. در این تحقیق، برخی از مشخصه‌های فیزیکی ساقه برنج از جمله، درصد رطوبت، سطح مقطع عرضی و جرم واحد طول تعیین و تأثیر این عوامل بر روی نیروی برشی ساقه مورد بررسی قرار گرفت. به علاوه، نیروی برشی ساقه با طراحی و ساخت یک دستگاه برش با مکانیزم رفت و برگشتی اندازه‌گیری شد و تأثیر عوامل مختلف از جمله نوع رقم، سرعت برشی تیغه، زاویه لبه تیغه و نوع تیغه روی مقاومت برشی بررسی شد. نتایج نشان داد که تأثیر سطح مقطع عرضی و رطوبت ساقه بر نیروی برش در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. اثر متقابل نوع رقم و سطح مقطع عرضی در سطح ۱٪ و همچنین اثر متقابل نوع رقم و رطوبت در سطح ۵٪ معنی‌دار بودند. با افزایش سطح مقطع عرضی، نیروی

برش افزایش یافته و افزایش درصد رطوبت موجب کاهش نیروی برش می‌شود. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع رقم، سرعت برش تیغه و زاویه لبه تیغه در سطح ۱٪ به عنوان عوامل اصلی و همچنین اثر متقابل نوع رقم و سرعت برشی تیغه روی مقاومت برشی ساقه برنج معنی‌دار بودند (طباطبایی کلور و همکاران، ۱۳۸۳). در تحقیقی با عنوان طراحی و ساخت سیستم برش برای ماشین برداشت سورگوم شیرین به این نتیجه دست یافتند که با توجه به مشخصات ساقه‌های این گیاه، عمل برش بایستی با سرعت خطی ۲۵ تا ۳۰ متر بر ثانیه انجام پذیرد. همچنین نتایج حاکی از این بود که سطح برش ساقه با زاویه تیزی ۳۰ درجه نسبت به زاویه تیزی ۴۵ درجه، به مراتب صاف تر و بدون شکستگی الیاف و آوندها می‌باشد و نفوذ تیغه در زاویه ۳۰ درجه، بسیار بهتر انجام می‌پذیرد (قهرائی، ۱۳۸۰). در تحقیقی اثر میزان رطوبت بر روی تنش برشی و انرژی در واحد سطح ساقه آفتابگردان بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در قسمت پایین ساقه انرژی و تنش برشی از قسمت بالای ساقه بیشتر است (آینس و همکاران، ۲۰۰۵). در تحقیقی تنش خمشی، مدول الاستیسیته و تنش برشی برای ساقه سه رقم نخود پرکشت در ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. نیروهای خمشی به وسیله آزمایش تیر یک سرگیردار در سه سطح رطوبتی انجام شد. نتایج نشان داد که تنش خمشی با افزایش محتوای رطوبتی کاهش می‌یابد. مدول الاستیسیته در خمش با افزایش رطوبت و افزایش قطر ساقه کاهش می‌یابد. تنش برشی نیز در سه سطح رطوبتی در دو ناحیه مختلف از ساقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش برشی با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد (مصطفی‌وند و کامگار، ۱۳۸۹). در تحقیقی اثر سرعت بارگذاری و درجه رسیدگی روی خواص خمشی و فشاری ساقه ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که با افزایش سرعت بارگذاری، انرژی فشاری و مقاومت لهیدگی، هر دو

افزایش می‌یابند (چاتوپادای و پاندی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۸). تحقیقی دیگر برای بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی ساقه یونجه انجام گرفت. آزمایش‌ها در چهار سطح رطوبتی از ۱۰٪ تا ۸۰٪ و در سه قسمت مختلف از ساقه انجام گرفتند. نتایج نشان دادند مقدار تنش خمشی در پایین‌ترین سطح رطوبتی تقریباً سه برابر بیشتر از مقدار تنش خمشی در بالاترین سطح رطوبتی است. انرژی برشی در قسمت‌های پایین ساقه بیشتر از قسمت‌های بالا بوده است. نتایج همچنین نشان دادند که با افزایش رطوبت ساقه استحکام کششی، تنش خمشی، مدول یانگ و تنش پیچشی کاهش و مقاومت برشی و نیروی برش افزایش می‌یابند (نظری گله‌دار و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸). در تحقیقی که بر روی ویژگی‌های خمشی و برشی ساقه گندم واریته الوند انجام گرفت نتایج نشان داد که تنش برشی برای ساقه گندم در نتیجه کاهش رطوبت کاهش می‌یابد. نیروی برشی برای ساقه در نتیجه افزایش ارتفاع برش کاهش می‌یابد. با استفاده از تیغه لبه صاف نسبت به لبه مضرس تنش برشی کمتر است. نیز برای زاویه ۳۰ درجه نسبت به زوایای صفر و ۱۵ درجه تنش برشی کمتر است. تنش خمشی و مدول الاستیسیته با کاهش رطوبت و با افزایش ارتفاع برش افزایش یافته است (اسحاق‌بیگی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹). در تحقیق انجام شده برای بررسی خواص برشی و خمشی شاخه درختان آلبالو و گردو نتایج نشان داد که با افزایش سرعت برشی استحکام برشی و انرژی برشی ویژه برای هر دو شاخه در هر دو سطح رطوبتی مورد آزمایش به طور خطی کاهش یافته است. با توجه به نتایج به دست آمده در سطح رطوبتی بالاتر استحکام برشی و انرژی در واحد سطح برش نسبت به سطح رطوبتی پایین‌تر بیشتر می‌باشد. نتایج آنالیز واریانس و آزمون دانکن نشان داده‌اند که تغییر سرعت خمشی تاثیر معنی‌داری بر استحکام خمشی،

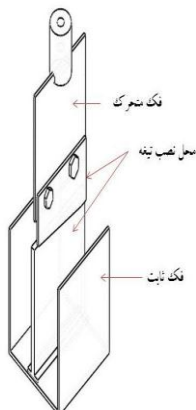
انرژی خمشی و مدول الاستیسیته در سطح احتمال ۵٪ ندارد. این در حالی است که قطر شاخه تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر مدول الاستیسیته دارد، به طوری که با افزایش قطر شاخه آلبالو و گردو در هر سطح رطوبتی مقدار مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد (نصیری و همکاران، ۱۳۸۹). در تحقیقی که برای اندازه‌گیری استاتیکی و دینامیکی نیروی برش ساقه‌های برنج سفید ایرانی انجام گرفت. نتایج نشان داد که نیروی برشی با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد. بیشینه و کمینه مقاومت برشی برای حالت استاتیکی بیشتر از حالت دینامیکی است. مقاومت برشی با افزایش سرعت برش کاهش می‌یابد. و نیز زاویه اریب تیغه و نوع تیغه تأثیر معنی‌داری بر روی استحکام برشی ساقه برنج ندارد (طباطبایی کلور و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶). تحقیقی برای تعیین تأثیر سرعت تیغه در انرژی و بازده برشی در برش ساقه سورگوم انجام گرفت. نتایج این تحقیق نشان دادند که انرژی برشی مورد نیاز همبستگی خطی منفی با نیروی برشی تیغه و رطوبت ساقه دارد و بازده برشی همبستگی خطی مثبت با این پارامترها دارد. بیشینه بازده برشی ۹۸٪ و ۹۷٪ به ترتیب در ازای سرعت تیغه ۵/۲ و ۷/۳ متر بر ثانیه بوده است (یلجپ و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۵). در تحقیقی بر اساس تجزیه و تحلیل مدل‌های رئولوژیکی به توسعه مدلی برای تبیین رابطه بین نیروی برش و سرعت برش در مواد الیافی پرداخته شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق توان برشی برای مواد الیافی مقداری ثابت بود و با تغییر سرعت برش تغییر معنی‌داری در این پارامتر بوجود نیامده است (دوگیالو<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵).

با وجود این که گل محمدی از نظر اقتصادی یکی از مهمترین گیاهان دارویی و معطر می‌باشد و کاشت و نگهداری گلستان‌های گل محمدی و استخراج گلاب و عطر از این گیاه قدمت هزار ساله دارد و در ایران در حال

- 1- Chattopadhyay and Pandey
- 2- NazariGaledar *et al.*
- 3- Esehaghbeygi *et al.*

- 4- Tabatabaee Kolor *et al.*
- 5- Yiljep *et al.*
- 6- Dowgiallo

استفاده شد. تیغه تیزبر با زاویه تیزی ۱/۷ درجه مورد استفاده قرار گرفت. مدول الاستیسیته و نیروی برشی اعمالی اندازه گیری و تغییرات نیرو- جابه جایی تا هنگام گسیختگی نمونه ها ثبت شد. برای اندازه گیری نیروی کندن فک گرفتن گلبرگ و در حالت دیگر کاسبرگ در سه سطح سرعت ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی متر بر دقیقه بارگذاری شدند (شکل های ۱ و ۲).



شکل ۱- آزمایش برش

مقاومت برشی ( $\tau_S$ ) و مقاومت کششی ( $\sigma_S$ ) نمونه ها با استفاده از روابط (۱ و ۲) محاسبه گردیدند (گری و تیموشینکو، ۱۹۹۷):

$$\tau_S = \frac{F_S}{2A} \quad (1)$$

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A} \quad (2)$$

که در آن  $\tau_S$  مقاومت برشی نمونه ها بر حسب مگاپاسکال،  $F_S$  نیروی برشی برای برش بر حسب نیوتن،  $\sigma_S$  مقاومت کششی نمونه ها بر حسب مگاپاسکال،

حاضر سطح زیر کشت آن بالغ بر ۴۰۰۰ هکتار می باشد (سلیمانپور و همکاران، ۱۳۸۴). اما تا بحال تحقیقی که به بررسی خواص برشی و خواص کندن این گیاه پرداخته باشد انجام نشده است. در این تحقیق به بررسی خواص برشی و کندن این گیاه پرداخته شده است. نتایج حاصل از این تحقیق، اطلاعات پایه و ورودی در طراحی ماشین برداشت گل محمدی خواهد بود.

## مواد و روش ها

در این تحقیق گل های محمدی در بهار ۱۳۹۰ از اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه تهیه گردید؛ سپس نمونه ها به آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی گروه مکانیک ماشین های کشاورزی منتقل شدند. برگ ها و غلاف ها قبل از انجام آزمایش ها و اندازه گیری ها جدا شدند. برای اندازه گیری قطر نمونه ها در محل برش از کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی متر استفاده شد. نمونه ها در سه قطر گل مختلف که به عنوان پارامتری نشان دهنده میزان رشد گل می باشد، دسته بندی شدند. ساقه نمونه های مربوط به آزمایش با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند، نمونه ها در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند، سپس وزن شده و محتوای رطوبتی آنها بر پایه وزن تر به دست آمد. هر آزمایش برش با ۸ تکرار و هر آزمایش کندن با ۵ تکرار انجام شد.

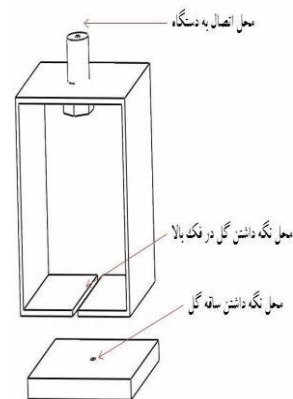
اندازه گیری ها با استفاده از دستگاه آزمون کشش- فشار<sup>۱</sup> با دقت اندازه گیری ۰/۰۰۱ نیوتن انجام گردید. فک برش و فک کندن (در دو حالت کندن گلبرگ به تنهایی و نیز کندن از ناحیه کاسبرگ گل) برای آن طراحی و ساخته شد. برای اعمال نیروی برشی صفحه لغزنده در سه سرعت ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی متر بر دقیقه بارگذاری شد. برای برش از دو حالت تک تیغه و دو تیغه با سه زاویه برش مختلف صفر، ۲۵ و ۴۵ درجه

شد. تحلیل‌ها با کمک نرم‌افزار سس<sup>۲</sup> نسخه ۹٫۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش دانکن<sup>۳</sup> صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### ۱- برش ساقه گل محمدی

درصد رطوبت ساقه‌ها بر پایه تر برابر با ۶۴/۵٪ بود. در جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از بررسی تأثیر حالت تیغه، قطر گل، زاویه برش و سرعت برش بر مدول الاستیسیته، مقاومت برشی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه ارائه شده است. نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که میانگین مدول الاستیسیته ۰/۰۱۹ گیگاپاسکال و بیشترین و کمترین مقدار آن نیز به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۰۳ گیگاپاسکال بود. میانگین مقاومت برشی ساقه‌ها ۱/۱۰ مگاپاسکال و بیشترین و کمترین آن به ترتیب ۳/۷ و ۰/۲ مگاپاسکال بدست آمد. میانگین انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه‌ها ۱/۵۵ میلی‌ژول بر میلی‌متر مربع و بیشترین و کمترین مقدار آن نیز به ترتیب ۶/۳۷ و ۰/۱۳ میلی‌ژول بر میلی‌متر مربع محاسبه شد. نتایج آزمون دانکن نشان می‌دهد که برای مقاومت برشی و مدول الاستیسیته تفاوت معنی‌دار بین سرعت برش ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه با ۲۵۰ میلی‌متر بر دقیقه وجود ندارد؛ ولی تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ بین این دو سرعت با سرعت ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه وجود دارد. همان‌طور که از جدول و نمودارهای مربوط به تأثیر سرعت مشاهده می‌شود، با تغییر سرعت برش از ۱۵۰ به ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه مقدار هر دو صفت مقاومت برشی و مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد و کاهش آن در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. برای انرژی برش در واحد سطح ساقه تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ بین سرعت برش ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه با ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه وجود دارد؛ ولی بین ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. کم‌ترین میزان انرژی مصرفی برای سرعت ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه



شکل ۲- آزمایش‌کنند

$F_m$  نیروی کشش بر حسب نیوتن و  $A$  مساحت سطح مقطع ساقه نمونه بر حسب میلی‌متر مربع می‌باشد. انرژی برشی ( $E_S$ ) و انرژی‌کنند ( $E_m$ ) از پارامترهای مهم میزان انرژی مصرفی در آزمایش‌های برش و کندن می‌باشند، که با انتگرال‌گیری از سطح زیر نمودار بدست می‌آید (چن و همکاران، ۲۰۰۴).

$$E_S = \int_0^{S_0} F \cdot dx \quad (۳)$$

$$E_m = \int_0^{S_0} F \cdot dx \quad (۴)$$

که در آن  $S_0$  جابجایی فک لغزنده بر حسب میلی‌متر تا محل گسیختگی ساقه می‌باشد. انرژی مصرفی از روابط (۵ و ۶) محاسبه گردیده است (چن و همکاران، ۲۰۰۴):

$$E_{Sc} = \frac{E_S}{2A} \quad (۵)$$

$$E_{mc} = \frac{E_m}{2A} \quad (۶)$$

برای آنالیز داده‌ها از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار فاکتور A (حالت تیغه)، B (زاویه برش)، C (سرعت برش) و D (قطر گل) استفاده

2- SAS

3- Duncan

1- Chen et al.

شدن در فاصله بین تیغه و ضد تیغه بریده می‌شود. در صورتی که با افزایش زاویه مایل، مؤلفه مماسی  $V_S$  با ایجاد سرش بر روی ساقه سبب برش ساده‌تر ساقه می‌شود. همان‌طور که از شکل ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت برش مقادیر صفات مورد بررسی کاهش می‌یابد. علت آنرا می‌توان این‌گونه شرح داد که در سرعت‌های پایین برش، ساقه ابتدا در مقابل تیغه فشرده شده بعد بریده می‌شود، در صورتی که در سرعت‌های بالا به دلیل خواص ویسکوالاستیک مقدار فشردگی ساقه کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر در سرعت‌های بالای برش، دیواره الاستیک سلول زمان کافی برای انتقال نیرو به مایع ویسکوز داخل سلول را ندارد و لذا سریع‌تر و با نیروی برش کمتری بریده می‌شود. با توجه به این که نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر متقابل سه فاکتور حالت تیغه، زاویه برش و قطر گل بر روی مقاومت برشی در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد، از این‌رو طبق نتایج آزمون دانکن کمترین مقدار مقاومت برشی مربوط به حالت دو تیغه با زاویه ۴۵ درجه و قطر گل ۶۰-۵۵ میلی‌متر است و بیشترین مقدار مربوط به حالت قطر گل ۷۰-۶۵ میلی‌متر، حالت یک تیغه و زاویه برش صفر درجه حاصل شد. همچنین اثر متقابل دو فاکتور قطر گل و سرعت برش بر مقدار مقاومت برشی در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد؛ از این‌رو طبق نتایج آزمون دانکن کمترین مقدار مقاومت برشی مربوط به قطر گل ۶۰-۵۵ میلی‌متر و سرعت برش ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه می‌باشد، و بیشترین مقدار مربوط به قطر گل ۷۰-۶۵ میلی‌متر و سرعت برش ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه است. با توجه به این که نتایج تجزیه واریانس نشان داده اثر متقابل چهار فاکتور حالت تیغه، زاویه برش، قطر گل و سرعت برش بر روی انرژی برش در واحد سطح ساقه، در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد؛ از این‌رو طبق نتایج آزمون دانکن کمترین مقدار انرژی برش در واحد سطح ساقه مربوط به حالت دو تیغه با زاویه ۴۵ درجه و قطر گل ۶۰-۵۵ میلی‌متر و سرعت ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و بیشترین مقدار آن مربوط به حالت تک تیغه با زاویه برش صفر درجه و قطر گل ۷۰-۶۵ میلی‌متر و سرعت برش ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه

حاصل شد (جدول ۲). برای هر سه صفت مورد بررسی تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ بین حالت تیغه، تک تیغه با دو تیغه وجود دارد و مقادیر صفات مورد بررسی برای حالت تک تیغه بیشتر از حالت دو تیغه می‌باشد (جدول ۳). برای مقاومت برشی بین زوایای صفر، ۲۵ و ۴۵ درجه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و برای انرژی برش در واحد سطح ساقه و مدول الاستیسیته بین زوایای صفر و ۲۵ درجه تفاوت معنی‌داری بین مقادیر این صفت مشاهده نشد؛ ولی بین مقادیر این دو زاویه با زاویه ۴۵ درجه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ وجود دارد (جدول ۴). برای مقاومت برشی و مدول الاستیسیته بین زمانی از فصل رشد که قطر گل‌ها در گستره ۶۰-۵۵ میلی‌متر با زمانی از فصل رشد که قطر گل‌ها در گستره ۶۵-۶۰ میلی‌متر است، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد؛ ولی بین این دو زمان با زمانی از فصل رشد که قطر گل‌ها در گستره ۷۰-۶۵ تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ مشاهده شد. همان‌طور که از شکل‌های ۳ و ۴ مشخص است، در تمامی موارد مشاهده می‌شود که مقدار میانگین مقاومت برشی برای حالت تک تیغه بیشتر از حالت دو تیغه است. در حالت تک تیغه، ضد تیغه صاف بوده و در نتیجه ساقه بین لبه تیز تیغه و لبه صاف ضد تیغه بریده می‌شود که در مقایسه با حالت دو تیغه که ضد تیغه نیز تیز بوده مقاومت برشی بیشتر می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش زاویه برش مقادیر مدول الاستیسیته، مقاومت برشی و انرژی مصرفی کاهش یافته است. هنگامی که زاویه برش صفر درجه است، لحظه تماس تیغه کل لبه‌ی تیغه با ساقه تماس برقرار می‌شود؛ در حالتی که زاویه برش بیش از صفر درجه است در لحظه برش تماس تیغه از یک نقطه شروع شده و با پیشروی تیغه برش انجام می‌گیرد. بنابراین برش با زاویه صفر درجه نیازمند نیروی بیشتری در مقایسه با برش با زاویه بیش از صفر درجه برای نفوذ می‌باشد زیرا بافتی از ساقه که در برابر نفوذ مقاومت می‌کند دارای حجم بیشتری می‌باشد که احتیاج به نیرو و کار بیشتری دارد؛ همچنین بردار سرعت  $V$  تیغه دارای دو مؤلفه عمودی  $V_n$  و مؤلفه مماسی  $V_s$  می‌باشد. در زاویه برش صفر،  $V_n = V$  و  $V_s = 0$  است. در این حالت ساقه با فشرده

نگین سهرابی و همکاران: تعیین مقاومت برشی ...

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس (میاتگین مربعات) برای صفات مورد مطالعه در برش ساقه‌های گل محمدی

تیمار	درجه آزادی	مقاومت برشی	انرژی برشی	مدول الاستیسیته
تکرار	۷	۰/۲۵۱۵	۰/۹۹۴۳	۰/۰۰۰۰۳
حالت تیغه	۱	۷۹/۵۶۷۵**	۱۳۱/۵۵۶۰**	۰/۰۰۲۶**
زاویه برش	۲	۰/۲۳۵۸	۴/۳۶۸۱**	۰/۰۰۱۶**
سرعت برش	۲	۰/۸۱۰۵**	۲/۹۸۳۳*	۰/۰۰۳۵**
قطر گل	۲	۱/۹۱۸۹**	۱۲/۰۹۳۰**	۰/۰۰۰۱
حالت تیغه X زاویه برش	۲	۱/۵۳۵۲**	۳/۸۵۰۳**	۰/۰۰۷۰**
حالت تیغه X سرعت برش	۲	۱/۰۶۷۵**	۶/۲۷۲۷**	۰/۰۰۰۱
زاویه برش X سرعت برش	۴	۰/۴۳۳۴**	۲/۳۹۹۶**	۰/۰۰۰۱
قطر گل X حالت تیغه	۲	۱/۰۱۱۰**	۳/۰۲۷۳*	۰/۰۰۰۸**
قطر گل X زاویه برش	۴	۱/۰۸۲۲**	۵/۸۱۲۳**	۰/۰۰۰۷**
قطر گل X سرعت برش	۴	۰/۱۵۴۳	۱/۳۴۱۰	۰/۰۰۰۲*
حالت تیغه X زاویه برش X سرعت برش	۴	۰/۱۷۱۱	۳/۳۹۲۲**	۰/۰۰۰۰۸
قطر گل X حالت تیغه X زاویه برش	۴	۰/۶۱۳۷**	۱/۷۸۳۶*	۰/۰۰۱۴**
قطر گل X زاویه برش X سرعت برش	۸	۰/۱۳۵۲	۱/۹۲۶۸**	۰/۰۰۰۱
قطر گل X حالت تیغه X سرعت برش	۴	۰/۱۲۳۹	۱/۱۹۲۷	۰/۰۰۰۱
قطر گل X حالت تیغه X زاویه برش X سرعت برش	۸	۰/۱۰۴۱	۱/۳۳۵۲*	۰/۰۰۰۱
خطا	۳۷۱	۰/۱۲۸۳	۰/۶۵۰۰	۰/۰۰۰۰۴

\* معنی دار در سطح ۵٪؛ \*\* معنی دار در سطح ۱٪

جدول ۲- آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه میاتگین اثرات سرعت برش بر مدول الاستیسیته، مقاومت برشی و انرژی مصرفی

مدول الاستیسیته	انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه (میلی ژول بر میلیمتر مربع)	مقاومت برشی (مگا پاسکال)	سرعت برش (میلیمتر بر دقیقه)
۰/۰۲۰۳ <sup>a</sup>	۱/۷۳۸۷ <sup>a</sup>	۱/۱۶۲۸ <sup>a</sup>	۱۵۰
۰/۰۲۰۲ <sup>a</sup>	۱/۵۴۱۳ <sup>b</sup>	۱/۰۹۸۲ <sup>a</sup>	۲۵۰
۰/۰۱۷۹ <sup>b</sup>	۱/۴۵۸۵ <sup>b</sup>	۱/۰۱۳۲ <sup>b</sup>	۳۵۰

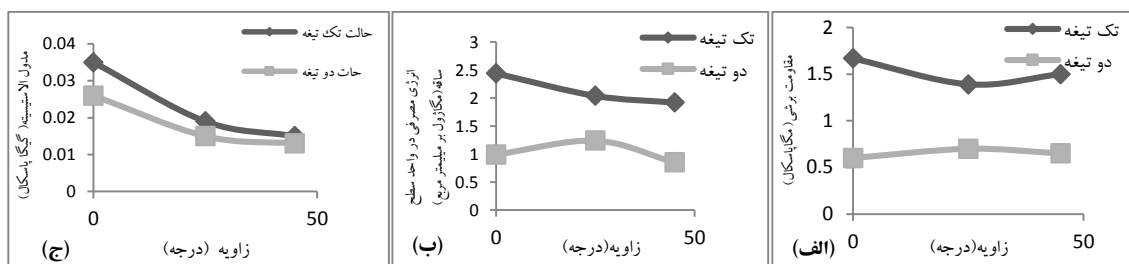
جدول ۳- آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه اثرات حالت تیغه بر مدول الاستیسیته، مقاومت برشی و انرژی مصرفی برای برش

مدول الاستیسیته	انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه (میلی ژول بر میلیمتر مربع)	مقاومت برشی (مگا پاسکال)	حالت تیغه
۰/۰۲۲۲ <sup>a</sup>	۲/۱۳۱۳ <sup>a</sup>	۱/۵۲۰۶ <sup>a</sup>	تک تیغه
۰/۰۱۶۹ <sup>b</sup>	۱/۰۲۷۷ <sup>b</sup>	۰/۶۶۲۲ <sup>b</sup>	دو تیغه

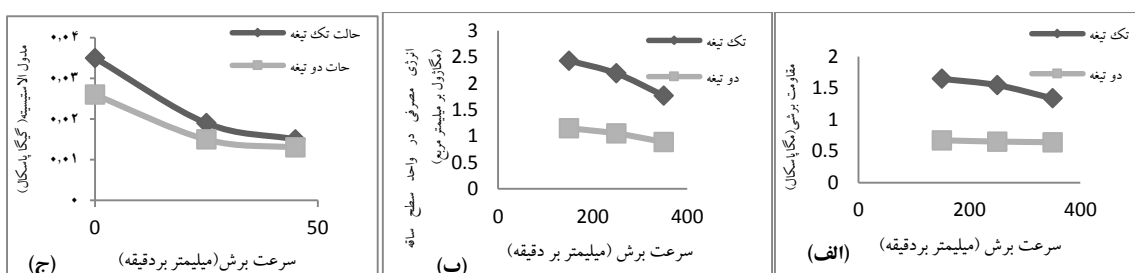


جدول ۴- آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه اثرات زاویه برش بر مدول الاستیسیته، مقاومت برشی و انرژی مصرفی برای برش

زاویه برش (درجه)	مقاومت برشی (مگا پاسکال)	انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه (میلی ژول بر میلیمتر مربع)	مدول الاستیسیته
صفر	۱/۱۳۷۰ <sup>a</sup>	۱/۷۱۵۴ <sup>a</sup>	۰/۰۲۲۰ <sup>a</sup>
۲۵	۱/۰۷۷۰ <sup>a</sup>	۱/۶۳۹۹ <sup>a</sup>	۰/۰۲۰۵ <sup>a</sup>
۴۵	۱/۰۶۰۰ <sup>a</sup>	۱/۳۸۳۲ <sup>b</sup>	۰/۰۱۶۰ <sup>b</sup>



شکل ۳. نمودار اثر زاویه برش الف- بر مقاومت برشی؛ ب- بر انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه ج- بر مدول الاستیسیته



شکل ۴- نمودار اثر سرعت برش الف- بر مقاومت برشی؛ ب- بر انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه ج- بر مدول الاستیسیته

## ۲- کندن گل محمدی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بررسی تأثیر سرعت کندن و قطر گل بر صفات مورد ارزیابی برای گل محمدی در کندن گلبرگ و کاسبرگ به ترتیب در جداول ۵ و ۶ آورده شده است. همان‌طور که در جداول نشان داده شده است، اثر هیچ کدام از تیمارها در هیچ سطحی بر روی صفات مورد بررسی معنی‌دار نبوده است. میانگین، بیشینه و کمینه انرژی مصرف شده برای کندن گل به ترتیب ۱۷/۹۲، ۵۱/۲۹ و ۵/۱۲ میلی‌ژول بر میلی‌متر مربع و میانگین، بیشینه و کمینه مقاومت کششی برای جدا کردن گل از ساقه آن به ترتیب ۷/۲۲، ۱۲/۵۲ و ۲/۷۸ مگاپاسکال می‌باشد. میانگین، بیشینه و کمینه انرژی مصرف شده برای جدا کردن گل از قسمت کاسبرگ از ساقه به ترتیب ۴۲/۱۹، ۹۲/۰۲ و ۲/۸۵ میلی‌ژول بر میلی‌متر مربع و میانگین، بیشینه و کمینه مقاومت کششی برای جدا کردن

به دست آمد. با توجه به این که نتایج تجزیه واریانس نشان داده است، اثر متقابل سه فاکتور حالت تیغه، زاویه برش، قطر گل بر مقدار مدول الاستیسیته در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد و از این رو طبق نتایج آزمون دانکن کمترین مقدار مدول الاستیسیته مربوط به حالت دو تیغه با زاویه ۴۵ درجه و قطر گل ۵۵-۶۰ میلی‌متر بوده و بیشترین مقدار مربوط به حالت تک تیغه و با زاویه صفر درجه و قطر گل ۶۵-۷۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین اثر متقابل دو فاکتور قطر گل و سرعت برش بر مقدار مدول الاستیسیته در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد؛ از این رو طبق نتایج آزمون دانکن کمترین مقدار مقاومت برشی مربوط به قطر گل ۵۵-۶۰ میلی‌متر و سرعت برش ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه می‌باشد، و بیشترین مقدار مربوط به قطر گل ۶۵-۷۰ میلی‌متر و سرعت برش ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه محاسبه می‌شود.

نگین سهرابی و همکاران: تعیین مقاومت برشی ...

**جدول ۵- خلاصه نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) داده‌های حاصل از بررسی تأثیر سرعت کندن و قطر گل بر صفات مورد مطالعه در آزمون کندن گل**

تیمار	درجه آزادی	مقاومت کششی	انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه
سرعت کندن	۲	۲/۱۵۳۶ <sup>NS</sup>	۱۳/۵۵۹۰ <sup>NS</sup>
قطر گل	۲	۲/۲۱۲۸ <sup>NS</sup>	۱۶۷/۳۱۱۹ <sup>NS</sup>
سرعت کندن × قطر گل	۴	۹/۲۷۷۰ <sup>NS</sup>	۳۲۴/۸۸۵۷ <sup>NS</sup>
خطا	۳۶	۴/۶۷۷۵ <sup>NS</sup>	۱۲۶/۴۷۳۵ <sup>NS</sup>

<sup>NS</sup> عدم معنی داری

**جدول ۶- خلاصه نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) داده‌های حاصل از بررسی تأثیر سرعت کندن و قطر گل بر صفات مورد مطالعه در آزمون کندن کاسبرگ**

تیمار	درجه آزادی	مقاومت کششی	انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه
سرعت کندن	۲	۳/۸۶۸۳ <sup>NS</sup>	۱۵۷/۸۲۴۰ <sup>NS</sup>
قطر گل	۲	۱/۶۴۶۸ <sup>NS</sup>	۳۴/۹۱۶۶ <sup>NS</sup>
سرعت کندن × قطر گل	۴	۸/۰۴۵۰ <sup>NS</sup>	۱۸۱/۴۷۸۱ <sup>NS</sup>
خطا	۳۶	۱۱/۱۶۷۴ <sup>NS</sup>	۱۱۴/۸۹۴۶ <sup>NS</sup>

<sup>NS</sup> عدم معنی دار

کاسبرگ از ساقه آن به ترتیب ۸/۵۷، ۱۷/۱ و ۱/۱۱ مگاپاسکال می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

محمدی از قسمت گل به ترتیب ۲/۷۸ تا ۱۲/۵۲ مگاپاسکال و ۵/۱۲ تا ۵۱/۲۹ میلی ژول بر میلی‌متر مربع بود. حدود تغییرات مقاومت کششی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه برای کندن گل‌های محمدی از قسمت کاسبرگ به ترتیب ۱/۱۱ تا ۱۷/۱ مگاپاسکال و ۲/۸۵ تا ۴۲/۹۲ میلی ژول بر میلی‌متر مربع بود. میانگین مقاومت کششی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه برای کندن گل‌های محمدی از قسمت گلبرگ به ترتیب ۷/۲۲ مگاپاسکال و ۱۷/۹۲ میلی ژول بر میلی‌متر مربع بود. میانگین مقاومت کششی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه برای کندن گل‌های محمدی از قسمت کاسبرگ به ترتیب ۸/۵۷ مگاپاسکال و ۱۹/۰۲ میلی ژول بر میلی‌متر مربع و تأثیر سرعت کندن و قطر گل بر این پارامترها بی‌معنی بود.

۵- پیشنهاد می‌شود با ساخت یک واحد برش و مجهز کردن آن به سیستم‌های اندازه‌گیری مقاومت برشی گیاه در حالت دینامیک و در محدوده سرعت‌های واقعی برش اندازه‌گیری شود.

- ۱- آزمایش‌ها نشان می‌دهد که حالت تیغه تأثیر معنی‌داری بر مقادیر مدول الاستیسیته، مقاومت برشی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه گل محمدی دارد. با تغییر حالت تیغه از یک تیغه به دو تیغه صفات مورد مطالعه کاهش می‌یابند.
- ۲- با افزایش زاویه مایل از صفر درجه به ۲۵ و ۴۵ درجه مقادیر هر سه صفت مورد مطالعه کاهش می‌یابند. البته این کاهش در مقدار مقاومت برشی از لحاظ آماری بی‌معنی بوده است؛ ولی برای مدول الاستیسیته، انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه بین زوایای صفر و ۴۵ و همچنین ۲۵ و ۴۵ در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است.
- ۳- با افزایش سرعت برش از ۱۵۰ به ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه اثر معنی‌داری روی مدول الاستیسیته، مقاومت برشی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه داشته است. با این افزایش سرعت مقادیر صفات مورد بررسی در مورد گل محمدی کاهش یافت.
- ۴- حدود تغییرات مقاومت کششی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه برای کندن گل‌های

## منابع

۱. احمدی، ک.، سفید کن، ف. و عصاره، م. ۱۳۸۶. مقایسه کمیت و کیفیت اسانس حاصل از گلبرگ و سایر اجزای گل (نهنج، کاسبرگ، مادگی و پرچم) در دو ژنوتیپ از گل محمدی *Rosa damascena*. مجله پژوهش و سازندگی (منابع طبیعی)، ۷۹: ۶۲-۷۱.
۲. آق خانی، م. و مینایی، س. ۱۳۸۶. تعیین نیروی برشی بذر یونجه یکساله. دانش کشاورزی، ۱۷ (۴): ۱۶۹-۱۷۷.
۳. جایمند، ک.، رضایی، م.، عصاره، م.، طبایی عقدایی، ر. و مشکلی زاده، س. ۱۳۸۹. ارزیابی میزان ترکیبات فلاونوئیدی گونه های گل محمدی *Rosa damascena mill*. فصلنامه گیاهان دارویی و معطر ایران، ۹ (۴): ۱۶۱-۱۶۸.
۴. حبیبی گودرزی، س.، رفیعی، ش.، نصیری، ا.، جعفری، ع. و رجیبی پور، ع. ۱۳۸۹. بررسی ویژگی های برشی و خمشی شاخه گل رز و بادام. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج).
۵. خزائی، ج.، ربانی، ح. و گلبابایی، ف. ۱۳۸۱. تعیین مقاومت برشی و نیروی کندن گل پیرتروم. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۳ (۳): ۴۳۳-۴۴۴.
۶. زینالی، ح.، طبایی عقدایی، ر.، عسگرزاده، م.، کیانی پور، ع. و ابطحی، م. ۱۳۸۶. مطالعه روابط بین عملکرد اجزاء عملکرد گل در ژنوتیپ های گل محمدی. فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۳ (۲): ۱۹۵-۲۰۳.
۷. سلیمان پور، الف.، نیکویی، ع. و باقری، الف. ۱۳۸۴. بررسی مسایل بازاریابی گل محمدی و فرآورده های آن (گلاب و اسانس): مطالعه موردی در شهرستان کاشان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۹ (۱): ۷۳-۸۸.
۸. طبایی عقدایی، ر. و رضایی، م. ۱۳۸۳. مطالعه تنوع عملکرد گل محمدی مناطق غرب کشور. فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۰ (۳): ۳۴۴-۳۳۳.
۹. طباطبایی کلور، ر.، برقی، ع.، علیمردانی، ر.، رجیبی پور، ع. و مبلی، ح. ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر بر نیرو و مقاومت برشی ساقه برنج. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، ۱۱ (۲): ۲۶۱-۲۷۷.
۱۰. عصاره، م.، قربانلی، م.، الهوردی ممقانی، ب.، قمری زارع، ع. و شهرزاد، ش. ۱۳۸۵. اثر محیط کشت و تنظیم کننده های رشد بر تکثیر درون شیشه ای گل محمدی. مجله پژوهش و سازندگی (زراعت و باغبانی)، ۷۲: ۴۵-۵۱.
۱۱. قهرائی، ا. ۱۳۸۰. طراحی و ساخت سیستم برش برای ماشین برداشت سورگوم شیرین. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۱۲. مصطفی وند، ح. و کامگار، س. ۱۳۸۹. خصوصیات خمشی و برشی ساقه سه رقم نخود پُر کشت در ایران. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج).

۱۳. نصیری، ا.، رفیعی، ش.، ابراهیمی، م.، مبلی، ح. و رجیبی پور، ع. ۱۳۸۹. خواص برشی و خمشی شاخه درخت آلبالو و گردو. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج).

14. Chattopadhyay, P.S., and Pandey, K.P.1998. Mechanical properties of sorghum Stalk in relation to quasi-static deformation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73:199-206
15. Chen, Y., Gratton, J.L., and Liu, J. 2004. Power requirements of hemp cutting and conditioning. *Biosystems Engineering*, 87(4): 417–424.
16. Dowgiallo, A. 2005. Cutting force of fibrous materials. *Journal of Food Engineering*, 66 (1): 57–61.
17. Eshaghbeygi, A., Hoseinzadeh, B., Khazaei, M., and Masoumi, A. 2009. Bending and shearing properties of wheat stem of Alvand variety. *World Applied Sciences Journal*, 16 (8): 2028-1032.
18. Gere, J.M., and Timoshenko, S.P. 1997. *Mechanics of Materials*, 4<sup>th</sup> Edition. Boston, PWS Publishing Company.
19. Ince, A., Uğrluay. S., Güzel, E., and Özcan, M. 2005. Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue. *Biosystems Engineering*, 92(2): 175-18.
20. Nazari Galedar, M., Jafari, A., Mohtasebi, S.S., Tabatabaeefar, A., Sharifi, A., O’Dogherty, M.J., Rafee, S., and Richard, G. 2008. Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems. *Biosystems Engineering*, 101(2): 199–208.
21. Persson, S. 1987. *Mechanics of cutting plant material*. Monograph No.7. (Translate by Tvakoli Hashtjin).
22. Prasad, J., and Gupta. C. P. 1975. Mechanical properties of maize stem as related to harvesting. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 20: 79-87.
23. Tabatabaee Kolor, R., and Borgheie, A. 2006. Measuring the Static and dynamic cutting force of stems for Iranian rice varieties. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 8: 193-198.
24. Yiljep, Y.D., and Mohammed, U.S. 2005. Effect of knife velocity on cutting energy and efficiency during impact cutting of sorghum stalk. *Agricultural Engineering International*, 7: 1-10. 2005.