

ارزیابی عملکرد ماشین‌های کاشت پنبه

عباس همت^۱ و اردشیر اسدی خشویی^۲

چکیده

به منظور گسترش کشت مکانیزه پنبه در مناطق با آب آبیاری شور و خاک‌های حساس به سله در استان اصفهان، ارزیابی عملکرد ماشین‌های کاشت با، یا بدون سله‌شکن در روش کشت مسطح ضروری است. از این رو، آزمایشی برای مقایسه فراسنجه‌های عملکردی چند نوع ماشین‌های کاشت پنبه در یک خاک با بافت لوم رسی، در ایستگاه تحقیقاتی کبوترآباد مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان انجام شد. چهار تیمار ماشین‌های کاشت با استفاده از ردیف‌کارهای بذر سازان در دو وضعیت، و جان‌دیر و خطی کار دانمارکی با سه روش سله‌شکنی، به ترتیب سله‌شکنی با سله‌شکن ستاره‌های غلطان و استوانه‌ای دندان‌دار و بدون سله‌شکنی، با به کارگیری آزمایش فاکتوریل در چارچوب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار ارزیابی شدند. عملکرد ماشین‌های کاشت با اندازه‌گیری تعداد و فاصله میان بوته‌ها در هر تیمار، و تعیین میانگین و انحراف معیار فاصله‌های میان بوته‌های سبز شده، و تعیین شاخص‌های کاشت چندتایی، نقاط بدون بوته، کیفیت تغذیه موزع، دقت و کپه‌کاری، ارزیابی گردیدند.

اگرچه در این آزمایش، به جای اندازه‌گیری فاصله میان بذرهای کاشته شده، فاصله میان بوته‌های سبز شده اندازه‌گیری شد، ولی معیارهای استفاده شده در این پژوهش ویژگی‌های ماشین‌های کاشت را به خوبی نشان داد. میانگین و انحراف معیار فاصله‌های میان بوته‌ای، به تنهایی تفاوت میان عملکرد ماشین‌های کاشت را در تمام روش‌های سله‌شکنی به خوبی نشان نداد. شاخص کپه‌کاری پیشنهادی بهتر از شاخص کاشت چندتایی، مشخصه کپه‌ریزی را در بذرکارها، جدا از روش سله‌شکنی مشخص نمود. در حالت بدون سله‌شکنی، تمایل به کپه‌ریزی در ردیف‌کار بذر سازان، سبب کاهش میانگین و انحراف معیار فاصله‌های میان بوته‌ای گردید. سله‌شکنی موجب کاهش فاصله‌های میان بوته‌ای در کلیه ماشین‌های کاشت، به ویژه در خطی کار که تمایل به کپه‌ریزی در آن بسیار ناچیز بود، شد. بر پایه نتایج حاصله، در ردیف‌کارهای بذر سازان و جان‌دیر، نوع موزع حجمی، و نه تک‌دانه‌کار بود.

واژه‌های کلیدی: پنبه، ردیف‌کار، خطی کار، فاصله بین بوته‌ای، سله‌شکنی

۱. دانشیار ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. پژوهنده ماشین‌های کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان

مقدمه

آزمون‌های آزمایشگاهی به تنهایی نمی‌توانند برای پیش‌بینی یک‌نواختی فاصله میان بوته‌ای در مزرعه استفاده شوند. تحت شرایط مزرعه، اندازه‌گیری فاصله میان بذرهای کاشته شده بسیار مشکل بوده، و نیاز به زمان بسیاری برای کنار زدن خاک به طور دقیق از روی بذرهای موجود در شیار دارد، بدون این که بذرها در حین کنار زدن خاک به طور تصادفی جا به جا شوند.

یک روش جای‌گزین اندازه‌گیری فاصله‌های میان بوته‌ها پس از سبز شدن می‌باشد (۱۳). هنگامی که فاصله‌های میان بوته‌ها پس از سبز شدن در مزرعه بررسی می‌گردد، تغییرات زیادی در فاصله میان بوته‌های سبز شده وجود دارد. مقدار زیادی از تغییرات در فاصله میان بوته‌ای را می‌توان با ارزیابی بذرکارها تحت شرایط آزمایشگاهی جدا نمود (۱۴). ولی به هر حال، آزمایش‌های مزرعه‌ای برای ارزیابی دقیق آنها به منظور دستیابی به عملکرد بذرکارها تحت شرایط مزرعه نیز لازم است. موضوع مهم آن است که بتوان تغییرپذیری مشاهده شده در فاصله‌های میان بوته‌ای در مزرعه را به صورت کمی بیان نمود، تا مقایسه معنی‌دار بذرکارها امکان‌پذیر گردد.

یک روش برای بررسی تغییرپذیری در فاصله میان بوته‌ای، استفاده از نمودار ستونی است (۴). اگرچه با مطالعه این نمودارهای ستونی می‌توان تفاوت‌ها را بیان نمود، ولی لازم است که این تفاوت‌ها به صورت کمی بیان گردد. چند معیار برای کمی کردن تفاوت‌ها پیشنهاد شده است. این معیارها شامل میانگین و انحراف معیار فاصله‌های میان بوته‌ای (۱۰ و ۱۵)، درصد کاشت چندتایی و نقاط بدون بوته (۴)، میانگین و انحراف معیار فاصله‌های میان بوته‌ای است که در گستره معینی قرار دارند (۴). بنابراین، با توجه به چنین تنوعی در معیارهای بالقوه، انتخاب مجموعه‌ای از معیارها حایز اهمیت است که به خوبی در کمی کردن عملکرد بذرکارها با توجه به فاصله میان بوته‌ای ایفای نقش می‌کنند (۱۳).

برای بیان کامل توزیع فاصله میان بوته‌ای، ضروری است که بیش از یک معیار تعریف شود (۱۶). بنابراین، این احتمال وجود ندارد که یک اندازه‌گیری به تنهایی، مقیاسی برای مقایسه

وظایف بذرکار شامل ایجاد شیار، اندازه‌گیری بذر، تحویل بذر به داخل شیار ایجاد شده در خاک، پوشاندن بذر با خاک و فشردن خاک اطراف بذر است. تک‌دانه‌کارها به عنوان ردیف‌کار یا ماشین‌های دقیق‌کاری تعریف می‌شوند، که مجهز به موزع‌هایی هستند که دانه‌ها را تک‌تک از مخزن بذر انتخاب می‌کنند (۱۲). فاصله یک‌نواخت میان بذرهای کاشته شده می‌تواند عامل مهمی برای کارنده‌ها به حساب آید، زیرا عملیات تنک کردن و واکاری را، که هزینه زیادی نیز دارد، حذف می‌کند.

عوامل چندی بر فاصله میان بوته‌ای اثر می‌گذارد. موزع ممکن است موفق به انتخاب بذر و یا آزاد کردن بذر به داخل لوله سقوط نشود، که خود منجر به فاصله زیاد میان بذرها می‌گردد. موزع ممکن است چند بذر را انتخاب و در لوله سقوط رها سازد، که منجر به فاصله کم میان بذرها می‌شود. طرح لوله سقوط و شرایط خاک همراه با دیگر عوامل، فاصله نهایی میان بذرها را مشخص می‌کند. سرانجام، بذر ممکن است سبز نشود، که منجر به فضای خالی میان بوته‌ها می‌گردد (۱۳). غیر یک‌نواختی فاصله میان بذرهای کاشته شده عموماً به روش تحویل بذر به داخل شیار و سرعت پیش‌روی بستگی دارد (۶).

آزمایش‌های ارزیابی عملکرد بذرکارها شامل اندازه‌گیری فاصله میان بذرهای روی تسمه نقاله آغشته به گریس (Greased belt)، فاصله میان بذرها در شیار (۱۸)، و اندازه‌گیری فاصله میان بوته‌ها در مزرعه می‌باشد (۱۳). پانینگ و همکاران (۱۴) گزارش نمودند که آزمون آزمایشگاهی با سیستم‌های حس‌کننده نوری-الکترونیکی (Opto-electronic sensor) (یا تسمه آغشته به گریس)، اثر پرش‌های ردیف‌کار، یا حرکت دانه در اثر پرش، یا غلت آن در شیار و در حین پوشاندن با خاک را روی فاصله میان بوته‌ای نشان نمی‌دهد. ضمناً اثر عامل‌های گیاهی، مانند درصد سبز شده‌ها و گیاهان خودرو بر فاصله میان بوته‌ای در روش آزمون آزمایشگاهی منظور نمی‌شود. بنابراین،

سله‌شکنی (C₀)، ب) سله‌شکن استوانه‌ای دندانه‌دار (C₁) (۳)، و ج) سله‌شکن ستاره‌ای غلطان (کولتیواتور دوار) (C₂). مشخصات فنی ماشین‌های کاشت و سله‌شکن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

کاشت به صورت مسطح در کف کرت، و عمق کاشت و فاصله خطوط کاشت به ترتیب ۴ و ۸۰ سانتی‌متر بود. در هر کرت ۴ ردیف به طول ۲۰ متر کاشته شد. ابعاد هر کرت ۳×۲۰ متر و فاصله میان تکرارها ۶ متر بود. آبیاری به صورت نواری انجام شد. کاشت و نخستین آبیاری به ترتیب در تاریخ‌های ۱۸ اردیبهشت و اول خرداد صورت گرفت. رقم مورد آزمایش پنبه ورامین بود، و در ردیف‌کار بذرسازان از بذره‌های کرک‌دار استفاده شد. ولی در ردیف‌کار جان‌دیر، پیش از کاشت، بذرها با مقداری خاک نرم مالش داده شد تا از به هم چسبیدن بذرها جلوگیری گردد. آزمایش‌های اولیه روی خطی‌کار نشان داد که همزن آن نمی‌تواند بذره‌های کرک‌دار را به سوی موزع‌ها روان سازد. بنابراین، در این ماشین از بذره‌های کرک‌گیری شده به روش شیمیایی استفاده گردید. وزن هزار دانه بذره‌های کرک‌دار و بدون کرک به ترتیب ۱۳۰ و ۱۰۰ گرم، و قوه نامیه بذرها در دو حالت به ترتیب ۷۵ و ۸۰ درصد بود.

عملیات تهیه بستر بذر شامل خاک‌ورزی اولیه با گاوآهن قلمی، خاک‌ورزی ثانویه توسط هرس بشقابی، تسطیح به وسیله لولر، مرکزشی با مرکزکش بشقابی و نهرکنی بود.

به منظور دقت بیشتر در تنظیم ماشین‌های کاشت، مسافت پیموده شده در مزرعه برای ۱۰ دور چرخ محرک ماشین در حین بذرکاری در سه تکرار اندازه‌گیری شد. میانگین مسافت پیموده شده ماشین‌های P₁، P₂، P₃ و P₄ به ترتیب ۱۳/۶، ۱۳/۶، ۱۹/۳ و ۲۵ متر بود. پس از مشخص شدن مقدار مسافت پیش‌روی به ازای ۱۰ دور چرخ محرک هر واحد کارنده (Unit planter) ردیف‌کارها یا چرخ انتهایی خطی‌کار، در کارگاه به همین تعداد دور با دست چرخانده شد، و با توجه به فاصله میان ردیفی ۸۰ سانتی‌متر برای میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار، و با استفاده از رابطه ۱، ماشین‌های کاشت در سه تکرار تنظیم

بذرکارها تأمین نماید. ولی، اخیراً کاجمن و اسمیت (۱۳) معیارهایی را برای مقایسه کارنده‌هایی که موزع تک‌دانه‌کار دارند پیشنهاد نموده‌اند که از آنها برای مقایسه عملکرد ماشین‌های کاشت می‌توان استفاده نمود.

هدف از این پژوهش، ارزیابی عملکرد چند ماشین کاشت در کشت مسطح پنبه با استفاده از معیارهای ارزیابی دقت فاصله میان بوته‌های سبز شده است که برای بذرکار پیشنهاد شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی کبوترآباد اصفهان انجام شد. این مزرعه در ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی اصفهان و در فاصله ۱۲ کیلومتری جنوب رودخانه زاینده‌رود قرار دارد. خاک محل آزمایش دارای بافت لوم رسی با جرم مخصوص ظاهری ۱/۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب، pH حدود ۸، مقدار مواد آلی کمتر از یک درصد (۱)، و با ظرفیت مزرعه (Field capacity)، حد خمیری (Plastic limit) و حد روانی (Liquid limit) به ترتیب ۱۸/۱، ۱۸/۸ و ۲۹/۳٪ وزنی می‌باشد.

آزمایش با استفاده از طرح فاکتوریل در چارچوب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. از ماشین‌های کاشت در چهار سطح و روش‌های سله‌شکنی در سه سطح استفاده گردید. ماشین‌های کاشت به عنوان فاکتور اول تشکیل شده بود از: الف) ردیف‌کار بذرسازان با شیار بازکن کفشکی (Runner opener) و چرخ فشار (Press wheel) لاستیکی صاف توپر (P₁)، ب) ردیف‌کار بذرسازان با چرخ فشار انتقال داده شده به کنار خطوط کاشت (P₂)، ج) ردیف‌کار جان‌دیر (۱۲) با شیار بازکن کفشکی و چرخ فشار فلزی دو قسمتی میان خالی (P₃)، و د) خطی‌کار دانمارکی با شیار بازکن تک‌بشقابی و بدون پوشاننده بذر (P₄). انتخاب ردیف‌کارها بر اساس داشتن موزع مناسب برای کاشت پنبه و داشتن چرخ فشار برای ایجاد فشردگی با سطوح مختلف رو یا اطراف بذر بود. روش سله‌شکنی به عنوان فاکتور دوم تشکیل شده بود از: الف) بدون

جدول ۱. ویژگی‌های فنی ماشین‌های کاشت و سله‌شکن‌ها

ویژگی	نوع ماشین
سوار، دارای چهار واحد کارنده، موزع از نوع چرخ گیرنده ^۱ بذری که به صورت عمودی در لبه کف مخزن بذری و در بالای لوله سقوط قرار دارد. بذری توسط همزن کف مخزن به داخل دندانه‌های این چرخ وارد می‌شود، و در اثر دوران آن به سمت پایین برده، و در داخل لوله سقوط رها می‌شود. میزان ریزش بذری توسط دریچه کشویی، که در کنار لوله سقوط و موزع قرار دارد، مهار می‌شود. شیار بازکن از نوع کفشکی، و پوشاننده بذری از نوع چرخ فشار دهنده فلزی دو قسمتی میان خالی است.	ردیف‌کار جان‌دیر
سوار، دارای چهار واحد کارنده، موزع شبیه موزع جان‌دیر، ولی پهنای چرخ گیرنده بذری آن بیشتر است. شیار بازکن از نوع کفشکی، و پوشاننده بذری از نوع چرخ فشار دهنده لاستیکی توپ‌ر به عرض ۱۳۰ میلی‌متر است.	ردیف‌کار بذرسازان
سوار، ۲۱ ردیفه، فاصله میان خط‌های کاشت ۱۱/۹ سانتی‌متر، نوع موزع استوانه شیاردار، و شیار بازکن از نوع تک بشقابی است. در این آزمایش از پوشاننده بذری استفاده نشد.	خطی‌کار غلات ^۲
سوار، دارای چهار گروه چرخ ستاره‌ای، با شمار چرخ‌های ستاره‌ای در هر گروه دو عدد. در امتداد هر خط کاشت، یک چرخ ستاره‌ای در جلو و یک چرخ ستاره‌ای در عقب قرار داده شد. جا به جایی مراکز این دو چرخ سه سانتی‌متر، و عرض مؤثر دو چرخ هر گروه مجموعاً ۱۴ سانتی‌متر بود. چرخ‌ها به صورت عمودی روی قاب قرار گرفتند. دندانه‌های چرخ‌ها طوری قرار داده شدند که هنگام چرخش از پشت با زمین برخورد کنند.	کولتیواتور دوار ^۳
دستی، با دو استوانه دندانه‌دار که به طور سری روی قاب سوار شده‌اند. قطر و طول هر استوانه فلزی به ترتیب ۱۸ و ۱۵ سانتی‌متر بود. میخ‌های فلزی به طول ۲/۵ سانتی‌متر به صورت شعاعی روی محیط استوانه جوشکاری شد. برای افزایش وزن ماشین، جای وزنه در قسمت جلو و عقب قاب ایجاد گردید.	سله‌شکن استوانه‌ای دندانه‌دار ^۴

(۳)

1. Picker wheel
3. Rotary hoe

2. Nordsten model CLGHI250
4. Rolling-type soil crust breaking

فاصله میان بوته‌های سبز شده پس از حذف پنج متر اول و آخر ردیف‌های کاشت، از دو خط وسط هر کرت و در طول دو ده متر اندازه‌گیری شد، و عوامل زیر محاسبه و تعیین گردید (۱۱ و ۱۳).

میانگین و انحراف معیار فاصله‌های میان بوته‌ای

از رابطه‌های ۲ و ۳ به ترتیب برای محاسبه میانگین (\bar{X})، و انحراف معیار (S) فاصله‌های میان بوته‌ای استفاده شد:

گردیدند:

$$W = \frac{10000 \times w}{b \times l} \quad [1]$$

در این رابطه، W میزان ریزش بذری بر حسب کیلوگرم در هکتار، w مقدار بذری جمع‌آوری شده به ازای ۱۰ دور گردش چرخ محرک یک واحد کارنده ردیف‌کار یا از کل ماشین خطی‌کار بر حسب کیلوگرم، b عرض یک واحد کارنده ردیف‌کار یا عرض کار خطی‌کار بر حسب متر و l مسافت پیموده شده به ازای ۱۰ دور گردش چرخ محرک در مزرعه بر حسب متر است.

درصد فاصله‌های میان بوته‌ای است که در آن، فاصله میان بوته‌ها از ۶ سانتی‌متر بیشتر باشد، یعنی:

$$m = \frac{n_3 + n_4 + n_5}{n} \quad [5]$$

که در آن n_3 ، n_4 و n_5 به ترتیب شمار فاصله‌های میان بوته‌ای در گستره‌های C، D و E هستند.

شاخص کیفیت تغذیه موزع

این شاخص بیان‌کننده درصد فاصله‌های میان بوته‌ای بیشتر از نصف و کمتر از ۱/۵ برابر فاصله نظری است.

$$F = \frac{n_2}{n} \quad [6]$$

که در آن n_2 شمار فاصله‌های میان بوته‌ای در گستره B است.

دقت

بیان‌کننده ضریب تغییرات فاصله‌های میان بوته‌ای است، که می‌توان این فاصله‌ها را به عنوان تک‌دانه‌کاری در نظر گرفت، یعنی:

$$P = \frac{S_2}{X_{ref}} \quad [7]$$

که در آن S_2 انحراف معیار فاصله‌های میان بوته‌ای در گستره B می‌باشد.

شاخص کپه‌کاری (Hill-dropping index) (رویش کپه‌ای)

این شاخص بیان‌کننده بوته‌های سبز شده به صورت کپه‌ای می‌باشد. ادواردز (به نقل از ۱۷) گزارش نمود که استقرار قابل قبول پنبه در خاک‌های رسی هوستون (Houston)، که حساس به سله بودند، با کاشت سه بذر به صورت کپه‌ای به دست آمد، ولی تک بوته‌ها نتوانستند نیروی رانش (Thrust) کافی را برای سر از خاک در آوردن اعمال نمایند. به همین منظور، در این پژوهش شاخص جدیدی پیشنهاد شد که در آن تعداد کپه‌های با حداقل سه بوته سبز شده در کنار هم، با فاصله یک سانتی‌متر یا کمتر شمارش شد، و بر تعداد کل فاصله‌های میان بوته‌ای تقسیم گردید.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad [2]$$

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad [3]$$

که در آنها x_i فاصله بوته i ام از بوته بعدی در روی خط کاشت، و n تعداد کل فاصله‌های میان بوته‌ای اندازه‌گیری شده است.

معیارهای عملکردی ماشین‌های کاشت بر پایه فاصله نظری کاشت

فاصله میان بوته‌ای نظری (X_{ref}) چهار سانتی‌متر بود. فاصله‌های میان بوته‌ای اندازه‌گیری شده در مزرعه به گستره‌های مختلف تقسیم شد. این گستره‌ها شامل $[0, 0/5X_{ref}]$ ، $[0/5X_{ref}, 1/5X_{ref}]$ ، $[1/5X_{ref}, 2/5X_{ref}]$ ، $[2/5X_{ref}, 3/5X_{ref}]$ ، $[3/5X_{ref}, 4/5X_{ref}]$ و $[4/5X_{ref}, \infty]$ بودند. بنابراین، فاصله‌های میان بوته‌ای به گستره‌های $[0, 2]$ و $[6, 10]$ سانتی‌متر (گستره A)، $[2, 6]$ سانتی‌متر (گستره B)، $[10, 14]$ و $[14, \infty]$ سانتی‌متر (گستره C)، $[14, \infty]$ سانتی‌متر (گستره E) تقسیم شدند. با استفاده از این گستره‌ها، شاخص‌های چندتایی کاشت (Multiples index)، نقاط بدون بوته (Miss index)، کیفیت تغذیه موزع (Quality of feed index) و دقت (Precision) برای کلیه تکرارها محاسبه گردید.

شاخص کاشت چندتایی

این شاخص درصدی از فاصله‌های میان بوته‌ای است، که فاصله‌های کمتر یا مساوی ۲/۵ سانتی‌متر را شامل می‌شود، یعنی:

$$K = \frac{n_1}{n} \quad [4]$$

که در آن n_1 ، شمار فاصله‌های میان بوته‌ای کمتر یا مساوی ۲/۵ سانتی‌متر است.

شاخص نقاط بدون بوته

شاخص نقاط بدون بوته (شاخص نکاشت و سبز نشدن) گویای

بنابراین، کرک‌دار بودن بذر، و در نتیجه تمایل به هم چسبیدن بذرها، و پهن‌تر بودن چرخ انتقال بذر در ردیف‌کار بذر سازان موجب انتقال بذر بیشتر به داخل شیار و تمایل به کپه‌ریزی در این بذرکار شد.

نتایج معیارهای عملکردی برای ماشین‌های کاشت در روش‌های مختلف سله‌شکنی، در جدول ۲ نشان داده شده است. در زیر تک‌تک معیارهای عملکردی ماشین‌های کاشت بررسی می‌شود.

میانگین و انحراف معیار فاصله‌های میان بوته‌ای

هنگامی که میانگین و انحراف معیار تخمین زده شده با نمودار ستونی در شکل‌های ۱ و ۲ با هم مقایسه شوند، مشهود است که هر دو میانگین و انحراف معیار، به مقدار زیادی تحت تأثیر تعداد نقاط بدون بوته قرار گرفته‌اند. این موضوع، تفسیر عملی از این اطلاعات را مشکل می‌سازد. افزون بر این، نه میانگین و نه انحراف معیار، هیچ‌گونه تفاوتی میان عملکرد ردیف‌کارهای P_1 و P_3 در حالت سله‌شکنی با سله‌شکن استوانه‌ای دندان‌دار را آشکار نداشت.

در حالت بدون سله‌شکنی، میانگین و انحراف معیار فاصله‌های میان بوته‌ای در ردیف‌کارهای P_1 و P_2 به ترتیب کمترین و بیشترین بود. کم بودن میانگین و انحراف معیار فاصله میان بوته‌ای در ردیف‌کار P_1 ، به علت بالا بودن شاخص کپه‌کاری در این ردیف‌کار بود. اگرچه، در ردیف‌کار P_2 نیز شاخص کپه‌کاری بالا بود، ولی میانگین و انحراف معیار فاصله میان بوته‌ای نیز در آن زیاد بود. زیرا: الف) چرخ فشار خارج از امتداد ردیف بود؛ ب) عمق کاشت زیاد بود، به طوری که عمق کاشت در تیمارهای P_1 و P_2 به ترتیب $3/2$ و $5/2$ سانتی‌متر بود (۹)؛ ج) تماس بذر با خاک کم بود، به گونه‌ای که میانگین مقاومت خاک (Penetrometer resistance) در امتداد ردیف کاشت در لایه ۰-۵ سانتی‌متری در تیمارهای P_1 و P_2 به ترتیب $0/52$ و $0/28$ مگاپاسکال بود (۹)؛ و د) در نتیجه بوته‌ها کمتر سبز شدند، به صورتی که میانگین درصد سبز در تیمارهای P_1 و

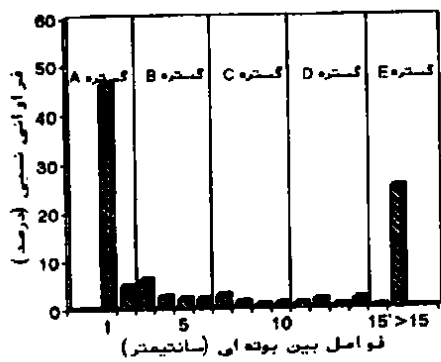
تجزیه‌های آماری توسط نرم‌افزار SAS انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن، و برای تعیین ارتباط میان معیارهای عملکردی ماشین‌های کاشت از ضرایب هم‌بستگی ساده استفاده گردید.

نتایج و بحث

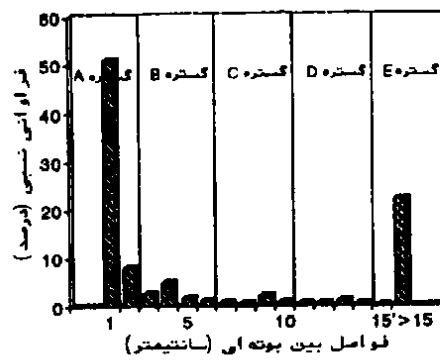
نمودار توزیع فاصله‌های میان بوته‌ای

نمودار ستونی توزیع فاصله‌های میان بوته‌ای برای ماشین‌های کاشت، در سه حالت بدون سله‌شکنی (C_0) و سله‌شکنی با سله‌شکن‌های استوانه‌ای دندان‌دار (C_1) و ستاره‌ای غلتان (کولتیواتور دوار) (C_2) در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. نتیجه‌گیری کلی که از بررسی نمودارهای ستونی به دست می‌آید، این است که در هر تیمار معمولاً دو نقطه فراز (Peak) وجود دارد، یکی در گستره A (فاصله‌های کمتر یا مساوی دو سانتی‌متر) و دیگری در گستره E (فاصله‌های بیشتر از ۱۴ سانتی‌متر). در حالت بدون سله‌شکنی، بلندترین نقطه فراز برای ردیف‌کار P_1 در گستره A، و برای ردیف‌کار P_3 و خطی‌کار P_4 در گستره E دیده می‌شود. عملیات سله‌شکنی از بلندی نقطه فراز فاصله‌های میان بوته‌ای در گستره E کاسته و بر بلندی نقطه فراز فاصله‌های میان بوته‌ای در گستره A افزود. نتیجه‌ای که از این یافته‌ها به دست می‌آید این است که در ردیف‌کار بذر سازان (P_1 و P_2) و خطی‌کار (P_4) به ترتیب بیشترین و کمترین تمایل به کپه‌ریزی وجود داشته است. در ردیف‌کار جان‌دیر (P_3) تمایل به کپه‌ریزی کمتر از ردیف‌کار بذر سازان بود. این اختلاف در عملکرد ماشین‌های کاشت را احتمالاً می‌توان در اثر اختلاف در نوع موزع و نوع بذر استفاده شده در این بذرکارها دانست.

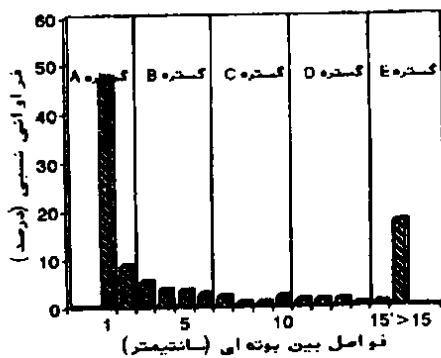
در ردیف‌کارها و خطی‌کار به ترتیب از بذره‌ای کرک‌دار و بدون کرک استفاده شد. پهنای چرخ بلندکن بذر از مخزن بذر به لوله سقوط در ردیف‌کار بذر سازان بیشتر از ردیف‌کار جان‌دیر بود. اگرچه در کف مخزن هر دو ردیف‌کار هم‌زن وجود داشت، ولی پیش از کاشت، بذره‌ای مربوط به ردیف‌کار جان‌دیر (P_3) با خاک نرم مالش داده شد تا موجب روانی بهتر بذرها گردد.



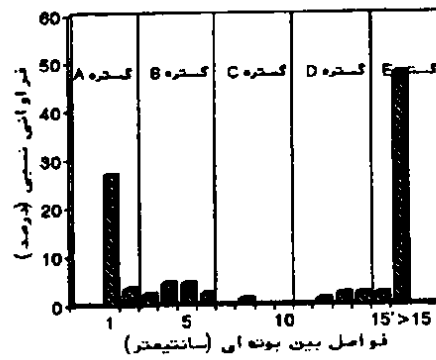
تیمار P₁ C₀



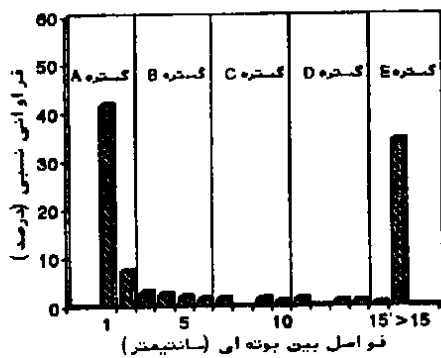
تیمار P₁ C₁



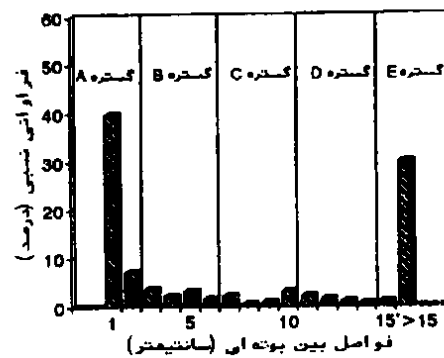
تیمار P₁ C₂



تیمار P₂ C₀

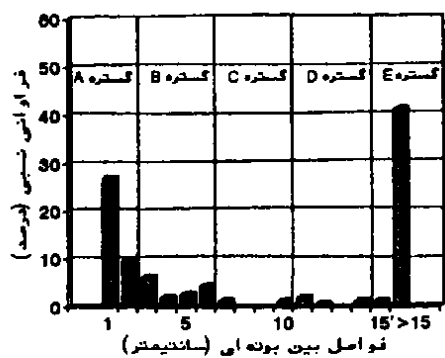


تیمار P₂ C₁

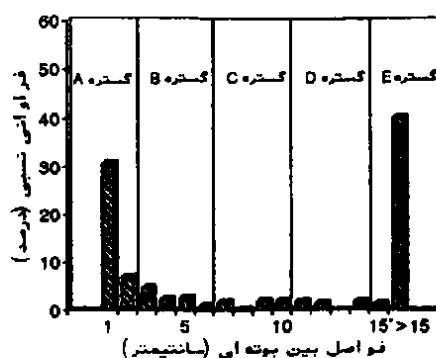


تیمار P₂ C₂

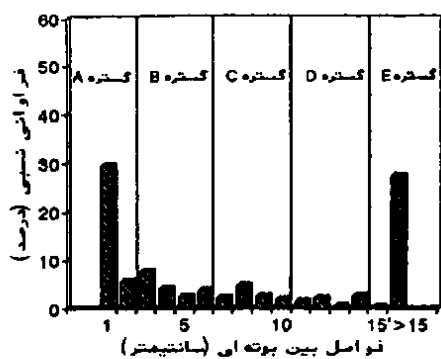
شکل ۱. پنج گستره فاصله‌های میان بوته‌ای استفاده شده برای تخمین شاخص کاشت چندتایی، شاخص نقاط بدون بوته، شاخص کیفیت تغذیه موزع و دقت برای ردیف‌کار بذر سازان (P₁)، چرخ فشار در امتداد ردیف کاشت، و P₂)، چرخ فشار در خارج از امتداد ردیف کاشت) در سه حالت بدون سله‌شکنی (C₀)، سله‌شکن استوانه‌ای دندان‌دار (C₁) و سله‌شکن ستاره‌ای غلتان (C₂)



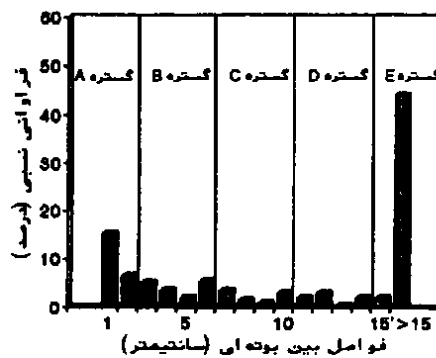
تیمار P₃ C₀



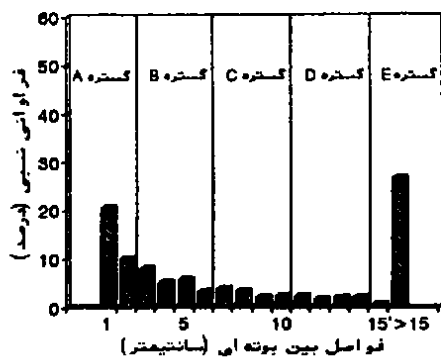
تیمار P₃ C₁



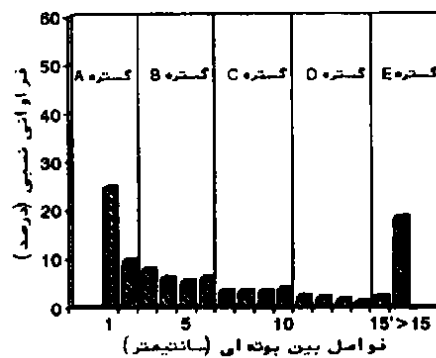
تیمار P₃ C₂



تیمار P₄ C₀



تیمار P₄ C₁



تیمار P₄ C₂

شکل ۲. پنج گستره فاصله‌های میان بوته‌ای استفاده شده برای تخمین شاخص کاشت چندتایی، شاخص نقاط بدون بوته، شاخص کیفیت تغذیه موزع و دقت برای ردیف‌کار جان‌دیر (P₃) و خطی‌کار دانمارکی (P₄)، در سه حالت بدون سله‌شکنی (C₀)، سله‌شکن استوانه‌ای دنداندار (C₁) و سله‌شکن ستاره‌ای غلتان (C₂)

جدول ۲. برآورد معیارهای عملکردی ماشین‌های کاشت در روش‌های سله‌شکنی

ماشین‌های کاشت	روش سله‌شکنی	میانگین فاصله‌های میان بوته‌ای (سانتی‌متر)	انحراف معیار فاصله‌های میان بوته‌ای (سانتی‌متر)	شاخص کاشت چندتایی (%)	شاخص نقاط بدون بوته (%)	شاخص کیفیت تغذیه موزع (%)	دقت کپه‌کاری (%)	شاخص
ردیف‌کار P ₁	C ₀ ^۱	۱۵	۳۱	۵۱	۳۶	۱۳	۳۳	۴۰
	C ₁	۱۴	۳۰	۵۹	۳۰	۱۱	۳۳	۴۲
	C ₂	۱۰	۲۴	۵۶	۲۹	۱۵	۳۵	۴۲
ردیف‌کار P ₂	C ₀	۶۸	۱۳۳	۳۰	۵۷	۱۳	۳۰	۳۵
	C ₁	۳۱	۵۹	۴۹	۴۲	۹	۳۴	۴۰
	C ₂	۳۱	۷۱	۴۷	۴۲	۱۰	۳۵	۴۰
ردیف‌کار P ₃	C ₀	۳۷	۵۴	۳۷	۴۸	۱۵	۳۲	۸
	C ₁	۱۶	۳۰	۳۷	۴۸	۱۹	۳۲	۹
	C ₂	۱۴	۲۳	۳۵	۴۷	۱۸	۳۴	۱۰
خطی‌کار P ₄	C ₀	۳۰	۵۱	۲۲	۶۲	۱۶	۲۹	۲
	C ₁	۱۲	۱۷	۳۱	۴۸	۲۳	۳۴	۳
	C ₂	۹	۱۳	۳۴	۴۰	۲۵	۳۷	۴

۱. C₀، C₁ و C₂ به ترتیب بدون سله‌شکنی، سله‌شکن استوانه‌ای دندان‌دار و سله‌شکن ستاره‌ای غلتان می‌باشند.

ردیف‌کار P₂ ناشی از خارج از ردیف قرار گرفتن چرخ فشار و زیاد شدن عمق کاشت بود (۹).

در حالت سله‌شکنی، شاخص کاشت چندتایی در ماشین‌های P₃ و P₄، به علت افزایش هم‌زمان گستره فاصله‌های میان بوته‌ای [۲ و ۰] و شمار کل فاصله‌های میان بوته‌ای تغییر چندانی نکرد. در حالت سله‌شکنی، شاخص چندتایی کاشت در ردیف‌کارهای P₁ و P₃، به ترتیب ۳۶ و ۵۷/۵ درصد بود. این شاخص، قابلیت کپه‌ریزی بالاتر ردیف‌کار P₁ را نسبت به ردیف‌کار P₃ نشان می‌دهد.

شاخص نقاط بدون بوته

نقاط بدون بوته ممکن است در اثر عوامل مختلفی همچون عدم موفقیت بذرکار در انداختن بذر، یا جوانه نزدن بذر، و یا سر از خاک در نیاوردن گیاهچه از خاک (سبز نشدن) باشد. در حالت بدون سله‌شکنی، شاخص نقاط بدون بوته (شاخص نکاشت و سبز نشدن) در خطی‌کار P₄ و ردیف‌کار P₁، به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را داشت. شاید این امر ناشی از ناچیز و زیاد

P₂ به ترتیب ۴۵٪ و ۲۴٪ بود (۹).

سله‌شکنی، به علت افزایش شمار بوته‌های سبز شده و کم شدن فاصله‌های میان بوته‌ای، موجب کاهش میانگین و انحراف معیار فاصله میان بوته‌ای شد. سله‌شکن ستاره‌ای غلتان (C₂) نسبت به سله‌شکن استوانه‌ای دندان‌دار (C₁)، در کاهش میانگین و انحراف معیار فاصله میان بوته‌ای در تیمارهای P₁ و P₂ و P₃ مؤثرتر بود. درصد کاهش در میانگین فاصله میان بوته‌ای در این سه ماشین کاشت در روش سله‌شکنی با سله‌شکن ستاره‌ای غلتان نسبت به حالت بدون سله‌شکنی، به ترتیب ۲۳، ۶۲ و ۷۰ درصد بود (جدول ۲).

شاخص کاشت چندتایی

شاخص کاشت چندتایی نشان دهنده عملکرد ماشین‌های کاشت در نحوه ریختن بذرها در فاصله‌های کمتر از مقدار تنظیمی است. در حالت بدون سله‌شکنی در ردیف‌کار P₁، بیش از نصف بوته‌ها در فاصله‌های کمتر یا مساوی دو سانتی‌متر سبز شدند. تفاوت شمار بوته‌های سبز شده در این ردیف‌کار با

انداختن بذرهای بدون کرک در خطی کار P₄ از همه ماشین‌های بذرکار بررسی شده بیشتر است. در صورتی که کاجمن و اسمیت (۱۳)، که دو نوع تک‌دانه‌کار چغندر قند را در سه سرعت پیش‌روی با هم مقایسه نمودند، مقادیر این شاخص را برای دو نوع تک‌دانه‌کار در سرعت ۵/۶ کیلومتر در ساعت، به ترتیب ۵۹/۹ و ۶۴/۸ درصد به دست آوردند.

دقت

دقت مقیاسی از تغییرپذیری فاصله‌های میان بوته‌ای، پس از حذف کاشت چندتایی و نقاط بدون بوته است. دقت در این آزمایش کمتر تحت تأثیر روش کاشت قرار گرفت، و در میان ماشین‌های کاشت تفاوت معنی‌داری دیده نشد. کاجمن و اسمیت (۱۳) گزارش کردند که اگرچه حد بیشینه نظری این شاخص برای تک‌دانه‌کارها ۵۰٪ است، ولی حد عملی آن ۲۹٪ می‌باشد. این حد گویای آن است که توزیع فاصله‌های میان بوته‌ای در گستره مورد نظر (گستره B) به طور یکنواخت پخش شده است، و حالت انباشتگی پیرامون هیچ کدام از فاصله‌ها وجود ندارد. مقادیر به دست آمده دقت در تیمارهای مختلف این آزمایش ۲۹-۳۷ درصد بود.

شاخص کپه‌کاری

ماشین‌های کاشت اثر معنی‌داری بر شاخص کپه‌کاری داشتند، ولی چنان که آشکار است، سله‌شکنی اثر معنی‌داری بر این شاخص نداشت. این شاخص در ردیف‌کار P₁ و P₂ به طور معنی‌داری بیشتر از ردیف‌کار P₃ و خطی کار P₄ بود (جدول ۳). بالا بودن این شاخص در ردیف‌کار P₁ و P₂ در دو حالت بدون سله‌شکنی و سله‌شکنی، گویای آن است که این ردیف‌کار گذشته از انتقال یا عدم انتقال چرخ فشار از امتداد ردیف کاشت، تمایل به کپه‌ریزی دارد. اگرچه مکانیسم موزع این ردیف‌کار با ردیف‌کار P₃ مشابه است، ولی پهنای چرخ گیرنده بذر در ردیف‌کار P₃ کمتر بود. بنابراین، احتمالاً دندان‌های آن هم‌زمان بذر کمتری به داخل لوله سقوط انتقال دادند، و تمایل

بودن کپه‌کاری، به ترتیب در این دو ماشین کاشت باشد. بنابراین، می‌توان دریافت که در حالت بدون سله‌شکنی، در ردیف‌کار P₁ احتمالاً گیاهچه‌ها به علت کپه‌کاری بر مقاومت سله غلبه کرده و سبز شدند، ولی در خطی کار P₄ موفق به غلبه بر مقاومت سله خاک نشدند، در حالی که هم جوانه‌زنی بذرها کمتر بوده (مشاهدات مزرعه‌ای) و هم مقاومت خاک در امتداد ردیف کاشت، با میانگین ۰/۵۲ و ۰/۳۵ مگاپاسکال، به ترتیب برای تیمارهای P₁ و P₄، در لایه ۰-۵ سانتی‌متری کمتر بوده است (۹). جرارد (۷) اعلام می‌دارد که نیروی سبز شدن با افزایش شمار گیاهچه نزدیک به هم افزایش می‌یابد.

کاهش شاخص نقاط بدون بوته در روش‌های سله‌شکنی در ردیف‌کار P₂ و خطی کار P₄ می‌تواند ناشی از تغییر در فاصله‌های میان بوته‌ای به علت افزایش شمار بوته‌های سبز شده باشد.

شاخص کیفیت تغذیه موزع

شاخص کیفیت تغذیه موزع گویای نزدیکی فاصله میان بوته‌ای نسبت به فاصله میان بذری تنظیمی می‌باشد. به طور کلی، مقدار این شاخص در کلیه بذرکارهای بررسی شده کم بود، و در خطی کار (P₄) و ردیف‌کار بذرسازان (P₂) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را به خود اختصاص داد. عوامل چندی را در پایین بودن این شاخص می‌توان بیان نمود، که از آن جمله است: زیاد بودن کاشت چندتایی یا نقاط بدون بوته، و زیاد بودن مقدار تغییرپذیری فاصله پیرامون نقطه ریزش بذر (۱۳).

میان سه بذرکار P₁ و P₃ و P₄، که عمق کاشت آنها در محدوده مقدار تنظیمی بود (۹)، شاخص کیفیت تغذیه موزع خطی کار P₄ در هر دو حالت سله‌شکنی و بدون سله‌شکنی از دیگر ردیف‌کارها بیشتر، و مقدار آن در حالت سله‌شکنی نسبتاً زیاد بود. تقریباً یک چهارم فاصله‌های میان بوته‌ای در محدوده دو سانتی‌متر از فاصله نظری (چهار سانتی‌متر) قرار داشتند. مقدار این شاخص نشان می‌دهد که هیچ کدام از ردیف‌کارها (بذرسازان و جان‌دیر)، تک‌دانه‌کار نیستند، و تمایل به جدا

جدول ۳. تأثیر عوامل آزمایشی بر شاخص کپه‌کاری

عوامل آزمایشی	شاخص کپه‌کاری (%)
روش کاشت:	
ردیف‌کار P ₁	۴۱/۳ ^a
ردیف‌کار P ₂	۳۸/۳ ^a
ردیف‌کار P ₃	۹ ^b
خطی‌کار P ₄	۳ ^b
روش سله‌شکنی:	
بدون سله‌شکنی (C ₀)	۲۸/۳ ^a
سله‌شکنی با سله‌شکن استوانه‌ای دندان‌دار (C ₁)	۳۱/۳ ^a
سله‌شکنی با سله‌شکن ستاره‌ای غلتان (C ₂)	۳۲ ^a

اعداد هر عامل آزمایشی که در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

نیروی بالاسوی گیاهچه‌های نزدیک به هم در حالت بدون سله‌شکنی برای سبز شدن کافی بود. فراوانی نسبی فاصله‌های میان بوته‌ای مؤید این مطلب است (شکل‌های ۱ و ۲).

ارتباط معیارهای عملکردی ماشین‌های کاشت

به منظور بررسی ارتباط میان معیارهای عملکردی ماشین‌های کاشت، هم‌بستگی ساده میان معیارهای محاسبه شده به دست آمد (جدول ۴). همان گونه که پیش‌بینی می‌شد، یک هم‌بستگی منفی شدید میان شاخص نقاط بدون بوته و شاخص کاشت چندتایی وجود داشت. هم‌بستگی منفی میان شاخص‌های متفاوت مورد انتظار است، زیرا هر فاصله تنه‌ها در یک گستره قرار می‌گیرد.

با توجه به این که توزیع فاصله میان بوته‌ها به سمت راست چولگی (Skewed to the right) دارد (شکل‌های ۱ و ۲)، بین میانگین و انحراف معیار و شاخص نقاط بدون بوته، انتظار ضریب هم‌بستگی مثبت می‌رفت. اگر شمار نقاط بدون بوته زیاد باشد، انتظار می‌رود میانگین فاصله میان بوته‌ای بزرگ‌تر شود. هنگامی که یک نقطه بدون بوته وجود داشته باشد، فاصله از میانگین بیشتر شده، و تغییرات بیشتری در داده‌ها مورد انتظار است. کاجمن و اسمیت (۱۳) نیز که دو نوع دقیق‌کار را در سه

به کپه‌ریزی در این ردیف‌کار خیلی کمتر بوده است. یکی از عواملی که در سبز شدن بذرهای کاشته شده، به ویژه در خاک‌های حساس به سله مؤثر است، شمار بذور کاشته شده در یک نقطه می‌باشد (۸). نیروی سبز شدن تابع خطی رطوبت حجمی خاک، شمار گیاهچه نزدیک به هم، و سطح مقطع هیپوکوتیل است (۷).

در ردیف‌کار P₃ (با چرخ فشار میان خالی)، اگرچه درصد کپه‌کاری در آن زیاد نبود، ولی چون پیرامون بذر توسط چرخ فشار دهنده فشرده می‌شد، مقاومت خاک در بالای بذر کمتر بود، به گونه‌ای که میانگین مقاومت خاک در امتداد ردیف کاشت در لایه ۰-۵ سانتی‌متری در تیمارهای P₁ و P₃ به ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۴۶ مگاپاسکال بود (۹). به علت افزایش مقاومت پیرامون بذر، تمایل به کمانش (Buckling) و خمش گیاهچه کمتر، و احتمال سر از خاک در آوردن گیاهچه (سبز شدن) بیشتر شد. تیلور (۱۷) بیان می‌دارد که برای این که گیاهچه بتواند از نیروی محوری بالقوه خود برای نفوذ در سله استفاده کند، مهاربندی جانبی آن بسیار مهم است. گزارش پژوهش‌ها (۲) و (۵) گویای آن است که مهاربندی جانبی گیاهچه، نیروی سبز شدن بیشینه و ظرفیت بارپذیری هیپوکوتیل را افزایش می‌دهد. شاخص کپه‌کاری در اثر سله‌شکنی تغییر زیادی نیافت، زیرا

جدول ۴. نیمه ماتریس ضرایب هم‌بستگی ساده میان معیارهای عملکردی ماشین‌های کاشت

معیار	شمار بوته	میانگین	انحراف معیار	شاخص کاشت چندتایی	شاخص نقاط بدون بوته	شاخص کیفیت تغذیه موزع	دقت
شمار بوته	۱						
میانگین	۰/۸۵**	۱					
انحراف معیار	۰/۸۲	۰/۹۸**	۱				
شاخص کاشت چندتایی	۰/۲۴	۰/۳۵	۰/۲۱	۱			
شاخص نقاط بدون بوته	۰/۵۸*	۰/۶۰*	۰/۴۹ ⁺	۰/۹۲**	۱		
شاخص کیفیت تغذیه موزع	۰/۶۱*	۰/۳۸	۰/۴۹ ⁺	۰/۵۶*	۰/۱۸	۱	
دقت	۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۲۸	۱

+, * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱۰٪، ۵٪ و ۱٪

بذرسازان (P_1) حدوداً مساوی ردیف‌کار جان‌دیر (P_3) بود، ولی شاخص کاشت چندتایی در ردیف‌کار بذرسازان (P_1) حدود ۶۰٪ بیشتر بود.

۳. تمایل به کپه‌ریزی در ردیف‌کار بذرسازان (P_1) بیشتر از ردیف‌کار جان‌دیر (P_3)، و در خطی‌کار تقریباً ناچیز بود. بنابراین، موزع ردیف‌کارهای بذرسازان و جان‌دیر، هیچ کدام تک‌دانه‌کار نبوده، و موزع آنها بذرها را به صورت حجمی به داخل لوله سقوط هدایت می‌کند.

۴. شاخص پیشنهادی کپه‌کاری برای بیان عملکرد ماشین‌های کاشت، فراسنجه‌ای پایدار بود، یعنی گذشته از روش سله‌شکنی، عملکرد ماشین کاشت با استفاده از این شاخص قابل مقایسه است.

سرعت پیش‌روی ارزیابی نمودند، نتایج مشابهی را در خصوص هم‌بستگی میان معیارهای یاد شده به دست آوردند.

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی ماشین‌های کاشت پنبه را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۱. معیارهای استفاده شده در این پژوهش، گرچه مربوط به تک‌دانه‌کارها می‌باشند، ولی به خوبی گویای عملکرد ماشین‌های ارزیابی شده به صورت کمی هستند.
۲. استفاده از میانگین و انحراف معیار نمونه به تنهایی، برای خلاصه کردن توزیع فاصله میان بوته‌ها، روشی مناسب محسوب نمی‌شود. در حالت سله‌شکنی با سله‌شکن استوانه‌ای دندان‌دار، میانگین و انحراف معیار ردیف‌کار

منابع مورد استفاده

۱. مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان. ۱۳۷۳. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مطالعه و تهیه نقشه‌های حاصل‌خیزی خاک ایستگاه‌های تحقیقاتی کبوترآباد و برآن اصفهان. نشریه فنی شماره ۳۲.
2. Arndt, W. 1965. The impedance of soil seals and the force of emerging seedling. Aust. J. Soil Res. 3: 55-65.
3. Awadhwal, N. K. and G. E. Thierstein. 1983. Development of rolling-type soil crust breaking. AMA 14(4): 31-34.
4. Brooks, D. and B. Church. 1987. Drill performance assessments: a changed approach. Brit. Sugar Beet Rev. 55(4): 50-51.

5. Chu, Y. N., C. G. Coble and W. R. Jordan. 1991. Cotton emergence force as affected by soil temperature, moisture and compression. *Crop Sci.* 31: 405-409.
6. Fornstrom, K. J. and S. D. Miller. 1989. Comparison of sugarbeet planters and planting depth with two sugarbeet varieties. *J. Am. Soc. Sugarbeet Technol.* 26(3&4): 10-16.
7. Gerard, C. J. 1980. Emergence force by cotton seedlings. *Agron. J.* 72: 473-476.
8. Goyal, M. R. 1982. Soil crusts vs. seedling emergence: review. *AMA* 13: 62-78.
9. Hemmat, A. and A. A. Khashoei. 2000. Effect of planting equipment and crust breaking method on cotton emergence. PP. 493-496. *In: Proceedings of the XIV Memorial CIGR World Congress 2000.* Tsukuba, Japan. Nov. 28-Dec. 1, 2000.
10. Hollewell, W. 1982. Drill performance assessments. *Brit. Sugar Beet Rev.* 50(3): 13-15.
11. International Organization for Standardization. 1984. Sowing equipment. Test methods. Part 1: Single seed drills (precision drills), 7256/1.
12. John Deere Service Training. 1981. Fundamentals of Machine Operation: Planting. Dept. F., John Deere Road, Moline, Illinois.
13. Kachman, S. D. and J. A. Smith. 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. *Trans. ASAE* 38(2): 379-387.
14. Panning, J. W., M. F. Kocher, J. A. Smith and S. D. Kachman. 2000. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters. *Appl. Eng. Agric.* 16(1): 7-13.
15. Parish, R. L., P. E. Bergeron and R. P. Bracy. 1991. Comparison of vacuum and belt seeders for vegetable planting. *Appl. Eng. Agric.* 7(5): 537-540.
16. Rohrbach, R. P., R. D. Brazee and H. J. Barre. 1969. On spacing statistics of plant populations produced by uniform seed-placement devices. *J. Agric. Eng. Res.* 14(3): 210-225.
17. Taylor, H. M. 1971. Soil conditions as they affect plant establishment, root development and yield, (F): effects of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. PP. 292-305. *In: K. K. Barnes, W. M. Carleton, H. M. Taylor, R. I. Throckmorton and G. E. Vanden Berg (Eds.), Compaction of Agricultural Soils.* ASAE, St. Joseph, MI.
18. Thomson, M. 1986. Drill performance assessments. *Brit. Sugar Beet Rev.* 54(4): 11-14.