

بررسی خواص مکانیکی سه نوع گردوی پر مصرف ایرانی تحت بارگذاری استاتیکی

میثم ستاری نجف آبادی**

* نگارنده مسئول، نشانی: تهران، مجتمع دانشگاهی یادگار امام، گروه مکانیک خودرو، تلفن: ۹۱۹۲۳۴۶۸۲۵، پیام نگار:

sattari.utm@gmail.com

** مدرس دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر ری

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۱۱

چکیده

ایران یکی از مهمترین کشورهای تولید کننده گردو در دنیاست و بررسی‌ها نشان می‌دهد یکی از مراکز پراکنش گردو به سایر نقاط دنیا بوده است. در ایران، برداشت و شکستن گردو هنوز به صورت دستی است که این امر باعث افزایش قیمت و اتلاف زمان می‌شود. بنابراین به منظور طراحی و توسعه دستگاه‌هایی جهت برداشت و توسعه ماشین گردو شکن، آشنایی با خواص مکانیکی گردو مورد نیاز خواهد بود. برای تعیین خواص مکانیکی، آزمون فشار توسط دستگاه آزمون جامع کشش- فشار با استفاده از دو فک تخت در تیمارهای مختلف روی انواع گردو اجرا شد. آزمایش‌ها برای سه رقم گردو، در دو سرعت بارگذاری ۳۰ و ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و در سه جهت بارگذاری عمودی (در جهت قطر بزرگ) و دو جهت دیگر به صورت افقی و افقی در راستای شیار در ده تکرار انجام شد. پارامترهای به دست آمده شامل نیرو، انرژی شکست و چگرمگی (انرژی شکست در واحد حجم) بودند. نتایج نشان می‌دهد که اثر رقم و اثر جهت بارگذاری برای کلیه شاخص‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار و اثر سرعت، به جز برای نیرو، برای بقیه شاخص‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. همچنین کلیه اثرهای متقابل، به جز اثر متقابل سرعت×جهت بارگذاری، برای شاخص نیرو در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار هستند. ولی اثر سه گانه سرعت×رقم×جهت بارگذاری برای هیچ یک از شاخص‌ها معنی‌دار نیست. با افزایش سرعت، نیروی مصرفی افزایش خواهد یافت و انرژی شکست و چگرمگی کاهش می‌یابند.

واژه‌های کلیدی

انرژی شکست، دستگاه آزمون جامع کشش- فشار، چگرمگی، گردو و نیروی شکست

مقدمه

ایران یکی از مهمترین کشورهای تولید کننده گردو در جهان است و مطالعات نشان می‌دهد یکی از مراکز پراکنش گردو به سایر نقاط دنیا نیز بوده است. در بین کشورهای تولید کننده گردو، ایران با ۱۴۲۰۰۰ تن تولید در سال ۲۰۰۰ میلادی، ۱۲/۰۱ درصد از تولید جهان را داشته است که در مکان سوم قرار می‌گیرد (Mansuri, 2000). در ایران برداشت و شکستن گردو هنوز به صورت دستی است که این امر اضافه بر آسیب‌هایی که

گردو به هر گونه درخت از جنس *Juglans* از خانواده Juglandaceae اطلاق می‌شود. شاید معروف‌ترین گونه این جنس گردوی سیاه (*Juglans nigra*) است متعلق به شرق آمریکای شمالی و گردوی ایرانی یا معمولی (*Juglans regia*) است که بومی بالکان در جنوب شرقی اروپا، مرکز و جنوب غربی آسیا تا هیمالایا، و جنوب غربی چین است (Anon, 2007).

خواص مکانیکی گردو نتایجی ضعیف به همراه خواهد داشت. هدف از این تحقیق، بررسی اثر سرعت بارگذاری و جهت بارگذاری بر خواص مکانیکی در سه رقم گردوی ایرانی است.

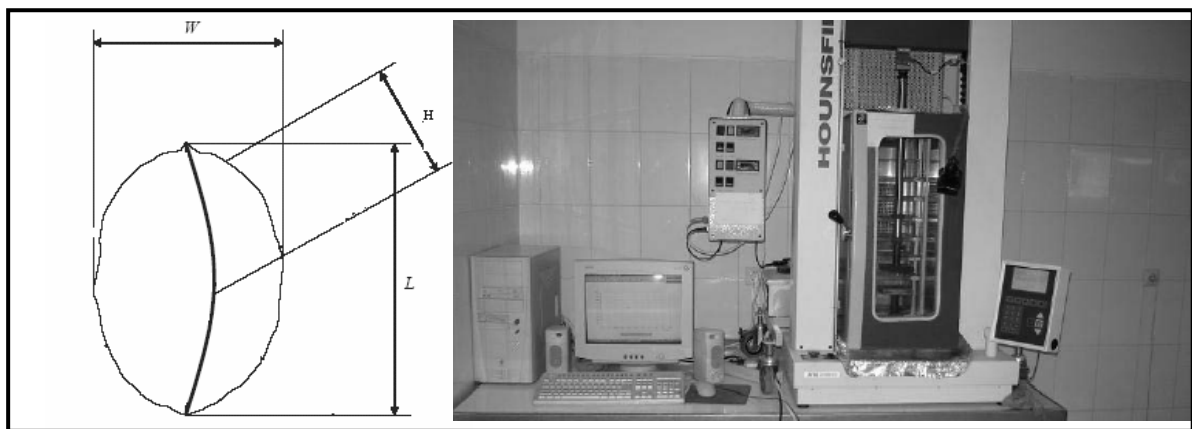
مواد و روش‌ها

در این تحقیق از محصول، سه رقم گردوی اصلاح شده ایرانی (هارتلی، Z63 و Z30) تهیه شده در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر استفاده شد. نمونه‌ها در تابستان ۸۸ در ایستگاه کمال آباد برداشت و در شرایط محیطی دارای دمای 1 ± 30 درجه سلسیوس نگهداری شدند. میزان رطوبت پوسته برای سه رقم به ترتیب ۹/۲۳ درصد، ۹/۱۱ درصد و ۹/۸۲ درصد تعیین شد که با استفاده از آون، در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و به مدت ۲۴ ساعت بر پایه‌تر به دست آمد (Koyuncu *et al.*, 2003). برای تعیین خواص مکانیکی مرتبط با شکست، آزمون فشار با دستگاه آزمون مواد (Hounsfield) مدل H50 K-S و با استفاده از دو فک تخت متصل به لودسل ۵۰۰ کیلو نیوتنی روی نمونه‌ها اجرا شد (شکل ۱).

به هنگام برداشت محصول به درخت وارد می‌آید باعث افزایش قیمت محصول و اتلاف زمان می‌شود. بنابراین، برای توسعه دستگاه‌های برداشت و شکستن گردو نیاز به آشنایی با خواص فیزیکی و مکانیکی گردوست و این آشنایی پیش نیاز اصلی جهت طراحی و توسعه ماشین گردو شکن است (Guzel *et al.*, 1999).

خاویر، (Xavier, 1997) در تحقیقی تاکید می‌کند که اندازه، شکل، ضخامت پوسته، و ساختار گردو از مهمترین پارامترهای مؤثر در جداسازی مغز از پوسته است. در تحقیقات بیشتر (Liang, 1977; Tang *et al.*, 1982; Liang *et al.*, 1984; Sen, 1985; Ozdemir & Ozilgen, 1997) ثابت شده است که کیفیت جداسازی به رطوبت پوسته، ضخامت پوسته، اندازه مغز، و جهت بارگذاری مربوط است. دورسان (Dursun, 1997) دریافت که جهت بارگذاری بر مقدار نیروی کار مؤثر است که بیشترین و کمترین مقدار را به ترتیب ۲۲۴ و ۱۴۹ نیوتن به دست آورد.

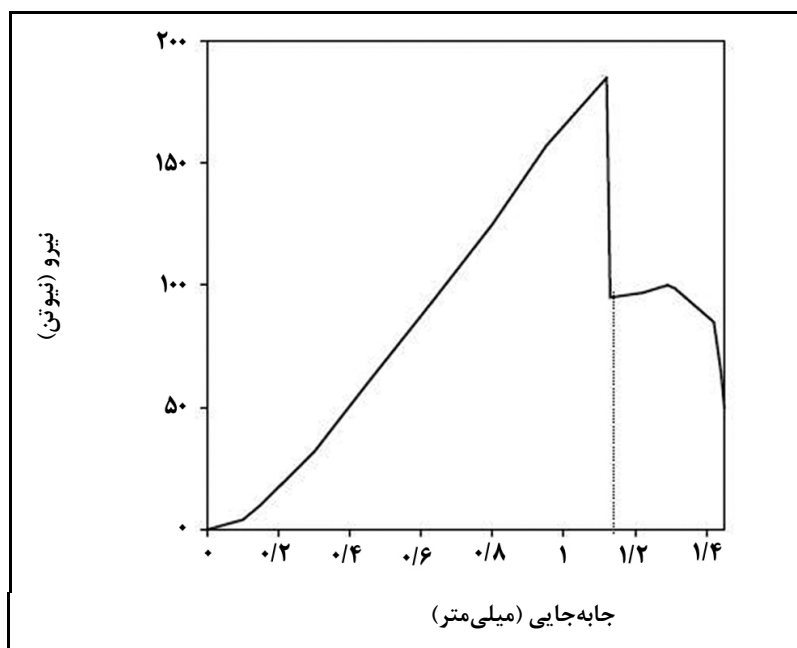
محققان دیگر (Sen, 1986; Dursun, 1997; Ozdemir & Ozilgen 1997) گزارش کردند که حالت شکستن^۱ مهمترین عامل در جداسازی پوسته گردوست. طراحی و ساخت دستگاه گردو شکن بدون توجه به



شکل ۱- دستگاه آزمون جامع کشش- فشار (سمت راست) و نامگذاری ابعاد سه گانه گردو (سمت چپ) (L= طول (میلی متر)، W= عرض (میلی متر)، H = عرض شیار (میلی متر))

بررسی خواص مکانیکی سه نوع گردوی پر مصرف...

آزمون فشار روی سه رقم گردوی پر مصرف ایرانی و در دو سرعت بارگذاری ۳۰ و ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه (Koyuncu *et al.*, 2004) و در سه جهت بارگذاری، عمودی (درجهت قطر بزرگ) و افقی (در دو جهت قطر متوسط)، در ده تکرار و آزمایش‌های مربوط به هر رقم مستقل اجرا شد. به کمک دستگاه آزمون جامع کشش-فشار، نمودار نیرو-جاب‌جایی طی فشردگی گردو، رسم و اطلاعات مربوط به نیرو، انرژی شکست، و چگرمگی به دست آمد.



شکل ۲ - سطح زیر نمودار استفاده شده برای محاسبه انرژی

میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

کلید نتایج حاصل از تاثیر متغیرهای مستقل شامل رقم، سرعت بارگذاری، و جهت بارگذاری به طور خلاصه در جدول ۱ آمده است.

چگرمگی از نسبت انرژی شکست بر حجم نمونه مورد آزمایش محاسبه می‌شود (Koyuncu *et al.*, 2004). محاسبه چگرمگی برای مقایسه نسبی سختی بین محصولات مختلف کشاورزی است.

در طرح آزمایش، آزمون فاکتوریل بر پایه کاملاً تصادفی به کار گرفته شد. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS تحلیل شد.

جدول ۱- تاثیر متغیرهای مستقل شامل رقم، سرعت بارگذاری و جهت بارگذاری بر ویژگی‌های مکانیکی گردو

رقم	سرعت	جهت بارگذاری	میانگین نیرو (نیوتن)	میانگین انرژی (نیوتن-میلی‌متر)	میانگین چغرمگی (نیوتن بر میلی‌متر مربع)
Hartly	۳۰	عمودی	۲۰۲/۷۳ ^c	۱۶۰/۲۵ ^{bc}	۸/۹۰ ^c
	۳۰	افقی شیار	۱۳۴/۵۵ ^d	۷۸/۶۵ ^{de}	۴/۳۶ ^e
	۳۰	افقی	۳۰۷/۲۶ ^b	۲۱۷/۲۵ ^b	۱۲/۰۶ ^b
	۵۰	عمودی	۲۶۹/۹۴ ^b	۱۲۵/۲۳ ^{cd}	۶/۹۵ ^d
	۵۰	افقی شیار	۱۸۷/۹۵ ^c	۵۶/۵۶ ^{de}	۳/۱۴ ^f
	۵۰	افقی	۳۶۸/۷ ^a	۱۸۰/۳۶ ^{bc}	۱۰/۰۳ ^c
Z63	۳۰	عمودی	۱۶۱/۹۸ ^d	۳۹/۵۲ ^c	۱/۹۷ ^g
	۳۰	افقی شیار	۷۹/۲۵ ^e	۳۸/۸۵ ^e	۱/۹۹ ^g
	۳۰	افقی	۲۲۴/۲۶ ^c	۲۴۵/۱۵ ^b	۱۲/۲۷ ^b
	۵۰	عمودی	۱۹۸/۸۶ ^c	۳۱/۶۱ ^e	۱/۸۰ ^g
	۵۰	افقی شیار	۹۴/۹۵ ^e	۳۰/۳۶ ^e	۱/۵۱ ^g
	۵۰	افقی	۲۷۰/۴۸ ^b	۱۶۲/۰۲ ^{bc}	۸/۱۰ ^d
Z30	۳۰	عمودی	۲۲۲/۵۲ ^c	۲۱۷/۱۸ ^b	۱۱/۴۰ ^b
	۳۰	افقی شیار	۱۸۲/۱۸ ^c	۸۹/۱۸ ^{de}	۴/۶۹ ^e
	۳۰	افقی	۲۷۴/۱۱ ^b	۳۴۵/۹۷ ^a	۱۸/۲۶ ^a
	۵۰	عمودی	۳۶۶/۳۸ ^a	۱۸۵/۰۴ ^{bc}	۹/۷۳ ^c
	۵۰	افقی شیار	۱۸۴/۹۱ ^c	۴۷/۹۹ ^d	۲/۵۶ ^f
	۵۰	افقی	۲۸۳/۵۰ ^b	۲۸۵/۴۵ ^a	۱۰/۲۵ ^c

حروف یکسان در هر ستون بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن است.

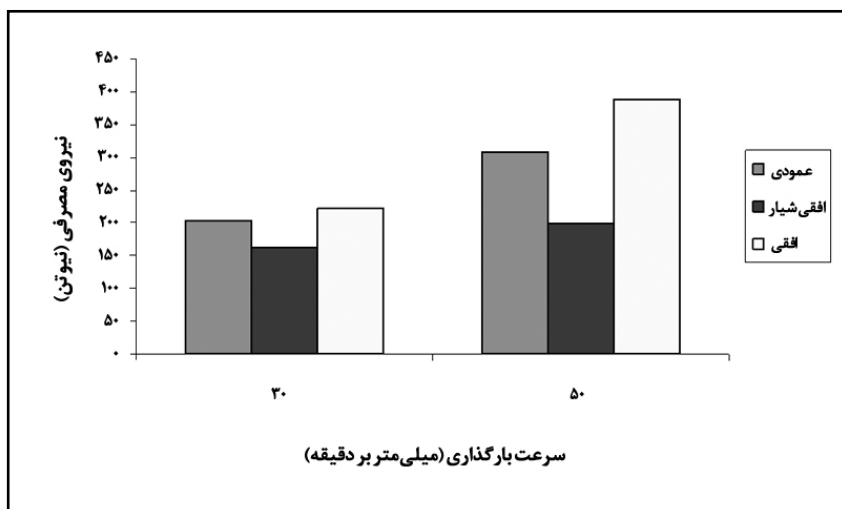
بررسی اثر سرعت و جهت بارگذاری، بر نیروی مصرفی

در شکل ۳، مربوط به گردوی رقم هارتلی، مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت، مقدار نیروی مصرفی نیز افزایش می‌یابد که در سرعت‌های بالا، حالت شبه استاتیک پیدا می‌کند. موحد نژاد و خوش تقاضا (Movahed nejad & khoshtaghaza, 2008) نیز برای لیموترش نتایجی مشابه به دست آوردند. برای رقم گردوی دیگر نیز، با افزایش سرعت، مقدار نیروی افزایش می‌یابد.

بررسی اثر سرعت، جهت بارگذاری، و رقم بر خواص مکانیکی

جدول‌های ۲، ۳، و ۴ نتیجه تجزیه واریانس اثر فاکتورهای سرعت، جهت بارگذاری و رقم را بر میزان نیرو، انرژی شکست، و چغرمگی نشان می‌دهد. هر زمان اثر متقابل معنی‌دار شود، اثرهای اصلی از اعتبار ساقط می‌شوند. در نتیجه باید اثرهای ساده را بررسی کرد. همچنین در جایی که اثر متقابل سه گانه معنی‌دار شود، اثرهای دو گانه مورد بررسی قرار نمی‌گیرند (Valizaade & Moghadam, 2003).

بررسی خواص مکانیکی سه نوع گردوی پر مصرف...



شکل ۳- اثر سرعت (میلی متر بر دقیقه) و جهت بارگذاری بر نیروی مصرفی (نیوتن) رقم هارتلی

می شود که اثر رقم و جهت بارگذاری در سطح ۹۹ درصد ولی اثر سرعت در سطح ۹۵ درصد معنی دار شد. همچنین کلیه اثرهای متقابل، به جز اثر متقابل سرعت×جهت بارگذاری، معنی دار هستند. ولی اثر متقابل سه گانه سرعت×رقم×جهت بارگذاری در سطح ۹۵ درصد معنی دار نیست.

با توجه به جدول ۱، بیشترین مقدار نیرو مربوط به بارگذاری افقی با میانگین $368/7$ نیوتن برای رقم هارتلی در سرعت ۵۰ میلی متر بر دقیقه و کمترین مقدار به بارگذاری افقی در جهت شیار با میانگین $79/25$ نیوتن در سرعت ۳۰ میلی متر بر دقیقه برای رقم Z63 است. از جدول ۲ مربوط به تجزیه واریانس نیرو مشاهده

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس نیروی مصرفی (نیوتن)

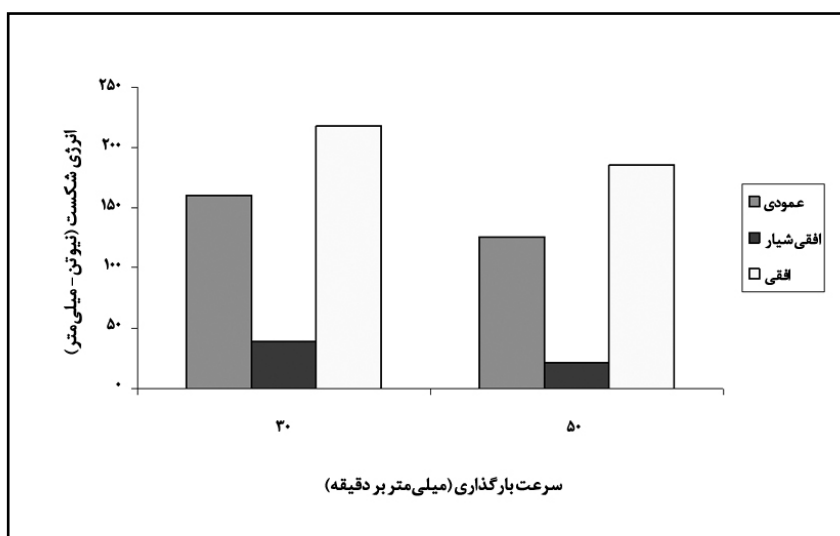
F	میانگین مربعات	درجه آزادی	شاخص
۲۱/۵۹۶	۱۳۴۹۸۵/۳۸۹**	۲	رقم
۰/۱۶۶۰	۴۳۲۲۲/۳۲۶ ^{ns}	۱	سرعت
۵۹/۵۷۷	۳۷۲۳۸۸/۶۵۲**	۲	جهت بارگذاری
۳/۳۴۰	۲۰۸۷۹/۵۹۸*	۲	سرعت×رقم
۶/۰۴۳	۱۲۴۷۶۸/۴۱۳*	۴	جهت بارگذاری×رقم
۲/۷۳۱	۱۷۶۳۸/۶۳۵ ^{ns}	۲	جهت بارگذاری×سرعت
۲/۴۳۴	۱۵۲۱۶/۵۹۵ ^{ns}	۴	جهت بارگذاری×سرعت×رقم
	۶۲۵۰/۵۴۴	۹۳	خطا

** اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns اختلاف معنی دار نبود.

جابه‌جایی نقطه شکست کاهش می‌یابد و در نتیجه انرژی شکست نیز کاهش خواهد یافت. موحد نژاد و خوش تقاضا (Movahed nejad & khoshtaghaza, 2008) نتایج مشابهی برای لیمو گزارش داده‌اند. برای ۲ رقم دیگر گردو نیز نتایج کاملاً مشابه به دست آمد.

بررسی اثر سرعت و جهت بارگذاری بر انرژی شکست

در شکل ۴، مربوط به گردوی رقم هارتلی، مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت، مقدار انرژی شکست کاهش می‌یابد. به این دلیل که با افزایش سرعت، میزان



شکل ۴- اثر سرعت و جهت بارگذاری بر انرژی شکست (نیوتن- میلی‌متر) رقم هارتلی

و کمترین مقدار انرژی شکست مربوط است به بارگذاری افقی شیاری با میانگین ۳۰/۳۶ نیوتن- میلی‌متر در سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه در رقم Z63.

با توجه به جدول ۲ و شکل ۴، بیشترین مقدار انرژی شکست مربوط است به بارگذاری افقی با میانگین ۳۴۵/۹ نیوتن در رقم Z30 در سرعت ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس انرژی شکست (نیوتن- میلی‌متر)

شاخص	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
رقم	۲	۴۲۳۱۱/۲۲۷**	۱۳/۹۳۴
سرعت	۱	۱۹۹۰۷/۳۸۴*	۶/۵۵۶
جهت بارگذاری	۲	۵۱۱۲۰۲/۴۴۸**	۱۶۸/۳۴۵
سرعت × رقم	۲	۱۰۰۰۵/۰۱۸*	۳/۲۹۵
جهت بارگذاری × رقم	۴	۷۵۱۵/۷۴۹*	۲/۴۷۵
جهت بارگذاری × سرعت	۲	۵۶۷۴۰/۴۵۹*	۱۸/۶۸۵
جهت بارگذاری × سرعت × رقم	۴	۵۲۴۷/۳۵۶ ^{ns}	۱/۷۲۸
خطا	۹۳	۳۰۳۶/۶۱۳	

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns اختلاف معنی‌دار نبود.

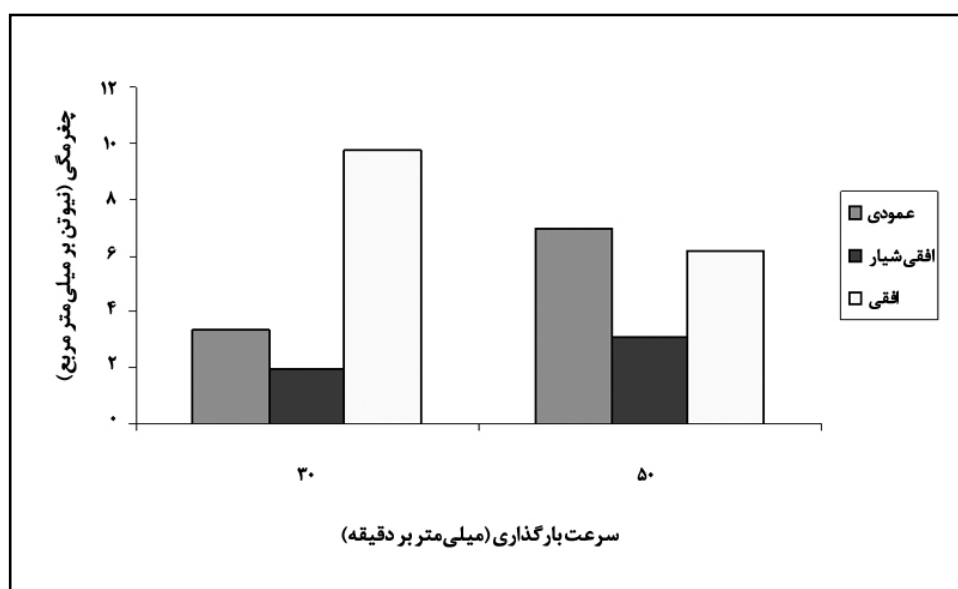
بررسی خواص مکانیکی سه نوع گردوی پر مصرف...

مقدار چغرمگی کاهش می‌یابد. برای دو رقم دیگر نیز نتایج کاملاً مشابه به دست آمد. همچنین با توجه به جدول ۳ و شکل ۵، بیشترین مقدار چغرمگی، مربوط به بارگذاری افقی با میانگین $18/26$ نیوتن بر میلی‌متر مربع مربوط به رقم Z30 در سرعت 30 میلی‌متر بر دقیقه و کمترین مقدار برای بارگذاری افقی شیار با میانگین $1/51$ نیوتن بر میلی‌متر مربع در سرعت 50 میلی‌متر بر دقیقه مربوط به رقم Z63 بود.

باتوجه به جدول ۳ مربوط به تجزیه واریانس انرژی شکست، مشاهده می‌شود که اثر رقم و جهت بارگذاری در سطح 99 درصد و اثر سرعت در سطح 95 درصد معنی‌دار است. اثر متقابل کلیه عوامل در سطح 5 درصد معنی‌دار است. ولی اثر متقابل سه گانه سرعت \times رقم \times جهت بارگذاری بر انرژی شکست معنی‌دار نیست.

بررسی اثر سرعت و جهت بارگذاری بر چغرمگی

همانطور که در شکل ۵ مربوط به گردوی رقم هارتلی مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت از 30 به 50 ،



شکل ۵- اثر سرعت و جهت بارگذاری بر چغرمگی (نیوتن بر میلی‌متر مربع) رقم هارتلی

بارگذاری در سطح 99 درصد و اثر متقابل دیگر در سطح 95 درصد معنی‌دارند. ولی اثر متقابل سه گانه سرعت \times رقم \times جهت بارگذاری معنی‌دار نیست.

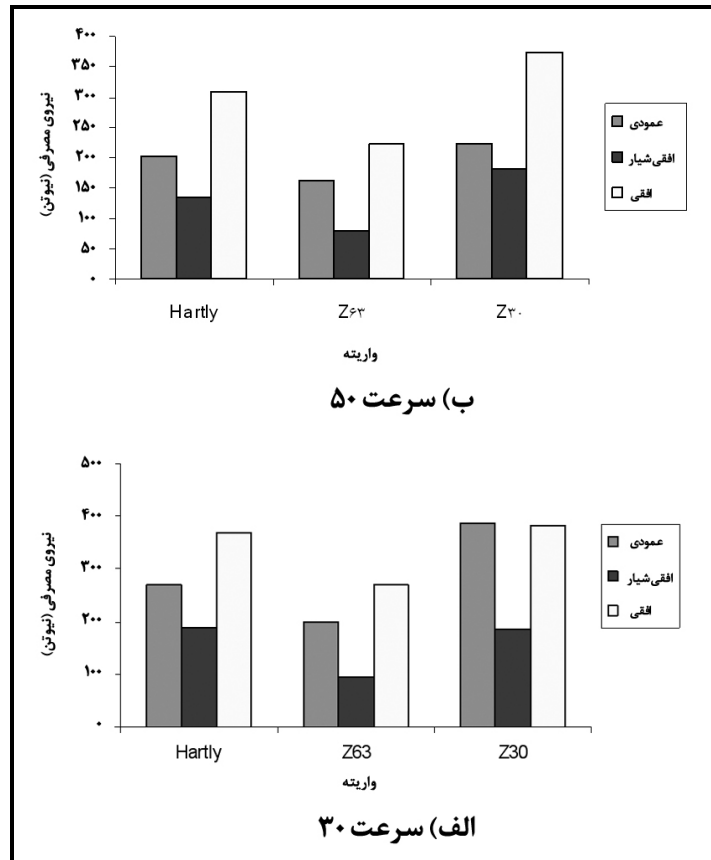
با توجه به جدول ۴ مربوط به تجزیه واریانس چغرمگی، مشاهده می‌شود که اثر رقم و جهت بارگذاری در سطح 99 درصد و اثر سرعت در سطح 95 درصد معنی‌دار هستند. اثر متقابل سرعت \times جهت

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس جفرمگی (نیوتن بر میلی متر مربع)

شاخص	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
رقم	۲	۱۳۲/۷۲۲**	۱۶/۳۲۸
سرعت	۱	۵۱/۰۹۷*	۶/۲۸۶
جهت بار گذاری	۲	۱۴۱۸/۴۰۸**	۱۷۴/۴۹۶
سرعت × رقم	۲	۳۴/۵۵۳*	۴/۰۲۱
جهت بار گذاری × رقم	۴	۲۹/۵۲۴**	۳/۴۰۲
جهت بار گذاری × سرعت	۲	۱۵۷/۲۲۸*	۱۹/۳۴۳
جهت بار گذاری × سرعت × رقم	۴	۱۳/۷۲۸ ^{ns}	۱/۶۸۹
خطا	۹۳	۸/۱۲۹	

** اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns اختلاف معنی دار نبود.

بررسی اثر رقم بر خواص مکانیکی گردو
 مهمترین متغیر این تحقیق، اثر رقم بر خواص مکانیکی است و در این بخش به طور مفصل به بررسی این اثر بر دیگر پارامترها در حالات مختلف پرداخته خواهد شد.
اثر رقم (واریته) بر نیروی مصرفی در دو سرعت و سه جهت بارگذاری

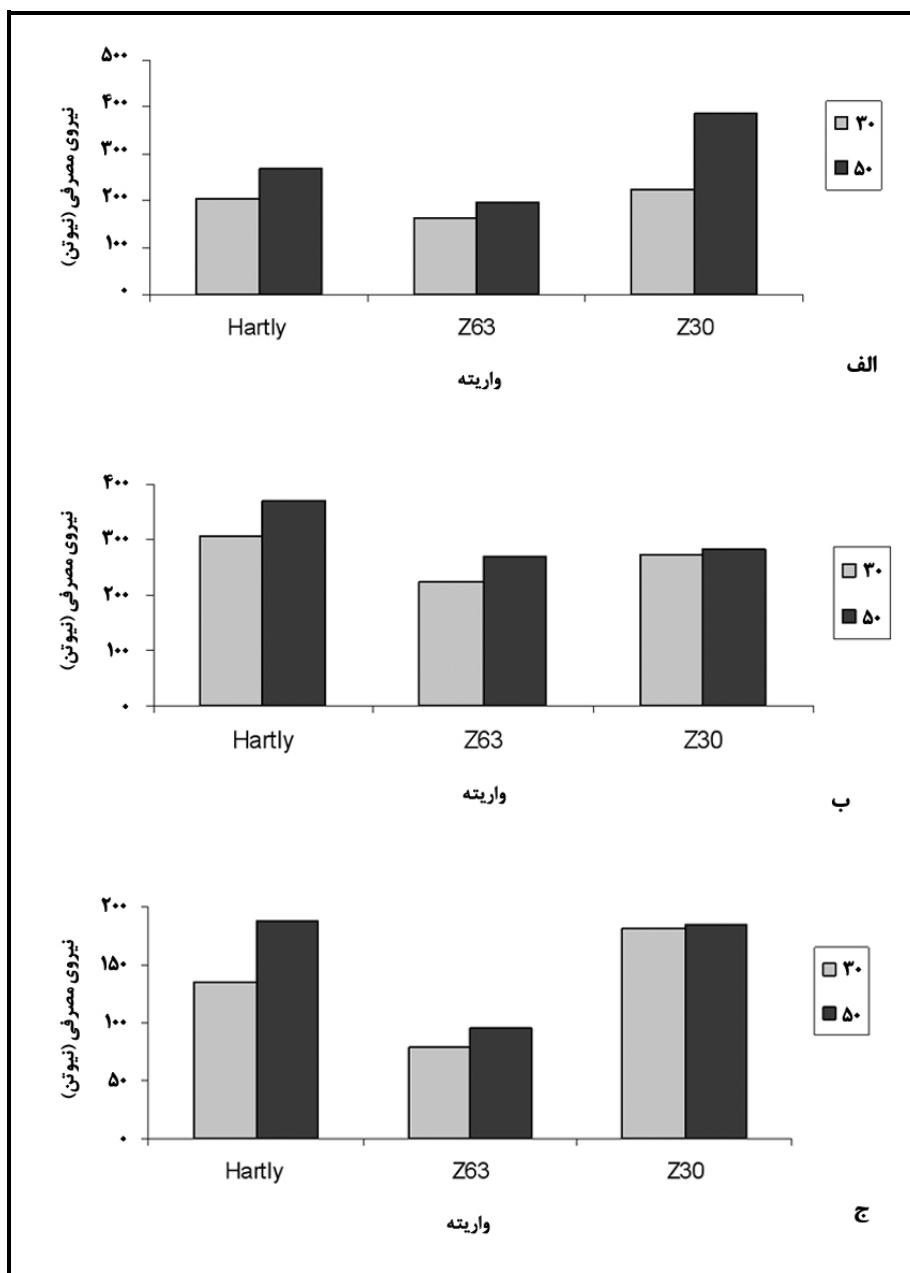


شکل ۶- اثر رقم بر نیروی مصرفی در دو سرعت بارگذاری

بررسی خواص مکانیکی سه نوع گردوی پر مصرف...

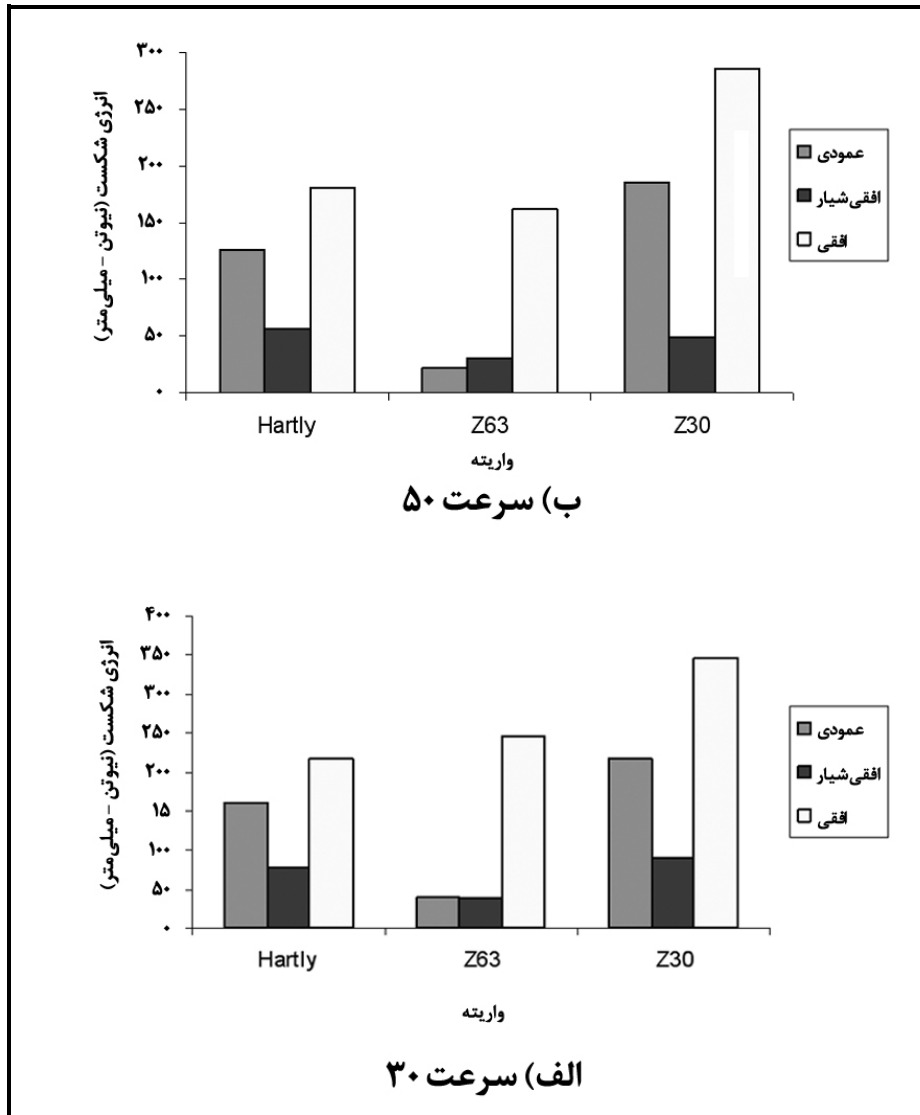
مربوط است به سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه برای رقم هارتلی، در جهت عمودی با مقدار میانگین ۳/۳۶۶ نیوتن مربوط است به سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه برای رقم Z30؛ و مقدار نیروی لازم در جهت افقی شیار با مکانیکی ۱۸۷ نیوتن مربوط است به رقم هارتلی در سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه.

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار نیرو در سرعت ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه مربوط به رقم Z30 با مقدار میانگین ۳۰۷ نیوتن در جهت افقی و در سرعت ۵۰ نیز مربوط به رقم هارتلی با مقدار میانگین ۳۶۸ نیوتن در جهت افقی است. در شکل ۷ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار نیروی مورد نیاز در جهت افقی با مقدار میانگین ۳۶۸/۷ نیوتن



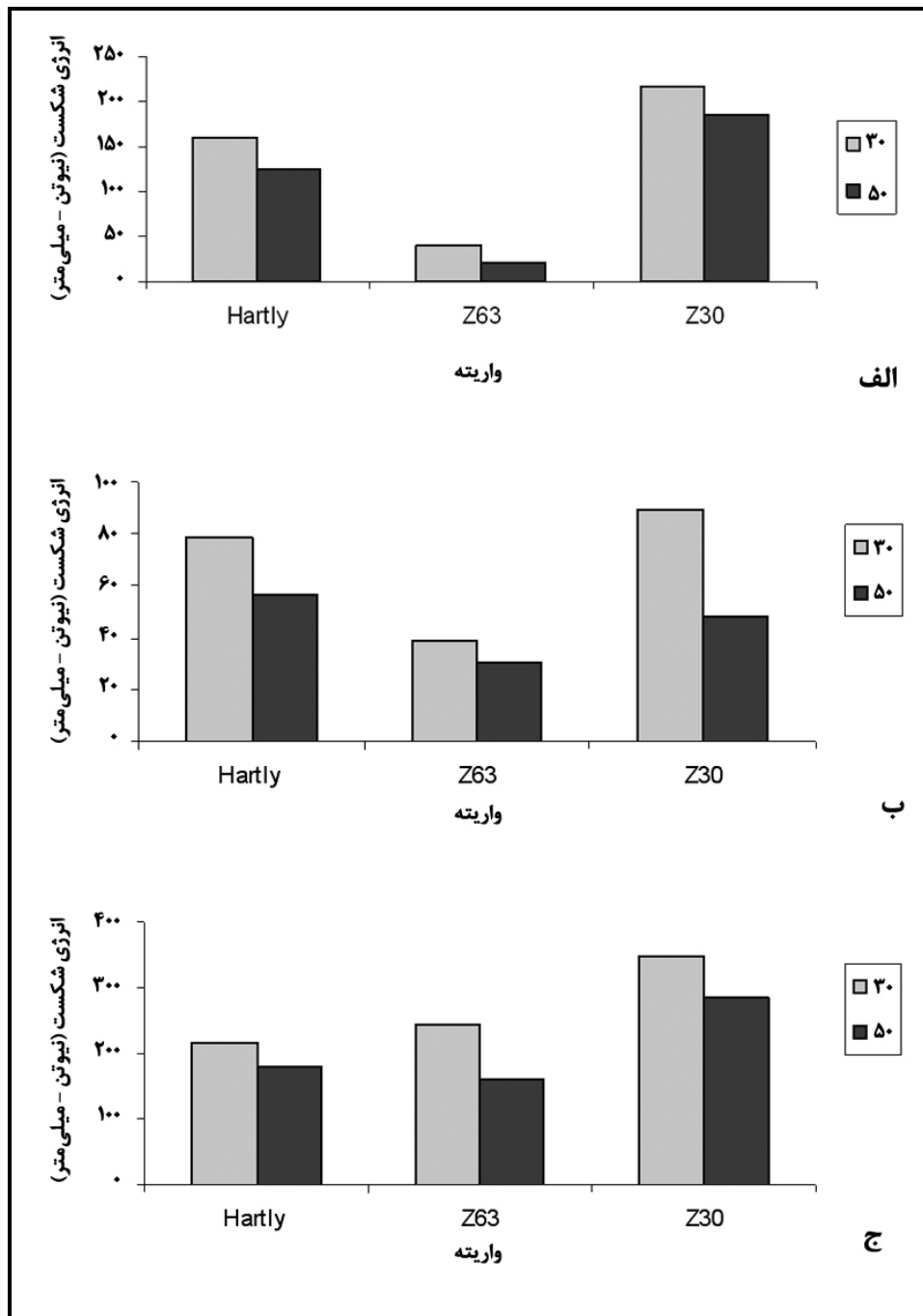
شکل ۷- اثر رقم بر نیروی مصرفی در سه جهت بارگذاری. الف) در جهت افقی، ب) در جهت عمودی، ج) در جهت افقی شیار

اثر رقم بر انرژی شکست در دو سرعت و سه جهت
 بارگذاری
 شکست در سرعت ۳۰ و ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه به ترتیب
 مربوط است به رقم Z30 با مقدار میانگین ۳۴۵/۹
 و ۲۸۵/۴ نیوتن - میلی‌متر در جهت افقی.
 از شکل ۸ منتج می‌شود که بیشترین مقدار انرژی



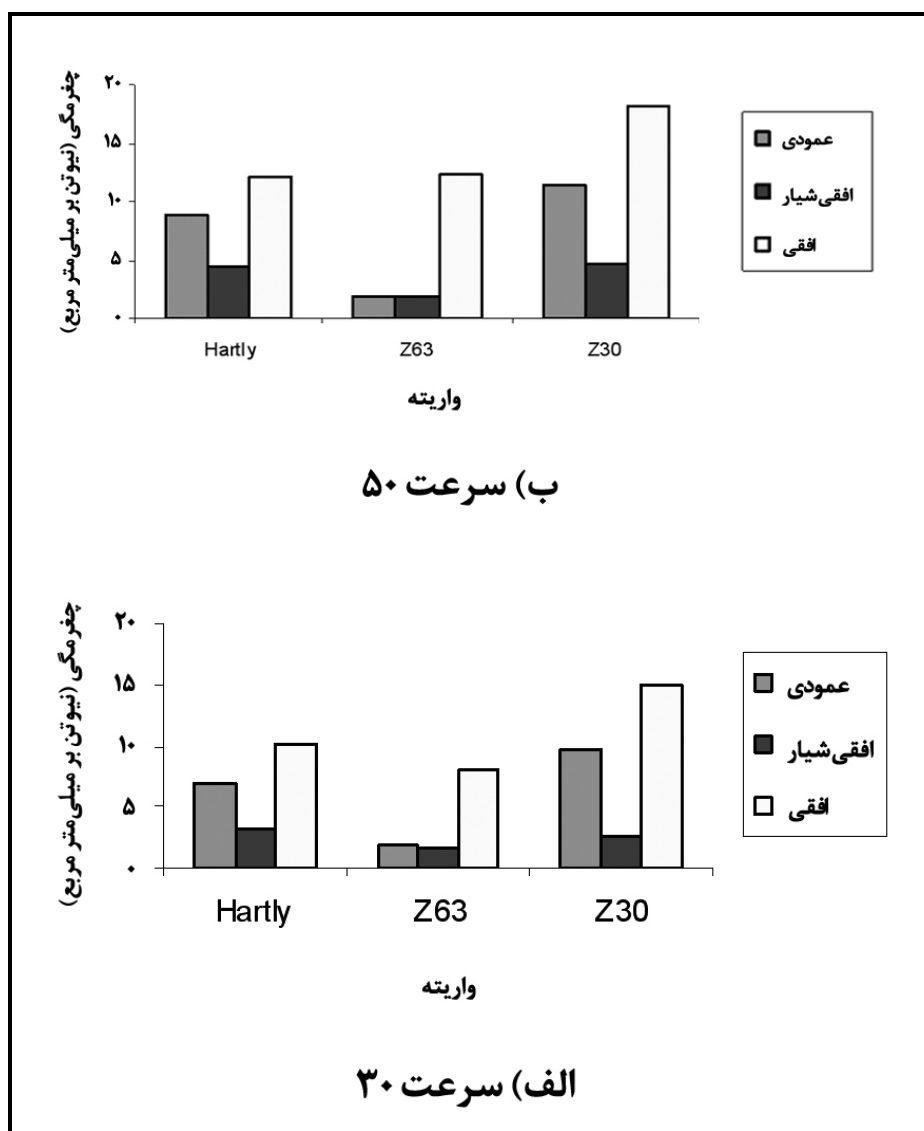
شکل ۸ - اثر رقم بر انرژی شکست در دو سرعت بارگذاری

برابر شکل ۹، در سرعت ۳۰ میلی‌متر در دقیقه،
 افقی شیار به ترتیب برابر با ۲۱۷/۱، ۳۴۵/۹ و ۸۹/۱ نیوتن
 بیشترین مقدار انرژی شکست در جهت افقی، عمودی، و
 بر میلی‌متر برای رقم Z30 است.



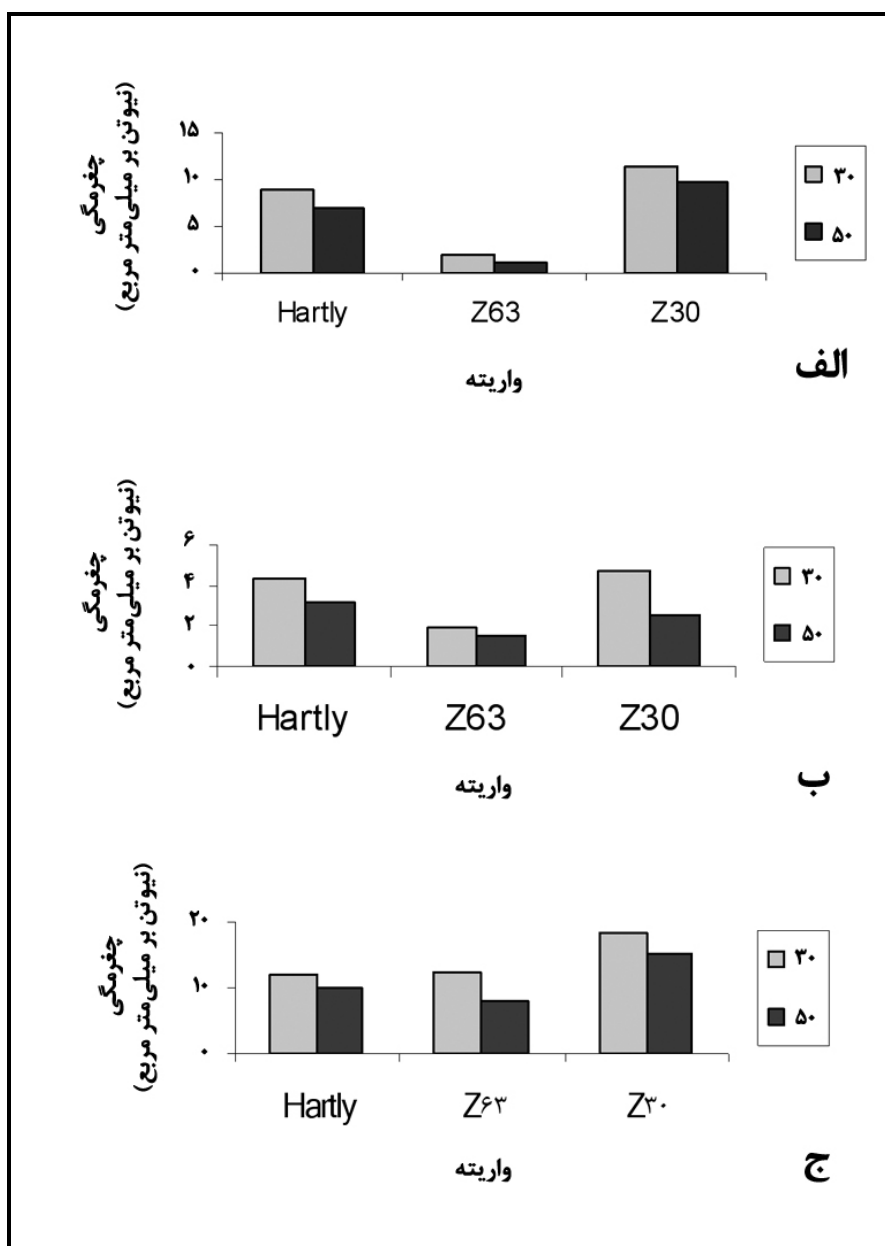
شکل ۹- اثر رقم بر انرژی شکست در سه جهت بارگذاری. (الف) در جهت افقی، (ب) در جهت عمودی، (ج) در جهت افقی شیار

اثر رقم بر چگرمگی در دو سرعت و سه جهت بارگذاری
 مقدار چگرمگی در سرعت ۳۰ و ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه مربوط به رقم Z30 در جهت افقی همانگونه که شکل ۱۰ نشان می‌دهد، بیشترین است.



شکل ۱۰- اثر رقم بر چغرمگی در دو سرعت بارگذاری

در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که بیشترین چغرمگی در جهت افقی، عمودی، و افقی شیار، رقم Z30 است. مربوط به سرعت ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه و



شکل ۱۱- اثر رقم بر چگرمگی در سه جهت بارگذاری. الف) در جهت افقی، ب) در جهت عمودی، ج) در جهت افقی شیار

نتیجه گیری

سرعت × جهت بارگذاری برای شاخص نیرو $p > 0.05$ در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دارند. ولی اثر سه گانه سرعت × رقم × جهت بارگذاری برای هیچ یک از شاخص‌ها معنی دار نیست ($p > 0.05$).
 ۲- با افزایش سرعت، نیروی مصرفی افزایش و انرژی شکست، و چگرمگی کاهش می‌یابد.

۱- تجزیه واریانس مربوط به داده‌های نیرو، انرژی شکست، و چگرمگی، نشان می‌دهد که اثر رقم و اثر جهت بارگذاری برای کلیه شاخص‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار و اثر سرعت، به جز برای نیرو ($p > 0.05$)، برای کلیه شاخص‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار است. کلیه اثرهای متقابل، به جز اثر متقابل

۳- بیشترین مقدار نیرو به بارگذاری افقی با میانگین ۳۶۸ نیوتن مربوط به رقم هارتلی در سرعت ۵۰ میلی-متر بر دقیقه و کمترین مقدار، به بارگذاری افقی در جهت شیار با میانگین ۷۹ نیوتن در سرعت میلی-متر بر دقیقه ۳۰، مربوط به رقم Z63 است.

۴- بیشترین مقدار انرژی شکست به بارگذاری افقی با میانگین ۳۴۵/۹ نیوتن- میلی-متر مربوط به رقم Z30 در سرعت ۳۰ میلی-متر بر دقیقه و کمترین مقدار، به بارگذاری افقی شیار با میانگین ۳۰/۳۶ نیوتن- میلی-متر در سرعت ۵۰ میلی-متر بر دقیقه، مربوط به رقم Z63 است.

۵- بیشترین مقدار چغرمگی، به بارگذاری افقی با میانگین

قدردانی

از جناب آقای دکتر سعید مینایی، دکتر داراب حسنی، و مهندس فائقه السادات مرتضوی مقدم که در مراحل مختلف آزمایش، یاری‌رسان بودند، سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- Anon. 2007. Walnut. www.roshd.com
- Aydın, C. 2002. Physical properties of hazelnut. Biosys. Eng. 82(3): 297-303. (in Farsi)
- Dursun, I.G. 1997. Determination of the shelling resistance of some products under the point load. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Tokat, Turkey. pp 950-957.
- Guzel, E., Uulger, P. and Kayı-soglu, B. 1999. Food Processing Technology of Agricultural Materials. - Cukurova .Universitesi Ziraat Fak.ultesi Genel Yayın No:145. Adana. Turkey.
- Koyuncu, M.A. and A-skın, M.A. 1999. Van G.ol .u cevresinde yeti-stiricili gi yapılan bazı ceviz tiplerinin depolanması czerine -calı-smalar [Studies on the storage of some walnut.
- Koyuncu, M.A., Ekinci, K. and Savran, E. 2004. Cracking Characteristics of Walnut. Biosystems Engineering. 87(3): 305-311.
- Koyuncu, M.A. Koyuncu, F. and Bakir, N. 2003. Selected drying conditions and storage period and quality of walnut selections. J. Food. Proc. Preserv. 27(2): 87-99.
- Liang, T.A. 1977. A new processing for maximizing macadamia nut kernel recovery. Trans. ASAE. 20(3): 438-443.
- Liang, T.A. Chin, L. and Mitchell. J.B. 1984. Modelling moisture influence on macadamia nut kernel recovery. Trans. ASAE. 27, 1538-1541.
- Mansuri ardakan, H. 2000. Detect of jenotipt of walnut in Yazd state. Thesis of hush. Tarbiat modares uni. (in Farsi)
- Mohsenin, N.N. 1970. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publisher. New York.
- Movahed nejad, M.H. and khoshtaghaza, M.H. 2008. Investigation of effect of size, velocity and load direction on mechanical properties of lemon. 3rd Agriculture Congress of Mechanical Machinery. Shiraz. 12 & 13 farvardin. (in Farsi)

بررسی خواص مکانیکی سه نوع گردوی پر مصرف...

- Ozdemir, M. and OOzilgen, M. 1997. Comparison of the quality of hazelnut unshelled with different sizing and cracking systems. *J. Agric. Eng. Res.* 67, 219-227.
- Sen, S.M. 1986. Cultivation of Walnut. Eser Matbaası, Samsun, Turkey, types grown around Van Lake. *Turkish J. Agric. Forestry.* 23(4): 785-796.
- Sen, S.M. 1985. The correlations among shell thickness, shell cracking resistance, shell seal and shell upright cracking resistance with other some fruit quality factors on Persian walnuts. 9(1): 10-24.
- Tang, G.P., Liang, T. and Munchmeyer, F.A. 1982. A variable deformation macadamia nut cracker. *Trans. ASAE.* 25(6): 1506-1522.
- Valizaade, M. and Moghadam, M. 2003. Agricultural Examination plan. Tabriz pub. (in Farsi)
- Xavier, J.A. 1997. Study of macadamia nut breakage. M.Sc Thesis. Botucatu. SP. UNESP. Brazil.



Mechanical Properties of Three Major Iranian Walnut Varieties under Compression Loading

M. Sattari Najaf Abadi*

* Corresponding Author: Academic Member, Yadegare Emam Academic complex, Department of Automotive mechanics, Islamic Azad University, Shahre Rey branch, Tehran, Iran. E-Mail: sattari.utm@gmail.com

Received: 22 January 2011, Accepted: 2 July 2011

Iran is a major world producer of walnuts and a hub of walnut exports to other countries. Walnut harvesting and cracking is still done manually, which increases price and waste. Design and development of an effective harvester and walnut crusher is required to reduce costs and wastage. This study determined the mechanical properties of a test apparatus employing two flat jaws using different treatments and walnut varieties. Testing was done on three varieties of walnuts at two speed loads (30 and 50 mm/min) in three directions (one vertical and two horizontal). A universal testing machine was used to determine the rupture force, rupture energy and toughness for Hartley, Z63 and Z30 walnut varieties. Results showed that the effect of variety and loading direction was significant at the 0.01 level and the effect of load speed was significant at the 0.05 level for rupture energy and toughness. The triple effect was not significant. Result shows that increasing loading speed increased rupture energy and rupture force and decreased toughness.

Keywords: Rupture force, Rupture energy, Toughness, Universal testing machine, Walnuts