تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی /دوره۲۴/شماره/ ۹۳ /زمستان ۱۴۰۲/صفحه ۷۹ - ۱۰۰

فراتحلیل اثر آرایش کاشت و سامانهٔ آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در تولید سیب‌زمینی

رضا بهراملو[۱]، ابوالفضل ناصری[۲*]، محمدمهدی نخجوانی‌مقدم[۳]، علی قدمی فیروزآبادی[۴]، نادر عباسی[۵]

[۱]دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

[۲*]دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

[۳]استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

[۴]دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

[۵]استاد پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۴ **تاریخ پذیرش :** ۱۴۰۳/۰۴/۳۱

چکیده

مطالعات دربارهٔ اثر آرایش کاشت بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در تولید سیب‌زمینی در سطح بین‌المللی و ملی سابقه‌ای طولانی دارد. با این همه، به دلیل پراکندگی تیمارها و تفاوت یافته‌های پژوهشی، نتیجه‌گیری و توصیهٔ کلی برای کاربرد تیمارهای مناسب مشکل است. هدف از این پژوهش استفاده از رهیافت فراتحلیل برای جمع‌بندی نتایج پژوهش‌ها در خصوص اثر آرایش کاشت بر عملکرد و بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی است. برای این منظور مقاله‌های متعدد علمی پژوهشی منتشرشده توسط پژوهشگران داخلی و خارجی در خصوص آرایش کاشت سیب‌زمینی بررسی، غربال‌گری و تحلیل شد. در پژوهش‌های مرتبط با بررسی اثر آرایش کاشت بر عملکرد و بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی به‌طور معمول از تیمارهای شاهد و آزمایشی استفاده شده است. فاصلهٔ ردیف‌های کاشت سیب‌زمینی در آزمایش‌های مختلف ٦٠، ٧٥، ١٢٠ و ١٥٠ سانتی‌متر به‌صورت یک‌ردیفه و دو ردیفه و با سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی گزارش شده است. در تیمار شاهد با فاصلهٔ ردیف ٧٥ سانتی‌متر، میانگین عملکرد ٣٣٠٠٠ کیلوگرم در هکتار و میانگین بهره‌وری مصرف آب ٥/٤٦ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب بود. تلفیق یافته‌ها نشان داد افزایش عملکرد با تغییر فاصلهٔ کاشت از تیمار شاهد ٧٥ سانتی‌متر به ٦٠ سانتی‌متر ٣٣ درصد، به ١٢٠ سانتی‌متر ١٨ درصد و به ١٥٠ سانتی‌متر ٨ درصد است. هرچند اعمال تیمارهای فاصلهٔ کاشت روی بهره‌وری مصرف آب ازنظر آماری معنی‌دار نبوده است، اثرهای مثبت جزئی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شده است. بیشترین تأثیر مثبت در فاصلهٔ کاشت ٦٠ سانتی‌متری (١٠ درصد) بوده است. تغییرات عملکرد و بهره‌وری آب در کاشت‌های دو ردیفه نسبت به کاشت‌های یک ردیفه با سامانهٔ قطره‌ای به‌صورت کاهشی به اندازهٔ ٧ درصد و با سامانهٔ بارانی به‌صورت افزایشی با تغییر عملکرد به اندازهٔ ٤/٦ درصد و بهره‌وری آب به اندازهٔ ١٦ درصد گزارش شده است.

واژه‌های کلیدی: آرایش کاشت، فراتحلیل، کارآیی مصرف آب، کم آبیاری، مدیریت آبیاری

مقدمه

سیب‌زمینی گیاهی باارزش غذایی فراوان در بیش از ۱۵۰ کشور جهان کشت می‌شود. به دلیل قدرت بالا در تولید و

نگارنده مسئول: **Email:** nasseri_ab@yahoo.com **https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.365362.1576**

سازگاری با اقلیم‌های مختلف در دنیا، تولید این محصول در حال افزایش است (FAO 2018). تولید جهانی سالانهٔ سیب‌زمینی ۳۱۰ میلیون تن است که از سطح ۲۳ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی در جهان به‌دست می‌آید. سطح زیر کشت سیب‌زمینی در ایران ایران در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ معادل۱۵۴ هزار هکتار با تولید بیش از ۵ میلیون تن گزارش شده است (Ahmadi *et al.*, 2020). درمجموع، ۵۵ درصد از زمین‌های زیر کشت سیب‌زمینی در کشور و حدود ۶۰ درصد مقدار تولید سالانهٔ این محصول به استان‌های همدان، اردبیل، اصفهان، کردستان، آذربایجان‌شرقی و لرستان تعلق دارد (Ahmadi *et al.*, 2020).

سیادت و همکاران (Siadat *et al.*, 2000) اثر دو فاصلهٔ کاشت ۵۵ و ۷۰ سانتی‌متر و تراکم‌های مختلف بوته را روی ویژگی‌ها و عملکرد غده سه رقم سیب‌زمینی بررسی کرده و گزارش داده‌اند سیب‌زمینی رقم کاسموس با فاصلهٔ ردیف ۷۰ سانتی‌متر و تراکم ۶۰ بوته در مترمربع بیشترین عملکرد غده را داشته است. اصل‌گرگانی و دماوندی (Asl Ghorghani & Damavandi 2004) تأثیر فاصله بین ردیف‌ها (۶۵، ۷۵ و ۸۵ سانتی‌متر) و فاصلهٔ بوته‌ها (۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سانتی‌متر) را روی عملکرد سیب‌زمینی رقم آئولا بررسی و اعلام کرده‌اند فاصلهٔ ردیف ۷۵ سانتی‌متر با فاصلهٔ بوته ۲۵ سانتی‌متر مناسب‌ترین تراکم است. بهراملو و سیدان (Bahramloo & Seyedan 2017) با مقایسهٔ بهره‌وری عوامل تولید در سامانه‌های آبیاری بارانی و نشتی در زراعت سیب‌زمینی در شهرستان کبودرآهنگ استان همدان نتیجه گرفته‌اندکه در سامانهٔ آبیاری بارانی میانگین بهره‌وری بذر و کود فسفات به ترتیب ۱۰/۹ و ۱۶۹/۱ کیلوگرم محصول برای هر کیلوگرم بذر و کود فسفات و بهره‌وری آب، ۶/۵ کیلوگرم محصول در هر مترمکعب آب است. در سامانهٔ آبیاری نشتی میانگین بهره‌وری بذر و کود فسفات به ترتیب ۹/۸ و ۱۵۸/۶ کیلوگرم محصول برای هر کیلوگرم بذر و کود فسفات است. بهره‌وری آب در این روش آبیاری ۳ کیلوگرم محصول به‌ازای هر مترمکعب آب است.

قدمی فیروزآبادی و سیدان (Ghadami Firouzabadi & Seyedan 2006) گزارش کردند که وقتی از هیدروفلوم استفاده می‌شود تلفات آب در مزارع سیب‌زمینی بیشتر به‌صورت نفوذ عمقی است ولی در مزارعی که به روش سنتی آبیاری می‌شوند، تلفات آب به‌صورت رواناب و نفوذ عمقی است. مقدار تلفات رواناب سطحی در دو روش توزیع سنتی و هیدروفلوم به ترتیب ۳۵/۹ و ۱۳/۱ درصد است. در این تحقیق مقدار بهره‌وری مصرف آب در روش هیدروفلوم، سنتی و بارانی به ترتیب ۲/۸۶ ، ۱/۲۳ و ۴/۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمده است. نسبت منفعت به هزینه در روش آبیاری هیدروفلوم مشخص می‌کند که به ازای هر ۱۰ ریال هزینه در این روش، ۶۰ ریال منافع ایجاد می‌شود.

صباح و غفاری نژاد (Sabbah & Ghaffari nejad 2008) در منطقهٔ جیرفت نشان دادند که بیشترین عملکرد محصول، بهره-وری مصرف آب و درصد یکنواختی در مزرعه سیب‌زمینی مربوط بوده است به اختصاص یک نوار آبیاری قطره‌ای برای هر ردیف کاشت در مقایسه با اختصاص یک نوار آبیاری قطره‌ای به دو ردیف کاشت. باغانی(Baghani 2009)، اثر سه آرایش و سه سطح ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد تأمین آب موردنیاز گیاه را در سامانهٔ آبیاری قطره‌ای بر عملکرد سیب‌زمینی بررسی کرد و نشان داد تیمار آرایش کاشت، دو ردیف کاشت با فاصله ۳۵ سانتی‌متر (روی پشته) و یک نوار آبده تیپ بین آن‌ها، فاصله نوارها یا شیارها ۱۲۵ سانتی‌متر با تیمار ۱۰۰ درصد تأمین آب موردنیاز گیاه بیشترین عملکرد کل محصول و بهره‌وری مصرف آب را داشته است. مشیدی و همکاران (Moshayyedi *et al.* 2010) با بررسی تأثیر آرایش کاشت بر عملکرد سیب‌زمینی گزارش داده‌اند که کاشت رقم لیدی‌روزیتا با آرایش کاشت ۶۰ سانتی‌متری یک‌ردیفه با تراکم ۶/۶ بوته در مترمربع برای شرایط زراعی و اقلیمی اراک توصیه می‌شود. صدرقائن و همکاران (Sadrghayen *et al.* 2010) با بررسی تأثیر آرایش کاشت و سطوح مختلف آب روی عملکرد سیب‌زمینی با روش آبیاری تیپ

گزارش نموده‌اند که تیمار آرایش کاشت با دو ردیف کاشت با فاصله ۳۵ سانتی‌متر روی پشته و یک نوار آبده تیپ وسط آن‌ها با تولید ۴۰ تن در هکتار برای مناطق سرد قابل توصیه است. سلیمانی‌پور و همکاران(Soleimani Pour *et al.* 2011) در منطقهٔ فریدن اصفهان با تحقیق روی سه روش آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و جویچه‌ای در دو روش کاشت یک ردیفه (پشته به عرض ۷۰ سانتی‌متر) و دو ردیفه (فاصلهٔ پشته‌ها ۱۴۰ و عرض آن‌ها ۸۰ سانتی‌متر) و دو رقم آگریا و مارفونا نشان دادند روش آبیاری بارانی با عملکرد ۲۶۱۵۲ کیلوگرم در هکتار نسبت به روش آبیاری قطره‌ای نواری با تولید ۲۳۹۷۴ کیلوگرم در هکتار برتری معنی‌داری دارد. عملکرد در آرایش کاشت یک ردیفه و دو ردیفه در آبیاری بارانی به ترتیب ۲۵۴۳۰ و ۲۷۴۳۰ کیلوگرم در هکتار و در آرایش کاشت یک ردیفه و دو ردیفه در آبیاری قطره‌ای نواری به ترتیب ۲۵۳۰۰ و ۲۰۳۲۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمده است. بهره‌وری مصرف آب در آبیاری قطره‌ای نواری و بارانی به ترتیب ۳/۸۵ و ۴/۹۲ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. نجفی موسوی (Najafi Mousavi 2011) با بررسی روش آبیاری و الگوی کاشت بر عملکرد سیب‌زمینی در شرایط اقلیمی و زراعی جیرفت گزارش داده است که مناسب‌ترین تیمار برای شرایط یادشده رقم سانته با روش آبیاری قطره‌ای با آبیاری روزانه بافاصله کاشت ۶۵ سانتی‌متر و فاصله بوته ۲۳ سانتی‌متر با عملکرد ۵۵/۵ تن در هکتار است.

کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014) با بررسی اثر روش آبیاری و آرایش کاشت و رقم محصول در شدت بیماری لکه موجی سیب‌زمینی گزارش داده‌اند که رقم آگریا با آرایش کاشت یک ردیفه بیشترین عملکرد را داشته است. مولایی و همکاران (Molaei *et al.* 2015) در تحقیقی روی دو رقم سیب‌زمینی بورن و ساتینا در دو روش آبیاری بارانی و قطره‌ای نواری، عملکرد را در روش قطره‌ای نواری و بارانی به ترتیب ۲۳/۱۸ و ۱۴/۵۹ تن در هکتار به دست آوردند. حجم آب آبیاری ناخالص اعمال شده نیز در روش آبیاری قطره‌ای نواری و بارانی به ترتیب ۶۲۸۰ و ۷۴۷۰ مترمکعب در هکتار بوده است. این نتایج نشان می‌دهد در روش آبیاری قطره‌ای نواری با کاربرد ۱۶ درصد آب کمتر، حدود ۵۸ درصد افزایش تولید محصول در واحد سطح نسبت به روش آبیاری بارانی به دست آمد. در این تحقیق بهره‌وری مصرف آب نیز در روش قطره‌ای نواری و بارانی به ترتیب ۳/۶۹ و ۱/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است.

ودرهد و دانرت (Weatherhead & Danert 2002) در مقاله‌ای با عنوان آبیاری قطره‌ای برای سیب‌زمینی اعلام کردند که آزمایش‌های در انگلستان و دیگر نقاط جهان مؤید اثرهای مثبت آبیاری قطره‌ای روی سیب‌زمینی است. چن و همکاران (Chen *et al.* 2015) در آزمایشی در چین، اثر سه فاصله (۳۰، ۶۰ و ۹۰سانتی‌متر) لاترال‌ها و حجم آب ۳۰۰۰، ۴۵۰۰، ۶۰۰۰ و ۷۵۰۰ مترمکعب در هکتار آب مصرفی را با دور آبیاری ۱۰ روز بر ویژگی‌های زراعی گندم در دو سال زراعی بررسی کردند و نتایج نشان دادند با افزایش فاصله لاترال‌ها در آبیاری قطره‌ای، عملکرد کاهش می‌یابد. بیشترین عملکرد از فاصله نوار ۶۰ سانتی‌متر با حجم آب ۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار به دست آمد و بیشترین صرفه‌جویی آب را در مناطق خشک و نیمه‌خشک داشت. خرو و همکاران (Kharrou *et al.* 2011) دریافتند که برنامه‌ریزی آبیاری قطره‌ای با صرفه‌جویی ۲۰ درصد در آب مصرفی، نسبت به آبیاری سطحی و آبیاری کامل، بسیار مؤثرتر است. عملکرد دانه در آبیاری قطره‌ای ۲۴ درصد بیشتر از عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل و ۵۹ درصد بیشتر از عملکرد دانه در تیمار آبیاری موجود (آبیاری طبق عرف منطقه) بوده است و نیز اینکه میزان کارایی مصرف حدود ۵۲ و ۲۸ درصد به ترتیب نسبت به آبیاری موجود و آبیاری کامل بهبود یافته است. آواری و هیواس (Awari & Hiwase 1994) در مزرعه‌ای آزمایشی سامانهٔ آبیاری قطره‌ای و کرتی را روی محصول سیب‌زمینی مقایسه کردند و نشان دادند که بیشترین محصول و کارایی مصرف آب با سامانهٔ آبیاری قطره‌ای به‌دست می‌آید. روسجر و همکاران (Rosegger *et al.* 1977) در مطالعه‌ای به این نتیجه

رسیدند که استفاده از آبیاری قطره‌ای، نسبت به آبیاری بارانی، باعث صرفه‌جویی ۲۰ تا ۴۷ درصد در مقدار آب مصرفی می‌شود. آنان گزارش داده‌اند در سال ۱۹۷۵ عملکرد سیب‌زمینی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آبیاری نداشت، اما در سال ۱۹۷۶ عملکرد محصول در آبیاری قطره‌ای کمتر بود تا در آبیاری بارانی. بهراملو و ناصری (Bahramloo & Nasseri 2010) در بررسی تعداد بهینه آبیاری رقم آگریا در محصول سیب‌زمینی در آبیاری سطحی بر مبنای عملکرد و کارایی مصرف آب در همدان نتیجه‌گیری کردند که عملکرد این محصول با ۱۶ و ۱۸ نوبت آبیاری به ترتیب ۲۸/۴۷ و ۲۴/۵۸ تن در هکتار بوده است. کارایی مصرف آب برای این محصول در آبیاری کامل (۱۸ نوبت) و ۱۶ نوبت به ترتیب ۱/۸۴ و ۲/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است. اعمال ۱۶ نوبت آبیاری، نسبت به ۱۸ نوبت آبیاری، منجر به افزایش ۱۳/۲۱ درصد در عملکرد و صرفه‌جویی ۹/۸۸ درصد آب گردیده و توصیه شده‌است تا برای عملکرد و کارایی مصرف آب این رقم سیب‌زمینی ۱۶ نوبت آبیاری گردد. سالمی و همکاران (Salemi *et al.* 2016) با بررسی اثر روش‌های مختلف آبیاری و آرایش کاشت بر بهره‌وری آب گزارش داده‌اند کشت یک ردیفه با میانگین تولید ۲۴۸۳۹ کیلوگرم در هکتار، نسبت به کشت دو ردیفه با میانگین ۲۲۹۲۷ کیلوگرم در هکتار، برتری معنی‌داری دارد. رضوانی و همکاران (Rezvani *et al.* 2019) تأثیر آرایش کاشت بر بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی را بررسی و گزارش کرده‌اند که استفاده از سامانهٔ آبیاری بارانی با پشته‌های پهن با عرض ۱/۵ متری موجب بهبود بهره‌وری آب در تولید این محصول شده است. فریدی مایوان و همکاران (Faridi Mayvan *et al.* 2019) با بررسی اثر روش‌های مختلف کاشت بر شاخص‌های رشد سیب‌زمینی اعلام کردند روش کاشت زیگزاگی بیشترین عملکرد را نسبت به روش‌های کاشت معمول و معمول متراکم داشته است.

فراتحلیل (Meta- Analysis) روشی برای مقایسهٔ آماری نتایج از پژوهش‌های مستقل از هم در خصوص موضوعی ویژه، به‌طور مثال آرایش کاشت سیب‌زمینی، است. می‌توان گفت فراتحلیل نوعی پژوهش درباره پژوهش‌های دیگر است که نتایج این پژوهش‌ها باهم مقایسه می‌شوند .جامعهٔ آماری در این نوع پژوهش مجموعه پژوهش‌های قبلی اعم از منتشرشده یا منتشر نشده است. این روش تحلیل نخستین بار در مطالعات پزشکی به کار رفت و در سال ۱۹۹۲ توسط گورویچ و همکاران در اکولوژی نیز به‌کارگرفته شد (Hedges *et al*. 1999). مزیت فراتحلیل را به طور خلاصه می‌توان این گونه برشمرد (Izanlo & Habibi 2011; Ghadami Firouzabadi 2023) که فراتحلیل نسبت به سایر روش‌های مروری عینی‌تر است. بنابراین احتمال هرگونه پیش‌داوری‌های ذهنی کاهش می‌یابد. در فراتحلیل، به‌جای بررسی داده‌های خام هر آزمایش، میانگین و انحراف معیار و نتایج آماره‌ها بررسی می‌شوند. در فراتحلیل، پیشینهٔ پژوهشی به شکلی نظام‌مند جمع‌بندی می‌شود درحالی‌که در دیگر روش‌های مروری، توصیف و تبیین تعداد زیاد پژوهش به‌طور معمول مشکل است. در فراتحلیل، به‌جز شاخص‌های آماری، اندازهٔ اثرها نیز تحلیل می‌شوند. شکاف‌های موجود بین پیشینهٔ موضوع‌های پژوهشی با فراتحلیل به سهولت مشخص می‌شود. به‌رغم مزیت‌های فراتحلیل در رفع نقطه‌ضعف‌های دیگر روش‌های مروری، محدودیت‌های این رهیافت به‌صورت زیر بیان می‌شود (Izanlo & Habibi 2011; Ghadami Firouzabadi 2023) که فراتحلیل تفاوت‌های کیفی بین مطالعات را بررسی نمی‌کند. در فراتحلیل سعی براین است که از ترکیب نتایج و یافته‌های به‌ظاهر یکسان، نتیجه‌گیری کلی به‌دست آید. برخی از نتایج موجود در کتابخانه‌ها که منتشر نشده‌اند، ممکن است در فراتحلیل گنجانده نشود.

با توجه به‌ضرورت جمع‌بندی نتایج پژوهش‌های مرتبط با آرایش مناسب کاشت و سامانهٔ آبیاری بهینه مزارع سیب‌زمینی، در این پژوهش از فراتحلیل استفاده می‌شود. بنابراین، به دلیل پراکنده بودن مطالعات و نتایج در خصوص آرایش مناسب کشت سیب‌زمینی، انتخاب یک یافتهٔ متقن در این زمینه ضروری است.

هدف از این پژوهش، استفاده از فراتحلیل برای تلفیق نتایج پژوهش‌ها طی ۲۰ سال گذشته در خصوص اثر آرایش مناسب کشت بر عملکرد، حجم آب مصرفی و بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی است. یافته‌های پژوهش برای بهبود عملکرد و بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی مفید است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، مطالعات روی بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی در ۲۰ سال گذشته بررسی گردید. این مطالعات و بررسی‌ها شامل انواع مقالات علمی – پژوهشی فارسی و انگلیسی منتشرشده در مجلات معتبر علمی بود. مقالات به‌گونه‌ای انتخاب شدند که اطلاعات لازم برای فراتحلیل در آن‌ها وجود داشته باشند. این اطلاعات شامل این موارد بودند: میانگین عملکرد و بهره‌وری آب در تیمار شاهد، تیمارهای آرایش مناسب کشت سیب‌زمینی ، انحراف معیار میانگین و واریانس خطای آزمایش و تعداد تکرار (Hedges *et al*. 1999). در جدول ۱ ، شاخص‌ها و تیمارهای ورودی به فراتحلیل آرایش کشت مناسب سیب‌زمینی در سامانه‌های مختلف آبیاری ارائه شده است.

جدول ۱- شاخص‌ها و تیمارهای ورودی به فراتحلیل آرایش کشت مناسب سیب‌زمینی در سامانه‌های مختلف آبیاری

Table 1- Indices and input treatments for meta-analysis of potato cultivation pattern under irrigation systems

ردیف No	منابع References	تیمار فاصلهٔ کاشت Cultivation distance	تیمار ردیف Raw	تیمار آبیاری Irrigation system	عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg ha^{-1})	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) Water productivity (kg m^{-3})
۱	مشیدی و همکاران (Moshayyedi *et al*. 2010)	۶۰ سانتی‌متر	یک ردیفه	*	۳۴۸۲۰	*
۲	مشیدی و همکاران (Moshayyedi *et al*. 2010)	۷۵ سانتی‌متر	یک ردیفه	*	۲۵۱۴۰	*
۳	مشیدی و همکاران (Moshayyedi *et al*. 2010)	۱۲۰ سانتی‌متر	دو ردیفه	*	۳۰۶۹۰	*
۴	مشیدی و همکاران (Moshayyedi *et al*. 2010)	۶۰ سانتی‌متر	*	*	۳۲۶۲۰	*
۵	مشیدی و همکاران (Moshayyedi *et al*. 2010)	۷۵ سانتی‌متر	*	*	۲۳۳۸۰	*
۶	مشیدی و همکاران (Moshayyedi *et al*. 2010)	۱۲۰ سانتی‌متر	*	*	۲۹۸۱۰	*

۷	مشیدی و همکاران (Moshayyedi *et al.* 2010)	۶۰ سانتی‌متر	*	*	۳۷۰۱۰	*
۸	مشیدی و همکاران (Moshayyedi *et al.* 2010)	۷۵ سانتی‌متر	*	*	۲۶۸۹۰	*
۹	مشیدی و همکاران (Moshayyedi *et al.* 2010)	۱۲۰ سانتی‌متر	*	*	۳۱۵۷۰	*
۱۰	نجفی موسوی (Najafi Mousavi 2011)	۶۵ سانتی‌متر	یک ردیفه	*	۴۲۴۰۰	۶/۶۸
۱۱	نجفی موسوی (Najafi Mousavi 2011)	۷۰ سانتی‌متر	یک ردیفه	*	۳۷۸۱۰	۵/۹۱
۱۲	نجفی موسوی (Najafi Mousavi 2011)	۷۵ سانتی‌متر	یک ردیفه	*	۳۶۶۶۰	۵/۷۴
۱۳	تورجی زاده و همکاران (Toraji zadeh *et al.* 2011)	۷۵ سانتی‌متر	یک ردیفه	*	۳۸۰۰۰	*
۱۴	تورجی زاده و همکاران (Toraji zadeh *et al.* 2011)	۱۲۰ سانتی‌متر	دو ردیفه	*	۴۲۰۰۰	*
۱۵	تورجی زاده و همکاران (Toraji zadeh *et al.*, 2011)	۱۲۰ سانتی‌متر	زیگزاگ	*	۴۲۱۰۰	*
۱۶	رضوانی و همکاران (Rezvani *et al.* 2019)	۱۵۰ سانتی‌متر	سه ردیفه	*	۵۰۰۰۰	*
۱۷	رضوانی و همکاران (Rezvani *et al.* 2019)	۷۵ سانتی‌متر	یک ردیفه	قطره‌ای	۴۴۸۳۰	۶/۵۳
۱۸	رضوانی و همکاران (Rezvani *et al.* 2019)	۱۵۰ سانتی‌متر	دو ردیفه	قطره‌ای	۳۹۹۸۰	۵/۸۲
۱۹	رضوانی و همکاران (Rezvani *et al.* 2019)	۱۵۰ سانتی‌متر	دو ردیفه	قطره‌ای	۴۳۰۵۰	۶/۲۶
۲۰	رضوانی و همکاران (Rezvani *et al.* 2019)	۱۵۰ سانتی‌متر	دو ردیفه	قطره‌ای	۴۱۸۶۰	۶/۱

۲۱	رضوانی و همکاران (Rezvani *et al*. 2019)	۷۵ سانتی‌متر	یک ردیفه	بارانی	۳۶۱۰۰	۴/۱
۲۲	رضوانی و همکاران (Rezvani *et al*. 2019)	۱۵۰ سانتی‌متر	دو ردیفه	بارانی	۴۱۹۲۰	۴/۷۵
۲۳	رضوانی و همکاران (Rezvani *et al*. 2019)	۱۵۰ سانتی‌متر	دو ردیفه	بارانی	۴۲۲۸۰	۴/۸۰
۲۴	رضوانی و همکاران (Rezvani *et al*. 2019)	۱۵۰ سانتی‌متر	دو ردیفه	بارانی	۴۱۶۳۰	۴/۷۲
۲۵	باغانی (Baghani 2009)	۷۵ سانتی‌متر	یک ردیفه	*	۱۷۵۰۰	۲/۹۰
۲۶	باغانی (Baghani 2009)	۷۵ سانتی‌متر	دو ردیفه	*	۱۹۵۰۰	۳/۳۰
۲۷	باغانی (Baghani 2009)	۷۵ سانتی‌متر	دو ردیفه	*	۱۹۰۰۰	۳/۱۰
۲۸	صدرقائن و همکاران (Sadrghayen et al. 2010)	۷۵ سانتی‌متر	یک ردیفه	*	۳۹۰۰۰	۷/۸۰
۲۹	صدرقائن و همکاران (Sadrghayen *et al*. 2010)	۷۵ سانتی‌متر	دو ردیفه	*	۴۱۰۰۰	۱۱/۰۸
۳۰	صدرقائن و همکاران (Sadrghayen *et al*. 2010)	۷۵ سانتی‌متر	دو ردیفه	*	۳۸۵۰۰	۱۱/۳۲
۳۱	صدرقائن و همکاران (Sadrghayen *et al*. 2010)	۷۵ سانتی‌متر	یک ردیفه	*	۳۹۰۰۰	۱۰/۰
۳۲	صدرقائن و همکاران (Sadrghayen *et al*., 2010)	۷۵ سانتی‌متر	دو ردیفه	*	۴۵۰۰۰	۱۲/۸۶
۳۳	صدرقائن و همکاران (Sadrghayen *et al*. 2010)	۷۵ سانتی‌متر	دو ردیفه	*	۳۹۰۰۰	۱۱/۸۲
۳۴	صدرقائن و همکاران (Sadrghayen *et al*. 2010)	۷۵ سانتی‌متر	یک ردیفه	*	۳۹۰۰۰	۸/۶۷

	صدرقائن و همکاران (Sadrghayen *et al.* 2010)	۷۵ سانتی‌متر	دو ردیفه	*	۴۴۵۰۰	۱۲/۵۴
۳۵	صدرقائن و همکاران (Sadrghayen *et al.* 2010)	۷۵ سانتی‌متر	دو ردیفه	*	۳۹۰۰۰	۱۱/۸۲
۳۶	کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014)	*	یک ردیفه	*	۲۲۷۶۰	*
۳۷	کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014)	*	دو ردیفه	*	۲۱۴۳۰	*
۳۸	کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014)	*	یک ردیفه	*	۲۰۲۴۰	*
۳۹	کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014)	*	دو ردیفه	*	۱۸۷۸۰	*
۴۰	کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014)	*	یک ردیفه	قطره‌ای	۲۲۷۶۰	*
۴۱	کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014)	*	دو ردیفه	قطره‌ای	۲۱۴۳۰	*
۴۲	کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014)	*	یک ردیفه	قطره‌ای	۲۰۲۴۰	*
۴۳	کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014)	*	دو ردیفه	قطره‌ای	۱۸۷۸۰	*
۴۴	کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014)	*	یک ردیفه	بارانی	۲۲۷۶۰	*
۴۵						

۴۶	کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014)	*	دو ردیفه	بارانی	۲۱۴۳۰	*
۴۷	کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014)	*	یک ردیفه	بارانی	۲۰۲۴۰	*
۴۸	کریمخواه و همکاران (Karimkhah *et al.* 2014)	*	دو ردیفه	بارانی	۱۸۷۸۰	*
۴۹	فریدی مایوان و همکاران (Faridi Mayvan *et al.* 2019)	*	دو ردیفه	*	۲۹۰۰۰	*
۵۰	فریدی مایوان و همکاران (Faridi Mayvan *et al.* 2019)	*	دو ردیفه	*	۳۰۰۰۰	*
۵۱	فریدی مایوان و همکاران (Faridi Mayvan *et al.* 2019)	*	دو ردیفه	*	۳۲۰۰۰	*
۵۲	فریدی مایوان و همکاران (Faridi Mayvan *et al.* 2019)	*	دو ردیفه	*	۲۳۰۰۰	*
۵۳	فریدی مایوان و همکاران (Faridi Mayvan *et al.* 2019)	*	دو ردیفه	*	۲۱۰۰۰	*
۵۴	فریدی مایوان و همکاران (Faridi Mayvan *et al.* 2019)	*	دو ردیفه	*	۲۵۰۰۰	*
۵۵	فریدی مایوان و همکاران (Faridi Mayvan *et al.* 2019)	*	دو ردیفه	*	۱۶۰۰۰	*
۵۶	فریدی مایوان و همکاران (Faridi Mayvan *et al.* 2019)	*	دو ردیفه	*	۱۸۰۰۰	*
۵۷	فریدی مایوان و همکاران (Faridi Mayvan *et al.* 2019)	*	دو ردیفه	*	۲۱۰۰۰	*

۵۸	سالمی و همکاران (Salemi *et al.* 2016)	*	یک ردیفه	*	۲۴۳۸۸	۳/۵۱
۵۹	سالمی و همکاران (Salemi *et al.* 2016)	*	دو ردیفه	*	۲۲۹۲۷	۳/۳۰

توضیح: * نشان می دهد شاخص یا تیمارهای مربوط در منبع ذکر نشده است.

مراحل فراتحلیل به‌طور خلاصه در ادامه توصیف می‌گردد. جزییات بیشتر مراحل فراتحلیل را می‌توان در Gurevitch & Hedges (1999) ملاحظه نمود.

الف) شدت یا میزان روابط بین متغیرها را با آماره‌ها یا آزمون‌های آماری نمی‌توان مشخص کرد. بنابراین لازم است از شاخص‌های اندازه‌گیری اثر نیز استفاده شود. یکی از این شاخص‌ها، نسبت اثر (R) است. نسبت اثر (R) از نسبت میانگین صفات اندازه‌گیری شده در تیمار پژوهشی به میانگین صفات در تیمار شاهد به دست آمد. این صفات شامل عملکرد و بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی است (Hedges *et al.* 1999). برای بررسی، رد یا تائید فرض صفر، آزمون‌های سطح معنی‌داری و بزرگی اندازه اثر هم به‌صورت منفرد (دریک پژوهش) و هم به‌صورت گروهی (بین همه پژوهش‌ها) بررسی گردید (Rosenthal & Dematteo 2001).

ب) با توجه به اینکه برای فراتحلیل از تابع وزن‌دار ناپارامتریک استفاده می‌شود، وزن هراندازۀ اثر به‌صورت زیر محاسبه گردید:

$$W_i = \frac{n}{y} \qquad (۱)$$

که در آن n= تعداد تکرار اندازه‌گیری‌ها در مزارع سیب‌زمینی و y = تعداد سال‌های اندازه‌گیری است.

ج) میانگین اندازۀ اثر از رابطۀ زیر به‌دست آمد (Huang *et al.* 2013):

$$In\bar{R} = \Sigma(InRi \times Wi) / \Sigma W_i \qquad (۲)$$

که در آن InRi = اندازۀ اثر برای صفات اندازه‌گیری شده برای i امین مقایسه است.

د) درصد تغییرات صفات حاصل از تیمار آرایش مناسب کشت سیب‌زمینی (CH %) نسبت به صفات حاصل از کاربرد تیمار شاهد در مزارع سیب‌زمینی از رابطۀ زیر به دست آمد:

$$CH\,\% = (R-1)\times 100 \qquad (۳)$$

در این بررسی، تمام مراحل یاد شده برای فراتحلیل طی گردید و روابط یاد شده استفاده شد.

نتایج و بحث

الف) تحلیل عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در آرایش‌های مختلف کاشت سیب‌زمینی

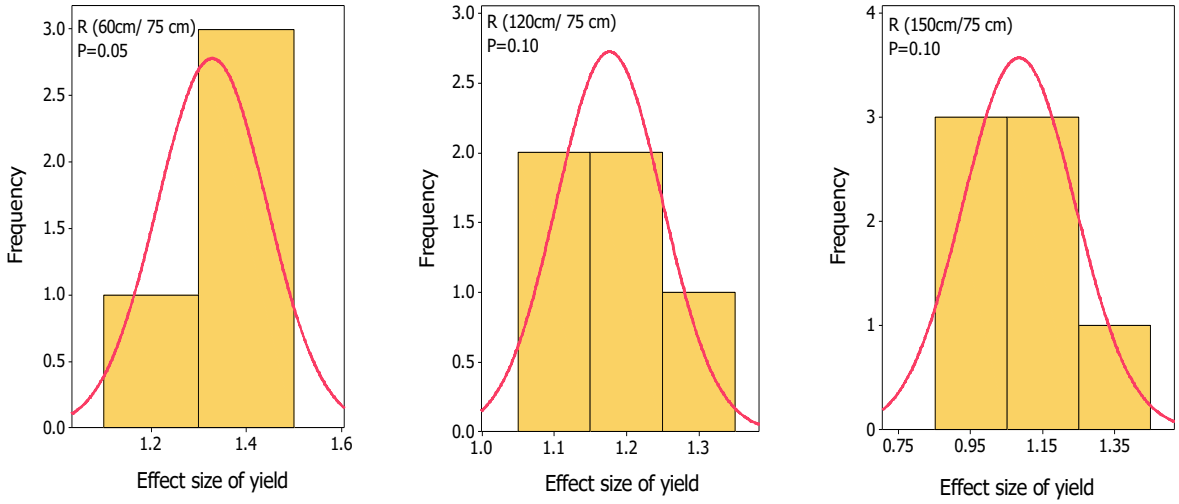
نتایج بررسی‌ها نشان داد میانگین عملکرد ۳۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و دامنه آن از ۲۳۳۸۰ تا ۵۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار است. بیشترین فراوانی عملکرد بین ۳۰ تا ۴۰ هزار کیلوگرم در هکتار بود. برای فاصلهٔ کاشت ۶۰ و ۷۰ سانتی‌متر، میانگین عملکرد به ترتیب ۳۶۷۱۳ و ۳۳۰۰۰کیلوگرم در هکتار و برای فاصلهٔ کاشت ۱۲۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر، میانگین عملکرد ۳۵۲۳۴ و ۴۲۹۶۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۲). ضریب تغییرات عملکرد سیب‌زمینی در فاصله‌های مختلف کاشت از ۷/۵ درصد (برای فاصلهٔ ۱۵۰ سانتی‌متر) تا ۲۴/۱ درصد (برای فاصلهٔ ۷۵ سانتی‌متر) متغیر بود (جدول ۲). تنوع زیاد در عملکرد حاصل از فاصلهٔ کاشت ۷۵ سانتی‌متر مشاهده گردید.

جدول ۲- میانگین عملکرد و بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی برای فاصله‌های کاشت ۶۰، ۷۵، ۱۲۰ و۱۵۰ سانتی‌متر

Table 2- Average yield and water productivity of potato from planting distances of 60, 75, 120 and 150 cm

فاصلهٔ کاشت	میانگین تیمار	میانگین شاهد	ضریب تغییرات (درصد)	کمترین مقدار	بیشترین مقدار
Planting distances	Treatment	Control	CV (%)	Min.	Max.
میانگین عملکرد سیب‌زمینی (کیلوگرم در هکتار) Potato yield (kg ha^{-1})					
۶۰ سانتی‌متر	۳۶۷۱۳	۲۸۰۱۸	۱۱/۴	۳۲۶۲۰	۴۲۴۰۰
۷۵ سانتی‌متر	۳۳۰۰۰	۳۳۰۰۰	۲۴/۱	۲۳۳۸۰	۴۴۸۳۰
۱۲۰ سانتی‌متر	۳۵۲۳۴	۳۰۲۸۲	۱۷/۷	۲۹۸۱۰	۴۲۱۰۰
۱۵۰ سانتی‌متر	۴۲۹۶۰	۴۰۱۱۳	۷/۵	۳۹۹۸۰	۵۰۰۰۰
میانگین بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) Water productivity (kg m^{-3})					
۶۰ سانتی‌متر	۶/۳۰	۵/۷۶	۸/۶	۵/۹۱	۶/۶۸
۷۵ سانتی‌متر	۵/۴۶	۵/۴۶	۲۲/۷	۴/۱۰	۶/۵۳
۱۵۰ سانتی‌متر	۵/۴۱	۵/۳۲	۱۳/۵	۴/۷۲	۴/۸۰

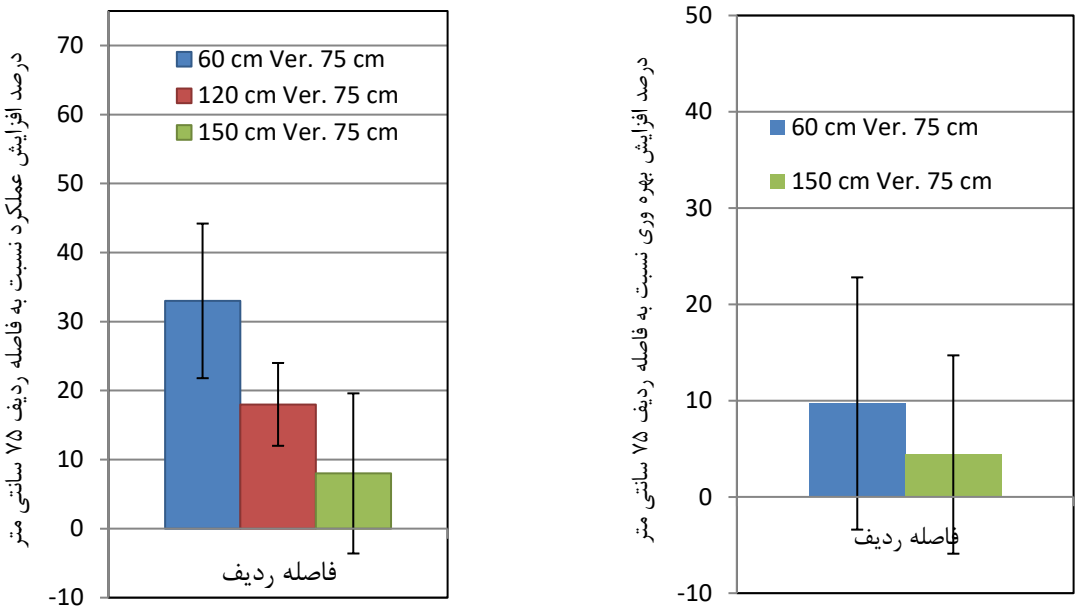
شرط محاسبات فراتحلیل، نرمال بودن توزیع فراوانی اندازهٔ اثر صفت مورد بررسی است. در این بررسی، توزیع مقادیر اندازهٔ اثر برای عملکرد سیب‌زمینی نرمال بود (شکل۱). اندازهٔ اثر برای عملکرد از نسبت میانگین عملکرد حاصل از فاصلهٔ ردیف تیمار به میانگین عملکرد فاصلهٔ ردیف مرسوم (۷۵ سانتی‌متر) است. بنابراین، مقادیر مثبت آن نشان‌دهنده زیاد بودن عملکرد حاصل از فاصلهٔ ردیف تیمار نسبت به فاصلهٔ ردیف مرسوم است. برعکس، مقادیر منفی آن نشان‌دهندهٔ کم بودن عملکرد حاصل از فاصلهٔ ردیف تیمار نسبت به فاصلهٔ ردیف مرسوم است.



شکل ۱- توزیع فراوانی اندازهٔ اثر برای عملکرد حاصل از آرایش‌های مختلف کاشت (۶۰، ۱۲۰ و۱۵۰ سانتی‌متر) سیب‌زمینی

Figure 1- Frequency distribution of the effect size for potato yield from different planting patterns (60, 120 and 150 cm)

در شکل ۲، نتیجهٔ مقایسهٔ عملکرد حاصل از فاصله‌های مختلف کاشت سیب‌زمینی با فاصلهٔ کاشت مرسوم با رهیافت فراتحلیل ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد اعمال تیمارهای فاصلهٔ کاشت ۶۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر روی عملکرد محصول، اثر مثبت نسبت به تیمار مرسوم داشته است. بیشترین اثر مثبت آرایش کاشت روی عملکرد در فاصلهٔ کاشت ۶۰ سانتی‌متر (۳۳ درصد)، پس از آن فاصلهٔ ۱۲۰ سانتی‌متر (۱۸ درصد) و در مرتبه بعدی در فاصلهٔ کاشت ۱۵۰ سانتی‌متر (۸ درصد) بود (شکل ۲). در تائید این یافتهٔ فراتحلیل، مشیدی و همکاران (Moshayyedi *et al.* 2010) با بررسی تأثیر آرایش کاشت بر عملکرد سیب‌زمینی، کاشت رقم لیدی روزیتا با آرایش کاشت ۶۰ سانتی‌متر یک‌ردیفه با تراکم ۶/۶ بوته در مترمربع برای شرایط زراعی و اقلیمی اراک توصیه کرده‌اند. نجفی موسوی (Najafi Mousavi 2011) مناسب‌ترین تیمار برای شرایط اقلیمی و زراعی جیرفت را سیب‌زمینی رقم سانته با روش آبیاری قطره‌ای با آبیاری روزانه بافاصلهٔ کاشت ۶۵ سانتی‌متر و فاصلهٔ بوته ۲۳ سانتی‌متر گزارش داده که عملکرد آن به ۵۵/۵ تن در هکتار رسیده است. یکی از اصلی‌ترین دلیل‌های زیاد بودن عملکرد محصول با کاربرد فاصلهٔ کاشت ۶۰ سانتی‌متر، نسبت به فاصله کاشت مرسوم ۷۵ سانتی‌متر، زیاد بودن تراکم بوته در هکتار است. در فاصله‌های کاشت ۱۲۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر نیز با استفاده از کاشت چند ردیف در روی پشته، تراکم بوته افزایش داده شده است.



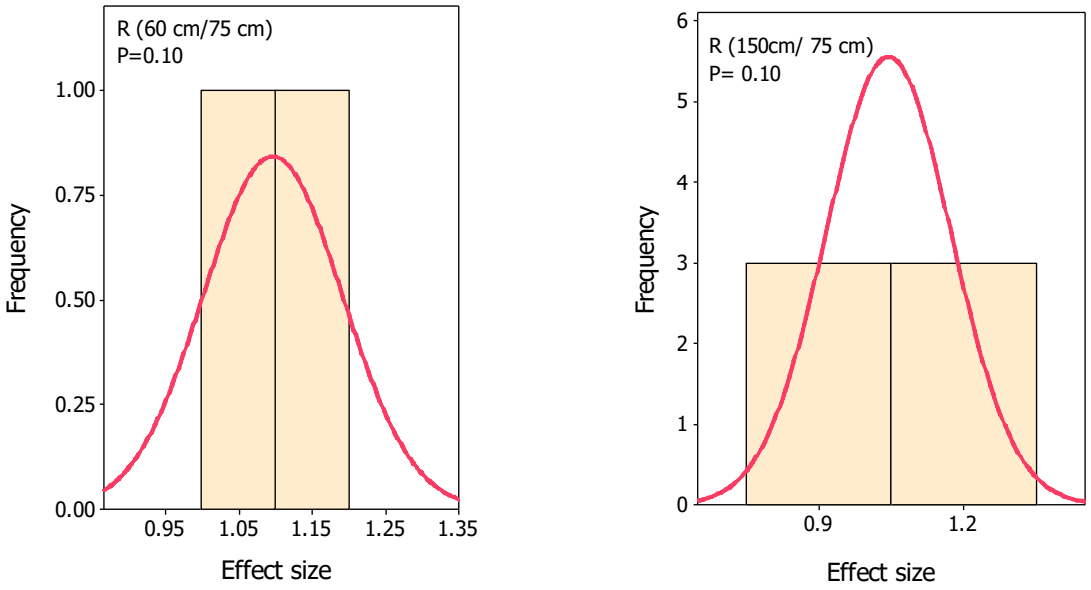
شکل ۲- درصد افزایش عملکرد (سمت چپ) و بهره‌وری آب (سمت راست) فاصله‌های مختلف کاشت نسبت به فاصله کاشت مرسوم

Figure 2- Percentage increase in yield (left side) and water productivity (right side) of planting distances compared to conventional ones

نتایج تحقیق نشان داد میانگین بهره‌وری آب ۵/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب و دامنهٔ آن از ۴/۱۰ تا ۶/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب است. بیشترین فراوانی بهره‌وری آب بین ۵ و ۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود. فراوانی بهره‌وری آب به‌اندازهٔ ۷ و ۴ کیلوگرم بر مترمکعب نسبتاً کم بود. در این مورد، بهراملو و سیدان (Bahramloo & Seyedan 2017) میانگین بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی را ۳ کیلوگرم بر مترمکعب اعلام کرده‌اند. تغییرات این شاخص را قدمی فیروزآبادی و سیدان (Ghadami Firouzabadi & Seyedan 2006) بین ۱ تا ۴/۱ و بهراملو و ناصری (Bahramloo & Nasseri 2010) بین ۱/۸۴ و ۲/۳۶ گزارش داده‌اند.

میانگین بهره‌وری آب برای فاصلهٔ کاشت ۶۰ سانتی‌متر ۶/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب، برای فاصلهٔ کاشت ۷۵ سانتی‌متر ۵/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب، برای فاصلهٔ کاشت ۱۵۰ سانتی‌متر ۵/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود (جدول ۲). برای فاصلهٔ کاشت ۱۲۰ سانتی‌متر، داده بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی گزارش نشده است. ضریب تغییرات عملکرد بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی در فاصله‌های مختلف کاشت از ۸/۶ درصد (برای فاصلهٔ ۶۰ سانتی‌متر) تا ۲۲/۷ درصد (برای فاصلهٔ ۷۵ سانتی‌متر) متغیر بود (جدول ۲). مانند عملکرد، تنوع زیاد در بهره‌وری آب حاصل از فاصله کاشت ۷۵ سانتی‌متری نیز مشاهده گردید.

اندازهٔ اثر برای بهره‌وری آب از نسبت بهره‌وری آب حاصل از فاصلهٔ ردیف تیمار به بهره‌وری حاصل از فاصلهٔ ردیف مرسوم (۷۵ سانتی‌متر) به دست آمد. نرمال بودن توزیع فراوانی اندازهٔ اثر بهره‌وری آب، شرط محاسبات فراتحلیل است. در این بررسی، توزیع مقادیر اندازهٔ اثر برای بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی نرمال بود (شکل ۳).



شکل ۳- توزیع فراوانی اندازهٔ اثر برای بهره‌وری آب در آرایش‌های مختلف کاشت سیب‌زمینی

Figure 3- Frequency distribution of the effect size for water productivity of potato from different planting patterns

نتیجهٔ مقایسهٔ بهره‌وری آب حاصل از فاصله‌های مختلف کاشت سیب‌زمینی با فاصلهٔ کاشت مرسوم با رهیافت فراتحلیل در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد هرچند اعمال تیمارهای فاصلهٔ کاشت ۶۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر روی بهره‌وری آب در تولید محصول ازنظر آماری معنی‌دار نبود بااین‌همه، اعمال این تیمارها روی بهره‌وری آب اثر مثبت جزئی نسبت به تیمار مرسوم داشته است. بیشترین اثر مثبت آرایش کاشت روی بهره‌وری در فاصلهٔ کاشت ۶۰ سانتی‌متر (۱۰ درصد)، پس از آن فاصلهٔ ردیف ۱۵۰ سانتی‌متر (۴ درصد) بود (شکل ۱). یکی از اصلی‌ترین دلیل‌های زیاد بودن بهره‌وری آب در تولید محصول با کاربرد فاصلهٔ کاشت ۶۰ سانتی‌متر، نسبت به فاصلهٔ کاشت مرسوم ۷۵ سانتی‌متری، زیاد بودن عملکرد در نتیجهٔ زیاد بودن تعداد تراکم بوته در هکتار است. در فاصلهٔ کاشت ۱۵۰ سانتی‌متری نیز با استفاده از کاشت چند ردیف در روی پشته، تعداد تراکم بوته در هکتار افزایش داده شده و در نتیجه زیاد بودن نسبی عملکرد، بهبود بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی را موجب شده است.

ب) تحلیل اثر هم‌زمان آرایش کاشت و نوع سامانهٔ آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب

آرایش کاشت سیب‌زمینی در این بخش به‌صورت یک‌ردیفه و دوردیفه و با سامانه‌های آبیاری شامل قطره‌ای و بارانی بود. میانگین عملکرد در سامانه قطره‌ای ۳۱۶۱۶ کیلوگرم در هکتار و دامنهٔ آن از ۱۸۷۸۰ تا ۴۴۸۳۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. بیشترین فراوانی عملکرد بین ۲۵ هزار و ۴۵ هزار کیلوگرم در هکتار بود. فراوانی عملکرد ۱۵ هزار و ۳۵ هزار کیلوگرم در هکتار نسبتاً کم بود. میانگین عملکرد برای فاصلهٔ کاشت یک ردیفه ۲۹۲۷۷ کیلوگرم در هکتار و برای فاصلهٔ کاشت دو ردیفه ۳۳۰۲۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). ضریب تغییرات عملکرد سیب‌زمینی در ردیف‌های مختلف کاشت از۳۶

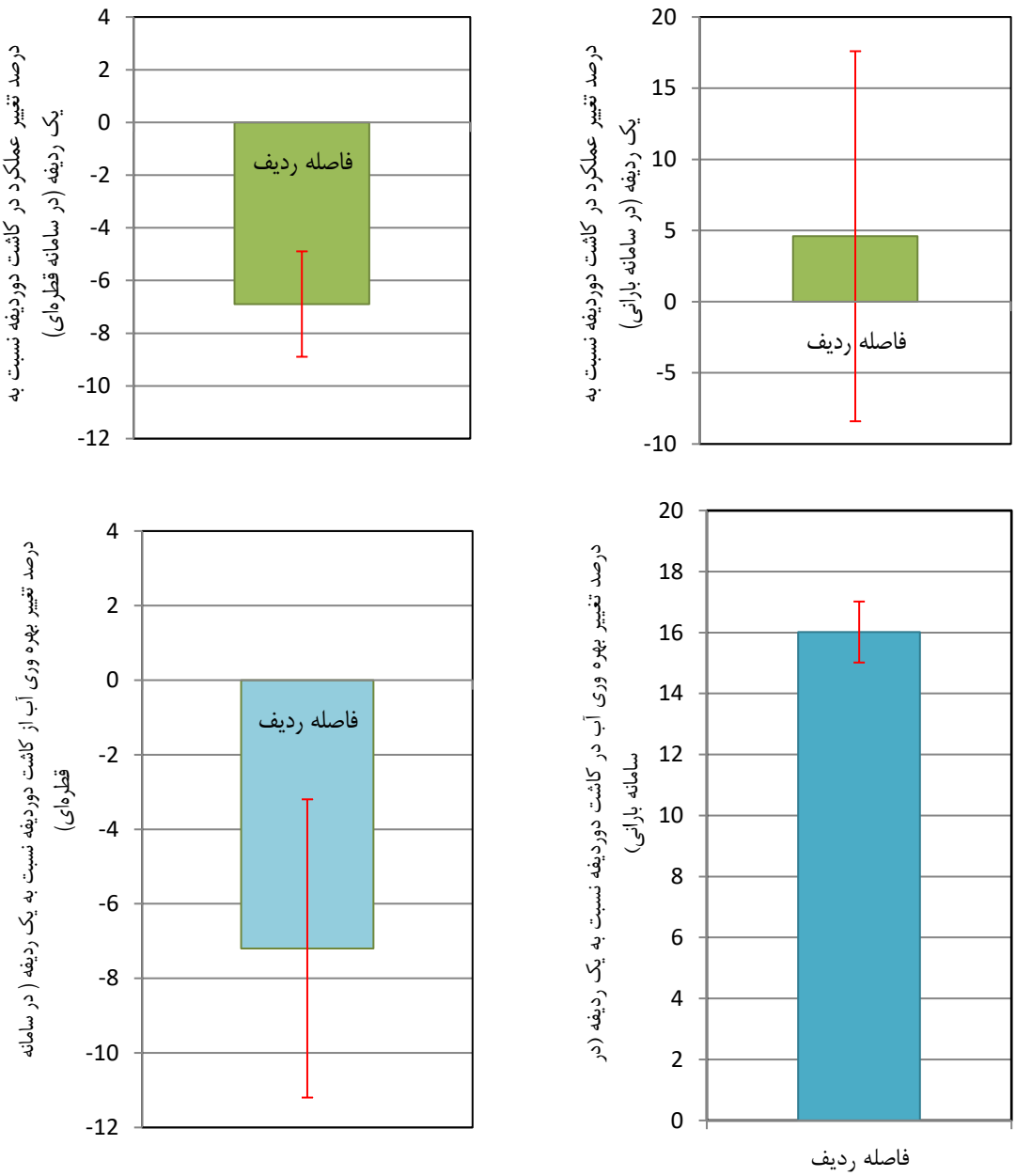
درصد (برای فاصلهٔ کاشت دو ردیفه) تا ۴۶/۲ درصد (برای فاصلهٔ کاشت یک ردیفه) متغیر بود (جدول ۳). تنوع زیاد در عملکرد حاصل از فاصلهٔ کاشت یک ردیفه و دو ردیفه مشاهده گردید. اندازهٔ اثر برای عملکرد از نسبت میانگین عملکرد حاصل از کاشت دو ردیفه به میانگین عملکرد حاصل از کاشت یک‌ردیفه به دست آمد. توزیع مقادیر اندازهٔ اثر عملکرد سیب‌زمینی حاصل از سامانه قطره‌ای نرمال بود.

جدول ۳- میانگین عملکرد و بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی حاصل از سامانهٔ آبیاری قطره‌ای و بارانی در مقاله‌های علمی پژوهشی

Table 3- Potato yield and water productivity from drip and sprinkle irrigation systems from research papers

فاصلهٔ کاشت	میانگین تیمار	میانگین شاهد	ضریب تغییرات (درصد)	کم‌ترین مقدار	بیش‌ترین مقدار
Planting distances	Treatment	Control	CV (%)	Min.	Max.
عملکرد سیب‌زمینی (کیلوگرم در هکتار) حاصل از سامانه آبیاری قطره‌ای Potato yield (kg ha^{-1}) from drip system					
یک ردیفه	۲۹۲۷۷	۲۹۲۷۷	۴۶/۲	۲۰۲۴۰	۴۴۸۳۰
دو ردیفه	۳۳۰۲۰	۲۹۲۷۷	۳۶/۰	۱۸۷۸۰	۴۳۰۵۰
عملکرد سیب‌زمینی (کیلوگرم در هکتار) حاصل از سامانه آبیاری بارانی Potato yield (kg ha^{-1}) from sprinkle system					
یک ردیفه	۲۶۳۶۷	۲۶۳۶۷	۳۲/۳	۲۰۲۴۰	۳۶۱۰۰
دو ردیفه	۳۳۲۰۸	۲۶۳۶۷	۳۶/۱۰	۱۸۷۸۰	۴۲۲۸۰
بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) حاصل از سامانه آبیاری قطره‌ای Water productivity (kg m^{-3}) from drip system					
یک ردیفه	۶/۵۳	۶/۵۳	-	۶/۵۳	۶/۵۳
دو ردیفه	۶/۰۶	۶/۵۳	۳/۷	۵/۸۲	۶/۲۶
بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) حاصل از سامانه آبیاری بارانی Water productivity (kg m^{-3}) from sprinkle system					
یک ردیفه	۴/۱	۴/۱	-	۴/۱	۴/۱
دو ردیفه	۴/۸	۴/۱	۱/۰	۴/۷	۴/۸

در شکل ۴ ، نتیجهٔ مقایسه عملکرد حاصل از کاشت دو ردیفه نسبت به یک ردیفه سیب‌زمینی با رهیافت فراتحلیل ارائه شده است. نتایج تحقیق نشان داد اعمال کاشت دو ردیفه با آبیاری قطره‌ای روی عملکرد محصول اثرهای منفی (حدود ۷ درصد) نسبت به تیمار یک ردیفه داشته است.



شکل ۴- درصد تغییر عملکرد (بالا) و بهره‌وری آب (پایین) حاصل از کاشت دو ردیفه نسبت به یک ردیفه سیب‌زمینی حاصل از سامانهٔ آبیاری قطره‌ای (سمت چپ) و بارانی (سمت راست)

Figure 4- Percentage change in yield (top) and water productivity (bottom) from two compared to one row under drip (left) and sprinkle (right) irrigation systems

میانگین عملکرد در سامانه بارانی ۳۰۶۴۳ کیلوگرم در هکتار و دامنهٔ آن از ۱۸۷۸۰ تا ۴۲۲۸۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. بیشترین فراوانی عملکرد بین ۲۴ هزار و ۴۰ هزار کیلوگرم در هکتار بود. فراوانی عملکرد ۱۶ هزار و ۳۲ هزار

کیلوگرم در هکتار نسبتاً کم بود. میانگین عملکرد برای فاصلهٔ کاشت یک ردیفه ۲۶۳۶۷ کیلوگرم در هکتار و برای فاصلهٔ کاشت دو ردیفه ۳۳۲۰۸ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). ضریب تغییرات عملکرد سیب‌زمینی در ردیف‌های مختلف کاشت از ۳۲/۳ درصد (برای فاصله کاشت یک ردیفه) تا ۳۶/۱۰ درصد (برای فاصلهٔ کاشت دو ردیفه) متغیر بود (جدول ۳). تنوع زیاد در عملکرد حاصل از فاصلهٔ کاشت یک ردیفه و دو ردیفه مشاهده گردید. اندازهٔ اثر برای عملکرد از نسبت میانگین عملکرد حاصل از کاشت دو ردیفه به میانگین عملکرد حاصل از کاشت یک‌ردیفه به‌دست آمد. بررسی نرمال بودن توزیع فراوانی اندازهٔ اثر عملکرد حاصل از سامانهٔ بارانی نشان داد توزیع مقادیر اندازهٔ اثر عملکرد سیب‌زمینی نرمال است. نتیجهٔ مقایسهٔ عملکرد حاصل از کاشت دو ردیفه، نسبت به یک ردیفه، سیب‌زمینی با رهیافت فراتحلیل در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج تحقیق نشان داد اعمال کاشت دو ردیفه روی عملکرد محصول، نسبت به تیمار یک ردیفه، اثر مثبت ولی غیر معنی‌دار (۴/۶ درصد) داشته است.

میانگین بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی در سامانهٔ قطره‌ای ۶/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب و دامنهٔ آن از ۵/۸۲ تا ۶/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده گردید. بیشترین فراوانی بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی در ۶/۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. فراوانی بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی ۵/۸ و ۶/۶ کیلوگرم بر مترمکعب تقریباً یکسان و در مرتبه بعدی بود. میانگین بهره‌وری آب برای فاصلهٔ کاشت یک ردیفه ۶/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب و برای فاصله کاشت دو ردیفه ۶/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود (جدول ۳). ضریب تغییرات بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی برای فاصلهٔ کاشت دو ردیفه ۳/۷ درصد بود (جدول ۳). تنوع ناچیز در بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی حاصل از فاصلهٔ کاشت یک ردیفه و دو ردیفه مشاهده گردید. اندازهٔ اثر برای بهره‌وری آب از نسبت میانگین بهره‌وری آب حاصل از کاشت دو ردیفه به میانگین بهره‌وری آب حاصل از کاشت یک‌ردیفه به دست آمد. توزیع مقادیر اندازهٔ اثر بهره‌وری آب حاصل از سامانهٔ بارانی نرمال است. نتایج تحقیق نشان داد اعمال کاشت دو ردیفه، نسبت به تیمار یک ردیفه، روی بهره‌وری آب اثر منفی (حدود ۷ درصد) داشته است (شکل ۴).

میانگین بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی در سامانهٔ بارانی ۴/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب و دامنهٔ آن از ۴/۱۰ تا ۴/۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده گردید. بیشترین فراوانی بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی ۴/۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود. فراوانی بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی ۴/۰ کیلوگرم بر مترمکعب نسبتاً کم بود. میانگین بهره‌وری آب برای فاصلهٔ کاشت یک ردیفه ۴/۱ کیلوگرم بر مترمکعب و برای فاصلهٔ کاشت دو ردیفه ۴/۸ کیلوگرم بر مترمکعب و دامنهٔ آن از ۴/۷ تا ۴/۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود (جدول ۳). ضریب تغییرات بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی برای فاصله کاشت دو ردیفه ۱ درصد بود (جدول ۳). تنوع ناچیز در بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی حاصل از فاصلهٔ کاشت یک ردیفه و دو ردیفه مشاهده گردید. اندازهٔ اثر برای بهره‌وری آب از نسبت میانگین بهره‌وری آب حاصل از کاشت دو ردیفه به میانگین بهره‌وری آب حاصل از کاشت یک‌ردیفه به دست آمد. توزیع مقادیر اندازهٔ اثر بهره‌وری آب حاصل از سامانهٔ بارانی نرمال بود. در شکل ۲ نتیجه مقایسه بهره‌وری آب حاصل از کاشت دو ردیفه نسبت به یک ردیفه سیب‌زمینی با رهیافت فراتحلیل ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد اعمال کاشت دو ردیفه، نسبت به تیمار یک ردیفه، روی بهره‌وری آب اثر مثبت (۱۶ درصد) داشته است.

نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش نشان داد برخلاف بررسی‌های گسترده در خصوص اثر آرایش کاشت بر تولید و بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی، یافته‌ها تنوع و نتایج واریانس بسیار زیادی دارند. آرایش کاشت بهینه در تولید سیب‌زمینی مشخص نشده است. فراتحلیل، به‌عنوان رهیافتی توانمند، یافته‌های دقیقی برای

تلفیق نتایج پژوهش‌های آرایش کاشت در سامانه‌های آبیاری سیب‌زمینی موجب گردیده و دامنه‌های مستند و مشخصی برای عملکرد و بهره‌وری آب در تولید محصول معین کرده است. در این مطالعه، مقایسه‌های آماری بین ردیف‌های کاشت سیب‌زمینی از ۶۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر به‌صورت یک ردیفه و دوردیفه و با سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی بر اساس شاخص‌های عملکرد و بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی صورت گرفت. بیشترین بهره‌وری آب (۶/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب) برای فاصلهٔ کاشت یک ردیفه با سامانه قطره‌ای و بیشترین عملکرد برای فاصلهٔ کاشت دوردیفه به دست آمد. درحالی‌که بررسی جنبه‌های اقتصادی استفاده از سامانه‌های آبیاری نیز دارای اهمیت زیادی است. مطالعهٔ دیگر عامل‌های مؤثر در تولید سیب‌زمینی از رویکرد مهندسی آبیاری نیز نیاز به بررسی با رهیافت فراتحلیل دارد.

قدردانی

مؤلفین از موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، استانداری استان همدان و مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان و آذربایجان شرقی به دلیل تأمین اعتبارات لازم برای اجرای این طرح پژوهشی قدردانی می‌نماید.

منابع

Ahmadi. K. Ebadzadeh. H. R. Hatami. F. Abdshah. H. & Kazemian. A. (2020). *Agricultural Statistics of the Crop in Year 2018-2019*. Volume I: Crop Products. Ministry of Jahad e Agriculture Deputy of Planning and Economy Information and Communication Technology Center. 97 p. (in Persian)

Asl Ghorghani. R. & Damavandi. A. (2004). The effect of variety and plant density onyield and yield components of potato tuber. *Agricultural Sciences*. 14(3): 41-50. (in Persian)

Awari. H. W. & Hiwase. S. S. (1994). Effect of irrigation systems on growth and yield of potato. 185-187.

Baghani. J. (2009). Effect of planting pattern and water quantityon Potato Cultivation with Drip Irrigation in Mashhad. *Water and Soil*, 23(1), doi: 10.22067/jsw.v0i0.1547. (in Persian)

Bahramloo. R. & Nasseri. A. (2009). Optimum irrigation events for potato cultivar Agria. *International Journal of Agriculture and Biology*. 11(6): 712-716.

Bahramloo. R. & Nasseri. A. (2010). Effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of potato cultivar Santeh. *Iranian Journal of lrrigation and Drainage*. 1(4):90-98. (in Persian)

Bahramloo. R. & Seyedan. S. M. (2017). Comparison of Productivity of Production Factors in Fixed Classic Sprinkler and Furrow Irrigation Systems in Potato Fields of Kaboodrahang Plane in Hamedan Province. *Journal of Water Research in Agriculture*, 31(4), 559-569. doi: 10.22092/jwra.2018.115717. . (in Persian)

Chen. R., Cheng. W., Cui. J., Liao. J., Fan. H., Zheng. Z. & Ma. F. (2015). Lateral spacing in drip-irrigated wheat: The effects on soil moisture, yield, and water use efficiency. *Field Crops Research, 179*, 52-62.

FAOSTAT .(2018). Available at: https://www.fao.org/faostat/en/ Accessed: November 20, 2021.

Faridi Mayvan. F., Jami Al- Ahmadi. M., Eslami. SV. & Shojaei Noferest. K. (2019). Investigating the effect of different planting patterns on potato growth indices under different levels of irrigation and potassium sulfate fertilizer. *Applied Research in Field Crops*. 32(2): 1-24. (in Persian)

Ghadami Firouzabadi. A. (2023). Investigation and selection of suitable wheat irrigation system with meta-analysis method. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *17*(2), 291-303. (in Persian)

Ghadami Firouzabadi. A. & Seyyedan. M. (2006). *Technical and economic evaluation of water consumption in surface irrigation of potatoes in Bahar region*. Iranian Agricultural Engineering Research Institute. Research report. 85/1114. (in Persian)

Gurevitch. J. & Hedges. L.V. (1999). Statistical issues in ecological meta-analyses. *Ecology* 80: 1142-1149.

Hedges. L.V. Gurevitch. J. & Curtis. P.S. (1999). The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. Ecology 80: 1150-1156.

Huang. S., Zeng. Y., Wu. J., Shi. Q. & Pan. X. (2013). Effect of crop residue retention on rice yield in China: A meta-analysis. *Field crops research* 154:188-194.

Izanlo. B. & Habibi. M. (2011). Application of meta-analysis in social and behavioral science: a review of advantages, disadvantages, and methodological issues. RBS 2011; 9 (1)

Karimkhah. M.A., Nasr Esfahani. M. & Mohammadinejad. A. (2014). Studies on interactions of varieties, irrigation regimes and planting types on early blight disease of potato. *Research in Plant Pathology*. 2(1):1-12. (in Persian)

Kharrou. M. H., Er-Raki. S., Chehbouni. A., Duchemin. B., Simonneaux. V., Le Page. M ... & Jarlan. L. (2011). Water use efficiency and yield of winter wheat under different irrigation regimes in a semi-arid region. *Agricultural Sciences in China*, 2(03), 273-282.

Molaei. B., Gheysari. M., Mostafazadeh-Fard. B., Landi. E. & Majidi. M. M. (2015). Evaluation of Yield and Yield Characteristics of Two Potato Varieties under Sprinkler and Trickle Irrigation Systems. *JWSS*. 19 (71) :241-251

Moshayyedi. M.,SH., Khaghani. SH., Khaghani. SH., Rahmati. S. & Rajaei. F. (2010). Investigating the effect of planting patterns on yield and yield components of Agria and Lady Rosita potato cultivars in Arak region. *Findings of Modern Agriculture*. 4: 275-283. (in Persian)

Najafi Mousavi. S. (2011). Investigating the effect of time, irrigation method and planting pattern on yield and yield components of potato cultivars in Jiroft region. *New Findings of Agriculture*. 4: 413-421. (in Persian)

Rezvani. S. M., Ghadami Firouzabadi. A., Soltani. H. & Jafari. A. M. (2019). Effect of different potato sowing pattern on yield and water productivity under sprinkler and drip irrigation conditions. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *13*(5), 1307-1316. (in Persian)

Rosegger. S., Dambroth. M. & Siegert. E. (1977). Results of trickle irrigation in row crops. *Bauforschung Volkenrod*, 27(2) 242-251

Rosenthal. R. & Dematteo. M.R. (2001). Metaanalysis: recent developments in quantitative methods for literature. *Annual Review of Psychology* 52: 59-82.

Sabbah. A. & Ghaffari Nejad. SA. (2008). Determination of the best water level as trickle, irrigation and method of tape replacement on potato yield in Jiroft area. *Pajouhesh & Sazandegi*. 79 (194-199). (in Persian)

Sadrghayen. S.H., Nakhjavani Moghadam. M. M. & Baghani. J. (2010). The effect of planting patterns and different water levels on potato yield in drip irrigation method (tape) in Firouzkouh area. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. Number 1 (4): 99-108. (in Persian)

Salemi. HR., Soliamanipur. A. & Tavakoli. AR. (2016). Effect of Different Irrigation and Planting Methods on Water Productivity and Health of Commercial Varieties of Potato. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 14(1): 48-58. (in Persian)

Siadat. S.A., Hashemi Dezfuli. S.A., Sadeghzadeh Hemayati. S., ValiZadeh. M., Nurmohammadi. GH. & Fathi GH. (2000). The effect of planting pattern and density on yield and morphological features of three potato cultivars in Ardabil region. *Agricultural Sciences*. 6: 91-111. (in Persian)

Soleimani Pour. A., Bagheri. A., & Vaseghi. E. (2011). Economic Evaluation of Irrigation Methods on Yield of Potato Varieties in Isfahan Province. *Agricultural Economics Research*, *3*(9), 143-164.

Toraji zadeh. H., Naderi Darbaghshahi. MR., Soleymani A. & Golparvar. AR. (2011). The effect of plant density, planting patterns and application of phosphorus amounts on agronomic characteristics and yield of potato in Faridan region of Isfahan. *Findings of Modern Agriculture*. 6(1): 17-28. . (in Persian)

Weatherhead. E. K., & Danert. K. (2002). *Survey of irrigation of outdoor crops in 2001–England*. Cranfield University, Silsoe.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.24/No.93/ Winter 2023/P:79-100

Original Research

Meta-analysis of the Effect of Planting Patterns and Irrigation Systems on Potato Yield and Water Productivity

Reza Bahramloo, Abolfazl Nasseri*, Mohammad Mehdi Nakhjavanimoghaddam, Ali Ghadami Firouzabadi, Nader Abbasi

*** Corresponding Author**: Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran
Received: 2 April 2024, **Accepted:** 21 July 2024
Email: nasseri_ab@yahoo.com
https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2024.365362.1576

Introduction

Potato is a plant with a lot of nutritional value that is cultivated and produced in more than 150 countries of the world. Potato production of this product is increasing, due to the high adaptability to different climate conditions in the world. The annual global production of potato is 310 million ton, which is obtained from 23 million ha of agricultural land in the world. The cultivated area of potato in Iran in the crop year of 2017-2018 was 154000 ha with the production of more than 5 million tons. In total, 55% of the cultivated area and about 60% of the annual production belong to Hamedan, Ardabil, Isfahan, Kordestan, East Azarbaijan and Lorestan provinces. Studies on the effect of planting patterns on yield and water productivity in potato production have a long history at the international and national levels. It is difficult to draw general conclusions and recommendations for the application of appropriate treatments due to the differences in treatments and research findings. Therefore, the objective of this study was to apply a meta-analysis approach to summarize the results of several investigations on the effect of planting patterns on yield and water productivity in potato production.

Methodology

Several scientific papers published by international and national researchers on potato planting patterns were reviewed, screened, and analyzed. Control and experimental treatments have been applied in studies on the investigation of the effect of planting patterns on yield and water productivity in potato production. The spacing of potato planting rows in different experiments including 60, 75, 120, and 150 cm has been reported as a single-row and/or two-row under drip and/or sprinkler irrigation systems.

The steps of meta-analysis are briefly described below.

A) The intensity of relationships between variables cannot be determined by statistics or statistical tests. Therefore, it is necessary to apply effect measurement indicators. One of these indicators is the effect ratio index (R). The effect ratio (R) is obtained from the ratio of the average traits measured in the research treatment to the average traits in the control treatment. These traits included yield and water productivity in potato production.

B) The percentage of changes in the traits resulting from the experimental treatment (CH %) compared to the control treatment is obtained from the following relationship: $CH\,\% = (R - 1) \times 100$

Results and Discussion

The average yield of potatoes was 33000 kg ha^{-1} and water productivity was 5.46 kg m^{-3} in the control treatment with row spacing of 75 cm. The combined results showed that increased yield by changing the planting spacing from 75 cm to 60 cm 33%, to 120 cm 18%, and to 150 cm 8%, respectively. While the application of planting spacing treatments on water productivity was not statistically significant. Minor positive effects were observed compared to the effect of the control treatment. The highest positive effect was in the planting spacing of 60 cm (10%). Changes in yield and water productivity in two-row cultivations compared to single-row under the drip system decreased by 7%, while increased yield and water productivity were 4.6% and 16% under the sprinkler system, respectively.

Conclusion

The findings on the effect of planting patterns on yield and water productivity in potato production, have a lot of diversity and variance results. Therefore, the optimal planting patterns in potato production has not been determined. Meta-analysis, as a powerful approach, has led to precise findings to integrate the findings of planting patterns researches under different irrigation systems. In this study, statistical comparisons were made between potato planting rows from 60, 75, 120 and 150 cm as one and two- row under drip and sprinkle irrigation systems based on potato yield and water productivity. In the control treatment with row spacing of 75 cm, the yield and water productivity averaged 33000 kg ha^{-1} and 5.46 kg m^{-3}, respectively. The findings showed that the increase in yield by changing the distance from 75 cm to 60 cm was reported by 33%, to 120 cm by 18% and to 150 cm by 8%. The effect of planting distance treatments on water productivity was not statistically significant. However, partial positive effects were observed compared to the control treatment. The highest positive effect (10%) was in distance of 60 cm. Changes in yield and water productivity in two-row patterns compared to one- row with drip system decreased by 7% and with sprinkle system, yield increased by 4.6% and water productivity by 16%.

Keywords: Planting pattern, Meta-analysis, Water use efficiency, Irrigation, Irrigation management.