درصد شکستگی برنج اصفهان در فرآیند سفیدکنی و رابطه آن با برخی خواص مکانیکی شلتوک (۵۳۱)

سید حسن حسینیان [۱]، مرتضی صادقی [۲]، عباس همت [۳]

چکیده

طی فرآیند تبدیل شلتوک نیروهای مختلفی به دانه برنج وارد می‌شوند که می‌توانند موجب شکستگی آن گردند. با استفاده از خواص مکانیکی شلتوک می‌توان میزان این شکستگی را پیش‌بینی کرد. در این تحقیق رابطه میزان شکستگی سه رقم برنج رایج اصفهان (سازندگی، سرخه و نوگران) در دو نوع سفیدکن سایشی و اصطکاکی آزمایشگاهی و در چهار سطح رطوبتی با خواص مکانیکی (نیروی شکست، تنش بیشینه خمشی، انرژی شکست و انرژی شکست ویژه) شلتوک طی بارگذاری خمش سه نقطه‌ای بررسی گردید. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. نتایج نشان داد که در مقایسه ارقام بطه معنی‌داری بین درصد برنج خرد و تمامی خواص مکانیکی وجود داشت؛ به طوری که با افزایش مقاومت خمشی درصد برنج خرد کاهش می‌یافت. البته این رابطه به نوع سفیدکن نیز بستگی داشت؛ به نحوی که رابطه مذکور در سفیدکن اصطکاکی نسبت به سفیدکن سایشی دارای ضریب تعیین بالاتری بود. همچنین در سطوح رطوبتی مختلف، در سفیدکن اصطکاکی رابطه معنی‌داری بین درصد برنج خرد و خواص مکانیکی بخصوص نیروی شکست و تنش بیشینه خمشی وجود داشت، ولی در سفیدکن سایشی این رابطه ضعیف‌تر بود. دلیل آن را می‌توان چنین بیان کرد که در سفیدکن سایشی نیروهای وارده در حدی نیستند که بر مقاومت دانه‌های سالم غلبه کنند و در نتیجه برای هر رقم، تغییرات مقاومت خمشی تأثیر چندانی بر درصد برنج خرد در سفیدکن سایشی ندارند.

کلیدواژه: شلتوک برنج، درصد شکستگی، خواص مکانیکی، سفیدکن سایشی و اصطکاکی، بارگذاری خمش سه نقطه‌ای

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، پست الکترونیک: hoseinian@ag.iut.ac.ir
۲- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

مقدمه

برنج یکی از قدیمی‌ترین محصولات غله‌ای و یکی از مهمترین مواد غذایی جهان است. شکستگی دانه برنج در طول فرآیند تبدیل یکی از بزرگترین مشکل‌های صنعت برنج می‌باشد [۴]. شکستگی برنج تابع عوامل متعددی از قبیل میزان مقاومت آن در برابر بارهای مکانیکی و تنش‌های دمایی و رطوبتی می‌باشد. بنابراین درصد شکستگی برنج می‌تواند بوسیله خواص مکانیکی آن پیش‌بینی شود.

خواص مکانیکی اصلی دانه برنج که مورد بررسی قرار گرفته و گزارش شده‌اند شامل استحکام کششی [۳ و ۴]، استحکام فشاری [۷] و استحکام خمشی می‌باشند [۸]. تلاش‌هایی به منظور مربوط ساختن خواص مکانیکی و کیفیت تبدیل برنج، بخصوص عملکرد برنج سالم (*HRY*) صورت پذیرفته است. طبق تحقیقات انجام شده، استحکام فشاری معیاری مناسب برای پیش‌بینی عملکرد برنج سالم نمی‌باشد، در حالی که استحکام کششی و استحکام خمشی درصد شکستگی را بهتر پیش‌بینی می‌کنند. از سوی دیگر بدلیل مشکل بودن انجام آزمون مقاومت به کشش برای دانه برنج، بهترین گزینه برای انجام آزمایش‌ها آزمون خمشی است [۹]. لو و سیبنمورجن طی تحقیقی، رابطه معنی‌داری بین میزان شکستگی برنج در فرآیند تبدیل و خواص مکانیکی شلتوک برنج در آزمون خمش سه نقطه‌ای گزارش دند [۶]. ژانگ[1] و همکاران در بررسی تأثیر دماهای مختلف خشک‌کردن بر میزان شکستگی و مقاومت مکانیکی در بارگذاری خمش سه نقطه‌ای، رابطه معنی‌داری بین میزان شکستگی و خواص مکانیکی دانه برنج قهوه‌ای گزارش کردند [۹]. سیبنمورجن و کین[2] نیز در تحقیقی بر روی شلتوک برنج چند رقم دانه بلند، رابطه معنی‌داری بین نیروی شکست در بارگذاری خمش سه نقطه‌ای و میزان شکستگی طی فرآیند تبدیل مشاهده نکردند، ولی ایشان رابطه معنی‌داری بین میزان شکستگی و درصد دانه‌های مقاوم به شکست (دارای نیروی شکست بیشتر از ۲۰ نیوتون) گزارش کردند [۸].

ارقام برنج در استان اصفهان علیرغم داشتن عطر، طعم و درجه پخت مناسب دارای میزان شکستگی بالایی می‌باشند که بیشتر این شکستگی در مرحله تبدیل بوجود می‌آید. بنابراین شناخت عوامل تأثیرگذار بر این شکستگی از اهمیت خاصی برخوردار است. در این تحقیق رابطه درصد برنج خرد برنج اصفهان در فرآیند تبدیل و خواص مکانیکی شلتوک آن مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها، سه رقم رایج برنج اصفهان شامل سازندگی، سرخه و نوگران از دو مزرعه تحت نظر مرکز تحقیقات کشاورزی استان اصفهان در مهر ماه ۱۳۸۵ به مقدار ۳۵ کیلوگرم از هر رقم تهیه گردید. بدلیل اینکه برنج در استان اصفهان در رطوبت حدود ۲۳٪ بر پایه تر برداشت می‌شود. نمونه‌ها در مقابل نور آفتاب قرار داده شد تا رطوبت آن تا حدود ۱۷٪ بر پایه تر کاهش یابد. رطوبت اولیه نمونه‌ها بوسیله آون و استفاده از استاندارد ASAE محاسبه گردید [۲]. روش کار بدین شکل بود که ۳۰ گرم از هر رقم در سه تکرار در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۴ ساعت درون آون قرار داده می‌شد و با محاسبه جرم از دست رفته و تقسیم آن بر جرم اولیه رطوبت به صورت درصد بیان می‌گردید. با این روش رطوبت اولیه ارقام سازندگی، نوگران و سرخه به ترتیب برابر با ۱۶/۶، ۱۷/۲ و ۱۵/۹٪ بر پایه تر بدست آمد (تمام رطوبتهای ذکر شده در این تحقیق بر پایه تر می‌باشند).

آزمایش‌های تبدیل برنج در مرکز تحقیقات برنج آمل انجام گرفت. برای خشک‌کردن و رساندن نمونه‌ها به رطوبت مورد نظر (چهار محدوده رطوبتی ۹-۷، ۱۱-۹، ۱۳-۱۱ و ۱۵-۱۳٪) از یک دستگاه خشک‌کن بستر ثابت ایستاده استفاده شد و دمای خشک-کن روی ۴۰ درجه سانتیگراد تنظیم شد. ضخامت لایه شلتوک درون خشک‌کن ۲۰ سانتیمتر بود. برای تعیین رطوبت دانه‌ها در طول انجام آزمایش از دو دستگاه رطوبت سنج که با روش آون واسنجی شده بودند، استفاده شد (یک دستگاه رطوبت سنج مدل $SP\text{-}1D_2$ برای رطوبتهای بیشتر از ۱۱٪ و یک دستگاه رطوبت سنج رسا ۳۰۰۰ برای رطوبت‌های کمتر از آن). پس از خشک کردن، دانه‌ها تمیز شدند و سپس توسط یک دستگاه پوست کن غلتکی لاستیکی ساتاک[3] پوست خارجی آنها جدا گردید. برای سفیدکردن نمونه‌ها از دو دستگاه سفیدکن آزمایشگاهی سایشی ساتاک مدل TM.05 و سفیدکن آزمایشگاهی اصطکاکی مدل مک گیل[4] شماره ۳ استفاده شد. ظرفیت سفیدکن سایشی و اصطکاکی به ترتیب برابر با ۲۵۰ و ۷۵۰ گرم بود.

---

[1]- Zhang
[2]- Qin
[3]- Satake
[4]- McGill

پس از انجام آزمایش‌های تبدیل، درصد شکستگی دانه‌های برنج سفید اندازه‌گیری شد، برای این منظور ۴۰ گرم از هر تیمار به صورت کاملاً تصادفی و بگونه‌ای که نماینده خوبی از کل تیمار باشد انتخاب و دانه‌های سالم و شکسته (دانه‌های شکسته عبارت بودند از دانه‌های با طول کمتر از سه چهارم یک دانه کامل برنج قهوه‌ای) آن جدا گردید. برای توزین دانه‌ها از یک ترازوی مدل OSK. EW-60B با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد. درصد برنج خرد عبارت است از نسبت وزنی دانه‌های برنج سفید شکسته به انه-های برنج سفید.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی با استفاده از یک دستگاه کنترل کشش و فشار مدل اینستران ۱۱۴۰ صورت گرفت. طبق تحقیقات انجام گرفته برای انجام آزمایش‌ها از آزمون خمش سه نقطه‌ای استفاده گردید و بدین منظور یک پایه که فاصله بین دو فک آن برابر ۳/۴ میلی‌متر بود متناسب با طول ارقام مورد نظر طراحی و ساخته شد. بارگذاری توسط یک پروب تیغه‌ای بر روی دانه شلتوک برنج با حداقل سرعت دستگاه (۵۰ میلی‌متر بر دقیقه) اعمال گردید. آزمایش‌ها برای هر رقم در چهار سطح رطوبتی و با ده تکرار انجام شد. خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده شامل نیروی شکست، تنش بیشینه خمشی، انرژی شکست و انرژی شکست ویژه بودند. حد شکستگی دانه نقطه‌ای بر روی منحنی نیرو–تغییر شکل است که در آن با کاهش نیرو میزان تغییر شکل افزایش پیدا کرده و دانه شکسته می‌شود، که این نقطه بیانگر گسیختگی در دانه می‌باشد. در آزمایش‌های مختلف بیشینه نیروی شکست دانه از روی نمودار نیرو–تغییر شکل، قرائت شد و انرژی مصرفی لازم برای شکست دانه نیز با محاسبه سطح زیر منحنی نیرو–تغییر شکل تا نقطه شکست دانه بدست آمد. انرژی شکست ویژه نیز با استفاده از انرژی شکست دانه طبق رابطه ۱ محاسبه گردید [۱]:

(۱)
$$G = \frac{\int F d\delta}{A}$$

که G انرژی شکست ویژه برحسب ژول بر متر مربع، $\int F d\delta$ سطح زیر نمودار نیرو–تغییر شکل برحسب ژول و A سطح مقطع نقطه شکست دانه بر حسب متر مربع می‌باشند که مقدار A از رابطه ۲ بدست آمد:

(۲)
$$A = \frac{\pi bc}{4}$$

که b عرض دانه و c ضخامت آن برحسب متر می‌باشند.

برای تعیین تنش بیشینه خمشی از رابطه ۳ استفاده شد [۹]:

(۳)
$$\sigma = \frac{FLC}{4I}$$

که σ تنش خمشی برحسب پاسکال، F بیشینه نیروی خمشی برحسب نیوتن، L فاصله بین دو تکیه‌گاه برحسب برحسب متر، C فاصله محور خنثی از لایه خارجی دانه برحسب متر و I ممان اینرسی برحسب توان چهارم متر می‌باشند. مقدار C برابر نصف ضخامت دانه و مقدار I با فرض بیضی بودن شکل سطح مقطع عرضی دانه برنج از رابطه ۴ محاسبه گردید:

(۴)
$$I = 0.049bc^3$$

آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. با استفاده از نرم افزار SAS داده‌های حاصل از آزمایش‌ها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و در صورت معنی‌دار بودن آزمون F برای هر عامل آزمایشی، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه آماری نشان داد که اثر تمامی عوامل آزمایشی بر درصد شکستگی در سطح ۰/۱٪ معنی‌دار می‌باشد. همان طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، سفیدکن اصطکاکی به صورت معنی‌داری دارای درصد برنج خرد بالاتری نسبت به سفیدکن سایشی بود. در

مقایسه ارقام نیز رقم‌های نوگران و سازندگی دارای درصد برنج خرد بالاتری نسبت به رقم سرخه بودند. همچنین درصد برنج خرد با افزایش رطوبت افزایش یافت.

در دو نوع سفیدکن با افزایش رطوبت درصد برنج خرد افزایش یافت، ما در سفیدکن سایشی برخلاف سفید کن اصطکاکی اختلاف معنی‌داری بین میانگین درصد برنج خرد سطوح رطو تی وجود نداشت (جدول ۲).

جدول ۱- تأثیر عوامل آزمایشی بر درصد برنج رد

عوامل آزمایشی		میانگین
دستگاه		
	سایشی	۸/۱ ^{b} ±۳/۱ *
	اصطکاکی	۱۳/۱ ^{a} ±۷/۴
رقم		
	نوگران	۱۳/۵ ^{a} ±۸
	سازندگی	۱۲/۷ ^{a} ±۳
	سرخه	۵/۵ ^{b} ±۲
رطوبت (٪)		
	۱۳ -۱۵	۱۴/۶ ^{a} ±۸
	۱۱-۱۳	۱۰/۴ ^{b} ±۳/۹
	۹-۱۱	۹/۰ ^{c} ±۴/۱
	۷ -۹	۸/۳ ^{c} ±۳/۵

* مقادیر جدول بیانگر میانگین ± یک انحراف معیار هستند.

برای هر عامل آزمایشی، تفاوت میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۲- اثر متقابل دستگاه-رطوبت و دستگاه-رقم بر درصد برنج خرد

دستگاه سفیدکن	رطوبت (٪)				رقم		
	۷-۹	۹-۱۱	۱۱-۱۳	۱۳-۱۵	سازندگی	سرخه	نوگران
سایشی	۷/۹ d	۷/۲ d	۸/۲ d	۹/۰ d	۱۰/۴ c	۴/۲ e	۹/۶ c
اصطکاکی	۸/۷ d	۱۰/۷ c	۱۲/۶ b	۲۰/۲ a	۱۴/۹ b	۶/۸ d	۱۷/۵ a

برای هر عامل آزمایشی، تفاوت میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ معنی ار می‌باشد.

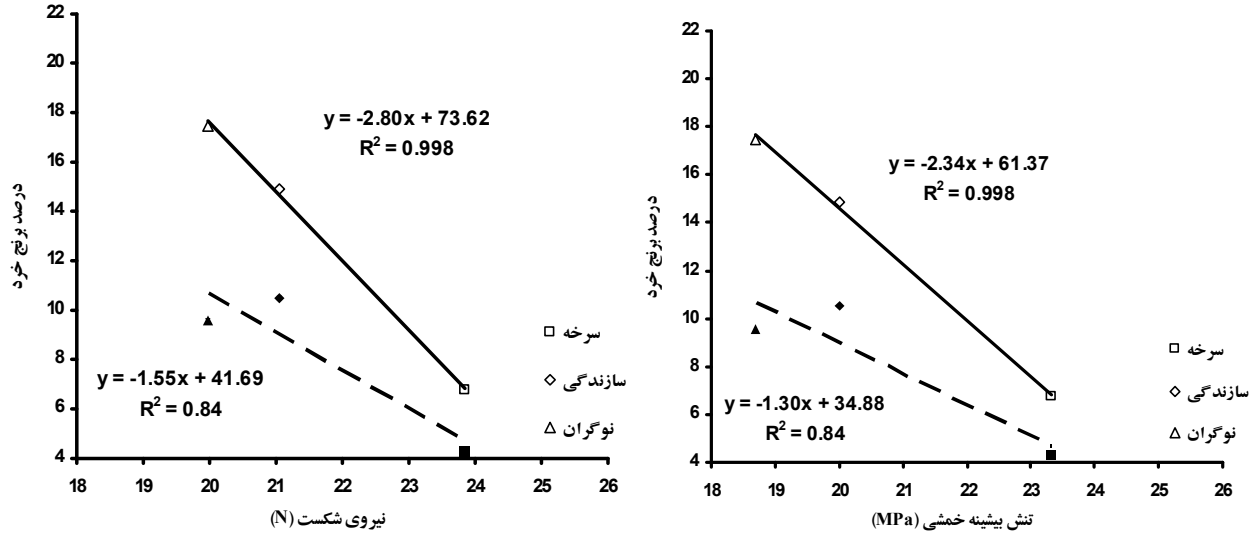
تجزیه آماری خواص مکانیکی نشان داد که اثر رقم و رطوبت بر تمام خواص مکانیکی معنی‌دار بود، لیکن اثر متقابل آنها بر خواص مذکور معنی‌دار نبود. رقم سرخه در تمام خواص اندازه‌گیری شده دارای مقدار بیشتری بود که دلیل آن را می‌توان به تفاوت ژنتیکی این رقم نسبت به دو رقم دیگر مرتبط دانست. رقم‌های سازندگی و نوگران دارای اختلاف معنی‌داری در هیچ یک از خواص مکانیکی نبودند که تأییدی بر این است که رقم سازندگی خالص شده رقم نوگران است. با افزایش رطوبت تمام خواص مکانیکی کاهش یافتند که آن را می‌توان به افزایش آب در بافت دانه برنج نسبت داد (جدول ۳).

در مقایسه میانگین ارقام رابطه معنی‌داری بین تمام خواص مکانیکی و درصد برنج خرد وجود اشت (شکل‌های ۱ و ۲) و این رابطه در مورد سفیدکن اصطکاکی بسیار معنی‌دار بود (R^2>۰/۹۸). می‌توان مشاهده کرد که در سفیدکن اصطکاکی و در مقایسه میانگین ارقام، میزان مقاومت در برابر بارگذاری خمش سه نقطه‌ای مهمترین عامل تأثیرگذار بر درصد برنج خرد است، ولی در سفیدکن سایشی به دلیل اینکه طی عملیات سفیدکردن نیروی کمی به دانه برنج وارد می‌شود، در نتیجه اثر عوامل دیگری نظیر وجود ترک در مراحل دیگر فرآیند تبدیل را می‌توان عامل اصلی شکستگی دانه برنج در سفیدکن سایشی دانست. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که هر چه مقاومت شلتوک در بارگذاری خمش سه نقطه‌ای بیشتر باشد به همان میزان درصد شکستگی در سفیدکن اصطکاکی و به نسبت کمتر در سفیدکن سایشی پایین‌تر خواهد بود.

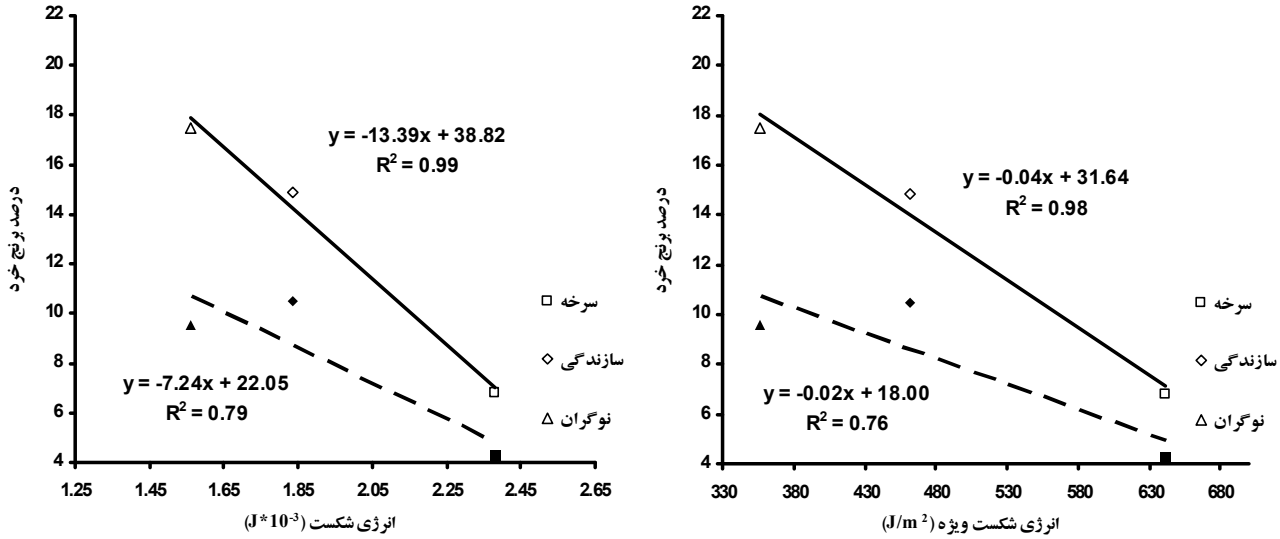
جدول ۳- تأثیر رقم و رطوبت بر خواص مکانیکی دانه برنج تحت آزمون خمش سه نقطه‌ای

عوامل آزمایشی	نیروی شکست (N)	انرژی شکست ($J\times10^{-3}$)	انرژی شکست ویژه (J/m^2)	تنش بیشینه خمشی (MPa)
رقم				
سرخه	۲۳/۸۷ a	۲/۳۷۸ a	۶۴۱/۶۹ a	۲۳/۳۹ a
سازندگی	۲۱/۱۵ b	۱/۸۳۷ b	۴۶۱/۹۶ b	۱۷/۷۳ b
نوگران	۱۹/۹۸ b	۱/۵۶۳ b	۳۵۵/۸۱ b	۱۷/۴۷ b
رطوبت (٪)				
۷-۹	۲۳/۰۶ a	۲/۴۱۱ a	۶۴۶/۰۹ a	۲۲/۶۷ a
۹-۱۱	۲۲/۷۶ a	۱/۸۵۱ b	۴۸۵/۰۸ b	۲۰/۵۷ a b
۱۱-۱۳	۲۱/۸۳ a b	۱/۸۴۱ b	۴۵۵/۴۳ b	۱۸/۵۲ b c
۱۳-۱۵	۱۹/۰۱ b	۱/۶۰۱ b	۳۹۹/۳۵ b	۱۶/۳۵ c

در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی، اختلاف میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار است.

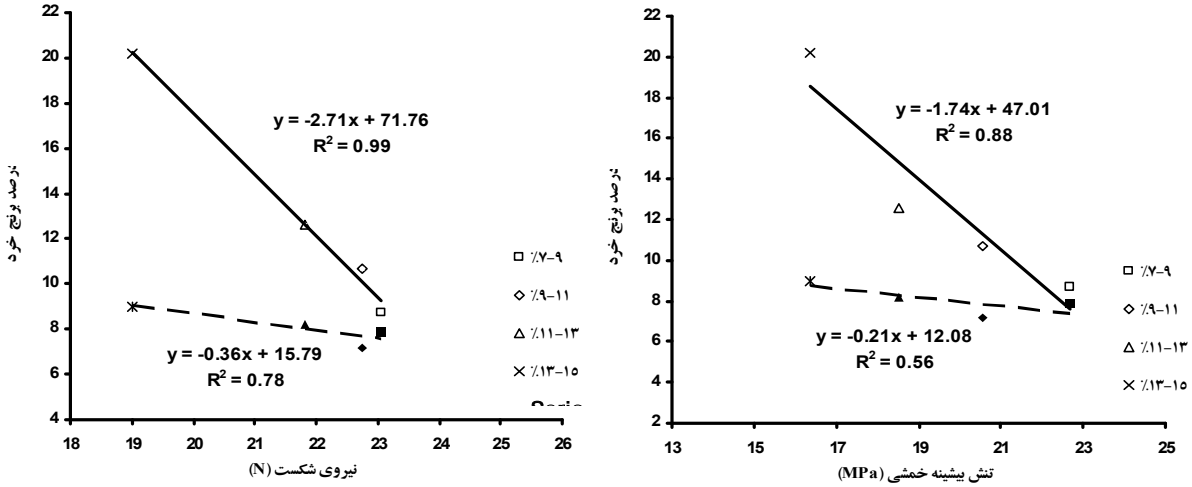


شکل ۱- رابطه درصد برنج خرد با نیروی شکست و تنش بیشینه خمشی (داده‌های تو خالی و _____مربوط به سفیدکن اصطکاکی و داده‌های توپر و - - - مربوط به سفیدکن سایشی می‌باشد).



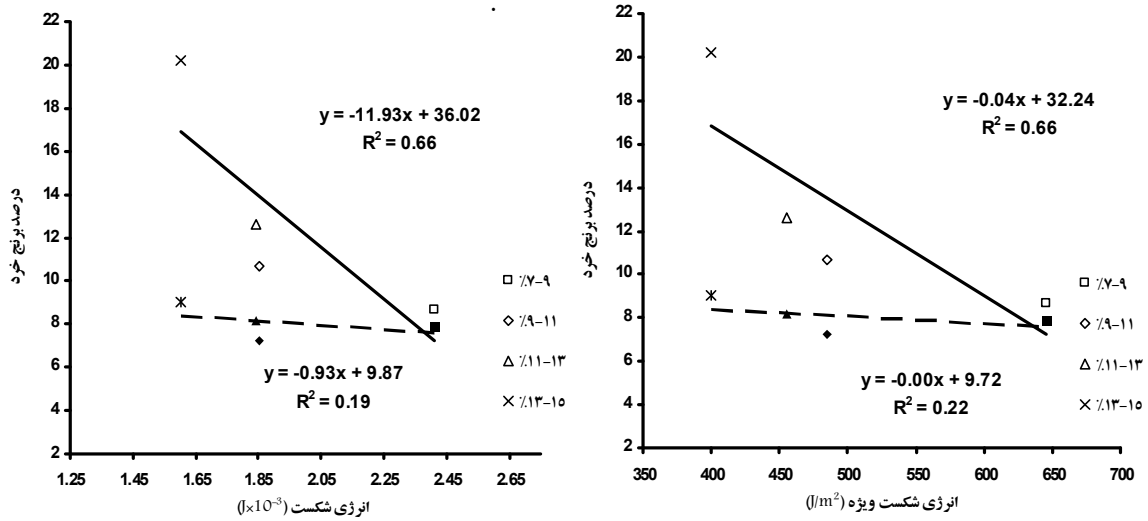
شکل ۲- رابطه درصد برنج خرد با انرژی شکست و انرژی شکست ویژه (داده‌های تو خالی و _____مربوط به سفیدکن اصطکاکی و داده‌های توپر و - - - مربوط به سفیدکن سایشی می باشد).

در بررسی رابطه خواص مکانیکی و درصد برنج خرد در سطوح رطوبتی مختلف مشاهده شد که تنش بیشینه خمشی و بویژه نیروی شکست نسبت به دو مشخصه مکانیکی دیگر رابطه بهتری با درصد برنج د داشتند. همچنین با توجه به شکل-های ۳ و ۴ رابطه تمام خواص مکانیکی با درصد برنج خرد بدست آمده از سفیدکن اصطکاکی همانند نتایج مقایسه میانگین ارقام (شکل‌های ۱ و ۲) معنی‌دارتر از رابطه برازش شده برای سفیدکن سایشی بود. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره گردید، دلیل ا ین امر آن است که در سفیدکن سایشی طی عملیات سفیدکردن نیروی کمی به دانه برنج و رد می‌شود (معنی‌دار نشدن اختلاف میانگین درصد برنج خرد در سطوح رطوبتی مختلف و پائین‌تر بودن درصد شکستگی برنج در این سفیدکن نسبت به



سفیدکن اصطکاکی).

شکل ۳- رابطه درصد برنج خرد با نیروی شکست و تنش بیشینه خمشی (ادههای تو خالی و _____مربوط به سفیدکن اصطکاکی و دادههای توپر و - - - مربوط به سفیدکن ی می‌باشد).

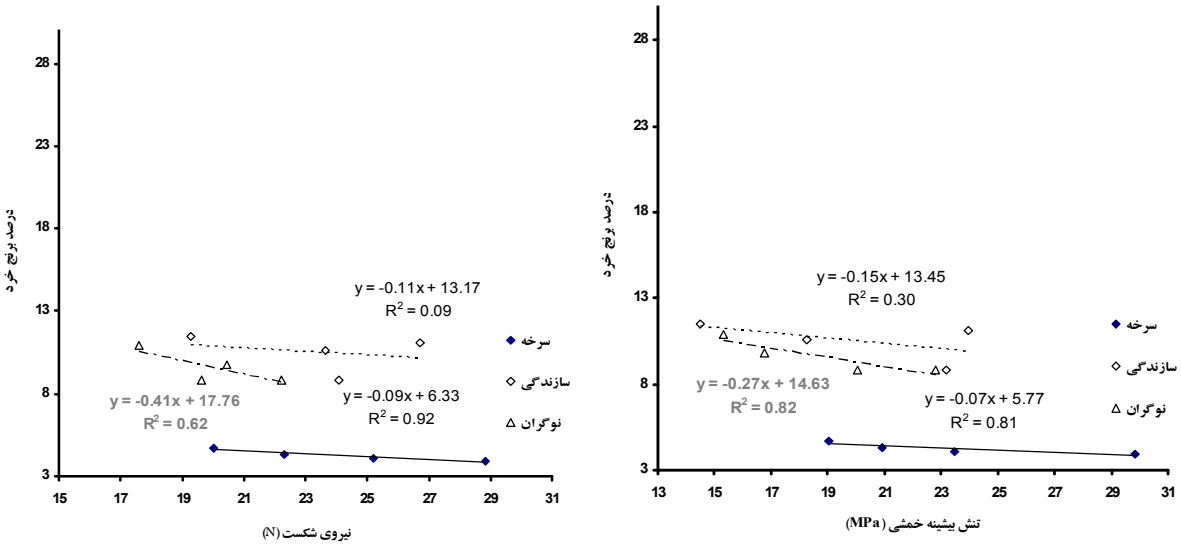


شکل ۴- رابطه درصد برنج خرد با انرژی شکست و انرژی شکست ویژه (دادههای تو خالی و _____مربوط به سفیدکن اصطکاکی و دادههای توپر و - - - مربوط به سفیدکن یشی می‌باشد).

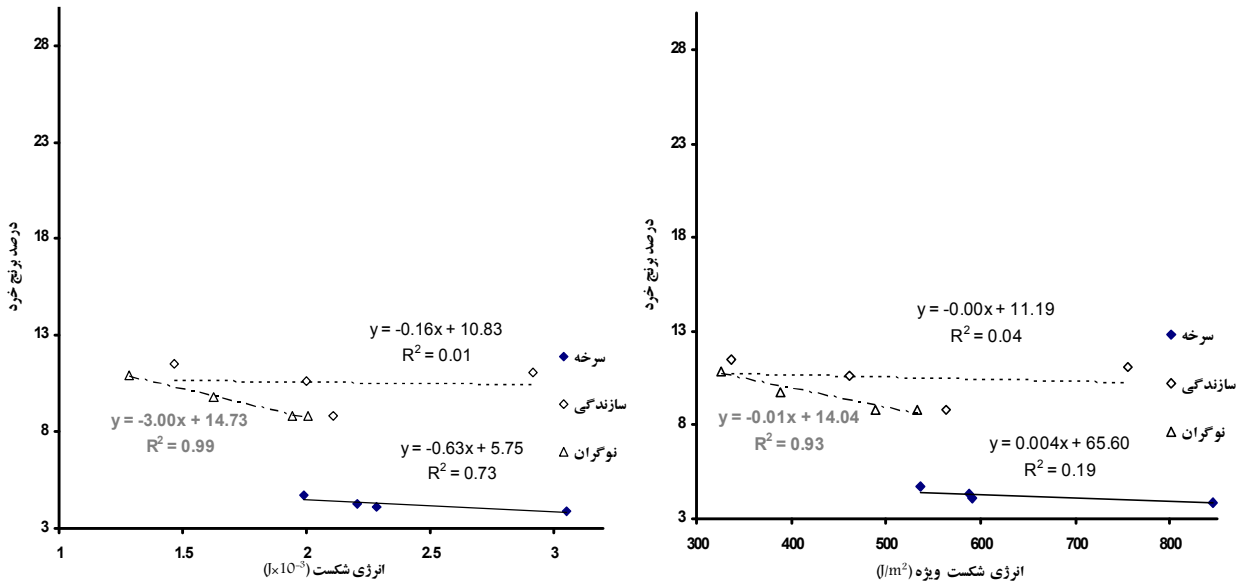
رابطه خواص مکانیکی و درصد برنج خرد برای هر رقم در سطوح رطوبتی مختلف در سفیدکن سایشی (شکل‌های ۵ و ۶) و در سفیدکن اصطکاکی (شکل‌های ۷ و ۸) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در تمام موارد یک روند معکوس بین

خواص مکانیکی و درصد برنج خرد وجود داشت. همچنین نوع رقم بر این رابطه تأثیرگذار بود. بطوری که در هر دو نوع سفیدکن برای رقم سرخه نیروی شکست، برای نوگران انرژی شکست و برای سازندگی تنش بیشینه خمشی رابطه بهتری با درصد برنج خرد داشتند. همچنین خطاهای برازش شده به داده‌های هر رقم در سفیدکن اصطکاکی دارای شیب بیشتری نسبت به سفیدکن سایشی بودند و این نکته نشانگر آن است که در سفیدکن اصطکاکی، تغییر در مقاومت دانه شلتوک برنج تأثیر بیشتری بر درصد برنج خرد دارد.

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان با تعیین خواص مکانیکی (به ویژه تنش بیشینه خمشی و نیروی شکست) شلتوک برنج یک رقم جدید، درصد برنج خرد آن را پیش‌بینی کرد و با توجه به خصوصیات دیگر (میزان عملکرد محصول در هکتار، خواص فیزیکی و خصوصیات ژنتیکی) نتیجه گرفت که تولید انبوه آن از نظر اقتصادی مقرون به صرف است یا خیر.

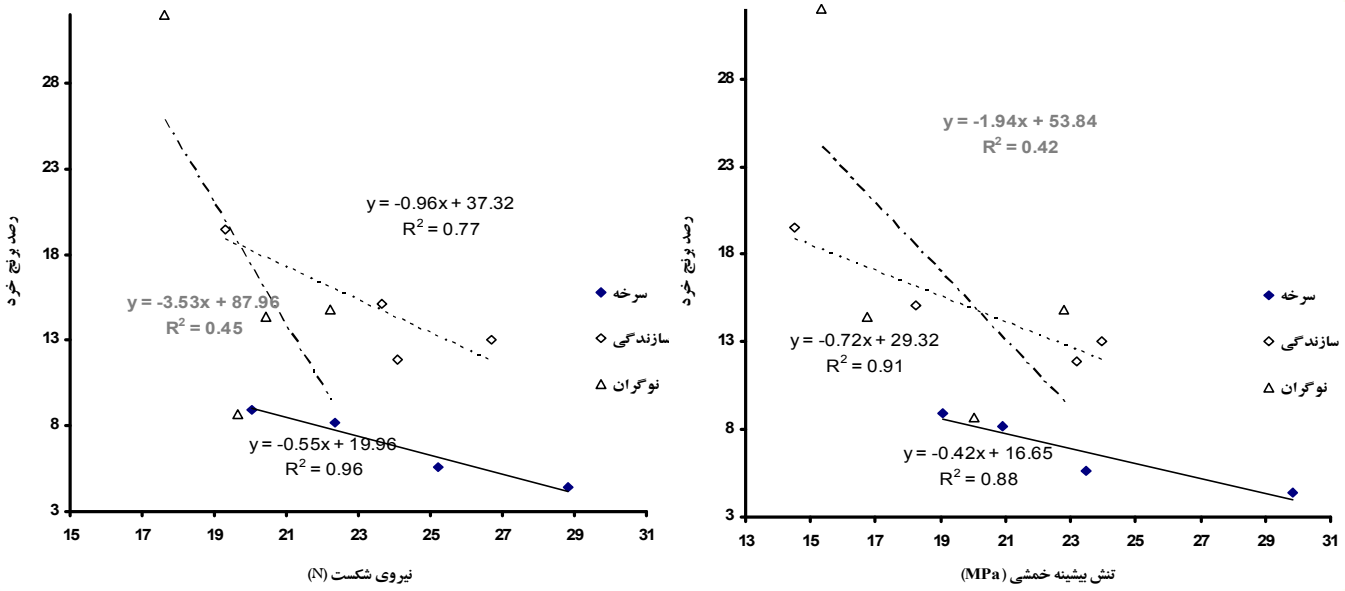


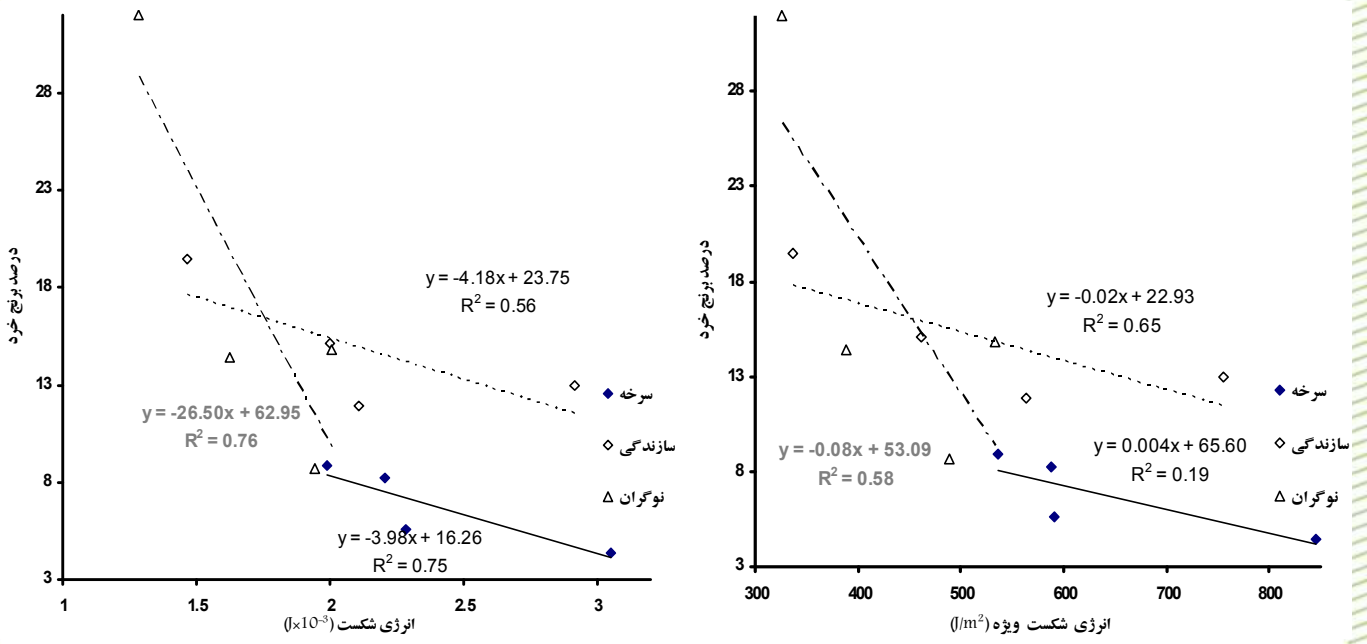
شکل ۵- رابطه درصد برنج خرد با نیروی شکست و تنش بیشینه خمشی در سفیدکن سایشی (_____سرخه، . . . . سازندگی و _. _. _ نوگران).



شکل ۶- رابطه درصد برنج خرد با انرژی شکست و انرژی شکست ویژه در سفیدکن یشی (_____سرخه، . . . . سازندگی و _. _. _ نوگران).

شکل ۷ رابطه درصد برنج خرد با نیروی شکست و تنش بیشینه خمشی در سفیدکن اصطکاکی (_____سرخه، . . . . سازندگی و _. _. _ نوگران).





شکل ۸ رابطه درصد برنج خرد با نیروی شکست و تنش بیشینه خمشی در سفیدکن اصطکاکی (_____سرخه، . . . . سازندگی و _. _. _ نوگران).

نتیجه‌گیری

۱- در همه موارد وجود یک رابطه معکوس بین درصد برنج خرد و خواص مکانیکی مشهود بود.

۲- بطور نسبی در همه رطوبتها درصد برنج خرد در سفیدکن ایشی کمتر از سفیدکن اصطکاکی بود. در سفیدکن سایشی میانگین درصد برنج خرد در سطوح رطوبتی مختلف با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. هرچند که ابه سفیدکن اصطکاکی با افزایش رطوبت، درصد برنج خرد در سفیدکن سایشی نیز افزایش یافت.

۳- رقم سرخه از نظر درصد برنج خرد کمترین و از نظر مقاومت مکانیکی بیشترین مقادیر را نشان داد.

۴- بطور کلی در میان خواص مکانیکی ازه‌گیری شده، نیروی شکست و تنش بیشینه خمشی روابط بهتری با درصد برنج خرد داشتند.

۵- رابطه خواص مکانیکی با درصد برنج خرد حاصل از سفیدکن اصطکاکی معنی‌دارتر از سفیدکن سایشی بود و خط برازش شده رابطه مذکور در سفیدکن اصطکاکی دارای شیب بیشتری نسبت به سفیدکن سایشی بود. با توجه به نتایج بدست آمده و همچنین نحوه جداسازس سبوس در سفیدکن سایشی می‌توان گفت که، نیروهای وارده به دانه برنج در این سفیدکن در حدی نیستند که بر مقاومت در برابر گسیختگی انه‌های سالم غلبه کنند. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات مقاومت خمشی تأثیر چندانی بر درصد برنج خرد در سفیدکن سایشی ندارند. بنابراین می‌توان اثر عوامل دیگری، نظیر ترک‌های ایجاد شده در مراحل دیگر فرآیند تبدیل را عامل اصلی شکستگی دانه برنج در سفیدکن سایشی دانست.

فهرست منابع

1- Anonymous. 2001. Compression test of Food Materials of Convex Shape. ASAE Standard. *Amer. Soc Agric. Eng*. PP: 554-559.
2- Anonymous. 2001. Moisture measurement-ungrounded grain and seeds. *ASAE* Standard, *Amer. Soc. Agric. Eng*. PP: 567-568.
3- Arora, V. K., Henderson, S. M. and Burkhardt T. H. 1973. Rice drying cracking versus thermal and mechanical properties. *Trans. ASAE* 16: 320-327.
4- Iguaz, A., Rodriguez M. and Virseda, P. 2005. Influence of Handling and Processing of Rough Rice on Fissured and Head Rice Yields. *J. Food Eng*. 77: 803-809.
5- Kunze, O. R. and Choudury, M. S. U. 1972. Moisture adsorption related to the tensile strength of rice. *Cereal Chem*. 49: 684-696.
6- Lu, R. and Siebenmorgen, T. J. 1995. Correlation of Head Rice Yield to Selected Physical and Mechanical Properties. *Trans. ASAE*. 38: 889-894.
7- Prasad, S. and Gupta C. P. 1973. Behavior of paddy grain under quasi-static compressive loading. *Trans. ASAE* 16: 328-330.
8- Sibenmorgen, T. J. and Qin G. 2005. Relating Rice Kernel Breaking Force Distributions to Milling Quality. *Trans. ASAE*. 48: 223−228.
9- Zhang, Q., Yang, W. and Sun, Z. 2005. Mechanical Properties of Sound and Fissured Rice Kernels and their Implications for Rice Breakage. *J. Food Eng*. 68: 65-67.

Breakage Percentage of Isfahan Rice during Milling operation and its Relationship with Rough Rice Mechanical properties

S. H. Hoseinian, M. Sadeghi, A. Hemmat

Absract

During milling operation different forces are applied to the rice kernels that could cause grain breakage. Mechanical properties could be an appropriate predictor of this breakage. In this research the relationship between the breakage percentage and basic rough rice mechanical properties (fracture force, maximum bending stress, fracture energy and specific fracture energy) was investigated for three common rice cultivars (*Sazandegi*, *Sorkheh* and *Nogaran*) in Isfahan province. The mechanical properties were obtained by means of three-point bending test. The rice samples were whitened by two laboratory rice miller types (abrasive and frictional types) at different moisture contents. The experiments were carried out with factorial layout in a completely randomized design. Results showed that among varieties there was a negative linear correlation between rice breakage percentage and all measured mechanical properties. The rice breakage percentage increased by a decrease in bending strength. However, this relationship depended on the rice mille type. The fitted regression equation had a higher R square in frictional rice miller compared with abrasive type. At different moisture contents, there were better significant relationships between rice breakage percentage and the mechanical properties in frictional rice miller compared to abrasive rice miller. In abrasive rice miller, applied forces are lower than the grain breakage strength; therefore, the variation in bending resistance could not explain the rice breakage percentage in an abrasive rice miller.

Keywords: rough rice, brakage, mechanical properties, abrasive and frictional rice miller, three-point bending loading