نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۳، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۲، ص ۷۰-۵۸

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 3, No. 1, Spring - Summer 2013, p. 58-70

بررسی تأثیر تیمارهای آبیاری و تغذیه‌ای بر خواص بیوفیزیکی و بیومکانیکی بذر گلرنگ

مازیار فیض اله زاده[۱*]- علی محمد نیکبخت[۲]- اسعد مدرس مطلق[۳]

تاریخ دریافت: ۹۱/۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۱۶

چکیده

گلرنگ از گیاهان صنعتی بوده و میزان روغن قابل استخراج از مغز آن حدود ۴۵ درصد می‌باشد. با توجه به ارزش روغن موجود در بذر گلرنگ و همچنین پتانسیل بالای کشور برای کشت آن، نیاز به تولید بذرهایی با کیفیت و عملکرد بیشتر می‌باشد. همچنین طراحی دستگاه‌های مختلف فرآوری و استخراج روغن و همچنین بهینه‌سازی آن‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد که در ارتباط با خواص مختلف بذرها می‌باشد. در نتیجه در این مقاله، برخی خواص بیوفیزیکی و بیومکانیکی بذر گلرنگ رقم IL111 با توجه به اثرات تیمارهای مختلف آبیاری و تغذیه‌ای و در رطوبت تعادلی بذرها مورد مطالعه قرار گرفت. خواص مطالعه شده شامل ابعاد، جرم و جرم هزار دانه، حجم، مساحت سطح بذر، میانگین قطر حسابی و هندسی، ضریب کرویت، چگالی توده‌ای و حقیقی، تخلخل و ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی، نیروی گسیختگی، تغییر شکل در لحظه گسیختگی، انرژی گسیختگی، ضریب کشسانی و سفتی بذر بودند. نتایج نشان از تأثیر معنی‌دار تیمارهای اعمال شده بر اکثر خواص فیزیکی و مکانیکی در سطح احتمال $p\leq$ ۰/۰۱ داشت. بیشترین مقدار برای جرم و قطر میانگین هندسی و انرژی گسیختگی در شرایط تیماری «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه بیولوژیک (بیوسولفور)» حاصل شد. نتایج نشان از تأثیر معنی‌دار قطر میانگین هندسی بر جرم و انرژی گسیختگی و همچنین تأثیر جرم بر سفتی بذر داشت. از طرفی رابطه مستقیمی بین جرم و انرژی گسیختگی مشاهده شد که نشان از نیاز به انرژی بیشتر برای خرد کردن بذرهای بزرگتر داشت. بیشترین انرژی گسیختگی 0.033J به‌دست آمد.

واژه های کلیدی : خواص بیوفیزیکی و بیومکانیکی، روغن، شرایط آبیاری، گلرنگ

مقدمه

گلرنگ، از راسته Cynareae، تیره Asteraceae، جنس Carthamus و گونه زراعی *C. tinctorius* می‌باشد. در ایران، استان‌های خراسان، آذربایجان و اصفهان مناطقی هستند که بخش اعظم گلرنگ در آن‌ها کشت می‌گردد. این گیاه جزو نباتات صنعتی به شمار می‌رود و میزان روغن قابل استخراج از بذر آن نسبت به رقم 25-30 درصد و از مغز دانه 35-45 درصد می‌باشد، که این روغن در تغذیه و صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد (Aliyari *et al.*, 2000). طبق اعلام FAO تولید جهانی گلرنگ در سال 2010 میلادی، حدود 634604 tone برآورد شده است. سطح زیر کشت این گیاه در ایران در سال 2010 میلادی، 740 ha و با متوسط عملکرد 635 $kg\ ha^{-1}$ می‌باشد، در حالی‌که در کشورهایی همچون آمریکا، آرژانتین و ترکیه سطح زیر کشت این محصول به ترتیب 67870 ha، 66100 ha و 13498 ha بوده است. اهمیت دانه‌های روغنی نه فقط به خاطر روغن موجود در آن‌ها، بلکه به‌دلیل مواد پروتئینی با ارزشی است که پس از استخراج روغن در تغذیه انسان و حیوان به مصرف می‌رسد. دانه‌های روغنی از محصولات با ارزش در تجارت جهانی بوده و سومین محصول مهم کشاورزی پس از گوشت و غلات به حساب می‌آیند (Malek, 2000). همچنین امروزه منابع جدیدی به عنوان سوخت جایگزین سوخت‌های فسیلی در موتورهای درون‌سوز معرفی شده‌اند. بسیاری از این سوخت‌های جایگزین جدید منشا آلی دارند که عمده ترین آن‌ها الکل‌ها، روغن‌های گیاهی و بیوگاز می‌باشند. یکی از این سوخت‌ها بیودیزل است که می‌توان آن را از روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی به‌دست آورد. سالیانه مقادیر قابل توجهی از منابع ارزی کشور صرف واردات محصولات غذایی می‌شود که در این میان روغن‌های خوراکی با توجه به بازار بسیار وسیع مصرف از اولویت خاصی در سطح ملی برخوردارند. افزایش تولید روغن‌های خوراکی را می‌توان علاوه بر بهبود شیوه‌های کشت و اصلاح ارقام پرمحصول، از طریق بهبود سامانه‌های مورد استفاده در مراحل مختلف مرتبط با دانه و از جمله سامانه دستگاه روغن‌کشی

۱، ۲ و ۳- به ترتیب کارشناس ارشد، استادیار، دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: mazynas@gmail.com)

تـأمین نمـود. از ایـن‌رو بـومی سـازی فنـاوری طراحـی و سـاخت دستگاه‌های روغن‌کشی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. بـا سـاخت دستگاه‌های استخراج روغن می‌توان تولید داخلی روغن را بالا بـرده و در نتیجه راهکاری برای کاهش وابستگی از نظر واردات روغن ایجـاد کرد. این درحالی است که بیش از ۹۰ درصد از روغـن‌هـای خـوراکی کشور از طریق واردات تأمین می‌شود. لذا لزوم برنامه‌ریزی بلندمدت با هدف نیل به خودکفـایی در تولیـد روغـن خـوراکی غیرقابـل انکـار و ضروری است. بنابراین باید علاوه بر دستیابی به واریته‌هـای مرغـوب بذرهای روغنی، تأثیر نوع تیمارهای آبیـاری و تغذیـه‌ای بـر کیفیـت و راندمان محصول بررسی گـردد و در نهایـت بـا اسـتفاده از اطلاعـات به‌دست آمده برای برای بذر گلرنگ، دستگاه استخراج روغن با کارایی بهتر برای این محصول طراحی شود. با توجه به اینکـه طراحـی انـواع مختلف دستگاه‌هـای تمیـزکن، بوجـاری و جداسـازی نیـز بـر مبنـای خواص فیزیکی و مکانیکی دانه از قبیـل شـکل، انـدازه، حجـم، جـرم مخصوص، ضریب اصطکاک، زاویه سکون و نیروی شکسـت و غیـره صورت می‌گیرد، بنابراین دانستن ایـن خـواص نیـز از اهمیـت زیـادی برخـوردار اسـت (Razavi and Akbari, 2006). نیروهـای استاتیکی و شبه استاتیکی معیار مناسبی برای طراحی ادوات با کارایی و کیفیت بالاتر می‌باشند و بررسی آن‌ها برای طراحـی ادوات فـرآوری محصول از قبیل روغن‌گیری، ضروری مـی‌باشـد (Aliyari *et al.*, 2000). همچنین با توجه به اهمیت محصولات کشاورزی در تغذیـه، صنعت، داروسازی و غیره لازم می‌باشد تا خواص فیزیکی و مکـانیکی آن تعیین و در طراحی و ساخت تجهیزات مختلـف در مراحـل تولیـد، انتقـال، فـرآوری و نگهـداری اسـتفاده گـردد. در خصـوص فرآینـد پوست‌کنی تعدادی از محققین به بررسی ایـن موضـوع پرداختنـد کـه چگونه می‌توان پوست را از دانه آفتابگردان به راحتی جدا نمود، که بـه این فرآیند، Hullability گفته می‌شـود کـه اساسـاً بـه مورفولـوژی (شـکل ظـاهری) بـذر و خـواص بیومکـانیکی پوسـته بسـتگی دارد (Hernandez and Belles, 2007). اثرات رطوبت و نـوع واریتـه در خصوصیات بافتی آفتابگردان بررسی شد. در نهایت محققین متوجه شدند که هر کدام از عوامل واریته و رطوبت به تنهایی و با هـم تـأثیر معنی‌داری در راندمان پوست‌کنی و خـواص بـافتی آفتـابگردان دارنـد (Sharma *et al.*, 2009). همچنین بررسی اثرات رطوبت بـر روی مشخصه‌های مهندسی هیبریدهای مختلف آفتابگردان توسط گروهـی دیگر از محققین صورت گرفت. رابطه خطی معکوسی بین رطوبـت بـا راندمان پوست‌کنی، میزان خسارت و چگـالی تـوده‌ای مشـاهده شـد. آن‌ها گزارش نمودند که تعیین خواص ذکر شده در بهینه‌سازی فرآینـد روغن‌گیـری از آفتـابگردان مـؤثر مـی‌باشـد (Figueiredo *et al.*, 2011). گروه دیگری از محققین گزارش نمودند که اطـلاع در مـورد خواص فیزیکی دانه آفتابگردان و وابسـتگی آن بـه پارامترهـای مـؤثر برای طراحی تجهیزات مختلف فرآوری، نظیر پاک کننده، درجه‌بنـدی، پوست‌کنی، جداکننده و استخراج روغن مفیـد مـی‌باشـد (Gupta *et al.*, 2007). بررسی خواص فیزیکـی، مکـانیکی و شـیمیایی دانـه و هسته گیاه جاتروفا (گیاه نفتی) که از جملـه گیاهـان صـنعتی اسـت و دارای اهمیت فراوانی در صنعت روغن و سـوخت بیـودیزل مـی‌باشـد، به‌دست آمد. گزارش شد که نیروی گسیختگی برای دانه‌ها و هسته‌هـا با افزایش واحد جـرم، در جهـات افقـی (x)، عـرض (y) و قـائم (z) افزایش یافت. در این تحقیق تأثیر جهات بارگذاری بر برخی از خواص مکانیکی بررسی شد (Karaj and Muller, 2010). بـا توجـه بـه اهمیت اقتصادی گلرنگ در زمینه‌های مختلف و نیـز پتانسـیل بـالای کشور ایران در خصوص افزایش سطح زیر کشـت و فـرآوری پـس از برداشت این محصول جهت استخراج روغن خوراکی با کیفیت بیشـتر نسبت به روغن‌های خوراکی فعلی و همچنین تولید سوخت بیودیزل و نیز احساس نیاز به تهیه منابع جایگزین و طراحی ماشین‌های فـرآوری اهداف زیر در این تحقیق دنبال می‌شود.

تعیین خواص فیزیکی بذر گلرنـگ رقـم IL111 بـرای طراحـی ماشین‌های جداساز و روغن‌کشی، تعیین خواص مکانیکی بذر گلرنـگ رقم IL111 و بررسـی اثـرات تیمارهـای مختلـف کشـت (آبیـاری و تغذیه) بر خواص بیوفیزیکی و بیومکانیکی گلرنگ.

مواد و روش‌ها

توده‌ای از دانـه‌هـای گلرنـگ در سـال زراعـی ۱۳۸۹(2010) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در پـردیس نـازلو (واقع در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۲ ثانیه و طول جغرافیـایی ۴۵ درجه و ۴۱ ثانیه از نصف‌النهار گرینویچ) با ۱۳۲۰ متر ارتفـاع از سـطح دریا، در گروه زراعت دانشکده کشاورزی ارومیه آماده شـد کـه تـاریخ کشت و برداشت و نوع تیمارهای اعمالی در جدول ۱ مشاهده می‌شود. ترکیب ۳ تیمار آبیاری و ۷ تیمار تغذیـه‌ای باعـث بـه‌وجـود آمـدن ۲۱ تیمار مختلف شد که از هر تیمـار نیـز۶۰ نمونـه بـه‌صـورت تصـادفی انتخاب و آزمایشات در قالب طـرح بلـوک‌هـای کامـل تصـادفی و در رطوبت تعادلی ۷ درصد انجام شد.

تیمار آبیاری کامل (a) بر اساس عـرف منطقـه هـر ۸ روز یکبـار صورت می‌گرفت و همچنین ادامه قطع آبیاری در مراحل رشد رویشی (b) و زایشی (c) تا زمان بروز آثار پژمردگی در گیاهان در ساعات غیر از ظهر و همچنین از طریق اندازه‌گیری وزنی رطوبـت خـاک صـورت می‌گرفت، که معیار کاهش میزان رطوبت خاک تا ۷۰ درصـد ظرفیـت زراعی خاک بود. میزان آب مصرفی در هر یک از رژیم‌های آبیاری بـا استفاده از پارشال فلوم اندازه‌گیری شـد. مقـدار کلـی آب مصـرفی در رژیم‌های آبیاری کامل (a)، قطع آبیاری در مراحل رشد رویشـی (b) و قطع آبیاری در مراحـل رشـد زایشـی (c) بـه ترتیـب ۷۵۹۹، ۶۴۷۹ و ۵۳۲۲ متر مکعب در هکتار بود.

جدول۱- تیمارهای به‌کار رفته در مزرعه و تاریخ کشت و برداشت محصول و خصوصیات خاک

Table1- Applied treatments in field and date of cultivation and harvesting and soil properties

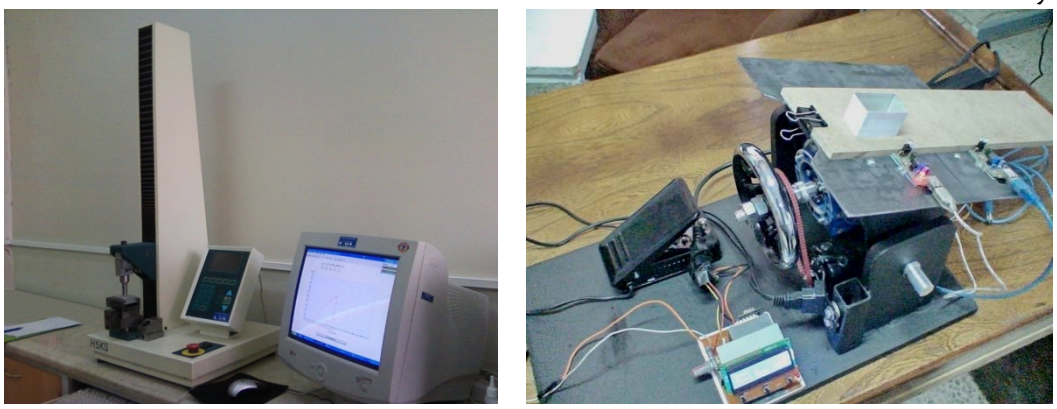
تیمار Treatment	آبیاری Irrigation	تغذیه ای Nutrient
	a : بدون قطع آبیاری a: No cutting off irrigation b : قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی b: Cutting off irrigation in the vegetative stage c : قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی c: Cutting off irrigation in the reproductive growth stage	d : کود شیمیایی (اوره) d: Chemical e : ارگانیک (هیومیکس 95) e: Organic (HUMIX95) f : بیولوژیک (نیتروکسین) f: Biological (Nitroxin) g : بیولوژیک (بیوسولفور) g: Biological (biosulfur) h : تلفیقی (d+e+f) h: Compilation (d+e+f) i : تلفیقی (d+e+g) i: Compilation (d+e+g) j : شاهد j: Control
	تاریخ کشت: خرداد ۱۳۸۹ Cultivation Date: June 2010	تاریخ برداشت: اواخر شهریور ۱۳۸۹ Harvest date: September 2010

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی ($ds\ m^{-1}$) Electrical conductivity	اسیدیته خاک Soil acidity	کربن آلی (%) Organic carbon	ازت کل (%) Total nitrogen	فسفر (ppm) Phosphorus	پتاسیم (ppm) Potassium	ظرفیت زراعی Field capacity	نقطه پژمردگی دائم Permanent wilting point
لومی رسی Clay loam	0.54	7.15	0.94	0.094	11.6	395	27.99	14.5

خواص فیزیکی بذر گلرنگ شامل: ابعاد، جرم و جرم هزار دانه، حجم، مساحت سطح، میانگین قطر حسابی و هندسی، ضریب کرویت، چگالی توده‌ای و حقیقی، تخلخل و ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی، تعیین شدند. برای تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی، فاصله معینی بر روی صفحه اریب قابل تنظیم معین شده و سنسورها در دو انتهای این بازه قرار گرفتند (شکل ۱ راست). با افزایش زاویه صفحه و شروع لغزش جعبه بر روی سطوح، به کمک سنسورها زمان لازم برای پیمودن فاصله تعیین شده، اندازه‌گیری شد و با استفاده از فرمول‌های به‌دست آمده مقدار نهایی ضریب اصطکاک دینامیکی نیز بر روی سه سطح و در سه تکرار به‌دست آمد. در نهایت مقادیر میانگین محاسبه شده و ثبت گردید. سه بعد اصلی بذر گلرنگ (L: طول، W: عرض و T: ضخامت) توسط کولیس دیجیتالی با دقت 0.01 mm اندازه‌گیری شد. برای تعیین جرم دانه‌ها از یک ترازوی دیجیتالی با دقت 0.001 gr استفاده شد. قطر میانگین هندسی (D_g) و حسابی (D_a)، کرویت (φ)، مساحت سطح بذر (S)، چگالی حقیقی (ρ_s) و توده‌ای (ρ_b) و تخلخل (ε) از روابط ارائه شده توسط Mohsenin (1978) به‌دست آمد. برای تعیین ضرایب اصطکاکی از دستگاهی با صفحه اریب قابل تنظیم که در گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه ساخته شده بود، استفاده شد (شکل ۱). ضرایب اصطکاکی بر روی سه سطح آلومینیومی، ورق آهنی و چوب تراش خورده به‌دست آمد، به‌طوری‌که برای هر کدام از تیمارهای ترکیبی (مجموعاً ۲۱ تیمار مختلف) سه تکرار صورت گرفت. تعدادی از خواص مکانیکی گلرنگ در حالتی که بذر در وضعیت نرمال خود روی سطح قرار گرفته بود، توسط آزمون فشار برای بررسی تحمل بذر در مقابل بار فشاری و در سه تکرار تعیین گردید. برای تعیین این خواص از دستگاه تست کشش و فشار (HOUNSFIELD H5KS) ساخت انگلستان که براساس استاندارد ASTM E4 و با ظرفیت حسگر بار ۵ کیلونیوتنی عمل می‌کند، استفاده شد. نیروی گسیختگی، تغییر شکل در لحظه گسیختگی، انرژی گسیختگی، ضریب کشسانی و همچنین سختی بذر که به‌صورت نسبت نیرو در لحظه گسیختگی به تغییر شکل در لحظه گسیختگی تعریف می‌شود (Karaj and Muller, 2010)، با استفاده از نرم‌افزار QMAT به‌دست آمد (شکل ۱).

در انتهای هر آزمایش، داده‌های اندازه‌گیری شده با کمک نرم‌افزار اکسل در پوشه‌های مجزا دسته‌بندی و ذخیره‌سازی گردیدند. پس از جمع‌آوری نتایج، در تعداد تکرار مورد نظر، پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بر اساس شکل منحنی و یا روابط ذکر شده استخراج شده و هر یک در ستون‌های مجزا قرار داده شدند. سپس برای هر ستون که معرف اطلاعات پارامترهای فیزیکی و مکانیکی در تیمار معینی بود، اطلاعات اولیه آماری محاسبه گردید. با استفاده از نرم‌افزار SPSS داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نتایج با کمک نرم‌افزار اکسل و SPSS به صورت نمودارهای ستونی، منحنی و جداول خلاصه شده و مورد بحث قرار گرفت. توزیع فراوانی و نرمال بودن داده‌ها بررسی شده و تجزیه واریانس داده‌ها به‌صورت آنالیز واریانس یک طرفه و آزمایش فاکتوریل برای خواص فیزیکی، مکانیکی و

شیمیایی انجام گرفت.



شکل۱- دستگاه خودکار تعیین ضریب اصطکاک (راست) و دستگاه آزمون خواص مکانیکی (چپ)

Fig. 1. Automatic apparatus for coefficient of friction (R) and mechanical properties testing machine (L)

برای بررسی معنی‌داری تاثیر تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و بُن فرونی در سطح احتمال 0.01 و 0.05 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون دانکن برای طبقه‌بندی خواص فیزیکی در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. در این جداول مقدار میانگین به همراه انحراف معیار در داخل پرانتز و همچنین طبقه‌بندی با استفاده از حروف لاتین برای هر تیمار مشخص شده است. نتایج آنالیز نشان داد که در سطح $p\leq$ ۰/۰۱ ، تیمارها بر اکثر خواص فیزیکی تأثیر معنی‌داری دارند. به استثنای کرویت که تیمار آبیاری تأثیر خاصی بر روی آن نشان نداد. درمورد قطر متوسط تیمار آبیاری در هیچ یک از سطوح احتمال اثر معنی‌دار نداشت ولی تیمار تغذیه‌ای و اثر متقابل در سطح $p\leq$ ۰/۰۵ معنی‌دار بودند. در مورد چگالی حقیقی تیمار تغذیه‌ای تأثیر نداشته و اثر متقابلی نیز مشاهده نشد. برای تخلخل اثر معنی‌داری در هیچ یک از سطوح احتمال مشاهده نشد.

جدول۲- مقدار میانگین و انحراف معیار خواص فیزیکی ساده بذر گلرنگ و طبقه‌بندی براساس آزمون دانکن

Table2- Mean and standard deviation values for primary physical properties of safflower seed and Duncan based classification

جرم واحد (گرم) Seed Mass (g)	قطر م . ح . (میلی متر) AMD (mm)	قطر م . هـ . (میلی متر) GMD (mm)	ضخامت (میلی متر) Tickness (mm)	عرض (میلی متر) Width (mm)	طول (میلی متر) Length (mm)	تیمار Treatment
0.048(0.01) bcd	5.38(0.21) bc	5.11(0.22) bcd	3.74(0.22) bcd	4.51(0.23) abc	7.88(0.30) bcd	ad*
0.045(0.01) defg	5.47(0.25) ab	5.18(0.27) ab	3.79(0.25) b	4.45(0.27) bc	8.14(0.39) a	ae
0.043(0.01) efgh	5.34(0.20) cd	5.06(0.19) cdefg	3.68(0.20) cdef	4.46(0.23) bc	7.88(0.36) bcd	af
0.040(0.01) h	5.32(0.22) cd	5.03(0.20) defgh	3.67(0.18) cdef	4.39(0.18) cd	7.89(0.46) bcd	ag
0.045(0.01) cdefg	5.33(0.16) cd	5.05(0.16) defg	3.69(0.16) cdef	4.47(0.24) bc	7.85(0.35) cde	ah
0.042(0.01) gh	5.25(0.28) de	5.02(0.29) defgh	3.71(0.20) bcde	4.50(0.34) ab	7.58(0.41) fg	ai
0.046(0.01) cdef	5.46(0.25) ab	5.16(0.26) abc	3.76(0.26) bc	4.53(0.29) abc	8.09(0.34) a	aj
0.049(0.01) bc	5.34(0.43) cd	5.07(0.41) cde	3.65(0.28) defgh	4.52(0.36) ab	7.77(0.59) de	bd
0.049(0.01) bc	5.31(0.25) cde	5.02(0.24) defgh	3.63(0.26) efgh	4.46(0.24) bc	7.84(0.43) de	be
0.042(0.01) fgh	5.31(0.27) cde	5.05(0.28) defg	3.69(0.29) bcdef	4.47(0.23) abc	7.76(0.33) de	bf
0.047(0.01) bcd	5.21(0.26) e	4.97(0.27) efgh	3.62(0.25) efgh	4.47(0.29) abc	7.51(0.33) g	bg
0.049(0.01) bc	5.40(0.25) abc	5.10(0.24) bcd	3.68(0.18) cdef	4.49(0.26) abc	8.01(0.41) ab	bh
0.047(0.01) bcd	5.22(0.17) e	4.94(0.16) h	3.60(0.12) fgh	4.34(0.19) d	7.71(0.32) ef	bi
0.040(0.01) h	5.24(0.41) de	4.96(0.39) fgh	3.57(0.30) gh	4.44(0.38) bc	7.81(0.54) de	bj
0.045(0.01) defg	5.33(0.16) cd	5.07(0.18) cdef	3.69(0.19) bcdef	4.52(0.24) ab	7.80(0.26) de	cd
0.047(0.01) bcde	5.35(0.20) cd	5.05(0.21) cdefg	3.66(0.21) cdefg	4.46(0.24) bc	7.93(0.30) bcd	ce
0.046(0.01) bcdef	5.34(0.21) cd	5.07(0.21) cde	3.71(0.25) bcde	4.54(0.25) ab	7.80(0.37) de	cf
0.055(0.01) a	5.49(0.19) a	5.22(0.20) a	3.87(0.23) a	4.58(0.24) a	8.01(0.30) abc	cg
0.048(0.01) bcd	5.32(0.28) cde	5.06(0.31) cdefg	3.63(0.23) efgh	4.47(0.31) abc	7.81(0.40) de	ch
0.049(0.01) bc	5.26(0.21) de	4.96(0.23) gh	3.56(0.22) h	4.31(0.18) d	7.78(0.30) de	ci
0.050(0.01) b	5.38(0.20) bc	5.10(0.19) bcd	3.74(0.19) bcd	4.51(0.20) abc	7.88(0.37) bcd	cj

* برای اطلاع از نوع هر تیمار به جدول ۱ مراجعه شود. AMD: Arithmetic Mean Diameter GMD: Geometric Mean Diameter

جدول۳- مقدار میانگین و انحراف معیار خواص فیزیکی مرکب بذر گلرنگ و طبقه‌بندی بر اساس آزمون دانکن

Table3- Mean and standard deviation values for complex physical properties of safflower seed and Duncan based classification

تیمار Treatment	کرویت Sphericity (decimal)	مساحت سطح بذر (میلی متر مربع) Surface area (mm^2)	مساحت تصویر شده (میلی متر مربع) Projected area (mm^2)	چگالی توده‌ای (کیلوگرم بر متر مکعب) Bulk density ($kg\ m^{-3}$)	چگالی حقیقی (کیلوگرم بر متر مکعب) Seed density ($kg\ m^{-3}$)	تخلخل (٪) Porosity
ad*	0.649(0.02) bcdef	82.19(6.86) bcd	0.287(0.03) abc	494.9(0.02) cdef	916.9(0.06) abcd	47.39(5.55) a
ae	0.637(0.02) ghi	84.01(8.11) ab	0.329(0.03) a	448.0(0.05) ghi	732.1(0.13) bcde	37.83(7.65) ab
af	0.641(0.02) fgh	80.50(6.17) cde	0.264(0.03) bc	425.9(0.01) hi	713.5(0.21) cde	35.54(20.02) ab
ag	0.640(0.02) fgh	79.72(6.42) def	0.298(0.05) abc	419.7(0.02) i	708.1(0.23) de	36.27(16.87) ab
ah	0.645(0.02) cdefg	80.14(5.17) de	0.300(0.02) abc	474.3(0.01) efg	923.3(0.11) abcd	48.04(6.28) a
ai	0.663(0.03) a	78.92(8.77) def	0.293(0.03) abc	457.7(0.04) fgh	674.8(0.15) e	35.49(11.84) ab
aj	0.637(0.02) ghi	83.77(8.31) abc	0.283(0.03) abc	463.1(0.01) fg	879.1(0.21) abcde	44.40(14.96) ab
bd	0.653(0.02) bc	81.42(13.36) bcd	0.294(0.08) abc	525.9(0.02) abc	954.2(0.09) ab	44.48(4.67) ab
be	0.642(0.03) defgh	79.37(7.60) def	0.317(0.03) ab	504.4(0.01) bcde	936.6(0.13) abc	45.39(6.78) a
bf	0.652(0.02) bcd	80.30(9.01) de	0.280(0.05) abc	519.6(0.05) abcd	777.9(0.25) abcde	44.92(5.74) a
bg	0.657(0.03) ab	77.79(8.47) ef	0.282(0.05) abc	530.4(0.03) abc	873.5(0.13) abcde	43.69(3.51) ab
bh	0.633(0.02) hi	81.82(7.49) bcd	0.309(0.02) abc	509.6(0.03) bcde	899.3(0.09) abcd	44.98(2.92) a
bi	0.641(0.02) fgh	76.66(5.12) f	0.282(0.02) abc	559.1(0.00) a	937.4(0.12) abc	39.63(7.13) ab
bj	0.643(0.02) defg	77.79(12.36) ef	0.252(0.02) c	464.3(0.01) fg	783.5(0.13) abcde	39.23(10.98) ab
cd	0.649(0.02) bcdef	80.58(5.57) cde	0.312(0.06) ab	526.3(0.03) abc	911.7(0.16) abcd	44.46(3.01) ab
ce	0.639(0.02) gh	80.39(6.53) de	0.313(0.03) ab	539.4(0.02) ab	794.9(0.13) abcde	30.65(11.23) b
cf	0.651(0.03) bcde	80.99(7.38) bcde	0.304(0.04) abc	485.9(0.07) defg	806.6(0.21) abcde	38.15(8.74) ab
cg	0.654(0.02) bc	86.19(6.45) a	0.337(0.06) a	558.2(0.02) a	895.7(0.19) abcde	40.33(6.47) ab
ch	0.650(0.02) bcdef	79.53(8.45) def	0.332(0.02) a	532.0(0.01) abc	935.7(0.13) abc	42.24(7.91) ab
ci	0.629(0.02) i	76.76(6.54) f	0.283(0.02) abc	556.9(0.02) a	893.1(014) abcde	40.46(4.01) ab
cj	0.645(0.02) cdef	81.79(6.14) bcd	0.296(0.01) abc	537.3(0.02) ab	962.4(0.08) a	43.73(6.25) ab

* برای اطلاع از نوع هر تیمار به جدول ۱ مراجعه شود.

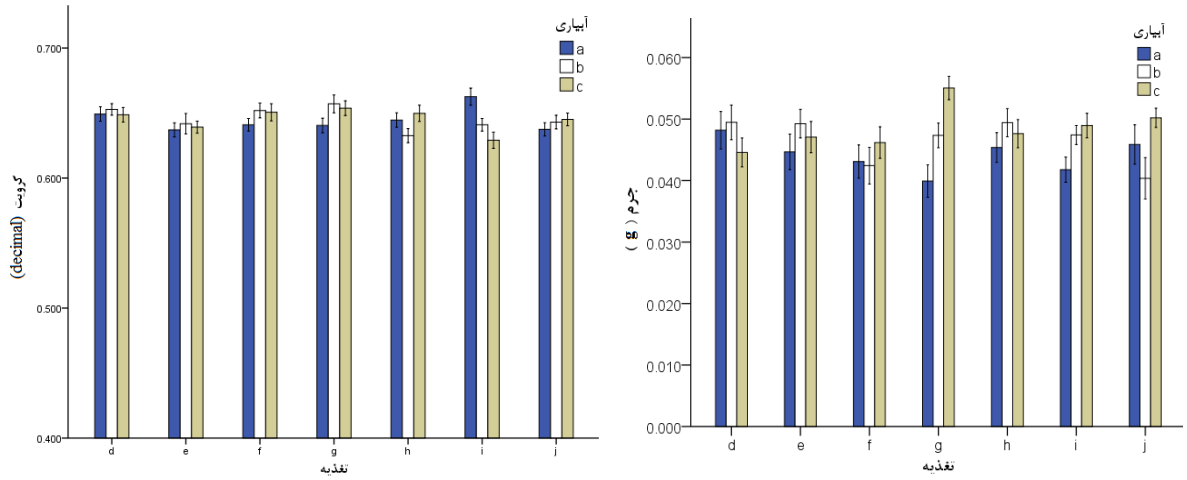
مقدار میانگین طول، عرض و ضخامت بذر گلرنگ در حالت کلی به‌ترتیب در محدوده 7.51-8.14 mm، 4.31-4.58 mm و 3.56-3.87 mm به‌دست آمد. بیشترین ضخامت و عرض برای تیمار (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» و کمترین مقدار مربوط به تیمار (ci) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» به‌دست آمد. رشد شعاعی بذر متاثر از نوع تیمار اعمالی بوده و روند کاملاً یکسانی هم در جهت ضخامت و هم عرض بذر مشاهده شد. در واقع رشد بذر در جهت عمود بر محور طولی بذر یکنواخت است. این نتیجه حاکی از آن می‌باشد که این دو تیمار به همراه هم نتیجه مطلوبی بر روی ضخامت بذر و به عبارتی در رشد شعاعی بذر دارند. اعمال تیمار (ae) یعنی «آبیاری کامل و تغذیه از نوع هیومیکس» نیز سبب افزایش رشد شعاعی بود، ولی از آنجایی‌که در این تیمار نیاز به آبیاری کامل بود، بنابراین با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و جلوگیری از مصرف زیاد آب، پیشنهاد می‌شود که اگر هدف، تولید بذرهایی گردتر و با ضخامت بیشتر می‌باشد، تیمار هیجدهم اعمال گردد. کمترین ضخامت نیز برای تیمار بیستم می‌تواند ناشی از این واقعیت باشد که اعمال تغذیه هیومیکس نمی‌تواند قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی را جبران کند، در نتیجه یک کاهش معنی‌داری در رشد شعاعی بذر مشاهده می‌گردد. این موضوع از دیدگاه سلولی بذر و تأثیر مواد مختلف در نحوه رشد بذر قابل بررسی می‌باشد. بیشترین و کمترین طول بذر به‌ترتیب به تیمارهای (ae) یعنی «آبیاری کامل و تغذیه از نوع هیومیکس» و (bg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» متعلق می‌باشد. شاید علت این باشد که آبیاری منظم و استفاده از مواد ارگانیک، سبب رشد بهتر بذر در راستای طولی شده است. همین موضوع در مورد ضخامت بذر نیز مشاهده شد، که نشان از اثر مطلوب تغذیه هیومیکس و آبیاری کامل بر این دو بعد دارد. اعمال تیمار (bg) باعث کاهش رشد طولی بذر شده است. این امر می‌تواند به‌علت کافی نبودن آب برای فعالیت بهتر میکروارگانیسم‌ها و متعاقباً عملکرد مطلوب بیوسولفور بر رشد طولی بذر باشد. قطر میانگین به‌عنوان شاخصی در تعیین مساحت سطح بذر و همچنین تعیین میزان کرویت که از مشخصه‌های شکل بذر می‌باشد، دارای اهمیت است. قطر میانگین هندسی در محدوده 4.94-5.22 mm و قطر میانگین حسابی متوسط بذرهای گلرنگ در محدوده 5.21-5.49 mm به‌دست آمد. بیشترین و کمترین قطر میانگین هندسی به ترتیب به تیمارهای (cg)

یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» و (bi) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه از نوع تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» و برای قطر میانگین حسابی متعلق به تیمارهای (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» و (bg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» می‌باشد. علل اختلاف در قطر میانگین هندسی و حسابی در نتیجه اعمال تیمارهای مختلف را باید در تأثیر تیمارها بر ابعاد اصلی بذر جستجو نمود، زیرا قطرهای هندسی رابطه مستقیمی با ابعاد دارند و تغییرات ابعاد آن‌ها را تحت تاثیر قرار خواهد داد. بیشترین و کمترین مقدار برای جرم به‌ترتیب برای تیمارهای (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» و (ag) یعنی «آبیاری کامل و تغذیه از نوع بیوسولفور» به‌دست آمد. جرم هزار دانه نیز در محدوده 40-55 gr به‌دست آمد. از آنجایی‌که جرم بذر بستگی نسبی به ابعاد بذر دارد، از این رو پیش‌بینی می‌شد که جرم برای تیمار (cg) از مابقی تیمارها بیشتر باشد. هرچند فاکتورهای دیگری نیز در میزان جرم بذر تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان به میزان جرم مغز دانه و عملکرد آن اشاره نمود یا ممکن است ضخامت پوسته زیاد ولی در مقابل کم جرم باشد. آنچه مشاهده شد، نشان از تأثیر مستقیم ابعاد بذر بر جرم بذر بودند. در اکثر موارد قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی سبب افزایش جرم بذر گلرنگ شده است. نکته قابل توجه عملکرد معکوس کاربرد تیمار تغذیه‌ای از نوع بیوسولفور در نتیجه استفاده از آبیاری کامل می‌باشد، به‌طوری‌که در آبیاری کامل کمترین جرم و در قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی بیشترین عملکرد را منجر می‌شود. همین روند برای سایر تیمارها نیز تا حدودی صادق می‌باشد. در حالت کلی میانگین جرم بذر گلرنگ در محدوده 0.040-0.055 gr متغیر بود. از آنجایی‌که جرم بذر در میزان مواد غذایی بذر نقش مستقیم دارد، بنابراین اعمال تیمار (cg) برای افزایش بهره‌وری و راندمان تولید محصول موثر بوده که خود این موضوع سبب تولید فرآورده‌های بیشتری خواهد گشت (شکل ۲).

نتایج نشان داد که بیشترین مساحت سطح بذر برای تیمار (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» و کمترین مقدار مربوط به تیمار (bi) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه از نوع تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» می‌باشد. مساحت سطح میانگین در محدوده $76.66\text{-}86.19\ mm^2$ متغیر است. بیشترین مقدار کرویت برای تیمار (ai) یعنی «آبیاری کامل و تغذیه از نوع تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» و کمترین برای تیمار (ci) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» به‌دست آمد. کرویت از شاخصه‌های شکل بذر است به‌طوری‌که اطلاع از مقدار آن می‌تواند در طراحی دستگاه‌های حمل و نقل، جداسازی، انبارسازی و پوست‌کنی مورد استفاده قرار گیرد. مقدار کرویت در محدوده 62.9-66.3 % متغیر است که مقادیر به‌دست آمده با نتایج به‌دست آمده برای بذر گلرنگ (۶۶-۵۸ درصد) توسط Baumler و همکاران (۲۰۰۶) مشابه می‌باشد (شکل ۲). نتایج نشان داد که بذر گلرنگ نمی‌تواند بغلتد، بلکه بر روی یکی از سطوح خود می‌تواند بلغزد. اطلاع از میزان چگالی بذر در تعیین میزان بازدهی محصول و راندمان ماشین‌های فرآوری مؤثر می‌باشد. حجم و چگالی نقش مهمی را در فرآیندهای فرآوری و برآورد کیفیت محصول، ایفا می‌کنند. بیشترین و کمترین مقادیر چگالی توده‌ای به‌ترتیب برای تیمارهای (bg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» و (ag) یعنی «آبیاری کامل و تغذیه از نوع بیوسولفور» به‌دست آمد. مقدار چگالی توده‌ای در محدوده $419.7\text{-}559.1\ kg\ m^{-3}$ متغیر بود. نتایج نشان از تأثیر معکوس تیمار آبیاری بر چگالی توده‌ای داشت (شکل ۳). با اعمال تیمار آبیاری کامل کمترین مقدار چگالی حقیقی به‌دست آمد. در حالی‌که بین دو تیمار دیگر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح $p\leq 0.05$ مشاهده نشد. برای تیمارهای تغذیه‌ای نیز کمترین مقدار در نتیجه اعمال کود بیولوژیک نیتروکسین به‌دست آمد. درواقع می‌توان چنین نتیجه گرفت که اعمال تیمار نیتروکسین سبب متخلخل شدن ساختار درونی بذر می‌گردد. چگالی حقیقی در محدوده $674.8\text{-}962.4\ kg\ m^{-3}$ متغیر بود (شکل ۴). این بدین معنی است که بذرهای گلرنگ در داخل آب شناور می‌شوند. از این موضوع می‌توان برای جداسازی و پاکسازی مواد سنگین‌تر از گلرنگ استفاده نمود، به‌طوری‌که مواد سنگین در آب ته‌نشین شده و گلرنگ در سطح آب معلق بماند.

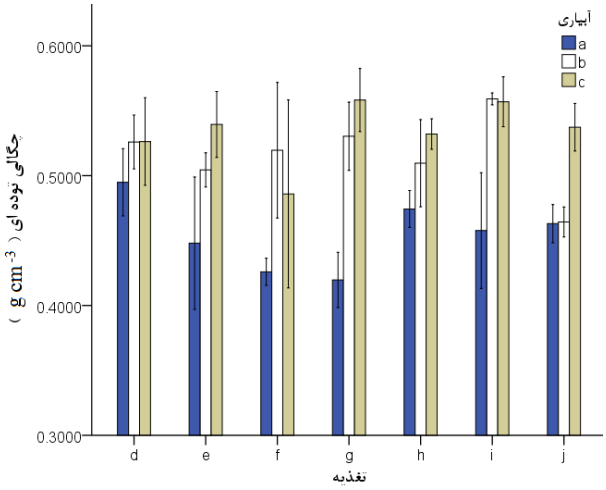
میزان تخلخل در محدوده ۴۸/۰۴ -۳۰/۶۵ درصد متغیر بود که بیشترین و کمترین مقادیر به ترتیب برای تیمارهای (ai) یعنی «آبیاری کامل و تغذیه از نوع تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» و (ce) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع هیومیکس» به‌دست آمد. اطلاعات مرتبط با تخلخل و وزن مخصوص، به همراه سایر شاخصه‌های فیزیکی محصولات کشاورزی، به‌عنوان پارامترهای برتر در مطالعات مشتمل بر انتقال جرم و حرارت و عبور جریان هوا از بین توده در نظر گرفته می‌شوند. علاوه بر این، همراه با میزان رطوبت، حجم، وزن مخصوص و تخلخل پارامترهای اساسی برای مطالعه و بررسی، خشک‌سازی و انبارسازی محصولات کشاورزی و مرور کاهش کیفیت مواد تا زمان ورود به بازار فروش می‌باشند.

نتایج نشان داد که اکثر تیمارها در سطح $p\leq$ ۰/۰۱ بر خواص اصطکاکی تأثیر معنی‌دار دارد. فقط تأثیر تیمار آبیاری بر روی ضریب اصطکاک استاتیکی معنی‌دار نبود. از آنجایی‌که اثر متقابل وجود داشت، اقدام به مقایسه بین ۲۱ تیمار شد. در نهایت با آزمون‌های بُن فرونی و دانکن محل اختلاف‌ها تعیین شد.



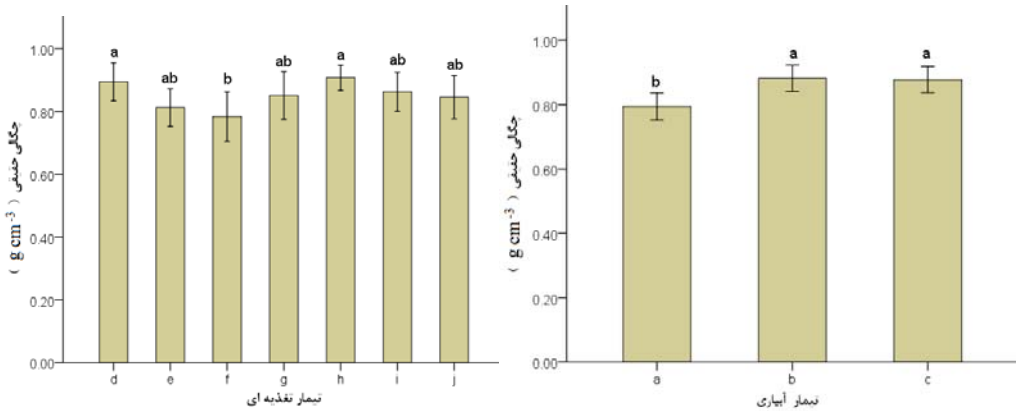
شکل۲- میانگین جرم (چپ) و کرویت بذر (راست) گلرنگ در تیمارهای مختلف

Fig.2. Means of the safflower seed mass (L) and sphericity (R) at various treatments



شکل۳- میانگین چگالی توده‌ای بذر گلرنگ در تیمارهای مختلف

Fig.3. Means of the safflower bulk density at various treatments



شکل٤- میانگین چگالی حقیقی بذر گلرنگ در تیمارهای آبیاری (چپ) و تغذیه‌ای (راست)

Fig.4. Means of the safflower seed density at different irrigation (L) and nutrient (R) treatments

بدون توجه به نوع تیمارها در اکثر موارد ضرایب اصطکاک بر روی آلومینیوم از همه بیشتر و بر روی چوب تراش خورده از همه کمتر بود. در بیشتر موارد ضریب اصطکاک استاتیکی آلومینیوم از همه بیشتر بوده و بعد از آن ورقه فلزی و چوب تراش خورده قرار دارند. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی ورق آلومینیومی ۰/۳۰۶ و در نتیجه اعمال تیمار (bj) یعنی«قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه شاهد» و کمترین مقدار آن ۰/۲۴۹ و در نتیجه اعمال تیمار (aj) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه شاهد» به‌دست آمد. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی ورق فلزی ۰/۲۹۳ و در نتیجه اعمال تیمار (cf) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه نیتروکسین» و کمترین مقدار آن ۰/۲۴۳ و در نتیجه اعمال تیمار (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس، نیتروکسین)» به‌دست آمد. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی چوب تراش خورده ۰/۲۶۵ و در نتیجه اعمال تیمار (ae) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه هیومیکس» و کمترین مقدار آن ۰/۲۰۶ و در نتیجه اعمال تیمار (ad) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه کود اوره» به‌دست آمد. در تمام موارد ضریب اصطکاک آلومینیوم از همه بیشتر بوده ولی بین ورقه فلزی و چوب تراش خورده روند خاصی مشاهده نمی‌شود. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی ورق آلومینیومی ۰/۲۷۶ و در نتیجه اعمال تیمار (ce) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه هیومیکس» و کمترین مقدار آن ۰/۱۶۰ و در نتیجه اعمال تیمار (bj) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تیمار شاهد» به‌دست آمد. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی ورق فلزی ۰/۲۲۱ و در نتیجه اعمال تیمار (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه بیوسولفور» و کمترین مقدار آن ۰/۰۹۹ و در نتیجه اعمال تیمار (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس، نیتروکسین)» به‌دست آمد. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی چوب تراش خورده ۰/۲۳۰ و در نتیجه اعمال تیمار (ae) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه هیومیکس» و کمترین مقدار آن ۰/۰۴۷ و در نتیجه اعمال تیمار (ad) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه کود اوره» به‌دست آمد. علت بالا بودن ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی بر روی آلومینیوم را باید از دیدگاه میکروسکوپی بررسی و تفسیر نمود. ساختار سطح ورق آلومینیوم فرم خاصی نداشته و شاید سبب درگیر شدن بیشتر ساختار سلولی بذر با سطح آن می‌شود (Mohsenin, 1978)، ولی در مورد چوب تراش خورده، به‌علت اینکه در یک جهت تراش خورده بود، بذر براحتی می‌توانست بر روی آن لیز بخورد. درحالی‌که در جهت عمود بر مسیر تراش خورده ضریب اصطکاک بیشتری به‌دست می‌آمد.

نتایج آنالیز نشان داد که اکثر خواص مکانیکی در سطح $p\leq$ ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشند. البته نیروی گسیختگی فقط در سطح $p\leq$ ۰/۰۵ معنی‌دار بود. در خصوص انرژی گسیختگی برای تیمار آبیاری تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد. از آزمون‌های بُن‌فرونی و دانکن و آنالیز واریانس برای تعیین اختلافات بین تیمارهای مختلف استفاده شد (جدول ۴ و ۵).

نیروی گسیختگی، حداقل مقدار نیروی لازم برای شکستن پوسته بذر یا دانه و یا آسیاب کردن آن می‌باشد. اطلاع از این نیرو در مقیاس صنعتی می‌تواند سبب صرفه‌جویی در انرژی مصرفی و جلوگیری از خسارت‌های اقتصادی گردد. نیروی شکست و گسیختگی، یک پارامتر مهم در طراحی ماشین کاهش اندازه می‌باشد، زیرا نیروی اعمالی در طول محورها ممکن است منجر به شکستگی هسته و کاهش کیفیت هسته شود. نتایج نشان داد که تاثیر تیمار آبیاری و تغذیه‌ای در سطح $p\leq$ ۰/۰۵ و همچنین تأثیر متقابل آن‌ها بر نیروی گسیختگی در سطح $p\leq$ ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد. بیشترین و کمترین مقادیر به‌ترتیب ۸۸/۵۷ نیوتن و ۴۶/۶۶ نیوتن و در نتیجه اعمال تیمارهای (ci) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» و (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» حاصل شدند. البته اختلاف معنی‌داری بین تیمار (ci) و (ai) از لحاظ آماری وجود نداشت (شکل ۵). با توجه به هدف کاری می‌توان هر کدام از تیمارهای موجود را اعمال نمود، یعنی اگر هدف پوست‌کنی و جداسازی هسته از بذر می‌باشد، بهتر است تیمار (ah) اعمال گردد، زیرا پوسته در مقابل نیرو مقاومت زیادی ندارد. ولی اگر هدف انبارسازی و صادرات و جابه‌جایی در فواصل زیاد می‌باشد، بهتر است تیمار (ci) اعمال گردد تا بدین وسیله از آسیب‌های احتمالی وارده جلوگیری شود. در اکثر موارد مشاهده شد که قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی سبب افزایش میزان نیروی لازم برای گسیختگی می‌شود. شاید علت این موضوع را بتوان این‌گونه تفسیر نمود که با قطع آبیاری در این مرحله، مواد غذایی موجود، در نبود آب کافی سبب سفت‌تر شدن ساختار فیبری پوسته بذر می‌گردند که این پدیده به نوبه خود سبب افزایش قدرت تحمل بذر در زیر بار فشاری می‌گردد. در واقع تبدیل به یک ساختار ترد شبیه به چدن و یا بتون می‌شود که توانایی تحمل بار فشاری زیادی را دارا می‌باشند.

اطلاع از میزان تغییر شکل در لحظه گسیختگی می‌تواند در تعیین میزان فاصله بین دو سطحی که بذر در بین آن‌ها فشرده خواهد شد، استفاده گردد. نتایج نشان داد که تأثیر تیمار آبیاری و تغذیه‌ای و همچنین تأثیر متقابل آن‌ها بر تغییر شکل در لحظه گسیختگی در سطح $p\leq$ ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد. بیشترین و کمترین مقادیر به‌ترتیب 0.843 mm و 0.426 mm و در نتیجه اعمال تیمارهای (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و

نیتروکسین)» و (bd) یعنی « قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه کوداوره» حاصل شدند (شکل ۵). مشاهده شد که تیمار (ah) برخلاف اینکه کمترین نیرو برای شکست را لازم داشت، با این حال از انعطاف‌پذیری خیلی بالایی برخوردار است. در واقع پوسته بذر شکل پذیری زیادی دارد که باید در طراحی دستگاه‌های فرآوری آن را در نظر گرفت.

جدول٤- مقدار میانگین و انحراف معیار خواص مکانیکی بذر گلرنگ و طبقه‌بندی براساس آزمون دانکن

Table 4- Mean and standard deviation values for mechanical properties of safflower seed and Duncan based classification

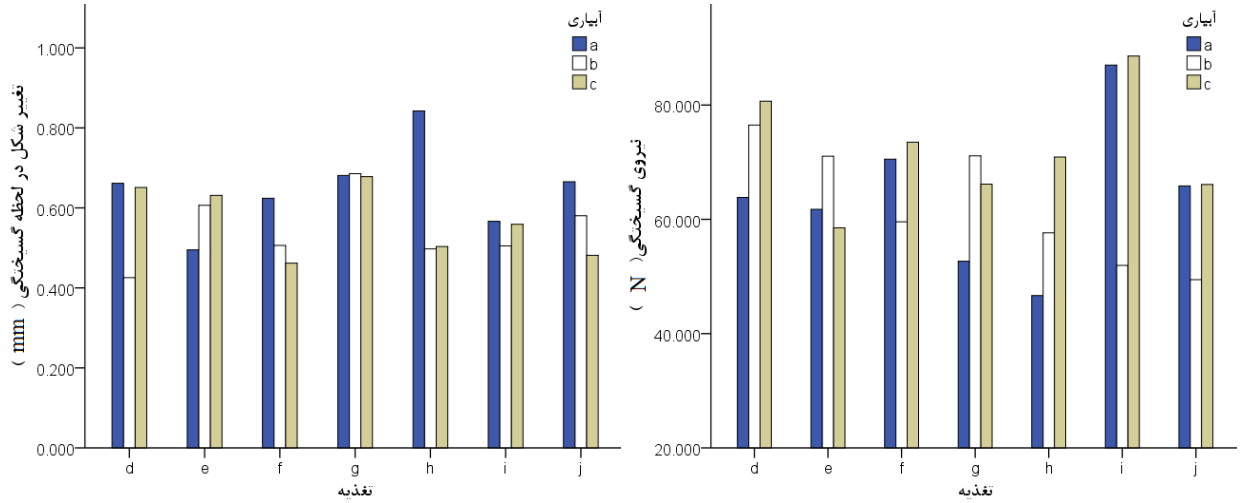
تیمار Treatment	نیروی گسیختگی (نیوتن) Rupture force (N)	تغییر شکل در لحظه گسیختگی (میلی متر) Deformation at rupture point (mm)	انرژی گسیختگی (ژول) Rupture Energy (J)	مدول الاستیسیته (مگاپاسکال) Modulus of elasticity (MPa)	سفتی (نیوتن بر میلی متر) Hardness ($N\ mm^{-1}$)
ad*	63.83(7.53)^{cdefg}	0.661(0.05)^{b}	0.027(0.0034)^{abcd}	136.7(9.19)^{def}	97.29(21.89)^{fgh}
ae	61.75(2.9)^{cdefg}	0.495(0.08)^{defg}	0.02(0.0096)^{cdef}	135.17(4.37)^{def}	125.99(15.02)^{cdefg}
af	70.53(10.7)^{abcdef}	0.624(0.01)^{bcd}	0.016(0.0066)^{f}	278.9(9.33)^{a}	133.29(31.44)^{bcde}
ag	52.67(7.54)^{efg}	0.681(0.15)^{b}	0.019(0.0038)^{cdef}	160.4(47.38)^{cd}	140.92(0.76)^{bcd}
ah	46.66(8.1)^{g}	0.843(0.04)^{a}	0.022(0.0042)^{bcdef}	66.53(10.31)^{h}	63.96(7.68)^{i}
ai	87(6.79)^{ab}	0.567(0.04)^{bcdef}	0.029(0.002)^{ab}	144(9.05)^{cde}	116.06(5.73)^{defgh}
aj	65.85(16.05)^{bcdefg}	0.666(0.04)^{b}	0.022(0.0032)^{bcdef}	97.25(13.65)^{fgh}	88.44(13.69)^{hi}
bd	76.5(18.67)^{abcd}	0.426(0.09)^{g}	0.021(0.0032)^{bcdef}	221.95(16.33)^{b}	182.55(10.02)^{a}
be	71.05(23.69)^{abcdef}	0.607(0.06)^{bcde}	0.03(0.0053)^{ab}	136.9(24.75)^{def}	148.21(18.27)^{bc}
bf	59.57(13.56)^{cdefg}	0.506(0.06)^{cdefg}	0.017(0.0016)^{ef}	103(6.93)^{efgh}	109(5.58)^{efgh}
bg	71.1(9.76)^{abcdef}	0.686(0.01)^{b}	0.031(0.0054)^{a}	139.25(12.66)^{def}	148.09(0)^{bc}
bh	57.64(5.7)^{defg}	0.498(0.02)^{cdefg}	0.015(0.0031)^{f}	89.15(10.54)^{gh}	100.79(0)^{fgh}
bi	51.93(5.1)^{efg}	0.505(0.03)^{cdefg}	0.016(0.0005)^{f}	128.95(19.45)^{defg}	97.65(10.64)^{fgh}
bj	49.43(6)^{fg}	0.581(0.03)^{bcdef}	0.017(0.0005)^{ef}	120.5(21.07)^{defg}	90.57(12.08)^{hi}
cd	80.67(5.88)^{abc}	0.651(0.02)^{b}	0.028(0.0008)^{abc}	205.85(34.58)^{b}	128.63(0.85)^{bcdef}
ce	58.5(2.4)^{cdefg}	0.631(0.03)^{bc}	0.015(0.001)^{f}	100.05(11.67)^{fgh}	94.91(4.66)^{gh}
cf	73.5(9.36)^{abcde}	0.462(0.02)^{fg}	0.017(0.0018)^{ef}	144.4(0.57)^{cde}	125.12(20.1)^{cdefg}
cg	66.15(12.52)^{bcdefg}	0.678(0.03)^{b}	0.033(0.0045)^{a}	156.15(5.16)^{cd}	148.75(9.23)^{bc}
ch	70.9(9.05)^{abcdef}	0.504(0.01)^{cdefg}	0.02(0.0001)^{cdef}	182.6(0.99)^{bc}	141.03(20.95)^{bcd}
ci	88.57(5.87)^{a}	0.559(0)^{bcdefg}	0.025(0.0006)^{abcde}	200(6.36)^{b}	158.93(14.4)^{ab}
cj	66.1(4.81)^{bcdefg}	0.482(0.11)^{efg}	0.018(0.0025)^{def}	130.95(36.27)^{defg}	110.48(2.95)^{defgh}

* برای اطلاع از نوع هر تیمار به جدول ۱ مراجعه شود.

جدول۵- آنالیز واریانس و سطح معنی‌داری تیمارها برای خواص مکانیکی

Table 5- ANOVA and significance level of treatments for mechanical properties

متغیر Variables	درجه آزادی DF	میانگین مربعات M.S	F	Pr > F	
آبیاری Irrigation	2	0.041	11.573	0.000	تغییر شکل در لحظه گسیختگی Deformation at rupture point
تغذیه Nutrient	6	0.014	4.101	0.005	
تغذیه×آبیاری Nutrient × Irrigation	12	0.020	5.799	0.000	
آبیاری Irrigation	2	436.872	4.476	0.020	نیروی گسیختگی Rupture force
تغذیه Nutrient	6	315.473	3.232	0.014	
تغذیه×آبیاری Nutrient × Irrigation	12	297.441	3.047	0.007	
آبیاری Irrigation	2	0.000	0.638	0.537	انرژی گسیختگی Rupture Energy
تغذیه Nutrient	6	0.000	6.629	0.000	
تغذیه×آبیاری Nutrient × Irrigation	12	0.000	4.079	0.001	
آبیاری Irrigation	2	2334.089	6.998	0.004	ضریب کشسانی Modulus of elasticity
تغذیه Nutrient	6	5485.841	16.447	0.000	
تغذیه×آبیاری Nutrient × Irrigation	12	5281.864	15.835	0.000	
آبیاری Irrigation	2	1613.417	8.225	0.002	سفتی Hardness
تغذیه Nutrient	6	1610.341	8.210	0.000	
تغذیه×آبیاری Nutrient × Irrigation	12	1570.382	8.006	0.000	

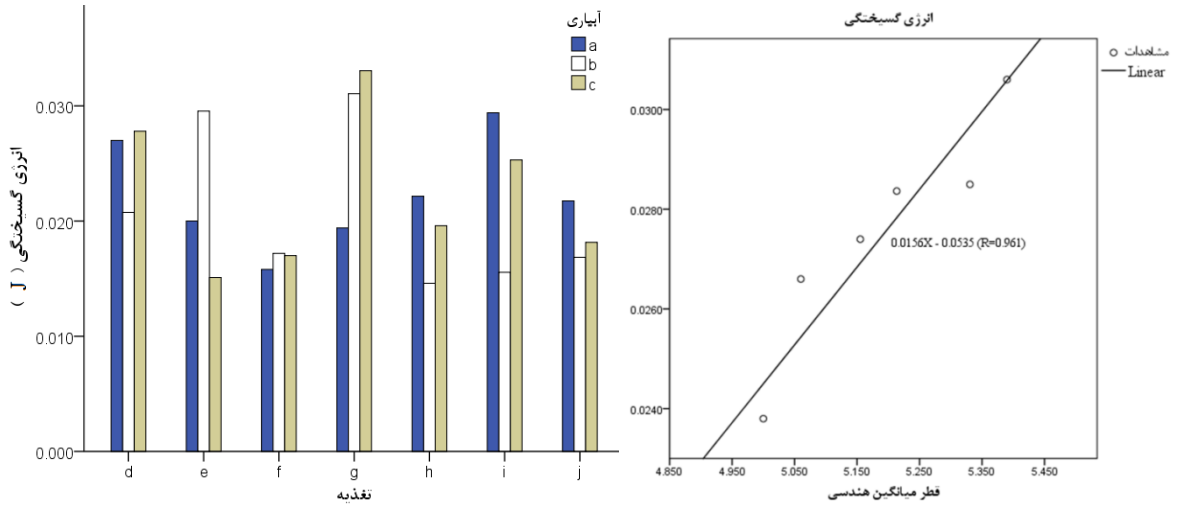


شکل ۵- میانگین نیروی گسیختگی (چپ) و تغییر شکل در لحظه گسیختگی (راست) گلرنگ

Fig.5. Means of the safflower rupture force (L) and deformation at rupture point (R)

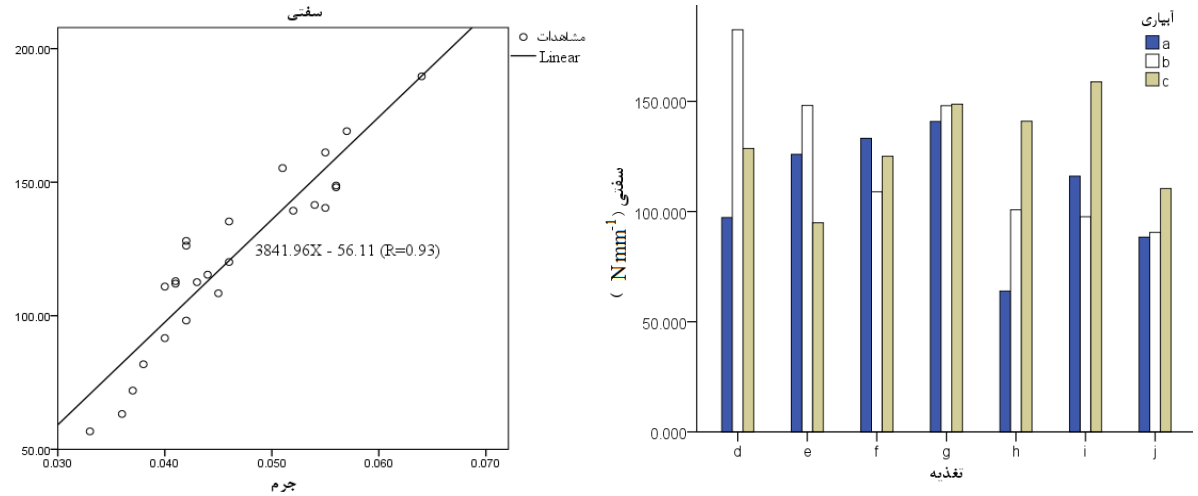
این موضوع در حالت تیمار تغذیه‌ای «شاهد» کاملاً مشهود می‌باشد و می‌توان اظهار نمود که نوع آبیاری تأثیر قابل‌توجهی بر انعطاف‌پذیری پوسته دارد. همچنین با اعمال آبیاری کامل در اکثر تیمارها مشاهده شد که بذر انعطاف‌پذیر می‌گردد. علت این واقعیت را می‌توان در تأثیر نوع آبیاری و تغذیه تلفیقی، در ساختار سلولی و فیبری بذر گلرنگ جستجو نمود. یکی از فاکتورهای مورد استفاده در طراحی ادوات میزان انرژی گسیختگی بذر می‌باشد. اطلاع از این انرژی می‌تواند در بهره‌وری بیشتر از دستگاه‌های پوست‌کنی و استخراج روغن مؤثر باشد. انرژی گسیختگی از آنجایی‌که کار انجام یافته برای یک پروسه خاص می‌باشد، بنابراین می‌تواند معیار مناسبی از ارزیابی هزینه‌ها و بهینه‌سازی دستگاه‌های فرآوری باشد، زیرا نیروی گسیختگی و تغییر شکل به تنهایی پاسخگوی این نیاز نمی‌باشند. بیشترین و کمترین مقادیر به‌ترتیب 0.033 J و0.0146 J و در نتیجه اعمال تیمارهای (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه بیوسولفور» و (bh) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» حاصل شدند (شکل ۶). این بدین معنی است که در فرآوری محصول به‌خصوص استخراج روغن، کاربرد تیمار (bh) می‌تواند سبب کاهش هزینه‌های فرآوری گردد. این موضوع هنگامی اهمیت می‌یابد که متوجه می‌شویم، این تیمار نیاز به نیروی کم برای گسیختگی داشته و تغییر شکل در آن نیز نسبتاً کم می‌باشد. در نتیجه توصیه می‌شود اگر هدف استخراج روغن می‌باشد، از این تیمار استفاده گردد. عکس همین مطلب در مورد تیمارهای (bg) و (cg) مشاهده می‌گردد، در واقع استفاده از تیمار تغذیه‌ای بیولوژیک (بیوسولفور) سبب افزایش قابل توجهی در انرژی گسیختگی می‌گردد که البته با توجه به اهداف مورد نظر، این تیمار نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. اختلاف معنی‌داری بین انرژی شکست و اندازه برای میوه و هسته زیتون در تمام جهات توسط گروهی از محققان مشاهده شد. آن‌ها نشان دادند که با افزایش اندازه میوه و هسته زیتون، انرژی شکست در تمام راستاها افزایش یافت که بیانگر این می‌باشد که برای شکست دانه‌های بزرگتر نیروی بیشتری نیز لازم است (kilickan and Gunar, 2008). نتایج مشابهی در مورد بذر گلرنگ نیز مشاهده شد (شکل ۶). سفتی دارای اهمیت خاصی به‌عنوان یک موضوع نهایی در طراحی و توسعه یک ماشین پوست‌کنی بذر و همچنین شاخص مناسبی از تعیین مقاومت بذر در مقابل بار وارده می‌باشد. سفتی نسبتی از نیرو بر تغییر شکل می‌باشد. بیشترین و کمترین مقادیر به ترتیب ۱۸۲/۵۵ N mm^{-1} و ۶۳/۹۵ N mm^{-1} و در نتیجه اعمال تیمارهای (bd) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه کود اوره» و (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» حاصل شدند. البته بین تیمار (bd) و (ci) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. از آنجایی‌که این پارامتر در ارتباط با نیروی گسیختگی و همچنین تغییر شکل می‌باشد، بنابراین مقادیر به‌دست آمده در ارتباط با آن‌ها خواهد بود. نتایج نشان داد که سفتی دانه‌ها با افزایش جرم واحد در بیشتر موارد افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط Oje و Ugbor (1991) نیز مشاهده شده بود (شکل ۷).

به‌عنوان یکی از کاربردها، ضریب کشسانی می‌تواند در شبیه‌سازی ساختار بذر بکار رود. بیشترین و کمترین مقادیر به ترتیب 278.9 MPa و 66.5 MPa و در نتیجه اعمال تیمارهای (af) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه نیتروکسین» و (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» حاصل شدند (شکل ۸).



شکل۶- رابطه بین قطر میانگین هندسی و انرژی گسیختگی (راست) و میانگین انرژی گسیختگی (چپ) در تیمارهای مختلف

Fig. 6. Relation between geometric mean diameter and rupture energy (R) and Means of the safflower rupture energy (L) at various treatments



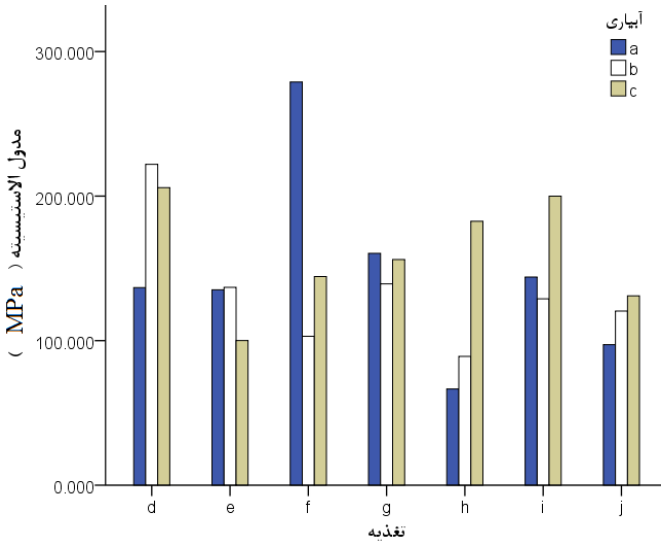
شکل۷- رابطه بین جرم و سفتی (راست) و میانگین سفتی بذر گلرنگ (چپ) در تیمارهای مختلف

Fig. 7. Relation between mass and hardness (R) and Means of the safflower hardness at various treatments (L)

با توجه به هدف مورد نظر می‌توان هر یک از تیمارها را پیشنهاد نمود. ضریب کشسانی در واقع نشان‌دهنده مقاومت یک ماده در برابر تنش‌های موجود می‌باشد، بنابراین اگر هدف، پوست‌کنی و یا استخراج روغن باشد، بهتر است از تیمار (ah) استفاده گردد. ضریب کشسانی به ماده سازنده بستگی داشته و به خواص فیزیکی مربوط نمی‌باشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که اعمال تیمار (ah) سبب به‌وجود آمدن ساختاری ضعیف‌تر در مقایسه با سایر تیمارها شده است که این موضوع می‌تواند در طراحی دستگاه‌های مختلف فرآوری مدنظر قرار بگیرد. همان‌گونه که مشاهده شد این موضوع در میزان نیروی لازم برای شکست بذر نیز مشاهده شده بود.

نتیجه‌گیری

اعمال تیمار هیجدهم (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه بیولوژیک (بیوسولفور)» سبب افزایش رشد در امتداد شعاعی بذر و همچنین افزایش جرم بذر گردید. درحالی‌که تیمار دوم (ae) یعنی «آبیاری کامل و نوع تغذیه ارگانیک (هیومیکس)» باعث رشد طولی بذر شد که باید در طراحی دستگاه‌های مختلف در نظر گرفته شود. مقدار میانگین طول، عرض، ضخامت و جرم بذر گلرنگ درحالت کلی به‌ترتیب در محدوده 7.51-8.14 mm، 4.31-4.58 mm، 3.56-3.87 mm و 0.040-0.055 gr متغیر بود.



شکل۸- میانگین ضریب کشسانی بذر گلرنگ در تیمارهای مختلف

Fig.8. Means of the safflower modulus of elasticity at various treatments

بذرها قابلیت غلتش نداشته و فقط بر روی سطح سکون خود توانایی لغزش داشتند. نتایج نشان از تأثیر معکوس تیمار آبیاری بر چگالی توده‌ای داشت. با اعمال تیمار آبیاری کامل کمترین مقدار چگالی حقیقی به‌دست آمد. برای تیمارهای تغذیه‌ای نیز کمترین مقدار در نتیجه اعمال تیمار بیولوژیک (بیوسولفور) به‌دست آمد. مقدار چگالی حقیقی در محدوده $kg\ m^{-3}$ ۹۶۲/۴-۶۷۴/۸ متغیر بود که از این خاصیت می‌توان برای جداسازی مواد سنگین‌تر از گلرنگ استفاده نمود. تخلخل در محدوده ۳۰/۶۵-۴۸/۰۴ درصد متغیر بود. نتایج نشان داد که اکثر تیمارها در سطح $p\leq$ ۰/۰۱ بر خواص اصطکاکی تأثیر معنی‌دار دارد. بدون توجه به نوع تیمارها در اکثر موارد ضرایب اصطکاک بر روی آلومینیوم از همه بیشتر و بر روی چوب تراش خورده از همه کمتر بود. اکثر خواص مکانیکی در سطح $p\leq$ ۰/۰۱ معنی‌دار بودند. البته نیروی گسیختگی فقط در سطح $p\leq$ ۰/۰۵ معنی‌دار بود. در خصوص انرژی گسیختگی برای تیمار آبیاری تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین و کمترین مقادیر به‌ترتیب ۸۸/۵۷ نیوتن و ۴۶/۶۶ نیوتن و در نتیجه اعمال تیمارهای (ci) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی وتغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» و (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» حاصل شدند. بیشترین و کمترین مقادیر تغییر شکل به ترتیب ۰/۸۴۳ mm و ۰/۴۲۶ mm و در نتیجه اعمال تیمارهای (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» و (bd) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه کود شیمیایی (اوره)» حاصل شدند. بیشترین و کمترین انرژی گسیختگی به ترتیب ۰/۰۳۳ J و ۰/۰۱۴۶ J و در نتیجه اعمال تیمارهای (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه بیولوژیک (بیوسولفور)» و (bh) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» حاصل شدند. اختلاف معنی‌داری بین انرژی شکست و اندازه برای بذر گلرنگ مشاهده شد. کاربرد کودهای ارگانیک به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی توصیه می‌گردد، زیرا علاوه بر مسائل زیست‌محیطی، سبب تغییر قابل‌توجهی در خواص فیزیکی و مکانیکی بذر شده و سودآوری را بیشتر و هزینه‌های فرآوری را کاهش می‌دهد. با توجه به هدف زراعت، کاربرد نوع به‌خصوصی از تیمار توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

از گروه زراعت دانشگاه ارومیه به‌خاطر همکاری در انجام تحقیق تشکر و قدردانی می‌نمایم.

منابع

1. Aliyari, H., F. Shkari, and F. Shkari. 2000. Oil seeds: cultivation and physiology. Tabriz Amidi Press. First edition. (In Farsi).

2. Baumler, E., A. Cuniberti, S. M. Nolasco, and I. C. Riccobene. 2006. Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. Food Engineering, 72: 134-140.
3. FAO. 2008 and 2009. Available from http://www.fao.org/.
4. Figueiredo, A. K., E. Baümler, I. C. Riccobene, S. M. Nolasco. 2011. Moisture-dependent engineering properties of sunflower seeds with different structural characteristics. Food Engineering, 102: 58-65.
5. Gupta, R. K., G. Arora, and R. Sharma. 2007. Aerodynamic properties of sunflower seed (Helianthus annuus L.). Food Engineering, 79: 899-904.
6. Hernandez, L. F., and P. M. Belles. 2007. A 3-D finite element analysis of the sunflower (Helianthus annuus L.) fruit. Biomechanical approach for the improvement of its hullability. Food Engineering, 78: 861-869.
7. Karaj, S., and J. Muller. 2010. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of Jatropha curcas L. Industrial Crops and Products, 32: 129-138.
8. Kilickan, A., and M. Gunar. 2008. Physical properties and mechanical behavior of olive fruits (Olea europaea L.) under compression loading. Food Engineering, 87: 222-228.
9. Mohsenin, N. N. 1978-1980-1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. New York. Gordon and Breach Science Publishers.
10. Malek, F. 2000. Vegetable and edible fats and oils. Farhang and Ghalam Press. (In Farsi).
11. Oje, K., and E. C. Ugbor. 1991. Some physical properties of oilbean seed. J. Agric. Eng. Res., 50, 305-313.
12. Razavi, M. A., and R. Akbari. 2006. Biophysical properties of agricultural materials and food products. Ferdowsi University of Mashhad Press. First edition. (In Farsi).
13. Sharma, R., D. S. Sogi, and D. C. Saxena. 2009. Dehulling performance and textural characteristics of unshelled and shelled sunflower (Helianthus annuus L.) seeds. Food Engineering, 92: 1–7.