تغییرات مقاومت به شکست برنج در اثر سه روش آبیاری

امین قبادپور[۱] و مهدی کسرایی[۲]

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و عضو هیئت علمی بخش مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه شیراز
ghobadipoor@gmail.com

چکیده

برنج از غلات مهم در تأمین غذای انسان می باشد. محدودیت منابع آب و خاک و هزینه بالای تولید باعث شده است تا کاهش ضایعات این محصول هرچه بیشتر مورد توجه قرار گیرد. شکستگی برنج در فرآیند تبدیل از مهم ترین مشکلاتی است که سبب ضایعات و کاهش ارزش اقتصادی آن می شود. از عمده ترین عوامل مؤثر بر شکستگی دانه برنج، ضربه های مکانیکی می باشد. هدف این پژوهش تعیین تغییرات مقاومت به شکست دانه برنج در اثر دو روش کم آبیاری (غرقاب متناوب با دور یک روز و جویچه ای یک در میان) نسبت به روش معمول (غرقاب هر روز) بود. در این پژوهش تغییرات مقاومت به شکست دو رقم برنج محلی به نام عنبربو و قصردشتی که با سه روش مختلف آبیاری کشت شده بودند، مورد مطالعه قرار گرفتند. دانه ها پس از بر داشت و خشک کردن، توسط یک دستگاه آزمایش ضربه آونگی به روش ایزود[۱] تحت بارگذاری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تیمارهای رقم و روش آبیاری اثر معنی داری (در احتمال سطح ۱٪) بر مقاومت به شکست دانه برنج داشت. بیش ترین مقاومت به ضربه، در رقم قصردشتی با روش آبیاری غرقاب هر روز و کم ترین، برای رقم عنبربو با روش آبیاری جویچه ای یک در میان متغییر، مشاهده شد. همچنین مشخص شد که کاهش آب آبیاری، مقاومت به شکست دانه ها را کاهش می دهد ولی نسبت کاهش درصد آب مصرفی در هر روش، چندین برابر کاهش درصد مقاومت به ضربه برنج بود.

واژه های کلیدی: برنج، بارگذاری ضربه ای، مقاومت به شکست، کم آبیاری.

[1] . Izod

مقدمه

برنج یکی از قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین محصولات زراعی است و غذای اصلی حدود $\frac{۲}{۳}$ مردم جهان می باشد (Shitanda and et al., 2002). افزایش روز افزون جمعیت و محدودیت منابع آب و خاک، ضرورت کاهش هرچه بیش تر ضایعات این محصول را نشان می‌دهد.

دانه (بذر) محصولات کشاورزی در هریک از مراحل تولید و فرآوری تحت تأثیر نیروهای ضربه هستند که از طرف قسمت های متحرک ماشین ها بر آن ها وارد می شود که ممکن است صدمه ببیند و باعث ضایعات محصول شود. صدماتی که در اثر ضربه به بذرمحصول وارد می شود باعث کاهش ارزش محصول، کاهش قابلیت نگهداری، کاهش درصد جوانه زنی و قدرت رویش آن می شود.

آسیب در محصولات کشاورزی به شکل‌های متنوعی ایجاد می‌شود. شکل آسیب بستگی به ساختمان فیزیکی و بیولوژیکی محصول و نوع بار دارد. به کمک شناخت خواص مکانیکی محصول، می‌توان حالت‌های بارگذاری پیچیده-تری را که در عمل اتفاق می‌افتند ارزیابی کرد و به طور تقریبی وقوع و عدم وقوع آسیب را پیش‌بینی نمود (توکلی هشجین، ۱۳۸۲).

یکی از روش‌هایی که از آن طریق می توان به خصوصیات مقاومتی یک ماده پی برد استفاده از آزمون ضربه می باشد. هدف عمده در اغلب آزمایشاتی که بر این اساس انجام گرفته اند، مطالعه بر روی محصولات کشاورزی از نظر ضایعات مستقیم و غیر مستقیم ناشی از پدیده ضربه و کسب اطلاعات لازم در طراحی و بهینه سازی ماشین های برداشت و فرآوری بوده است (Mathew and Hyde., 1997).

روش های مختلف آزمایش ضربه در محصولات کشاورزی می تواند به دو روش: سقوط آزاد و آزمایش آونگی باشد. استفاده از آزمون سقوط آزاد به دلیل کاستی هایی که دارد توصیه نمی شود و بسیاری از محققان استفاده از دستگاه آونگ برای مطالعه ضربه در محصولات کشاورزی را ترجیح می دهند (Van Zeebroeck and et al., 2003).

اوجایی و کلارک (Ojayi and Clark, 1997) گزارش کردند که میزان آسیب وارد به دانهٔ برنج طی عملیات فرآوری، بستگی به خواص فیزیکی و مکانیکی دانه ها دارد.

شکست برنج در مرحله تبدیل از جمله مشکلات تولید این محصول است. به همین دلیل بررسی عوامل مؤثر بر شکست آن امری ضروری به نظر می رسد. تحقیقاتی در این زمینه و با هدف بررسی عوامل مؤثر در عملیات خشک-کردن شلتوک انجام شده است. اما تاکنون تحقیقی در زمینهٔ اندازه‌گیری خاصیت مکانیکی دانهٔ برنج توسط آزمون ضربه، به منظور بررسی تأثیر روش آبیاری بر قابلیت شکست دانهٔ برنج صورت نگرفته است.

هدف اصلی این پژوهش تعیین تغییرات مقاومت به شکست دانه برنج در اثر دو روش کم آبیاری (غرقاب متناوب با دور یک روز و جویچه ای یک در میان) نسبت به روش معمول (غرقاب هر روز) بود.، برای انجام آزمون ضربه بر روی

برنج ها، دستگاهی طراحی و ساخته شد که به وسیله آن می توان دانه غلات را تحت بار گذاری ضربه‌ای قرار داد و میزان انرژی جذب شده و حساسیت بذر محصولات در برابر ضربه اندازه گیری کرد و با هم مقایسه نمود.

مواد و روش ها

نشاء دو رقم برنج شامل عنبربو و قصردشتی در قالب یک طرح آزمایش فاکتوریل با طرح کرت های خرد شده با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه کوشکک استان فارس کشت شد. برای آبیاری ارقام کاشته شده از سه روش مختلف آبیاری استفاده گردید که عبارتند از:

۱- غرقاب هر روز با ارتفاع غرقاب ۵ سانتی متر تا مرحله رسیدن دانه (تقریباً ۱۵-۱۰ روز قبل از برداشت) (شاهد).

۲- غرقاب متناوب با دور یک روز به ارتفاع ۵ سانتی متر از مرحله استقرار مرحله چهار برگی شدن نشاء تا تقریباً ۱۵-۱۰روز قبل از برداشت.

۳- جویچه ای یک در میان با ارتفاع آب آبیاری ۵ سانتی متر در هر روز از مرحله استقرار گیاه تا تقریباً ۱۵- ۱۰ روز قبل از برداشت.

آبیاری تا اواخر شهریور ماه سال ۱۳۸۸ ادامه داشت. چون متوسط آب مورد استفاده برای تیمار های آبیاری غرقاب هر روز، غرقاب متناوب با دور یک روز و جویچه ای یک در میان به ترتیب برابر با ۲۵۳۹، ۲۱۹٤ و ۱۱٤۲ میلی متر بود. به این ترتیب در روش غرقاب متناوب با دور یک روز ۱۵ درصد و در روش های جویچه ای یک در میان ۵۵ درصد نسبت به روش آبیاری غرقاب هر روز در میزان آب مصرفی صرفه جویی شد.

پس از برداشت محصول به صورت دستی، دانه‌ها تمیز شدند، در سینی های خاصی قرارگرفتند و به روش معمول در هوای آزاد و در مقابل نور آفتاب قرار داده شدن تا رطوبت آن ها تا حدود ۱۲ درصد بر پایه تر کاهش یابد. عمق لایهٔ شلتوک در داخل سینی‌ها حدود ۵ سانتیمتر انتخاب شد که برابر با عمق شلتوک در روش معمول خشک کردن در منطقه بود

به منظور تعیین محتوای رطوبتی نمونه ها، حدود ۵۰ گرم از هر رقم به مدت ٢٤ ساعت در داخل کوره آزمایشگاهی با دمای ۱۰۳ درجهٔ سانتیگراد قرار داده شد و رطوبت اولیهٔ نمونه ها به روش وزنی بر اساس استاندارد ASAE تعیین شد. به منظور ثابت نگه داشتن رطوبت و ممانعت از آسیب دیدن محصول تا پیش از شروع آزمایشات، نمونه ها در داخل کیسه های پلاستیکی و در دمای ٤ درجهٔ سانتی گراد نگهداری شدند.

برای اندازه گیری انرژی شکست دانه غلات، یک دستگاه آونگی طراحی و ساخته شد که هم اکنون در بخش مکانیک ماشین های کشاورزی واحد دانشگاه شیراز قرار دارد. این دستگاه آزمایش ضربه را با روشی مشابه روش آیزود اعمال می نماید و قادر است که دانه های محصولات مختلف (برنج، گندم، جو، سویا و ...) را با سرعت های متفاوت تحت ضربه قرار دهد.

برای انجام آزمایش، پس از فرآیند خشک شدن نمونه‌های شلتوک، به صورت تصادفی ٤٥ عدد دانه سالم از داخل هر توده انتخاب شدند و پس از پوست کنی به روش دستی، ابتدا برخی خصوصیات فیزیکی آن ها شامل ابعاد سه گانه (طول، عرض و ضخامت) اندازه گیری شد، سپس در واحد نگهدارنده دستگاه قرار داده شدند و در حالتی که به صورت عمودی داخل گیره مخصوص قرار گرفته بودند از طرف پهلو تحت بارگذاری ضربه‌ای قرار گرفتند و انرژی لازم برای شکسته شدن آن ها تعیین شد و با توجه به خصوصیات فیزیکی هر دانه انرژی ویژه شکست و چقرمگی شکست هر دانه مشخص گردید.

تعیین مقاومت به ضربه دانه طی بارگذاری ضربه ای

برای مقایسه تیمار ها از لحاظ مقاومت به شکست از سه ویژگی انرژی شکست، انرژی ویژه شکست و چقرمگی شکست استفاده گردید. نسبت انرژی مصرف شده برای شکستن نمونه، تقسیم بر سطح مقطع اولیه (A) مشخص کننده انرژی ویژه شکست[2] می باشد که نشان دهنده مقاومت در برابر ضربه جسم است.

$$a_k = \frac{E_P}{A} \qquad (١)$$

در رابطه فوق، E_p انرژی مصرف شده برای شکستن دانه برحسب (mJ)، A سطح مقطع شکستگی دانه برحسب میلی متر مربع می‌باشند که مقدار A از رابطه (٢) محاسبه شد (Zhang and et al., 2005):

$$A = \frac{\pi TW}{٤} \qquad (٢)$$

در این رابطه W عرض دانه و T ضخامت آن بر حسب میلی متر می‌باشند. با توجه به واحد های فوق واحد مقاومت به ضربه (a_k)، $\frac{mJ}{mm^٢}$ خواهد بود. همچنین مقدار چقرمگی[3] (U) بر حسب میلی ژول بر میلی متر مکعب از نسبت انرژی شکست به حجم دانه از رابطهٔ (٣) محاسبه شد.

$$U = \frac{E_p}{V} \qquad (٣)$$

که V حجم دانه بر حسب میلی متر مکعب بوده و از رابطهٔ (٤) محاسبه می‌گردد(Jain and Bal, 1997):

$$V = \frac{١}{٤}\left[\left(\frac{\pi}{٦}\right)L(W+T)^٢\right] \qquad (٤)$$

در روابط فوق L طول دانه، W عرض دانه و T ضخامت دانه بر حسب میلی متر می باشد.

[2] . Specific breakage energy
[3] . Toughness

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کرت خرد شده انجام شد. که بر روی تک دانهٔ برنج قهوه‌ای شامل سه روش آبیاری، دو رقم با ٤٥ تکرار انجام شد. اثر هر یک از فاکتورهای فوق به صورت مجزا و نیز اثر متقابل آن‌ها بر میزان انرژی جذب شده مورد نیاز برای دانه های برنج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از آزمون F برای تعیین سطح معنی داری تیمار های استفاده شد و میانگین تیمار های معنی دار با استفاده از آزمون توکی[4] مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس نتایج حاصل از آزمایش بارگذاری ضربه ای

با توجه به معنی دار نشدن اثر تکرار ها، خلاصه نتایج حاصل از تجزیه واریانس آزمایش بارگذاری ضربه ای (جدول ١) نشان داد که رقم اثر معنی‌داری (در سطح احتمال ١٪) بر میزان انرژی جذب شده، انرژی ویژه شکست و چقرمگی شکست دانه برنج دارد ولی روش آبیاری فقط در میزان انرژی شکست تاثیر معنی داری (در سطح احتمال ١٪) داشته است. همچنین اثر برهم کنش رقم و روش آبیاری بر میزان انرژی شکست، انرژی ویژه شکست و چقرمگی شکست بین تیمار ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد. این نتایج اهمیت رقم و روش آبیاری را بر خصوصیات مکانیکی دانه، از نظر قابلیت آسیب پذیری نشان می‌دهد.

جدول (١): خلاصه نتایج تجزیه واریانس داده های مربوط به انرژی جذب شده، انرژی ویژه شکست و چقرمگی شکست دانه برنج قهوه ای

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	مقدار F		
		انرژی شکست	انرژی ویژه شکست	چقرمگی شکست
رقم	٣	٨٥/٨٦٢ **	٣٥/٠٤٤ **	٦١/٤٦٥ **
روش آبیاری	٣	٢٠/٠٣٥ **	٣/٤٢٧ NS	١/٢٣٧ NS
رقم × روش آبیاری	٩	١/٠٥٣ NS	٢/٠٧٢ NS	١/٧١١ NS

** در سطح احتمال ١٪ معنی‌دار است.

* در سطح احتمال ٥٪ معنی‌دار است.

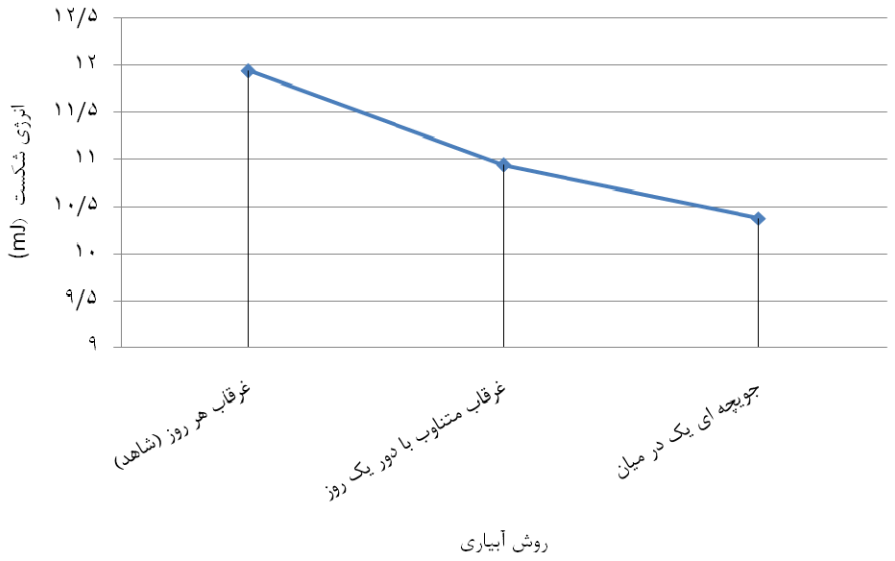
NS معنی دار نیست.

[4] . Tukey

نتایج حاصل از آزمون ضربه، نشان داد که مقاومت به ضربه دانه های ارقام مختلف با هم متفاوت بود؛ تیمار های آبیاری شده به روش غرقاب هر روز، در شرایط یکسان، انرژی بیشتری برای شکستن جذب کردند و مقاومت بیش تری در شکسته شدن دارند. این موضوع اهمیت تنش کم آبی و روش آبیاری در مرحله داشت محصول برای تولید برنج سالم را نشان می دهد.

مقایسه میانگین اثرات روش آبیاری بر روی خواص مقاومت به ضربه

شکل (۱) نشان می دهد که روش آبیاری غرقاب هر روز، سبب می شود بیش ترین مقادیر انرژی شکست حاصل گردد، مقادیر کمینه خواص مقاومت به ضربه در روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان مشاهده شد. این تغییرات در میزان مقاومت به ضربه احتمالاً در اثر تغییر در سطح مقطع شکست یا تغییر در بافت دانه می باشد. این شکل نشان می دهد که با کاهش میزان آب مصرفی در مزرعه، استحکام مکانیکی دانه در برابر ضربه کاهش می یابد.



شکل (۱) مقایسه میانگین انرژی شکست در روش های مختلف آبیاری

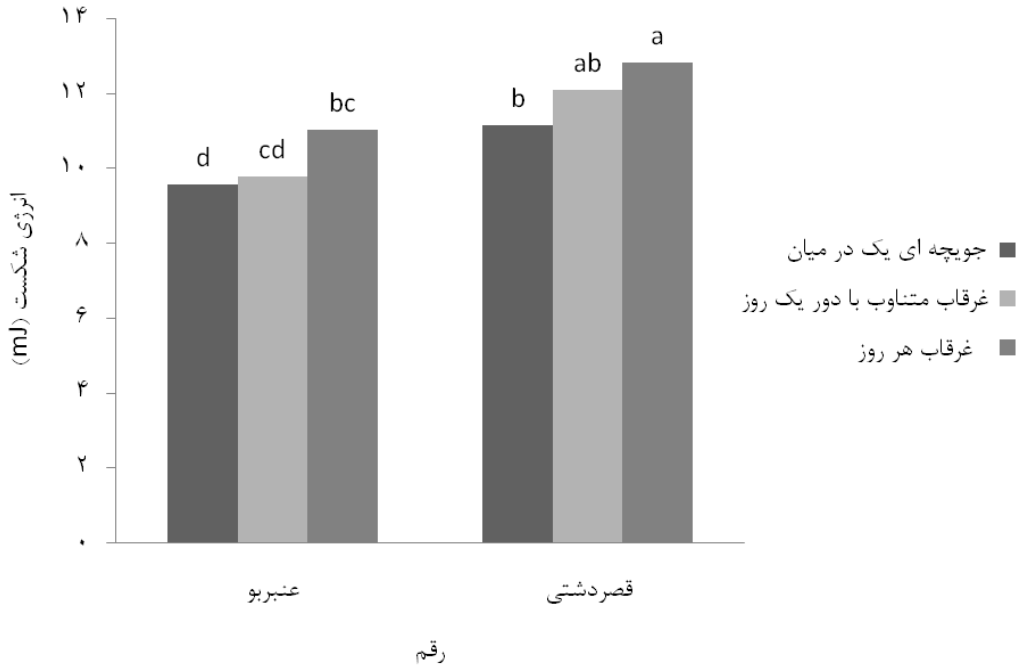
میانگین انرژی شکست ضربه ای برنج در ارقام در روش های آبیاری مورد مطالعه در دامنه ۸/۹۷ تا ۱۳/۴۲ میلی ژول تعیین شد. افکاری سیاح و مینایی (۱۳۸۵) آزمون ضربه ای را با روشی متفاوت بر روی دانه گندم انجام دادند. بر اساس نتایج آن ها، کمینه انرژی جنبشی لازم برای گسیختگی دانه های خشک (با رطوبت ٦/٥٪ بر پایهٔ تر) و مرطوب (با رطوبت ۱۵٪ بر پایهٔ تر)، به ترتیب معادل ۳۳ و ۷۲ میلی ژول تعیین گردید. همچنین لهراسبی (۱۳۸۲) حد بحرانی انرژی ضربه منجر به شکست تحت بارگذاری ضربه ای را برای دانهٔ ذرت ۱۲۸ میلی ژول گزارش نمود. با توجه به ابعاد و خاصیت شکنندگی دانه برنج نسبت به محصولات مطالعه شده، انرژی شکست تعیین شده قابل قبول بود.

نتایج نشان داد که متوسط انرژی شکست تیمارهای آبیاری غرقاب متناوب با دور یک روز، جویچه ای یک در میان نسبت به متوسط انرژی شکست ارقام در تیمار شاهد (هر روز غرقاب)، به ترتیب ۸/۳۷ و ۱۳/۱٤ درصد کاهش داشت. با این حال مقادیر میانگین انرژی ویژه شکست و چقرمگی شکست در ارقام و روش های آبیاری مورد مطالعه، معنی دار نبود.

میزان کاهش مقاومت به شکست دانه های برنج در مقایسه با میزان صرفه جویی آب مصرفی به مراتب کم تر بود، بنابراین با توجه به ارزش اقتصادی آب مصرفی، توجیه پذیر خواهد بود، البته باید سایر تلفات حاصل از کم آبیاری نظیر کاهش عمل کرد (تن در هکتار) و تأثیر تنش کم آبی بر روی ارزش غذایی، کیفیت و بازار پسندی دانه ها را نیز مد نظر قرار داد.

مقایسه میانگین اثرات برهم کنش رقم و روش آبیاری بر روی خواص مقاومت به ضربه

در شکل های ۲ تا ٤ مربوط میانگین اثرات برهم کنش رقم و روش آبیاری بر روی خواص مقاومت به ضربه مقایسه شده اند. در این شکل ها حروف غیر مشابه نشان دهندهٔ اختلاف معنی دار بین مقادیر میانگین در سطح احتمال ۵٪ می باشد.

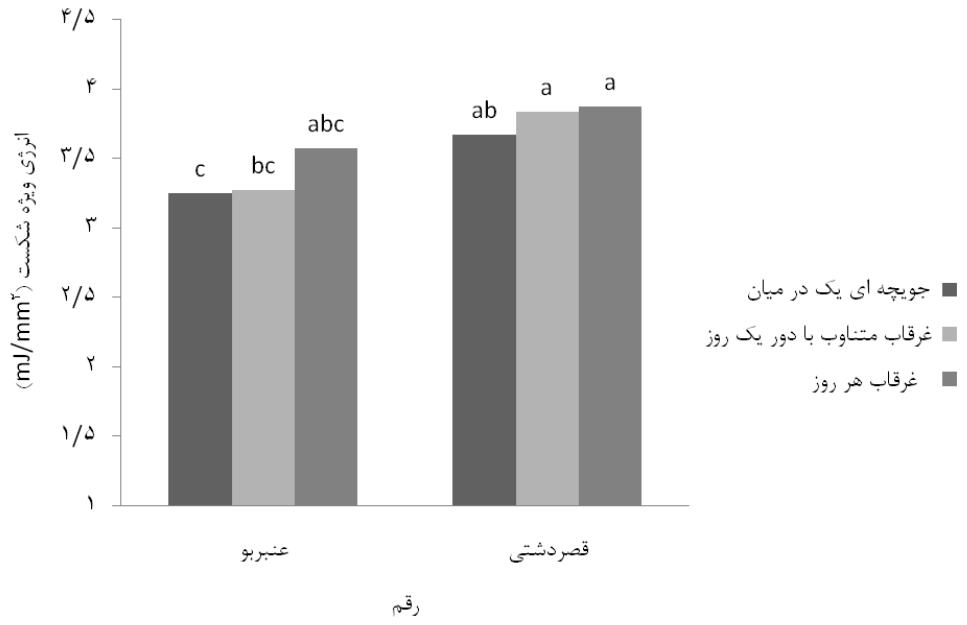


شکل (۲) مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و روش آبیاری بر انرژی شکست.

نتایج مقایسه اثرات برهم کنش رقم و روش آبیاری نشان می دهد (شکل ۲) که روش آبیاری در میزان میانگین انرژی شکست دانه تأثیرگذار است. بیشینه و کمینه میانگین انرژی شکست دانه به ترتیب مربوط به رقم قصردشتی در روش

آبیاری غرقاب هر روز و رقم عنبربو در روش آبیاری جویچه ای یک در میان، بود. در نمودار بالا رقم قصردشتی دارای مقادیر انرژی شکست نسبتاً بیش تری می باشند. مطابق با شکل (۲) در ارقام قصردشتی و عنبربو اختلاف معنی داری بین تیمار متناوب با دور یک روز و سایر تیمار ها از لحاظ انرژی شکست مشاهده نشد، ولی بین تیمار شاهد و تیمار جویچه ای اختلاف معنی دار (در سطح ۵٪) وجود داشت.

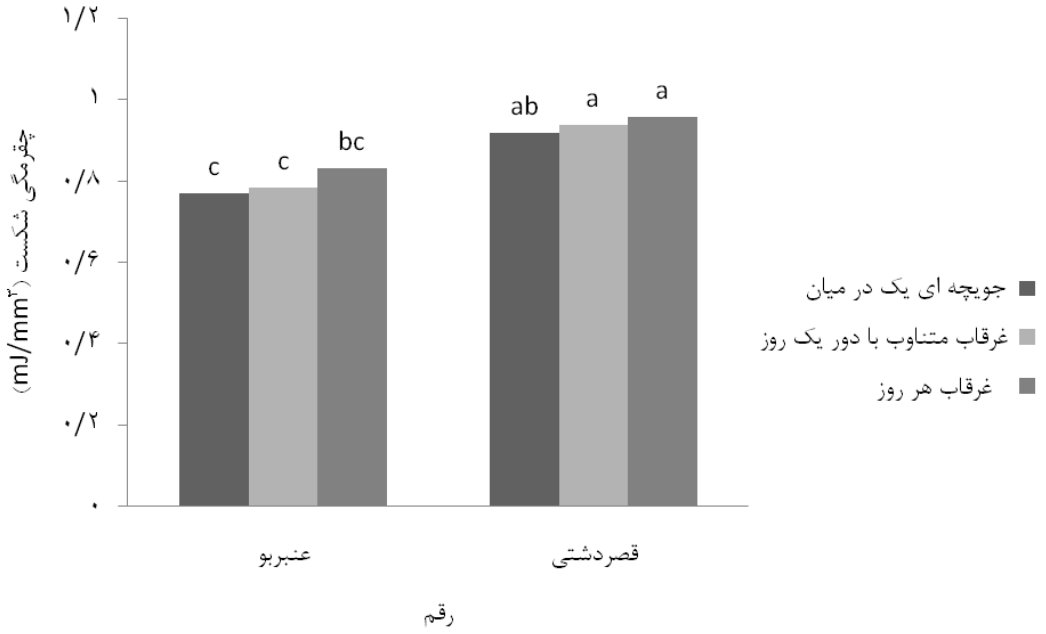
با انتخاب مقاوم ترین رقم و نیز به حداقل رساندن تنش آبیاری می توان مقاومت به شکست دانه برنج را افزایش و صدمات وارده به محصول را طی عملیات فرآوری کاهش داد. فوتز[5] و همکاران (۱۹۹۳) بیان نمودند که مقاومت مکانیکی دانه، به ترکیبات سلولزی تشکیل دهنده دیواره سلول و مواد اتصال دهنده بین آن ها بستگی دارد. بنابراین تنش کم آبی، باعث سست شدن پیوند های هیدروژنی مواد سلولزی تشکیل دهنده سلول های دانه شده که منجر به کاهش انرژی شکست آن می شود.



شکل (۳) مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و روش آبیاری بر انرژی ویژه شکست.

شکل (۳) نشان می دهد که بیشینه و کمینه میانگین انرژی ویژه شکست دانه به ترتیب، مربوط به رقم قصردشتی در روش آبیاری غرقاب و رقم عنبربو در روش آبیاری جویچه ای یک در میان، می باشد. بین تیمار های آبیاری از لحاظ انرژی ویژه شکست در ارقام عنبربو و قصردشتی اختلاف معنی داری (در سطح ۵٪) وجود نداشت و این در حالی است که در رقم عنبربو بین تیمار های آبیاری کم آبیاری با تیمار شاهد اختلاف بیشتری وجود داشت.

[5] . Foutz



شکل (٤) مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و روش آبیاری بر چقرمگی شکست.

شکل (٤) نشان می دهد که بیش ترین میزان میانگین چقرمگی شکست دانه مربوط به رقم قصردشتی در روش آبیاری غرقاب هر روز و کم ترین میزان میانگین چقرمگی شکست دانه، مربوط به رقم عنبربو در روش آبیاری جویچه ای یک در میان، می باشد. بین تیمار های آبیاری از لحاظ چقرمگی شکست در ارقام عنبربو و قصردشتی اختلاف معنی داری (در سطح ۵٪) وجود نداشت. بنابراین با وجود راحت تر شکسته شدن برنج های کم آبیاری شده، انرژی ویژه شکست و چقرمگی شکست دانه ها تغییر محسوسی نداشته است و می توان چنین نتیجه گرفت که در ارقام و روش های آبیاری مورد مطالعه، کم آبیاری از طریق تاثیر بر ویژگی های فیزیکی دانه (ابعاد هندسی)، میزان انرژی شکست را کاهش داده است.

نتیجه گیری

- رقم و روش آبیاری، اثر معنی‌داری (سطح احتمال ۱٪) بر انرژی شکست دانه برنج دارند.
- دانه های مربوط به تیمار های آبیاری شده به روش غرقاب هر روز، در شرایط یکسان، انرژی بیشتری جذب نمودند و مقاومت بیش تری در شکسته شدن داشتند.
- مقایسه میانگین اثر برهم کنش رقم و روش آبیاری، نشان داد که بیشینه انرژی جذب شده، در رقم قصردشتی در روش آبیاری غرقاب هر روز، معادل ۱۳/٤۲ میلی ژول و کمینه آن، برای رقم عنبربو در روش آبیاری جویچه ای یک در میان، معادل ۸/۹۷ میلی ژول می باشد.

- مقایسه مقادیر میانگین مقاومت به شکست بین تیمار های مختلف آبیاری، نشان داد که مقاومت به شکست دانه‌ها در روش آبیاری غرقاب هر روز (شاهد) بیش تر از دو روش دیگر است و کم ترین مقاومت به شکست در روش آبیاری جویچه ای یک در میان مشاهده شد. بین تیمار های آبیاری غرقاب هر روز و جویچه ای یکی در میان تفاوت معنی داری وجود داشت. اما تفاوت معنی‌داری بین روش آبیاری غرقاب متناوب با دو روش دیگر مشاهده نشد.
- در روش آبیاری غرقاب متناوب با دور یک روز، مصرف آب آبیاری به میزان ۱۵ درصد نسبت به غرقاب هر روز کاهش داشت و مقادیر میانگین انرژی شکست، انرژی ویژه شکست و چقرمگی شکست دانه‌ها به ترتیب ۸/۳۷، ۳/۷۸، ۲/۳۷ درصد کاهش نشان داد.
- در روش آبیاری جویچه ای یک در میان، مصرف آب آبیاری به میزان ۵۵ درصد نسبت به غرقاب هر روز کاهش داشت و مقادیر میانگین انرژی شکست، انرژی ویژه شکست و چقرمگی شکست دانه‌ها به ترتیب ۱۳/۱٤، ٦/۲۱، ۳/۸٤ درصد کاهش نشان داد.

پیشنهادات

۱. این پژوهش برای ارقام دیگر برنج نیز مورد مطالعه قرار گیرد.
۲. در دستگاه های مرتبط با دانه هایی که تحت تنش کم آبیاری قرار گرفته اند، میزان انرژی اعمال شده کم تر از دانه هایی باشد که به روش غرقاب هر روز آبیاری شده اند.
۳. استفاده از روش کم آبیاری (بویژه آبیاری جویچه ای یک در میان) با وجود کاهش مقاومت به شکست توصیه می شود.

منابع

۱. افکاری سیاح، ا. ح. و مینایی، س. ۱۳۸٤. طراحی و ساخت دستگاه بارگذاری ضربه‌ای برای مطالعه رفتار مکانیکی محصولات کشاورزی و آزمایش آن با گندم. مجله علوم و صنایع غذایی ایران، دوره ۲، شماره ۲.
۲. توکلی هشتجین، ت. ۱۳۸۲. مکانیک محصولات کشاورزی (تألیف جورج سیتکی). چاپ اول، انتشارات دانشگاه زنجان، ۵۲۰ ص.
۳. لهراسبی، س. ۱۳۸۲. تعیین ویژگی های مکانیکی دانهٔ ذرت تحت بارگذاری فشاری و ضربه ای. پایان نامهٔ دورهٔ کارشناسی ارشد رشتهٔ مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
4. ASAE Standards. 2001. Moisture measurement-underground grain and seeds. American Society of Agricultural Engineers, pp: 567-568.
5. Cnossen, A.G., Jimenez, M.J., Siebenmorgen, T.J. 2003. Rice fissuring response to high drying and tempering temperatures. Journal of Food Engineering. 59: 61-69.

6. Foutz, T. L., Thompson, S. A., Evans, M. D., 1993. Comparison of loading response of packed grain and individual kernels. Trans ASAE. 36(2): 569-576.
7. Jain, R.K., Bal, S., 1997. Properties of pearl millrt. Journal of Agricultural Engineering Research. 66: 85–91.
8. Mathew, R. and G. M. Hyde. 1997. Potato impact damage thresholds. Trans. ASAE 40(3):705-709.
9. Mohsenin, N.N. 1986. Physical properties of plant and animal materials.2nd Ed. Gordon and Breach Science publ., NY. 472pp
10. Ojayi, O.A., Clark, B. 1997. High velocity impact of maize kernels. Journal of Agricultural Engineering Research. 67(2): 97-104.
11. Paulsen, M.R., Nave, W.R., Gray, L.D. 1981. Soybean seed quality as effected by impact damage. Trans. ASAE. 24: 1577-1582, 1589.
12. Shitanda, D., Nishiyama, Y., Koide, S. 2002. Compressive strength properties of rough rice considering variation of contact area. Journal of Food Engineering. 53: 53-58.
13. Srivastava, A.K., Herum, F.L., Stevens, K.K. 1976. Impact parameters related to physical damage to corn kernel. Trans. ASAE. 19(2): 1147-1151.
14. Van Zeebroeck, M., Tijskens, E., Van Liedekerke, P., Deli, V., De Baerdemaeker, J., Ramon, H., 2003. Determination of dynamical behavior of biological materials during impact using a pendulum device. Journal of Sound Vib. 266, 465–480.
15. Zhang, Q., Yang, W. and Sun, Z. 2005. Mechanical properties of sound and fissured rice kernels and their implications for rice breakage. Journal of Food Engineering. 68: 65-67.

Abstract

Rice (Oryza sativa L.) is an important cereal provides the human food. Limitation of water and soil resources and high cost of production has been caused to consider reduction of product losses. Rice breakage is the most important factor in reducing the economical value of it. An important factor in rice grain losses are mechanical impacts. The purpose of this research was to compare the effect of a deficit irrigation method (intermittent flooding by one-day interval and alternative furrow irrigation) with conventional one (continuous flooding) on the impact resistance of rice kernel. For measuring the impact resistance of rice kernels, an impact test machine was designed and fabricated. Two varieties of rice including Anbarboo and Ghasrodashti were planted and irrigated with three different treatments. After harvesting, drying and manually dehusking, the absorbed energy, special energy, and toughness of each kernel were determined. The results depicted that irrigation method and variety had a significant effect ($p<0.01$) on the impact resistance of rice kernel. Interaction between variety and irrigation method were significant at 5% level of significance on impact resistance. The also results showed that Ghasrodashti varieties with continuous flooding were the most resistant and Anbarboo varieties with alternative furrow irrigation were sensitive cultivars under impact load. Also was observed that reducing irrigation water decreased the impact resistance of rice kernels. However, the percent reduction of water used at any deficit irrigation method was higher than the reduction of impact resistance.

Keywords: Rice; Impact resistance; Deficit irrigation