راهکارهای سنجش و کاهش ضایعات گندم در خرمنکوب‌های ثابت

عبداله ایمان‌مهر[1] و محسن حیدری سلطان‌آبادی[2]*

[1و2] استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

چکیده

گندم یکی از محصولات راهبردی است که از نظر سطح زیرکشت، تولید و ارزش غذایی، دارای اهمیت بالایی است. از طریق افزایش عملکرد و کیفیت محصول، کاهش هزینه‌های تولید و کاهش ضایعات می‌توان بهره‌وری تولید گندم را افزایش داد. مدیریت زراعی، روش برداشت، انتقال و ذخیره‌سازی، کیفیت و مرغوبیت بذر گندم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هنوز در مناطقی از جهان و کشور از خرمنکوب‌های ثابت برای جداسازی بذر گندم استفاده می‌شود. استفاده از خرمنکوب‌ها در شرایط نامناسب باعث ایجاد آسیب‌های مکانیکی به بذر گندم (ترک‌خوردگی، شکستگی، برش، سوراخ شدگی و لهیدگی) می‌شود. این آسیب‌ها علاوه بر کاهش قیمت محصول، افت کیفی بذر و آرد تولیدی را در پی خواهد داشت. رقم گندم، نرخ تغذیه، رطوبت محصول و سرعت دورانی استوانه کوبش (کوبنده) نقش عمده‌ای در ایجاد ضایعات (درصد بذرهای شکسته و کاهش قدرت جوانه‌زنی بذرها) در خرمنکوب‌های ثابت دارند. دست‌یابی و توصیه به تنظیمات مناسب خرمنکوب و شرایط محصول، میزان ضایعات گندم را تا ٤٠ درصد کاهش می‌دهد. استفاده از ارقام گندم غیرحساس به شکستگی، استفاده از حداکثر ظرفیت دستگاه خرمنکوب، خشک‌کردن گندم تا رطوبت کمتر از ۷ درصد و انتخاب سرعت خطی حدود ۱۱ متر بر ثانیه برای کوبنده خرمنکوب، قابل توصیه بوده و می‌تواند میزان ضایعات گندم را در خرمنکوب‌های ثابت کاهش دهد. در این مقاله به معرفی روش‌های قابل‌استفاده برای کاهش آسیب به بذرگندم در خرمنکوب‌های ثابت پرداخته می‌شود.

واژگان کلیدی: آزمون جوانه‌زنی، آسیب مکانیکی، خرمنکوب ثابت، ضایعات گندم، کیفیت بذر، نرخ تغذیه

* نگارنده مسئول: imanmehr2000@yahoo.com

بیان مسئله

گندم یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان زراعی جهان است. در کشور در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ از سطحی برابر ۲/۳۷۰/۰۰۰ هکتار زمین، ۸/۱۸۰/۰۰۰ تن گندم تولید شده است (ربانی‌زاده، ۱۴۰۱). افزایش سطح زیرکشت گندم دارای محدودیت‌هایی مانند کمبود آب و نهاده‌های کشاورزی است. یکی از روش‌های نیل به افزایش عملکرد مفید و خوداتکایی در محصول گندم، مدیریت تلفات، قبل و بعد از برداشت است (ایمان‌مهر، ۱۳۹۳). آسیب وارده به بذر گندم در طول برداشت و جابه‌جایی همواره یک چالش در عملیات پس از برداشت گندم به حساب می‌آید. این آسیب‌ها باعث تغییرات فیزیکی و فیزیولوژیکی بذر گندم و در نهایت منجر به کاهش کیفیت و عملکرد آن می‌شود. در طول برداشت، بذرهای گندم در معرض ترکیبی از نیروهای ضربه، برش و فشار قرار می‌گیرند. بذرهای گندم در برابر فشار و بارگذاری ضربه، حساس‌تر هستند (چن[۱] و همکاران، ۲۰۲۰). میزان صدمات واردشده به بذرهای گندم، بستگی به ویژگی‌های رقم، شرایط رطوبتی محصول در زمان برداشت و مکانیسم‌های برداشت دارد. بررسی ویژگی‌های بذر و درک خواص فیزیکی آن برای طراحی یا بهینه‌سازی تجهیزات کشاورزی و ارائه تنظیمات عملیاتی مفید است (بابیک[۲] و همکاران، ۲۰۱۱). برخی از ویژگی‌های چند رقم گندم در جدول یک آورده شده است. آسیب‌های وارده به بذر گندم سبب ایجاد تغییرات ظاهری و تغییر در ساختار غشاء بذر می‌شود. این تغییرات دارای پیامدهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی وسیعی بوده و باعث کاهش قدرت باروری بذر گندم می‌شود. قوه نامیه بذرهای گندم، معیاری علمی برای کیفیت آن در تولیدمثل محسوب می‌شود. در گندم‌های شکسته و بدون پوشش، احتمال آسیب و فساد به علت فعالیت آنزیمی و عوامل بیماری‌زای خارجی در حین ذخیره‌سازی وجود دارد. روش‌های زیادی برای تشخیص و اندازه‌گیری قوه نامیه بذرها به‌کار گرفته شده است که یکی از آنها میزان رسانایی الکتریکی توده بذر است (ماجوسکا[۳] و همکاران، ۲۰۰۸).

جدول ۱- ویژگی‌های برخی از ارقام گندم (ایمان‌مهر، ۱۳۹۳)

رقم	رنگ بذر	وزن هزار بذر (گرم)	قطر هندسی (میلی‌متر)	میانگین ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	دوره رسیدگی (روز)
میهن	زرد کهربایی	۴۳-۳۴	۳/۷	۸۴	۱۷۵
زارع	قرمز	۴۰-۳۱	۳/۵	۹۸	۱۷۴
اروم	زرد کهربایی	۴۳	۴/۲	۸۸	۱۷۵

با وجود پیشرفت‌های زیادی که در زمینه توسعه کمباین‌های برداشت غلات صورت گرفته، هنوز در مناطقی از جهان و کشور از خرمنکوب‌های ثابت برای جداسازی بذر گندم استفاده می‌شود (شکل ۱). طبق آمار منتشره، ۷۵ هزار دستگاه خرمنکوب

[۱] Chen
[۲] Babic
[۳] Majewska

غلات و حبوبات در کشور در حال فعالیت هستند (عبادزاده و همکاران، ۱۳۹۹). برخی آسیب‌های مکانیکی بذر (شکل ۳) به‌دلیل استفاده از این خرمنکوب‌ها اتفاق می‌افتد. بذرهای آسیب‌دیده (قابل‌مشاهده و غیرقابل مشاهده) تلفات محصول را افزایش می‌دهد. از جمله عوامل اثرگذار بر کیفیت گندم در خرمنکوب‌های ثابت می‌توان به رقم و رطوبت گندم، نرخ تغذیه و سرعت استوانه کوبش خرمنکوب اشاره کرد. مطالعات نشان داده که میزان آسیب وارده به بذرهای گندم زمانی‌که نرخ تغذیه مواد به خرمنکوب در بیشترین مقدار مجاز خود باشد، کاهش می‌یابد (اسپوکاس[۴] و همکاران، ۲۰۰۸). تعیین و ترویج شرایط مناسب محصول و تنظیمات خرمنکوب‌های ثابت، گام مؤثری در جهت کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری در تولید محصول استراتژیک گندم محسوب می‌شود.

شکل ۱- نمای خرمنکوب ثابت مورد استفاده برای گندم

شکل ۲- روش خرمنکوبی گندم با استفاده از خرمنکوب‌های ثابت

[۴] Spokas

شکل ۳- نمونه‌ای از گندم‌های شکسته در جریان خرمنکوبی

معرفی دستورالعمل

دستورالعمل حاضر، برای کشاورزان و تولیدکنندگان گندم و نیز صاحبان صنایع ادوات کشاورزی قابل استفاده است. با به‌کارگیری این دستورالعمل می‌توان درصد آسیب‌های مکانیکی گندم را در حدود ۴۰ درصد کاهش داد (ایمان‌مهر، ۱۳۹۴). در این دستورالعمل، روش‌های محاسبه آسیب‌های مکانیکی گندم، تنظیمات لازم روی خرمنکوب‌های ثابت و شرایط محصول گندم بیان شده است. با استفاده از ۵ دستورالعمل اول می‌توان کیفیت گندم خروجی از خرمنکوب را مورد ارزیابی قرار داد و سپس طبق دستورالعمل ۶، به تنظیم دستگاه خرمنکوب مبادرت کرد.

دستورالعمل ۱: محاسبه درصد آسیب قابل‌مشاهده (بذرهای شکسته)

نمونه‌های ۲۰ گرمی از گندم خرمنکوبی‌شده، وزن شده (W_t) و بذرهای شکسته موجود در آن به‌طور دستی و با کمک ذره‌بین جدا و توزین شود (W_b). تعداد بذرهای شکسته و تعداد کل بذرها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (عبدالغنی و الساهار[۵]، ۱۹۹۹):

$$B_K = W_b/M_w \qquad (۱)$$

[۵] Abdelghany & El-Sahar

$$T_K = W_t/M_w \quad (۲)$$

در اینجا:

M_w= وزن متوسط هر بذر (گرم)

B_K= تعداد بذرهای شکسته

T_K= تعداد کل بذرها

درصد بذرهای شکسته (BP_K) با رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$BP_K = (B_k/T_k) \times 100 \quad (۳)$$

دستورالعمل۲: محاسبه درصد جوانه‌زنی قابل‌مشاهده

۴۰۰ عدد بذر سالم از گندم خرمنکوبی‌شده انتخاب و روی کاغذ در پتری‌دیش‌های ۱۲/۵ سانتی‌متری در دمای ۲۰ درجه سلسیوس برای یک دوره ۷ روزه کشت شود (ایستا[۶]، ۱۹۹۶). درصد جوانه‌زنی قابل‌مشاهده (G_v) از رابطه زیر محاسبه می‌شود (عبدالغنی و الساهار، ۱۹۹۹):

$$G_v = \frac{\text{تعداد بذرهای جوانه زده}}{\text{کل بذرهای کشت شده}} \times ۱۰۰ \quad (٤)$$

دستورالعمل۳: محاسبه درصد آسیب غیرقابل مشاهده

پس از انجام آزمون جوانه‌زنی (در بذرهای سالم) در همان نمونه، بذرهای جوانه‌نزده (مرده) و بذرهایی که جوانه‌های ضعیف و یا دارای رشد غیرطبیعی هستند، شمارش و تحت عنوان بذرهایی با آسیب غیرقابل دید دسته‌بندی می شود. درصد آسیب غیرقابل مشاهده (G_{nv}) از رابطه زیر محاسبه می‌شود (عبدالغنی و الساهار، ۱۹۹۹):

$$G_{nv} = \left(\frac{\text{بذرهای مرده+بذرهای جوانه زده ضعیف و غیر طبیعی}}{\text{کل بذرهای مورد استفاده در آزمون جوانه‌زنی}}\right) \times ۱۰۰ \quad (۵)$$

دستورالعمل٤: محاسبه درصد جوانه‌زنی پیشنهادی

از آنجایی‌که بذرهای شکسته در نمونه‌های انتخابی برای جوانه‌زنی حذف می‌شوند، درصد جوانه‌زنی قابل‌مشاهده به‌صورت کامل نشان نمی‌دهد که از کل توده بذر جداسازی‌شده توسط خرمنکوب چند درصد دارای قدرت جوانه‌زنی هستند. بنابراین، جوانه‌زنی پیشنهادی محاسبه می شود تا درصد جوانه‌زنی را با فرض این‌که تمام بذرها شکسته نشده‌اند، نشان دهد. درصد جوانه‌زنی پیشنهادی (G_p) بسته به میزان آسیب قابل‌مشاهده در هر آزمایش، کمتر از جوانه‌زنی قابل‌مشاهده (G_v) است و با داشتن تعداد بذرهای شکسته (B_K) از رابطه زیر محاسبه می‌شود (عبدالغنی و الساهار، ۱۹۹۹):

[۶] ISTA (International Rules for Seed Testing Association)

$$G_p = (100 - B_k)/100 \times G_v \quad (٦)$$

دستورالعمل۵: محاسبه رسانایی الکتریکی بافت بذر

بین تراوش الکترولیت بذرها و میزان سالم‌بودن پوسته، همبستگی وجود دارد. هر اندازه میزان آسیب بیشتر باشد، تراوش بذرها بیشتر و در نتیجه رسانایی الکتریکی افزایش می‌یابد (ماجوسکا و همکاران، ۲۰۰۸). با وجود روش‌های بیان‌شده در اندازه‌گیری دقیق میزان شکستگی و جوانه‌زنی بذر گندم، می‌توان از خاصیت رسانایی الکتریکی بافت بذر در تشخیص میزان آسیب‌دیدگی بذور به‌صورت میدانی و لحظه‌ای استفاده کرد. برای این کار کافی است مقداری بذر در ظرفی ریخته شده و توسط حسگر دستگاه EC متر، میزان رسانایی جریان الکتریکی آن اندازه‌گیری شود. شکل ٤ یک دستگاه EC متر الکتریکی بذر را نشان می‌دهد.

شکل٤- دستگاه EC متر برای اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی بافت بذر گندم

دستورالعمل ٦: تنظیمات سرعت استوانه و نرخ تغذیه خرمنکوب ثابت برای گندم

نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که افزایش سرعت استوانه کوبش (کوبنده) بیش از ۱۱ متر بر ثانیه، باعث افزایش آسیب قابل‌مشاهده و آسیب غیرقابل مشاهده می شود. بنابراین، هر چند با افزایش سرعت استوانه کوبش، راندمان خرمنکوب (نرخ جدایی بذر از کاه و کلش) افزایش می‌یابد، ولی سرعت‌های بالا موجب آسیب‌دیدن بذرهای گندم می‌شود. سرعت خطی حدود ۱۱ متر بر ثانیه، مناسب‌ترین سرعت در تنظیم خرمنکوب بوده و در این سرعت، بذرهایی با کیفیت بهتر نسبت به سرعت کوبش بیشتر تولید می‌شوند (ایمان‌مهر، ۱۳۹٤). سرعت خطی اجسام دوار از رابطه ۷ حاصل می‌شود:

$$V = \frac{r \times 2 \times 3.14 \times n}{60} \quad (۷)$$

در اینجا:

V: سرعت خطی (متر بر ثانیه)

r : شعاع جسم (متر)

n : سرعت دورانی(دور در دقیقه)

میزان تغذیه بذر به عنوان یک فاکتور کنترل‌کننده کیفیت بذر در خرمنکوب‌ها در نظر گرفته می‌شـــود. تنظیم نرخ تغذیه خرمنکوب باید بر اساس استفاده از حداکثر ظرفیت دستگاه تنظیم شود. خوراک‌دهی کم به دستگاه موجب افزایش شکستگی بذر خواهد شـــد. به عنوان مثال، داده‌های به‌دســـت آمده از آزمایش یک خرمنکوب نشـــان می‌دهد که با افزایش نرخ تغذیه از ۰/۰۱۲ به ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه، درصد بذرهای شکسته کاهش می‌یابد. جدول ۲ نمونه‌ای از اثرات رطوبت محصول،

جدول ۲- نمونه‌ای از اثر رطوبت بذر، سرعت استوانه کوبش و نرخ تغذیه بر کیفیت بذرهای گندم خرمنکوبی شده (ایمان‌مهر، ۱۳۹۳)

	سرعت خطی استوانه کوبش (متر بر ثانیه)			نرخ تغذیه (کیلوگرم بر ثانیه)			درصد محتوای رطوبتی		
	۱۱	۲۰	۳۵	۰/۰۱۲	۰/۰۲۵	۰/۰۵	۷	۸	۹/۵
درصد بذرهای شکسته	۰/۱۳	۲/۵۱	۲۲/۳۶	۱۱/۲٤	۷/۹۹	٦/۱۱	٤/٦۱	۱۲/۱۰	۱۲/۱۳
درصد آسیب غیرقابل مشاهده	۳/۲۸	۱۷/۱۱	۳۱/۲۹	۱۹/٥٦	۱۸/۹۱	۱۷/۳۳	۱۲/۱٦	۲٥/۳٤	۱۹/٤۱
درصد جوانه‌زنی قابل‌مشاهده	۹٥/۲۱	۷۱/۸٤	٤۸/۲٥	۷۰/۳۳	۷۲/۳۳	۷۰/۳۰	۷۷/٥۹	٦۹/۳۱	٦۸/۹۱
درصد جوانه‌زنی پیشنهادی	۹۲/۳۳	٦۹/۲۸	٤٥/۱۹	٦۷/۲٥	٦۹/٤۹	٦۹/۱۱	۷۱/۱۹	٦٦/۲۳	٦٦/٤۲
رسانایی الکتریکی	۳٥/۷۹	٥۱/۲۸	۸۹/٦۷	٦۹/۲٥	٦۰/۳٦	٥۷/۲۷	٥٥/۷۳	٦۲/۹۰	٦۷/۸٤

تغییرات سرعت خطی استوانه کوبش و نرخ تغذیه بر صدمات گندم را در یک دستگاه خرمنکوب ثابت نشان می‌دهد. رطوبت گندم نقش مؤثری بر میزان تلفات کوبش در خرمنکوب‌های ثابت دارد. انتخاب رطوبت مناسب، موجب کاهش ضایعات گندم خواهد شد. مشاهدات نشان داده است که با انتخاب محتوای رطوبتی ۷ در صد و پایین‌تر، کمترین صدمات مکانیکی به بذر گندم وارد می‌شود (ایمان‌مهر، ۱۳۹٤).

توصیه ترویجی (جمع‌بندی)

در هنگام استفاده از خرمنکوب‌های ثابت برای جداسازی بذر گندم، رعایت نکات زیر موجب کاهش تلفات بذر گندم و افزایش کیفت آن خواهد شد.

- با توجه به اثر مستقیم رطوبت گندم بر میزان تلفات کوبش در خرمنکوب‌های ثابت، پس از برداشت محصول باید اجازه داد تا ساقه‌ها به‌همراه خوشه به رطوبت مناسب برسند. در محتوای رطوبتی ۷ درصد و پایین‌تر، کمترین صدمات مکانیکی به بذر گندم وارد می‌شود.
- خرمنکوبی ارقام گندم حساس به شکستگی، موجب افزایش ضایعات گندم خواهد شد. بهتر است این ارقام با روش‌های دیگر برداشت شوند.
- در استفاده از خرمنکوب‌های ثابت، نرخ تغذیه خرمنکوب باید بر اساس استفاده از حداکثر ظرفیت دستگاه تنظیم شود. کار با ظرفیت کم دستگاه موجب افزایش شکستگی بذر گندم خواهد شد.
- سرعت خطی حدود ۱۱ متر بر ثانیه برای استوانه (کوبنده) خرمنکوب، مناسب‌ترین سرعت در تنظیم خرمنکوب است. در این سرعت، بذرهایی با کیفیت بهتر نسبت به سرعت کوبش بیشتر حاصل می‌شود.
- با توجه به متغیربودن قطر استوانه کوبش، برای اندازه‌گیری سرعت خطی استوانه (متر بر ثانیه)، کافی است شعاع استوانه (متر) در سرعت دورانی (دور در دقیقه) در عدد ۰/۱۰۵ ضرب شود. برای اندازه‌گیری سرعت دورانی کوبنده می‌توان از شاخص سرعت شافت PTO تراکتور استفاده کرد. این شاخص در دور مشخصه موتور تراکتور، ۵٤۰ دور در دقیقه است. سایر سرعت‌های دورانی شافت PTO تراکتور را می‌توان با نسبت‌گیری از دور موتور به‌دست آورد.

فهرست منابع

۱- ایمان‌مهر، عبداله. ۱۳۹۳. بررسی اثر رقم و رطوبت بر آسیب‌های خواص کیفی دانه گندم در عملیات خرمنکوبی. *مجله علوم مکانیک در ماشین‌های کشاورزی*، ۲ (۱)، ص ۵۹-۷۰.

۲- ایمان‌مهر، عبداله. ۱۳۹٤. اثر سرعت دورانی استوانه کوبنده و نرخ تغذیه بر آسیب‌های مکانیکی وارده به دانه گندم در عملیات خرمنکوبی. *نشریه ماشین‌های کشاورزی*، ۵ (۱)، ص ۱۸٤-۱۹۰.

۳- ربانی‌زاده، کمال. ۱٤۰۱. *آمارنامه کشاورزی*. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

٤- عبادزاده، حمیدرضا، کریم احمدی، شهریار محمدنیاافروزی، رضا عباس‌طاقانی، مریم عباسی و شهین یاری. ۱۳۹۹. *آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۸-۹۷*. جلد ۲، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

5. Abdelghany, A.M. and E.S. El-Saha. 1999. Effect of mechanical damage on wheat grain quality. Parameters affecting the performance of local wheat threshing machine. *Annals of agricultural Science Cairo*, 44 (1): 247-270.

6. Babic, L., M. Babic, J. Turan, S. Matić-Kekić, M. Radojčin, S. Mehandžić-Stanišić, I. Pavkov and M. Zoranović. 2011. Physical and stress-strain properties of wheat (Triticum aestivum) kernel. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 1236–1243

7. Chen, Z., C. Wassgren and R.P.K. Ambrose. 2020. *A review of grain kernel damage: Mechanisms, modeling, and testing procedures*. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), 63: 455–475.

8. ISTA. 1996. International rules for seed testing association. *Seed Science and Technology*, 24: 29-34.

9. Majewska, K., J.K. Banach, R. Zywica and I. Bialobrzewski. 2008. Influence of variety, moisture content, kernel size and applied current frequency on the electric properties of wheat grain. *International Journal of Food Properties*, 11: 392–406.

10. Spokas, L., D. Steponavicius and S. Petkevicius. 2008. Impact of technological parameters of threshing apparatus on grain damage. *Agronomy Research*, 6: 367-376.