

مقاله پژوهشی

ساخت و ارزیابی دستگاه کارنده پنج ردیفه پیاز زعفران

فاطمه جعفرزاده^۱، علی حسن‌پور^{۲*} و عادل حسین‌پور^۲

چکیده

زعفران یکی از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین گیاهان دارویی است. مکانیزه نبودن کاشت پیازهای زعفران و هزینه بالای نیروی کارگری در مدت زمان محدود کاشت یکی از مشکلات زراعت این گیاه دارویی است. هدف از این پژوهش، ساخت و ارزیابی دستگاهی بود که بدون آسیب رساندن به پیازها، قادر به کاشت آن‌ها با فواصل معین باشد. بدین منظور، ابتدا دستگاه کارنده پنج ردیفه با قابلیت کاشت ۵ تا ۱۰ تن پیاز زعفران در هکتار ساخته شده و سپس تحت شرایط مزرعه با دو حالت ظرفیت مخزن (پر و نیمه پر) و دو سرعت پیشروی ماشین (۳ و ۶ کیلومتر بر ساعت) با استفاده از شاخص‌های مختلف کاشت، مورد بررسی قرار گرفت. در ساخت دستگاه، از یک موزع زنجیری قاشق‌دار جریان پیوسته در کف مخزن استفاده شد و توسط پنج مجرای خروجی، پیازها به سمت شیار بازکن‌ها هدایت گردیدند. نتایج ارزیابی کارنده پیاز زعفران در شرایط مزرعه‌ای نشان داد که کارایی موزع زنجیری قاشق‌دار مناسب است. اندازه‌گیری ویژگی‌های کاشت نشان داد که با افزایش سرعت پیشروی و کاهش ظرفیت مخزن، یکنواختی توزیع پیاز حول میانگین فاصله‌های به دست آمده، یکنواختی توزیع پیاز حول فاصله تنظیم شده، یکنواختی عمق قرارگیری پیاز و شاخص کیفیت تغذیه کاهش می‌یابد ولی شاخص نکاشت، شاخص کاشت چندگانه و ضریب تغییرات فواصل افزایش می‌یابد. این دستگاه قابلیت جایگزینی با نیروی کارگری را داشته و پیشنهاد می‌گردد با سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت و مخزن اصلاح شده به کارگیری شود.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های کاشت، کاشت بنه زعفران، ماشین پیازکار، ظرفیت مخزن، موزع زنجیری قاشق‌دار.

ارجاع: جعفرزاده ف.، حسن‌پور ع. و حسین‌پور ع. ۱۴۰۳. ساخت و ارزیابی دستگاه کارنده پنج ردیفه پیاز زعفران. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۱۰-۱: ۳۰. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2024.14188.646>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۲- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

* نویسنده مسئول: a.hassanpour@urmia.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) از قدیمی‌ترین و گران‌ترین محصولات جهان است (Perez-Vidal & Gracia, 2020). این گیاه به‌عنوان ماده طعم‌دهنده و رنگ‌دهنده در مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و بخش مهمی از صنایع رنگ، عطر و طعم است. همچنین زعفران دارای خواص بی‌شماری مانند خواص ضد سرطان، ضد افسردگی، افزایش گردش خون، کنترل دیابت، افزایش سلامت قلب، ضد میکروب و حاوی آنتی اکسیدان است (Ganaie & Singh, 2019).

از چند دهه گذشته، ایران ۹۰ درصد از تولید جهانی زعفران را به خود اختصاص داده است که تقریباً برابر با ۳۰۰ تن در سال است. همچنین ایران با ۴۳۴۰۸ هکتار بیشترین سطح زیر کشت زعفران در دنیا را دارد (Amin et al., 2023). این گیاه با توجه به مقاومت در برابر خشکی نقش قابل توجهی در زمینه صادرات غیرنفتی ایران دارد (Shahidi et al., 2019)؛ به‌طوری که در سال ۱۳۹۶ بیش از ۳۲۵ میلیون دلار ارز نصیب کشور کرده است. امکان بهره‌برداری به مدت ۵-۷ سال در یک نوبت کشت، سازگاری با اقلیم آب و هوایی کشور ایران، ماندگاری طولانی محصول، سهولت حمل و نقل و عدم نیاز به ماشین‌آلات سنگین و پیچیده موجب گسترش کشت این محصول در ایران شده است (Kavand et al., 2014). علاوه بر ارزش اقتصادی بالا، دوره رویشی و زمان محصول‌دهی زعفران منطبق بر فصل گرم سال نبوده و متفاوت از سایر محصولات زراعی است. این ویژگی ممتاز سبب می‌شود تا از نظر دوره زمانی به‌کارگیری نیروی انسانی و تخصیص آب زراعی با سایر محصولات تفاوت داشته باشد. بنابراین، امکان سنجی کشت آن به کاهش مصرف آب در دوره گرم سال کمک می‌کند (Jafarbeyglu & Mobaraky, 2008).

در برخی از مناطق ایران، بیش از ۹۸ درصد از کشت و کار زعفران به صورت کاملاً دستی و سنتی انجام می‌گیرد. به‌طوری که جهت عملیات کاشت و داشت زعفران در یک هکتار به ۶۲۴ ساعت کار نیروی انسانی و ۲۸۲۰۲۷۰ کیلوژول انرژی مصرفی نیاز است (Moayedi Shahrahi et al., 2010). گرچه امکان دسترسی به نیروی کارگری در فصل کشت زعفران وجود دارد اما این موضوع منجر به کاهش کارایی و افزایش هزینه‌های تولید و در

نهایت کاهش سود تولیدکنندگان خواهد شد. گزارش‌ها نشان می‌دهند که مراحل مختلف پرورش زعفران از کاشت تا برداشت و فرآیندهای پس از برداشت در بسیاری از مناطق ایران و جهان مکانیزه نشده و اکنون نیز ماشین‌های محدودی وجود دارند که قادر به مکانیزاسیون کامل در تولید زعفران هستند (Saeidirad et al., 2021). بنابراین بیش‌تر عملیات میدانی برای تولید زعفران در جهان به‌صورت دستی و با استفاده از ابزارهای بومی انجام می‌پذیرد (Ali et al., 2014). کاشت سنتی پیازها منجر به اتلاف نیروی کار، تأخیر در کشت شده و در نهایت تولید زعفران را با مشکل مواجه ساخته است. اهمیت مرحله کاشت در کشاورزی لزوم طراحی و ساخت کارنده‌های پیاز با ویژگی‌های مطلوب را نمایان می‌سازد، به‌طوری که علاوه بر کاهش هزینه‌های کاشت، عملیات برداشت ماشینی نیز تسهیل می‌یابد.

کپه‌کاری و کشت ردیفی دو روش عمده کشت پیاز زعفران است و تاکنون چندین دستگاه کارنده پیاز زعفران طراحی و ساخته شده است. کشت ردیفی با استفاده از گاواهن برگردان‌دار تک خیش یا شیاربازکن‌های پشت تراکتوری اولین کشت مکانیزه پیاز زعفران بود که نیاز به نیروی کارگری زیاد داشت و تراکم و یکنواختی پیازها وابسته به نیروی کار بود. دستگاه کارنده نیمه مکانیزه گرچه ظرفیت مزرعه‌ای را افزایش داد اما همانند دستگاه پیشین نیاز به نیروی کارگری زیاد و در نتیجه خطای بالا در رعایت فاصله‌های بین پیازهای روی ردیف داشت. از طرفی مزیت آن نسبت به شخم یک طرفه، کاشت هم‌زمان چند ردیف است که باعث افزایش کارایی می‌شود (Saeidirad, 2020). در تحقیقی دستگاه پیازکار دو ردیفه‌ای طراحی شد که فاصله بین پیازها بر روی ردیف ۷۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر، بین ردیف ۲۰۰ میلی‌متر و عمق کاشت ۱۵۰ میلی‌متر بود. نتایج ارزیابی دستگاه نشان داد که هیچ شکستگی در پیازهای کاشته شده توسط دستگاه وجود نداشت و یکنواختی توزیع پیازها حول فاصله تنظیم شده ۷۷ درصد و حول میانگین فاصله‌های به‌دست آمده ۸۵ درصد به‌دست آمد (Saeidirad et al., 2006). از دیگر دستگاه‌های مکانیزه ساخته شده در سال‌های اخیر می‌توان به کارنده پیاز هفت ردیفه زعفران اشاره کرد که دارای موزع استوانه‌ای جریان پیوسته در کف مخزن بوده و توسط هفت مجرای خروجی، پیازها را به سمت شیار

طریق اتصال جوش دو قطعه ناودانی اندازه ۱۲ صورت گرفت. شاسی مورد استفاده در این پروژه مناسب تراکتورهای با توان ۱۰۰ اسب بخار بود. همچنین از سازوکار سه نقطه جهت اتصال کارنده به شاسی استفاده شد. انتخاب اتصال سه نقطه بدان دلیل بود که توان مورد نیاز برای چرخش موزع از چرخ‌های زمین‌گرد تأمین می‌شد. همچنین دلیل دیگر انتخاب این شاسی، حمل و نقل دستگاه و کشیدن آن در سطح خاک بود.

سامانه انتقال توان

چرخ‌های زمین‌گرد (محرک): سامانه انتقال توان به موزع باید با سرعت پیشروی کارنده هماهنگ باشد. بدین منظور از چرخ زمین‌گرد برای تأمین نیروی اولیه سامانه انتقال توان به موزع استفاده شد.

جعبه دنده: توان تولید شده از چرخ زمین‌گرد (محرک) با استفاده از چرخ زنجیر متصل به دو چرخ‌دنده با نسبت ۱ به ۱۰ و زنجیر اندازه ۴۰ به قسمت موزع منتقل شد (شکل ۱).



شکل ۱- نمای جعبه دنده

موزع (قاشقک‌ها)

طرح‌های مختلفی از انواع غده کارها مورد مطالعه قرار گرفت و موزع زنجیری قاشقک‌دار انتخاب گردید. با توجه به نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌های شکل و ابعاد پیازها، قاشق مناسب ساخته شد. در کارنده ساخته شده، قاشقک‌ها بر روی پنج ردیف زنجیر نصب گردید که هر قاشق یک پیاز را از داخل مخزن برمی‌دارد. در انتهای مسیر، پیازهای هر ردیف از قاشق‌ها در داخل یک شیار ایجاد شده توسط شیاربازکن می‌افتند. قاشقک‌ها از طریق جوش CO2 به روی زنجیر جوش داده شد (شکل ۲).

بازکن‌های دستگاه هدایت می‌کرد؛ این دستگاه در سرعت پیش‌روی پنج کیلومتر بر ساعت بالاترین دقت را داشت (Saeidirad & Zarifneshat, 2021). هرکدام از دستگاه‌های فوق همراه با مزایا، دارای معایبی نیز هستند. به‌عنوان نمونه، احتمال آسیب‌دیدگی پیازها حین کشت با دستگاه هفت ردیفه پیاز زعفران وجود دارد و در ارزیابی کارایی دستگاه به ظرفیت مخزن توجه نشده است. از سویی دیگر، دستگاه‌های ساخته شده هنوز به مرحله تولید انبوه نرسیده و فناوری آن در خدمت کشاورزان قرار نگرفته است. این امر می‌تواند ناشی از هزینه بالای ساخت و قیمت فروش آن باشد.

پژوهش حاضر در راستای ساخت و ارزیابی دستگاه کارنده پنج ردیفه پیاز زعفران مجهز به موزع زنجیری قاشقک‌دار اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

ساخت دستگاه کارنده پنج ردیفه پیاز زعفران درکارگاه گروه مکانیک بیوسامانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام شد. در ابتدا خصوصیات فیزیکی پیازهای زعفران اندازه‌گیری و ثبت گردید (جدول ۱) شکل و اندازه مخزن و موزع کارنده پیاز زعفران بر اساس عوامل مختلف و عوامل طراحی مخزن بذرکارها از جمله خصوصیات فیزیکی پیازهای زعفران ساخته شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی پیازهای زعفران

ویژگی	میانگین	حداکثر	حداقل	خصوصیات فیزیکی
۱	۲۶/۱	۱/۹۸	۸/۱۰	وزن (گرم)
۲	۳۹/۲	۱۲/۷	۱۹/۶	قطر طولی (میلی‌متر)
۳	۱۴/۹	۷/۱	۱۱/۶	قطر عرضی (میلی‌متر)
۴	۲۳/۸	۱۰/۷	۲۰/۴	ارتفاع (میلی‌متر)
۵	۰/۷۰	۰/۵۷	۰/۶۵	ضریب اصطکاک ایستایی

دستگاه و انتخاب قطعات آن

شاسی

با توجه به فاصله ۲۵۰ میلی‌متری بین ردیف‌های کشت، شاسی می‌بایست به گونه‌ای طراحی می‌گردید که ضمن قرارگیری مخزن بر روی آن، امکان نصب ۵ ساقه شیار بازکن بر روی آن وجود داشته باشد. ساخت شاسی از

کار دستگاه، اندازه شاسی و همچنین وزن نهایی (مخزن پر) طراحی گردید، ولی با این حال زاویه دیواره مخزن ۶۰ درجه در نظر گرفته شده که ۲۷ درجه بیشتر از زاویه اصطکاک بوده و جریان ثقلی پیازها به کف مخزن را برقرار می‌کند. در نهایت، مخزن کارنده از ورق آهن به ضخامت ۲ میلی‌متر و ابعاد ۱۲۵۰×۷۰۰ میلی‌متر ساخته شد (شکل ۴).



شکل ۴- نمای مخزن

سامانه اتصال سه نقطه

از آن‌جا که سامانه موزع دستگاه‌های کارنده، نیروی خود را از چرخ‌های زمین‌گرد دریافت می‌کنند، لازم است تا در زمان حمل و نقل و جابه‌جایی، انتقال توان قطع گردد و بدین منظور اغلب این دستگاه‌ها از نقطه نظر نوع اتصال به تراکتور، به‌صورت سوار و اتصال سه نقطه طراحی و ساخته می‌شوند. بر همین اساس و به منظور افزایش قدرت مانوردهی در مزرعه در حین کاشت، دستگاه به‌صورت سوار و اتصال سه نقطه طراحی و ساخته شد.

علاوه بر موارد فوق، دستگاه مذکور شامل قطعات جزئی از جمله قوطی ۸×۸ و ۳ میلی‌متر، یاتاقان اندازه ۳۰ میلی‌متر، پنجه‌غازی با شاخه و بست، محور ماشین (آکسل) با چرخ و تایر، زنجیر چرخ اندازه ۴۰، چرخ‌دنده اندازه ۳۰، چرخ‌دنده اندازه ۱۰، ورق با ضخامت ۲ میلی‌متر و ابعاد ۱۲۵۰×۲۵۰۰ میلی‌متر، شفت میله فولادی توپر اندازه ۳۰، لوله پلیکا اندازه ۲ اینچ بود.

پس از اتمام مرحله ساخت، جهت ارزیابی دستگاه و نیز تعیین اثر حالت مخزن و سرعت تراکتور بر دقت کارنده پیاز، آزمایشی در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه پیاده شد. بدین منظور تأثیر سرعت کاشت در دو سطح ۳ و ۶ کیلومتر بر ساعت و ظرفیت مخزن با دو سطح پر و نیمه‌پر بر شاخص‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور پس از تنظیم حجم مخزن کارنده و سرعت



شکل ۲- موزع (چرخ زنجیر و قاشقک‌ها)

شیار بازکن

با توجه به عمق ۲۰۰-۱۵۰ میلی‌متری کشت پیازهای زعفران، شیار بازکن‌ها به گونه‌ای طراحی گردیدند که توانایی ایجاد عمق مورد نظر را داشته و همچنین از برگشت سریع خاک به داخل شیار جلوگیری نمایند و همچنین پیازهای زعفران را تا رسیدن به کف شیار هدایت کنند. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد، شیاربازکن استفاده شده در تحقیق حاضر، تلفیقی از نوع پنجه‌غازی و کفشی است. کنترل عمق شیار بازکن‌ها توسط بازوی وسط تراکتور صورت می‌گیرد.

مخزن

در طراحی مخزن می‌بایست زاویه اصطکاک ایستایی پیازهای زعفران معین شود. با توجه به جدول ۱-۳ ضریب اصطکاک ایستایی پیازهای زعفران با سطح فلز $۰/۶۵$ (۳۳ درجه زاویه اصطکاک) بود.



شکل ۳- شیار بازکن‌ها

به منظور برقراری جریان پیازها به سمت کف مخزن، زاویه دیواره مخزن می‌بایست تندتر از زاویه اصطکاک باشد. هر چند که ابعاد مخزن بر اساس عرض

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

پس از تجمیع داده‌ها و محاسبه شاخص‌های مختلف، تجزیه واریانس داده‌ها بر مبنای آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 25 انجام گرفت. همچنین، جهت مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی وضعیت ظاهری پیازها پس از کاشت نشان داد که پیازهای کشت شده از کمترین آسیب فیزیکی برخوردار بودند. نتایج حاصل از شاخص‌های ارزیابی دستگاه کارنده در جدول ۳ ارائه شده است. با در نظر گرفتن فاصله پنجاه میلی‌متری بین پیازها در هر ردیف مشخص گردید که آثار ساده سرعت کاشت و ظرفیت مخزن در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سرعت کاشت در ظرفیت مخزن در سطح احتمال پنج درصد بر ضریب یکنواختی توزیع پیازها حول فاصله تنظیم شده معنی‌دار بود. حرکت دستگاه با سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت و با مخزن پر منجر به بیشترین (۸۶/۹ درصد) یکنواختی توزیع پیاز حول فاصله پنجاه میلی‌متر می‌شود. در همین سرعت حرکت، دستگاه با مخزن نیمه‌پر نیز از یکنواختی قابل قبولی (۸۱/۸ درصد) در توزیع پیازها برخوردار بود. چنین روندی برای ظرفیت مخزن در سرعت حرکت ۶ کیلومتر بر ساعت نیز دیده شد؛ به‌طوری‌که، کاشت پیاز توسط دستگاه با مخزن پر یکنواختی بیشتری نسبت به مخزن نیمه‌پر داشت. کاشت پیاز با مخزن نیمه‌پر و سرعت حرکت ۶ کیلومتر در ساعت، پایین‌ترین یکنواختی (۷۱/۲ درصد) را دارا بود (شکل ۵).

ضریب یکنواختی توزیع حول فاصله تنظیم شده یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در ارزیابی دستگاه‌های کارنده است (Senapati et al., 1992). در توافق با یافته‌های این پژوهش، Saeidirad et al. (2006) در ارزیابی دستگاه کارنده دو ردیفه پیاز زعفران گزارش کردند که با افزایش ۲۵ درصدی در سرعت پیشروی دستگاه (از ۳ کیلومتر به ۴ کیلومتر بر ساعت)، ضریب یکنواختی توزیع پیازها حول فاصله تنظیمی از ۷۶/۶ درصد به ۷۱/۶ درصد کاهش می‌یابد. یکنواختی بالای کاشت در نتیجه پیشروی با سرعت پایین‌تر به اثبات رسیده است (Amiriyan et al.,

پیشروی تراکتور، تعداد پیازهای کاشته شده در ردیف-هایی به طول دو متر و در سه تکرار شمارش و فاصله بین پیازها اندازه‌گیری شد. سپس شاخص یکنواختی توزیع پیاز حول میانگین فاصله‌های به‌دست آمده از کارنده پیاز و حول فاصله تنظیم شده مطابق معادله (۱) محاسبه گردید (Senapati et al., 1988). همچنین چهار شاخص فاصله کاشت شامل شاخص کیفیت تغذیه، شاخص نکاشت، شاخص کاشت چندگانه پیاز و شاخص دقت در فاصله که به‌عنوان الگوی پخش پیاز کاشته شده به‌وسیله کارنده تعریف شده‌اند (جدول ۲)، استفاده گردید که به-صورت معادلات (۲) تا (۵) هستند (Kachman & Smith., 1995). جهت اندازه‌گیری شاخص یکنواختی عمق قرارگیری پیاز، پس از کاشت و سبز شدن پیازها در چندین نقطه از هر تکرار، بوته‌هایی را به‌طور تصادفی بیرون آورده و عمق کاشت از محل قرارگیری پیاز تا سطح خاک اندازه‌گیری شد، سپس این شاخص از طریق معادله (۶) در جدول ۲ برآورد گردید (Karayel & Ozmerzi, 2002).

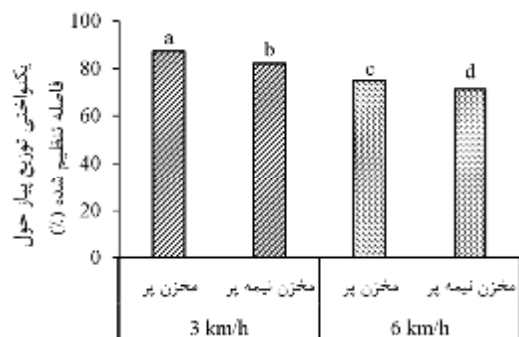
در ابتدای هر آزمایش وضعیت ظاهری پیازها از لحاظ شکستگی، له شدگی و هر نوع آسیب دیدگی فیزیکی از جمله خراش به صورت تشخیص چشمی بررسی شد.

جدول ۲- روابط ضریب یکنواختی و چهار شاخص فاصله کاشت

شاخص	فرمول
(۱) S_e = ضریب یکنواختی توزیع	$S_e = \left(1 - \frac{Y}{D}\right) \times 100$
(۲) I_{miss} = شاخص نکاشت	$I_{miss} = \frac{N_1}{N} \times 100$
(۳) I_{mut} = شاخص چندگانه کاشت	$I_{mut} = \frac{N_2}{N} \times 100$
(۴) I_{qf} = شاخص کیفیت تغذیه	$I_{qf} = 100 - (I_{mut} + I_{miss})$
(۵) P = شاخص دقت	$P = \frac{S_d}{X_{ref}}$
(۶) S_H = یکنواختی عمق قرارگیری	$S_H = \left(1 - \frac{Y}{D_H}\right) \times 100$

S_e : ضریب یکنواختی توزیع، I_{miss} : شاخص نکاشت، I_{mut} : شاخص چندگانه کاشت، I_{qf} : شاخص کیفیت تغذیه، P : شاخص دقت، S_H : یکنواختی عمق قرارگیری، D : میانگین فاصله‌های به‌دست آمده یا تنظیمی بین پیازها بر حسب میلی‌متر، Y : میانگین قدر مطلق تفاضل داده‌ها از میانگین آن‌ها یا میزان فاصله تنظیمی، N_1 : تعداد فاصله‌های بین پیازها بیشتر از ۱/۵ برابر فاصله مورد نظر، N : تعداد کل فاصله‌ها، N_2 : تعداد فاصله‌های کمتر یا مساوی ۱/۵ برابر فاصله مورد نظر، S_d : انحراف استاندارد فاصله‌های قرار گرفته بین ۱/۵ و ۱/۵ برابر فاصله مورد نظر، X_{ref} : فاصله مورد نظر یا فاصله تنوری، Y : میانگین قدرمطلق تفاضل داده‌ها از میانگین یا میزان عمق تنظیمی و D_H : عمق تنظیمی یا میانگین عمق اندازه‌گیری شده هستند.

پیازهای کف مخزن کاشته شده و مقدار موجودی داخل مخزن تأثیر منفی بر روند کاشت پیازها نداشته باشد.



شکل ۵- تأثیر سرعت کاشت و ظرفیت مخزن بر یکنواختی توزیع پیاز حول فاصله تنظیم شده. حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

این نتیجه در (Saeidirad & Zarifneshat, 2017)، پژوهش حاضر به فرصت مناسب قرارگیری پیازها در قاشقک‌ها بر می‌گردد. موزع، نیروی محرکه خود را از چرخ زمین‌گرد می‌گیرد و سرعت دورانی چرخ زمین‌گرد با سرعت پیشروی کارنده پیاز متناسب است. هر چه سرعت پیشروی زیاد می‌شود، سرعت گردش موزع نیز بیشتر می‌گردد. با افزایش سرعت گردش موزع امکان دارد بازده پر شدن قاشقک‌ها کمتر شود که این نتیجه ناشی از زمان کمتر بارگیری است (Mohammad-Ghasemnejad, 2018). همچنین در مخزن پر، قاشقک‌ها فرصت کافی برای دریافت پیاز زعفران دارند، یکنواختی بالای به‌دست آمده از این مخزن در سرعت حرکت پایین مورد انتظار بود و بین پیازهای کاشته شده پرش، چندتایی و تغییرپذیری کمتری دیده شد. همچنین لازم است در طراحی بعدی، مخزن به گونه‌ای اصلاح شود که تمامی

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح سرعت کاشت و ظرفیت مخزن بر شاخص‌های مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		S_{e1}	S_{e2}	S_H	I_{miss}	I_{mut}	I_{qf}
بلوک	۲	۲۰/۱۲**	۲۲/۵۸*	۵/۳۵*	۱/۳۲۳**	۰/۶۴ ^{ns}	۱/۱۲ ^{ns}
سرعت کاشت	۱	۸۵۲/۳**	۲۲۷/۱۶**	۲۳۰**	۴۹/۵۷**	۹/۹۹**	۱۹۲/۷**
ظرفیت مخزن	۱	۷۲/۱۸**	۷۴/۳۵**	۴/۰۴ ^{ns}	۲۰۰/۰۱**	۳۸/۵۶**	۱۳۸/۵۲*
سرعت × مخزن	۱	۳/۷۹*	۲۹/۸۸**	۰/۸۷ ^{ns}	۴/۰**	۱/۸۴۹*	۲۱/۶۳ ^{ns}
خطای آزمایشی	۶	۰/۵۹۶	۲/۲۵۰	۲/۳۵	۰/۰۸۹	۰/۱۸۷	۱۳/۶۷
ضریب تغییرات (%)		۲/۴۱	۳/۶۴	۱/۷۹	۲/۹۰	۷/۹۹	۴/۳۹
							۹/۹۲

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

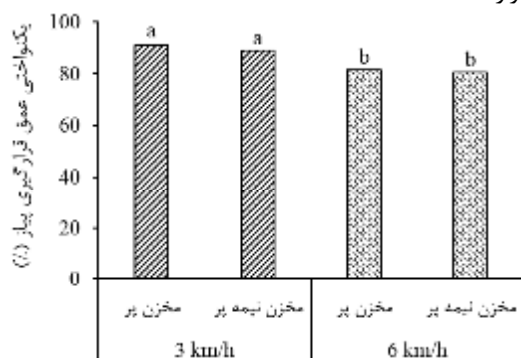
S_{e1} : ضریب یکنواختی توزیع پیاز حول فاصله تنظیم شده (پنجاه میلی‌متر)، S_{e2} : ضریب یکنواختی توزیع پیاز حول میانگین فاصله‌های به دست آمده، S_H : یکنواختی عمق قرارگیری پیاز، I_{miss} : شاخص نکاشت، I_{mut} : شاخص چندگانه کاشت، I_{qf} : شاخص کیفیت تغذیه و P : شاخص دقت.

۳ کیلومتر بر ساعت با یکنواختی ۹۳/۶ درصد بیشترین مقدار این شاخص را داشت، در حالی‌که با همین سرعت در سطح دوم مخزن یعنی ظرفیت نیمه پر، شاخص یکنواختی توزیع پیاز حول میانگین فاصله‌های به‌دست آمده با ۹۰/۸ درصد اختلاف معنی‌داری با مخزن پر نداشتند. در سوی مقابل، کمترین یکنواختی توزیع پیاز با میانگین ۸۲/۹ درصد به ظرفیت مخزن نیمه پر تحت سرعت پیشروی ۶ کیلومتر بر ساعت تعلق داشت.

به‌عنوان یک قاعده کلی، یکنواختی فاصله کاشت با افزایش سرعت پیشروی و خالی شدن مخزن، کاهش می‌یابد. در تحقیق حاضر میزان یکنواختی توزیع پیازها حول میانگین فاصله‌های به‌دست آمده بیشتر از فاصله

همانند ضریب یکنواختی توزیع پیازها حول فاصله تنظیم شده یعنی پنجاه میلی‌متر؛ اثر ساده سرعت حرکت، ظرفیت مخزن و برهم‌کنش میان این دو عامل بر ضریب یکنواختی توزیع پیازها حول فاصله به‌دست آمده نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). در مورد میانگین فواصل کاشت و به شرط ثابت بودن سایر شاخص‌ها بدیهی است هرچه مقدار به‌دست آمده به فاصله مطلوب نزدیک‌تر باشد، نتیجه بهتری عاید می‌شود. نمودار شکل ۶ اثر متقابل ظرفیت مخزن و سرعت پیشروی دستگاه ساخته شده بر ضریب یکنواختی توزیع پیازها حول فاصله به‌دست آمده را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، پیشروی دستگاه با سرعت آهسته یعنی

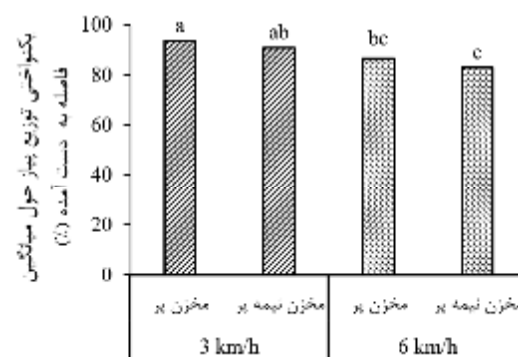
عدم آماده‌سازی مناسب بستر پیاز و وجود ناهمواری در سطح مزرعه، می‌تواند یکنواختی توزیع عمق را تحت تأثیر قرار دهد.



شکل ۷- تأثیر سرعت کاشت و ظرفیت مخزن بر یکنواختی عمق قرارگیری پیاز. حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

اثر نوع مخزن و سرعت پیشروی دستگاه بر شاخص نکاشت از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به تجزیه مقایسه میانگین‌ها، شاخص نکاشت در سرعت سطح اول و در ظرفیت‌های مخزن پر و نیمه پر به ترتیب برابر با ۴/۸۵ درصد و ۱۰/۸۶ درصد بود. این مقادیر در سطح دوم سرعت، افزایش یافته و به ترتیب برابر با ۹/۷۶ درصد و ۱۵/۱ درصد برآورد شد (شکل ۸). همان‌طور که ملاحظه گردید، با افزایش سرعت پیشروی دستگاه، درصد قرارگیری پیازها در محدوده‌های مورد نظر کاهش پیدا می‌کند. دلیل این امر آن است که با افزایش سرعت پیشروی، پیاله‌های موزع نیز با سرعت بیشتری گردش می‌کنند و پیازها که با حالت‌های مختلفی به سوراخ‌های بشقاب چسبیده‌اند، وقتی به جداکننده پیاز که در زیر موزع قرار دارد برخورد می‌کنند، دارای موقعیت‌های مختلفی هستند که باعث می‌شود که بذرها در جهات مختلف و به فواصل مختلف پرتاب گردند. بدیهی است که با بالا رفتن سرعت، این امر تشدید شده و باعث می‌شود که پیازها گاهی اوقات در بیرون محدوده قرار گیرند. همچنین افزایش لرزش‌های ایجاد شده در چرخ‌ها و سازوکار موزع در اثر افزایش سرعت احتمالاً یکی دیگر از دلایل بالا بودن شاخص نکاشت در سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت است. معنی‌داری اثر سرعت پیشروی ماشین کارنده بر شاخص نکاشت پیش از این نیز گزارش شده است (Amiriyani et al., 2017).

تنظیمی بود که این نتیجه در توافق با مطالعات پیشین بود (Saeidirad et al., 2006). به همین ترتیب، نتایج ارزیابی یک پیازکار زعفران در سرعت پیشروی ۵ کیلومتر بر ساعت نشان داد که دقت پیازکار در یکنواختی توزیع پیازها حول میانگین فاصله‌های اندازه‌گیری شده و حول فاصله تنظیمی به ترتیب ۹۰ و ۸۲ درصد به دست آمد (Saeidirad et al., 2018). با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان اظهار کرد که مخزن نیمه‌پر دستگاه در مقایسه با مخزن پر از توانایی تقریباً کمتری برای کاشت یکنواخت پیازهای زعفران برخوردار است. با این حال بایستی توجه داشت که بارگیری در حین کاشت موجب صرف زمان‌های زیاد شده و بازده مزرعه‌ای دستگاه را پایین می‌آورد، بنابراین کار با مخزن نیمه‌پر نیز شاید بتواند مفید باشد.

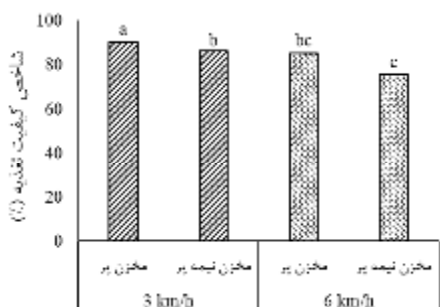


شکل ۸- تأثیر سرعت کاشت و ظرفیت مخزن بر یکنواختی توزیع پیاز حول میانگین فاصله به دست آمده. حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

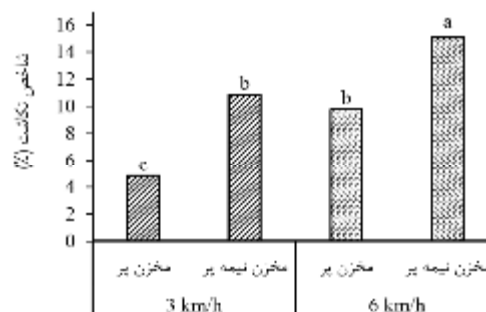
طبق نتایج به دست آمده از بررسی‌ها، یکنواختی عمق قرارگیری پیازها تحت تأثیر سرعت پیشروی است و ظرفیت مخزن و اثرمتقابل آن با سرعت پیشروی اثر معنی‌داری بر این شاخص نداشت (جدول ۳). مخزن پر و نیمه پر در سرعت حرکت ۳ کیلومتر بر ساعت به ترتیب یکنواختی عمق قرارگیری برابر با ۹۰/۷ و ۸۹ درصد را نشان دادند. همچنین این دو ظرفیت مخزن در سرعت پیشروی ۶ کیلومتر بر ساعت به ترتیب یکنواختی عمق قرارگیری پیاز برابر با ۸۱/۴ و ۸۰/۶ درصد را داشتند (شکل ۷). کاهش میانگین عمق کاشت در نتیجه افزایش سطوح مختلف سرعت پیشروی دستگاه پیش از این توسط Mohammad-Ghasemnejad Maleki (2018) گزارش شده است. افزون بر این، بایستی توجه داشت که

ارزیابی فنی پیازکار زعفران گزارش کردند که با افزایش سرعت هم شاخص نکاشت و هم شاخص کاشت چندتایی، افزایش می‌یابد. با این حال، Kang *et al.* (2017) اظهار داشتند که با افزایش سرعت زنجیر حامل پیاله‌های موزع شاخص نکاشت افزایش و شاخص کاشت چندتایی کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ای دیگر، Abdolhazare *et al.* (2018) در بررسی عملکرد کارنده نیوماتیکی برای بذرهای ذرت، کرچک، باقلا، سورگوم، چغندرقد، هندوانه و خیار نتیجه گرفتند که افزایش سرعت منجر به تغییر در شاخص‌های مختلف از جمله شاخص نکاشت و شاخص چندگانه کاشت می‌شود.

شاخص کیفیت تغذیه، عاملی است که نشان می‌دهد چه مقدار از فواصل به فاصله اصلی نزدیک‌تر است. شاخص کیفیت تغذیه از نظر آماری به شکل معنی‌داری تحت تأثیر سرعت پیشروی دستگاه و ظرفیت مخزن قرار گرفت، ولی برهم‌کنش میان این دو بر شاخص مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقدار شاخص کیفیت تغذیه در مخزن پر و سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت با میانگین ۹۰/۴ درصد بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. پس از آن بالاترین شاخص کیفیت به مخزن نیمه‌پر در همین سرعت با میانگین ۸۶/۳ درصد اختصاص داشت. مقدار شاخص مذکور برای مخازن پر و نیمه پر تحت سرعت پیشروی ۶ کیلومتر بر ساعت به ترتیب برابر با ۸۵/۱ درصد و ۷۵/۶ درصد بود (شکل ۱۰). به نظر می‌رسد تعداد بالای نکاشت در مخزن نیمه‌پر به ویژه در سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت منجر به کاهش کیفیت شده است. در همین راستا در مخزن پر و سرعت پیشروی ۶ کیلومتر بر ساعت نیز وجود تعدادی نکاشت یا چندکاشت سبب شد تا کیفیت تغذیه به‌طور کامل مشاهده نشود.

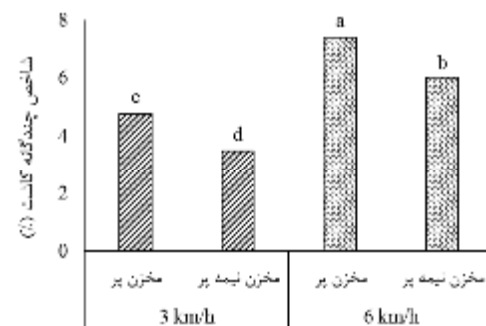


شکل ۱۰- تأثیر سرعت کاشت و ظرفیت مخزن بر شاخص کیفیت تغذیه. حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۸- تأثیر سرعت کاشت و ظرفیت مخزن بر شاخص نکاشت. حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

تغییرات سرعت پیشروی دستگاه و نیز ظرفیت مخزن بر روی شاخص چندگانه کاشت به لحاظ آماری معنی‌دار بود. مطابق با شکل ۹ تحت هر دو سرعت ۳ و ۶ کیلومتر بر ساعت میان ظرفیت مخزن پر و نیمه پر اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت. پایین‌ترین شاخص چندگانه کاشت با میانگین ۳/۴۷ درصد مربوط به ظرفیت مخزن نیمه پر تحت سرعت پیشروی ۳ کیلومتر بر ساعت بود. ظرفیت مخزن پر در سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت (۴/۷۷ درصد) و مخزن‌های پر (۶/۰۱ درصد) و نیمه پر (۷/۳۸ درصد) تحت سرعت پیشروی ۶ کیلومتر بر ساعت به ترتیب بیشترین میزان شاخص چندگانه کاشت را داشتند.



شکل ۹- تأثیر سرعت کاشت و ظرفیت مخزن بر شاخص چندگانه کاشت. حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

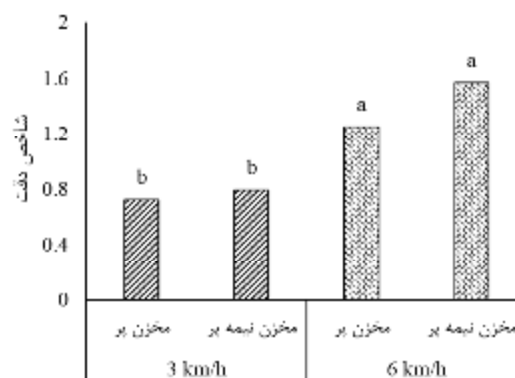
از نظر شاخص چندکاشتی مخزن پر درصد پیاز بیشتری را در فاصله کمتر از نصف فاصله تئوری قرار داده بود. این نتیجه که قابل پیش‌بینی بود ناشی از حجم بالای پیاز در مخزن است و پیازها قبل از این‌که به پایین‌ترین نقطه برسند، سقوط می‌کنند و در کنار پیازهای ماقبل خود می‌افتند. (Saeidirad & Zarifneshat (2021)

شاخص کیفیت تغذیه کاهش می‌یابد ولی شاخص نکاشت، شاخص کاشت چندگانه و ضریب تغییرات فواصل افزایش می‌یابد. در نهایت توصیه می‌گردد که این دستگاه کارنده پیاز زعفران و با مخزن پر و در سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت برای کشت زعفران در منطقه آذربایجان استفاده شود.

منابع

- Abdolhazare, Z., Asoodar, M. A., Kazemi, N., Rahnama, M., & Abdanan-Mehdizadeh, S. (2018). Monitoring of operational parameters of unisem pneumatic planter and modeling of planting uniformity by image processing. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 18(69): 31-46. (In Persian).
- Ali, M., Lohan, S. K., & Nehvi, F. A. (2014). Mechanization status of saffron production in Jammu & Kashmir State of India. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*, 45(3): 69-75.
- Amin, J., Selwal, A., & Sabha, A. (2023). SaffNet: an ensemble-based approach for saffron adulteration prediction using statistical image features. *Multimedia Tools and Applications*, 1-21.
- Amiriyani, A., Rezaei Asl, A., & Esmailzadeh, E. (2017). Fabrication and evaluation of pressurized metering drum performance (equipped with a mechanical separator) by grease belt. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 48(3): 271-278. (In Persian).
- Ganaie, D. B., & Singh, Y. (2019). Saffron in Jammu & Kashmir. *International Journal of Research in Geography*, 5(2): 1-12.
- Jafarbeyglu, M., & Mobaraky, Z. (2008). The land proportion evaluation in Qazvin province for Saffron cultivation based on Multi-Criteria decision making method. *Journal of Natural Geographic Research*, 66: 101-119.
- Kang, N., Xianfa, F., Yangchun, L., Chengxu, L., & Yanwei, Y. (2017). Optimized design and performance evaluation of an electric cup-chain potato metering device. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(2): 36-43.
- Karayel, D., & Ozmerzi, A. (2002). Effect of tillage methods on sowing uniformity of maize. *Canadian Biosystems Engineering*, 44: 2-23.
- Kavand, H., Kalbali, E., & Sabuhi, M. (2014). Application of data envelopment analysis to evaluate the efficiency of saffron growers (Case study: Qaen county). *Journal of Saffron Agronomy Technology*, 2(1): 17-30.
- Moayedi Shahraki, E., Jami Al-Ahmadi, M., & Behdani, M. A. (2010). Study of energy

شاخص دقت نه تنها تغییرپذیری را که منجر به چندتایی‌ها و پرش‌ها است شرح می‌دهد، بلکه مقدار تغییرپذیری در فاصله بین پیازها را نیز توجیه می‌کند. دقت عبارت است از ضریب تغییرات فواصلی که به صورت انفرادی طبقه‌بندی شده‌اند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که تنها اثر سرعت پیشروی ماشین بر دقت دستگاه تأثیر می‌گذارد و ظرفیت مخزن و برهم‌کنش سرعت پیشروی $\times$ ظرفیت مخزن اثر غیرمعنی‌داری بر این شاخص داشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین سطوح تیمارها نشان داد که با افزایش سرعت حرکت از ۳ کیلومتر به ۶ کیلومتر در ساعت، میزان تغییرات حول فاصله تنظیم شده با هر دو مخزن پر و نیمه پر به شکل معنی‌داری افزایش می‌یابد (شکل ۱۱). از آن جایی که بالا بودن مقدار ضریب تغییرات نشان‌دهنده عدم دقت است، لذا تحت سرعت پیشروی ۳ کیلومتر بر ساعت، دستگاه از دقت قابل قبولی برخوردار است. افزایش این شاخص در نتیجه بالا رفتن سرعت پیشروی در دستگاه کارنده نیمه مکانیزه پیاز زعفران پیش از این نیز گزارش شده است (Saeidirad et al., 2006; Saeidirad et al., 2018).



شکل ۱۱- تأثیر سرعت کاشت و ظرفیت مخزن بر شاخص دقت. حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

نتیجه‌گیری

ساخت و ارزیابی یک کارنده پیاز زعفران که به موزع زنجیری قاشق‌دار مجهز است نشان داد عملکرد کلی دستگاه مناسب است. بررسی عملکرد دستگاه در سرعت و ظرفیت متفاوت مخزن نشان داد که با افزایش سرعت و کاهش ظرفیت مخزن، یکنواختی توزیع پیاز حول میانگین فاصله‌های به دست آمده، یکنواختی توزیع پیاز حول فاصله تنظیم شده، یکنواختی عمق قرارگیری پیاز و

- efficiency of saffron (*Crocus sativus* L.) in Southern Khorasan. *Journal of Agroecology*, 2(1): 55-62. (In Persian).
- Mohammad-Ghasemnejad Maleki, H. (2018). Field evaluation of mechanized cultivation planter of rapeseed in Shoushtar region. *Bi-Quarterly Journal of Plant Production*, 8(2): 183-196. (In Persian).
- Perez-Vidal, C., & Gracia, L. (2020). Computer based production of Saffron (*Crocus sativus* L.): From mechanical design to electronic control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169: 105198.
- Saeidirad, M. H. (2020). Mechanization of saffron production. In Saffron (pp. 187-204). *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*.
- Saeidirad, M.H., & Zarifneshat, S. (2021). Development and Performance Evaluation of an Automatic Saffron Corm Planter. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 51(4): 683-693. (In Persian).
- Saeidirad, M.H., Akram, A., & Mahdinia, A. (2006). Production and evaluation of saffron corms planter. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 37(1): 167-174. (In Persian).
- Saeidirad, M.H., Mahdinia, A., & Zarifneshat, S. (2021). Challenges and solutions Development of mechanization of saffron cultivation. *Saffron Extension Journal*, 3: 17-24. (In Persian).
- Saeidirad, M.H., Nazarzadeh Oghaz, S., Zarifneshat, S., & Mehrabi, I. (2018). Design, development and evaluation of 7 rows saffron corm planter. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Engineering Research Institute, 38 p. (In Persian).
- Senapati, P. C., Mohapatra, P. K., & Dikshit, U. N. (1992). Field evaluation of seeding devices for finger-millet. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin America*, 23(3): 21-24.
- Senapati, P.C., Mohapatra, P.K., & Satpathy, D. (1988). Field performance of seeding devices in rainfed situation in Orissa, India. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 19(1): 35-38.
- Shahidi, A., Khashei Siuki, A., & Arabi A. (2019). Climatic zoning Saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation using analytical hierarchy process and analytic network process (A case study: Semnan city). *Journal of Saffron Research (semi-annual)*, 6(2): 283-298. (In Persian).