نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۳ / شماره ۴/ ۱۳۹۸

تأثیر فاصله لترال‌ها و قطره‌چکان‌ها بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری

محمدمهدی قره‌داغی، سیدمحمود طباطبایی[1]*، عیسی معروف‌پور و فرزاد حسین‌پناهی

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه زابل.
mehdi_gharahdaghi@yahoo.com
استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل.
smtabataba2000@yahoo.com
دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه کردستان.
isamarofpoor@yahoo.com
استادیار گروه زراعت، دانشگاه کردستان.
f.hosseinpanahi@agri.uok.ac.ir

چکیده

از اساسی‌ترین شرایط موفقیت‌آمیز بودن بهره‌برداری از یک سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ)، طراحی درست و متناسب عوامل مؤثر در عملکرد هیدرولیکی آن با توجه به شرایط مزرعه و نوع کشت می‌باشد. دو پارامتر مهم و حساس در این راستا، فاصله لترال‌ها و فاصله قطره‌چکان‌ها می‌باشد. عدم انتخاب صحیح این دو پارامتر، کارایی یک سامانه آبیاری قطره‌ای نواری را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین تأثیر بسزایی در هزینه‌های اجرای این‌گونه سیستم‌ها دارد. بدین منظور آزمایشی فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هدف بررسی اثر فاصله نوارهای آبیاری و فاصله قطره‌چکان‌ها بر روی عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب گندم در منطقه مشکین‌دشت کرج انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل فواصل مختلف نوارهای آبیاری (در سه سطح ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متری) و فاصله قطره‌چکان‌ها (درسه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری) بود. نتایج نشان داد که در بیشتر شاخص‌های مورد بررسی، فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر در فاصله لترال‌های مختلف، تیمار برتر بوده‌است. نتایج کلی این تحقیق نشان داد اگرچه فاصله لترال ۳۰ سانتی‌متر منجر به حصول بالاترین عملکرد شد، اما بر اساس بررسی‌های اقتصادی مشخص شد که بالاترین صرفه اقتصادی برای یک مزرعه گندم با سامانه آبیاری تیپ، در فاصله لترال ۴۵ سانتی‌متری قابل دستیابی خواهد بود که می‌تواند مورد توجه کشاورزان قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تیپ، بهره‌وری آب،عملکرد هیدرولیکی ، اقتصاد آبیاری تیپ

---

[1] – آدرس نویسنده مسئول: سیستان و بلوچستان، زابل، دانشگاه زابل، دانشکده آب و خاک، گروه مهندسی آب.

* – دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۸ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

مقدمه

در شرایطی که کشور به شدت با کمبود منابع آب شیرین روبه‌رو است و در دراز مدت مسئله بحران منابع آب به صورت یک مسئله جدی مطرح است، توجه به افزایش راندمان مصرف آب و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی یک ضرورت اجتناب ناپذیر است. لذا، استفاده مناسب از منابع محدود آب و استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار به‌منظور ارتقاء بهره‌وری مصرف آب امری ضروری است (قدمی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۶). آبیاری قطره‌ای به عنوان یکی از روش‌های سیستم‌های تحت فشار به علت افزایش راندمان آبیاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده و بدین علت حرکت‌های جهانی به سوی انتخاب و حتی جایگزینی این روش به جای سایر روش‌های آبیاری می‌باشد. به طوری که تاکنون سطح زیرکشت زیادی تحت پوشش این سیستم قرار گرفته است (معزی و همکاران، ۲۰۰۹). این روش بیشتر در باغات مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولی اخیراً روشی از این سیستم به نام سیستم آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) برای گیاهان ردیفی از جمله چغندرقند، ذرت، پنبه و گندم مورد استفاده قرار گرفته و در کشور ما نیز درحال گسترش و توسعه می‌باشد (اخوان، ۱۳۹۴). کاهش میزان دسترسی به آب برای تولید محصولات کشاورزی موجب شده تا محققان بر روی مقایسه و ارزیابی کارایی مصرف آب (WUE)[2] محصولات مختلف در راهبردهای مختلف مدیریت آب تمرکز کنند (فَن و همکاران، ۲۰۱۴).

در ایران زراعت گندم به دلیل سهمی که در تأمین غذای مردم و نیز کمک به زراعت‌های دیگر و تحکیم زیربنای اقتصادی کشور دارد، به تنهایی بخش گسترده‌ای از اراضی کشاورزی کشور را به خود اختصاص داده است (اسماعیل‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). گندم از محصولات اساسی کشور بوده و از ۱۹/۶۵ میلیون تن تولید غلات در سال زراعی ۹۶-۹۵، ۶۳/۱۱ درصد سهم در تولید غلات داشته است و مساحت تحت کشت آن معادل ۷۱/۱۰ درصد از سطح برداشت غلات در کشور بوده است. گندم از لحاظ سطح زیر کشت رتبه اول را در بین محصولات زراعی کشور دارد. سطح زیر کشت گندم کشور در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ حدود ۵/۴۳ میلیون هکتار بود که ۳۹/۱۴ درصد آن آبی و ۶۰/۸۶ درصد بقیه دیم بوده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۶). آبیاری از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تولید غلات در اقلیم گرم و خشک است. در حال حاضر روش آبیاری محصولات گندم و جو عمدتاً انواع روش‌های سطحی (کرتی، نواری، شیاری و جویچه‌ای) می‌باشد که نسبت به روش‌های آبیاری تحت فشار، بازده آبیاری کم‌تر و حجم آب مصرفی بیشتری دارند. استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار به ویژه قطره‌ای نواری (تیپ) باعث کاهش حداقل ۳۰ درصد مصرف آب و افزایش حداقل ۴۰ درصد کاراَیی مصرف آب می‌گردد. هم‌چنین در روش آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) با توجه به اعمال مقدار و دور آبیاری مشخص توسط کشاورزان، ظرفیت بالایی در بهبود و افزایش بازده آبیاری وجود دارد (اخوان، ۱۳۹۴).

نتایج مطالعه‌ای که بر روی سیستم آبیاری تیپ در زراعت گندم در هند انجام شد، نشان داد اگرچه در سیستم آبیاری قطره‌ای عملکرد گندم حدود ۱۰/۸ درصد کاهش پیدا کرد، اما استفاده از این سیستم باعث افزایش بهره‌وری آب به میزان ۲۴/۲۴ درصد نسبت به سیستم آبیاری سطحی نواری شد و سامانه آبیاری تیپ به عنوان راهکار مناسبی به منظور مدیریت بهتر و بالا بردن بهره‌وری آب در گیاهان متراکمی مانند گندم پیشنهاد شد (چونان و همکاران، ۲۰۱۵). در تحقیقی در کشور پاکستان نیز لظهار شد که استفاده از آبیاری قطره‌ای در زراعت گندم نسبت به آبیاری سطحی-جویچه‌ای سبب کاهش مصرف آب به میزان ۱۶/۵۶ درصد، افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۱/۵۶ درصد و افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۳۳/۳۶ درصد گردید (سلیم و همکاران، ۲۰۱۰). برتری سیستم آبیاری قطره‌ای در نقاط مختلف دنیا به اثبات رسیده است. در آزمایشی به منظور بررسی اثر آبیاری قطره‌ای و کرتی بر روی رشد و

---

[2] 2-Water Use Efficiency

عملکرد گندم در شمال چین نتایج نشان داد که سیستم آبیاری و سطوح مختلف تیمارها تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گندم زمستانه داشت. حجم آب آبیاری در هر دو نوع سیستم آبیاری به طور معنی‌داری بر روی ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ و عملکرد گندم زمستانه تأثیر گذار بود. هم‌چنین در شرایط کم‌آبیاری سیستم آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سیستم آبیاری کرتی، کارایی مصرف آب و عملکرد بالاتری داشت و صرف‌نظر از هزینه‌های سیستم آبیاری، بهره‌وری آب در سیستم آبیاری قطره‌ای بالاتر بود (وانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

یکی از مسائل مهم در طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای هزینه‌های مازاد نصب این سیستم است که بسته به فواصل مختلف نصب نوارهای تیپ می‌تواند متغیر باشد. بدین منظور در مطالعه‌ای فاصله‌های مختلف نوار تیپ در یک خاک با بافت لومی آزمایش گردید و نتایج نشان داد که هرچقدر فاصله نوارها بیشتر شود حجم آب مصرفی نیز بیشتر می‌گردد. همچنین افزایش فاصله روزنه روی نوار نیز باعث افزایش مصرف آب شد که این امر به دلیل طولانی شدن زمان رسیدن جبهه رطوبتی به یکدیگر از دو روزنه مجاور و دو نوار مجاور گزارش شد. در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد و اجزاء عملکرد گندم تحت تأثیر تیمارهای مختلف فاصله نوار و روزنه قرار نگرفت (افشار، ۱۳۹۱).

در آزمایش دیگری در فریمان به منظور تعیین فاصله بهینه نوارها در آبیاری قطره‌ای تیپ فواصل مختلف نوار شامل ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که استفاده از نوارهای آبیاری قطره‌ای تیپ با فاصله ۷۵ سانتی‌متر منجر به حصول بالاترین کارایی مصرف آب به میزان ۱/۶۵ کیلوگرم گندم به ازای هر متر مکعب آب مصرفی شد. از لحاظ عملکرد دانه نیز فاصله ۷۵ و ۶۰ سانتی‌متر به ترتیب بالاترین عملکرد را به میزان ۷۲۰۰ و ۷۶۰۰ کیلوگرم در هکتار دارا بودند (رحیمیان، ۱۳۹۱).

در چین آزمایشی با هدف تعیین اثر فاصله نوارهای آبیاری و مقدار آب آبیاری بر روی عملکرد گندم و کارایی مصرف آب در خاکی با بافت سبک لوم شنی انجام شد. تیمارهای این آزمایش شامل فاصله نوارهای آبیاری (۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متر) و مقدار آب آبیاری (۳۰۰۰، ۴۵۰۰، ۶۰۰۰، ۷۵۰۰ متر مکعب در هکتار) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله نوارهای آبیاری رشد گیاه و عملکرد دانه کاهش یافت. صرف‌نظر از مقدار آب آبیاری، تیمار فاصله نوارهای آبیاری ۳۰ سانتی‌متر دارای بالاترین شاخص سطح برگ در دوران گلدهی (۳/۹) و وزن خشک بود. هم‌چنین عملکرد دانه نیز مقدار بالاتری (۸۱۳۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به دو تیمار دیگر (۶۰ و ۹۰ سانتی‌متر به ترتیب ۷۴۵۰ و ۵۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) داشت (چن و همکاران، ۲۰۱۵). در هند نیز مطالعه‌ای با هدف بررسی عملکرد گندم در پاسخ به تغییر فاصله قطره‌چکان‌ها با هدف ارزیابی میزان بهره‌وری آب و افزایش نگهداشت آب در سیستم‌های رایج آبیاری در خاکی با بافت رسی انجام شد. در این تحقیق تیمارها شامل سیستم‌های آبیاری متداول منطقه و سیستم آبیاری قطره‌ای با فاصله قطره‌چکان‌ها در سطوح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر بودند. حداکثر ارتفاع گیاه، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد خوشه مؤثر در متر مربع، طول ریشه و مقدار کلروفیل در تیمار آبیاری قطره‌ای با فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر به دست آمد. هم‌چنین عملکرد و اجزای عملکرد دانه و ماده خشک نیز در همین تیمار بالاترین مقدار را داشت (رائو و همکاران، ۲۰۱۶).

آزمایش دیگری به منظور تعیین تأثیر فاصله قطره‌چکان‌ها (۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر) در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر روی عملکرد و کیفیت پیاز خوراکی در جنوب تگزاس صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که عملکرد و کیفیت پیاز تحت تأثیر فواصل مختلف قطره‌چکان‌ها قرار نگرفت. عدم وجود تأثیر معنی‌دار قطره‌چکان‌ها بر روی عملکرد پیاز ناشی از این حقیقت بود که مدیریت آبیاری به گونه‌ای بود که در همه تیمارها وضعیت مشابهی از نظر مقدار آب آبیاری فراهم شده بود و وضعیت رطوبت خاک در حالت بهینه قرار داشت (انسیسو و همکاران، ۲۰۰۷).

نتایج مطالعه‌ای در ایستگاه آزمایشی لانچن واقع در دشت شمال چین بر روی گندم زمستانه انجام شد، نشان داد تحت مقدار آبیاری یکسان با برنامه تک‌آبیاری (۹۰ میلی‌متر در فصل) و برنامه دو آبیاری (۴۵ میلی‌متر در فصل)، سیستم آبیاری قطره‌ای به طور قابل توجهی کارایی مصرف آب و عملکرد گندم را در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری افزایش داد. زمانی‌که مقدار آب آبیاری زیاد بود، روش‌های آبیاری میکرو باعث افزایش عملکرد نشدند و با توجه به هزینه بالای نصب این سیستم‌ها، درآمد خالص آن‌ها ۳۰ درصد کمتر از روش آبیاری کرتی بود. نتایج حاکی از آن بود که روش آبیاری کرتی برای رشد گندم زمستانه اقتصادی‌تر بوده است (فنگ و همکاران، ۲۰۱۷).

دو پارامتر مهم و حساس در راستای عملکرد مناسب و هزینه بهینه سیستم آبیاری قطره‌ای نواری، فاصله نوارهای آبیاری (لترال‌ها) و فاصله قطره‌چکان‌ها می‌باشد. عدم انتخاب صحیح این دو پارامتر در محصولات مختلف، می‌تواند کارایی یک سیستم آبیاری تیپ را تحت‌الشعاع قرار داده و باعث هدر رفت منابع شود. همانند سایر روش‌های آبیاری تحت فشار، طراحی صحیح این سیستم با در نظر گرفتن مبانی هیدرولیکی دقیق و هم‌چنین اجرا و نگهداری مناسب سیستم، جزو عوامل کلیدی برای موفقیت این روش، توجیه اقتصادی و بهره‌مندی از مزایای آن توسط کشاورزان محسوب می‌شود. استفاده از نوارهای تیپ و رهاسازی آن‌ها پس از اتمام فصل زراعی در سطح مزرعه و متعاقباً اثرات مستقیم ضایعات پلاستیک بر محیط زیست یکی از جدی ترین مشکلات این نوارها است (احمدآلی و همکاران، ۱۳۹۵). این مواد در اثر باد و سایر عوامل به راحتی جابه‌جا می‌شوند و باعث ایجاد اثرات سوء محیط زیستی نظیر آلودگی منابع آب و خاک، اثرات سوء بر حیوانات دریایی نظیر خفه شدن در اثر خوردن ذرات شناور پلاستیکی یا گرفتار شدن در زباله‌های پلاستیکی، خورده شدن پلاستیک توسط موجودات مختلف و در نهایت وارد شدن پلاستیک در چرخه غذایی انسان می‌شوند (موحامد و محمد، ۲۰۰۷). لذا انتخاب صحیح و بهینه فاصله لترال‌ها از نظر زیست‌محیطی نیز می‌تواند حائز اهمیت باشد.

علی‌رغم تحقیقاتی که در زمینه استفاده از این سیستم‌ها انجام شده است هنوز هم اصلی‌ترین سؤالات کشاورزان از کارشناسان و مروجان کشاورزی این است: در زراعت گندم از چه فاصله‌ای برای ردیف‌های نوار آبیاری استفاده شود؟ از نوارهای آبیاری با چه فاصله روزنه و چه میزان آبدهی استفاده گردد؟ واقعیت این است که تا کنون تحقیق جامعی بر روی پارامترهای مؤثر طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) روی عملکرد گیاهان ردیفی مانند گندم صورت نگرفته و یا گزارش نشده است. با توجه به خلأ مطالعات جامع و هدفمند در راستای پاسخ به سوالات کشاورزان در این خصوص، پژوهش حاضر به بررسی اثر فاصله نوارهای آبیاری و فاصله قطره‌چکان‌ها بر روی عملکرد و اجزای آن و کارایی مصرف آب در گیاه گندم پرداخته است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب واقع در مشکین‌دشت کرج از توابع استان البرز با طول ۵۰° ۵۷/۴' شرقی و عرض ۳۵° ۴۵/۵' شمالی انجام شد (شکل ۱). طبق آمار بلند مدت ۳۰ ساله، شهرستان کرج با بارندگی سالیانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر، میانگین سالیانه دمای هوای ۱۴/۴ درجه سیلسیوس، بیشینه و کمینه مطلق دما به ترتیب ۴۲ و ۲۰- درجه سیلسیوس، میانگین رطوبت نسبی ۵۳ درصد و تبخیر سالانه ۲۱۸۴ میلی‌متر دارای اقلیم نیمه-خشک با زمستان نسبتا سرد و تابستان نسبتا معتدل می‌باشد (نگرشی بر ویژگی‌های اقلیمی استان البرز، ۱۳۹۵). در جدول شماره (۱) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و در جدول شماره (۲) نتایج تجزیه آب چاه مزرعه آزمایشی مورد نظر آورده شده است.

مزرعه
ایستگاه هواشناسی
Google earth
© 2016 Google
Image © 2016 DigitalGlobe
100 m
N

شکل ۱- پلان مزرعه مورد نظر برای انجام آزمایشات از مزارع موسسه تحقیقات آب و خاک کشور

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

	خصوصیات فیزیکی							خصوصیات شیمیایی				
عمق	کلاس بافت	رس	سیلت	شن	رطوبت اشباع	رطوبت ظرفیت زراعی	رطوبت نقطه پژمردگی دائم	EC_e	اسیدیته عصاره گل اشباع	نیتروژن کل	کربن آلی	کربنات
(cm)		(٪)			(٪)			(dS.m^{-1})	(٪)			
۳۰-۰	لوم	۲۸	۳۶	۳۶	۳۲	۲۱	۹/۵	۱/۴۵	۷/۴۹	۰/۰۵	۰/۵۴	۱۰/۷۸
۶۰-۳۰	لوم	۱۶	۴۰	۴۴	۳۰	۱۹	۹	۰/۵۵	۸/۰	۰/۰۲	۰/۲۲	۱۲/۷
۹۰-۶۰	لوم	۱۲	۴۴	۴۴	۲۹/۵	۱۸/۵	۹	۰/۹۸	۸/۰	۰/۰۲	۰/۲۰	۱۱/۸

جدول ۲- نتایج تجزیه آب چاه مزرعه آزمایش مورد نظر

EC (dS.m^{-1})	نسبت جذب سدیم SAR	اسیدیته pH	کلسیم Ca^{2+}	منیزیم Mg^{2+}	سدیم Na^{+}	کلراید Cl^{-}	کربنات CO_3^{2-}	بی کربنات HCO_3^{-}	سختی
			mg.l^{-1}						
۰/۳۹	۰/۴۴	۷/۵۱	۵۵/۲	۴/۹	۱۲/۶	۱۳/۵	۰	۱۱۶	۱۵۸

آزمایش و مدل آماری

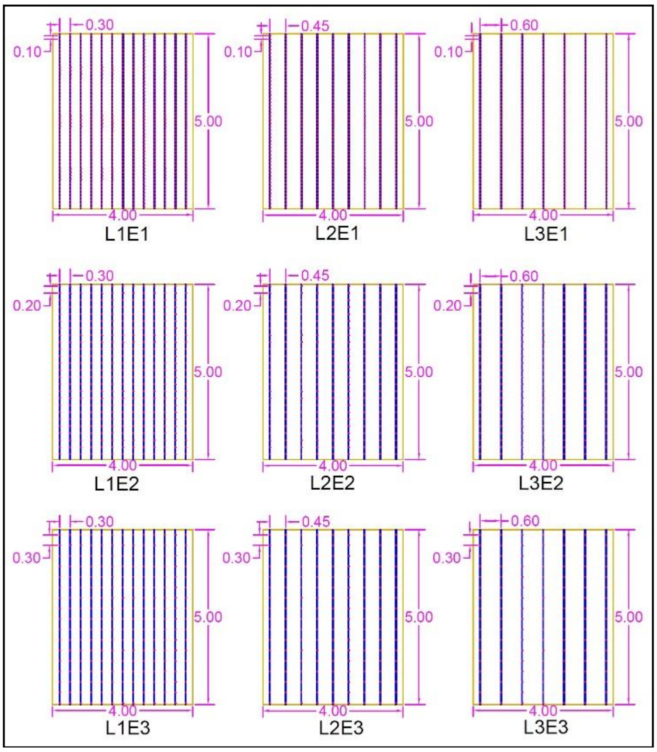
به منظور بررسی دو عامل مؤثر در طراحی یک سیستم آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) فاصله لترال‌ها و فاصله قطره‌چکان‌ها و ترکیب‌های مختلف آن‌ها روی عملکرد و اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه گندم، در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ آزمایشی با استفاده از نتایج تحقیقات انجام شده تاکنون انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل با دو عامل فاصله نوارهای آبیاری و فاصله قطره‌چکان‌ها هر کدام در سه سطح بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد (جدول ۳). در این آزمایش هدف بررسی اثر عامل فاصله لترال‌ها، فاصله قطره‌چکان‌ها و اثر متقابل این دو عامل و گزینش بهترین حالت بود. بدین ترتیب فاصله لترال‌ها به عنوان فاکتور اول در سه سطح ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر و فاصله قطره‌چکان‌ها به عنوان فاکتور دوم و در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته

شدند. داده‌های به دست آمده از آزمایشات توسط نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شد. در شکل شماره (۲) نمایی از تیمارهای این آزمایش نشان داده شده است.

عملیات خاکورزی، آماده‌سازی زمین و داشت با توجه به عرف منطقه و توصیه‌های کارشناسی انجام شد. گندم با استفاده از ماشین خطی‌کار، بدون جوی‌پشته (مسطح)، با فاصله ۱۵ سانتی‌متر و با مصرف ۲۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار در آبان ماه سال ۱۳۹۵ کاشته شد. هم‌زمان با کاشت بذر مقدار ۱۵۰ کیلوگرم برهکتار کود اوره، ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار سوپر فسفات تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم به عنوان استارتر به زمین داده شد. در مراحل بعدی رشد در دو مرحله و در هر مرحله میزان ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره به صورت سرک به تیمارها داده شد. در این تحقیق از رقم گندم پیشتاز که یکی از رایج‌ترین ارقام گندم مورد استقبال کشاورزان در منطقه می‌باشد استفاده شد. در اجرای سیستم آبیاری، از نوارهای آبیاری با آبدهی دو لیتر بر ساعت در هر قطره‌چکان با فواصل ذکر شده در جدول ۳، موجود در بازار موسوم به نوار تیپ درزدار استفاده گردید. برای تعیین زمان آبیاری نیز پس از آبیاری اول به میزان ۵۰ میلی‌متر، هر روز از اطلاعات هواشناسی ایستگاه هواشناسی مجاور مزرعه آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 (بر اساس رابطه‌ی فائو پنمن-مانتیث)، تبخیر و تعرق گیاه مرجع به صورت روزانه محاسبه می‌شد و سپس با استفاده از ضریب گیاهی پیشنهادی نشریه فائو ۵۶ (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) تبخیر-تعرق گندم به صورت روزانه محاسبه می‌شد (الرحمان، ۲۰۰۹ و اسمیت، ۱۹۹۲). دور آبیاری با توجه به مصرف روزانه گندم می‌شد. کلیه محاسبات مربوط به عمق آب آبیاری با فرض راندمان کاربرد ۱۰۰ درصد محاسبه شد. بارندگی‌های اتفاق افتاده در دوره رشد گیاه با استفاده از روش USDA S.C Method به بارش مؤثر تبدیل شده و در محاسبه نیاز آبی لحاظ می‌شد. به عبارتی دور آبیاری ثابت نبوده و هر زمان که بر اساس محاسبات عمق آب داده شده به‌علاوه بارش مؤثر داده شده به زمین تمام می‌شد، عملیات آبیاری بعدی انجام می‌شد. مقدار آب ورودی به کرت‌ها، علاوه بر دبی قطره‌چکان‌ها، با کنتور حجمی اندازه‌گیری و کنترل می‌شد. در طول دوره و در مراحل مختلف رشد و هم‌چنین در انتهای دوره و در زمان برداشت، پارامترهای مختلفی از کرت‌ها جهت مقایسه برداشت شد که در ذیل به آن‌ها اشاره اجمالی می‌گردد.

جدول ۳- عامل‌های مورد بررسی در آزمایش و سطوح مختلف هر یک از آن‌ها

ردیف	نام عامل	حرف اختصار لاتین	شماره نشانگر	تیمار
۱	فاصله نوارهای آبیاری	L: Lateral Spacing	۱	L_1: فاصله نوار آبیاری ۳۰ سانتی‌متر
			۲	L_2: فاصله نوار آبیاری ۴۵ سانتی‌متر
			۳	L_3: فاصله نوار آبیاری ۶۰ سانتی‌متر
۲	فاصله قطره‌چکان	E: Emitter Spacing	۱	E_1: فاصله قطره‌چکان ۱۰ سانتی‌متر
			۲	E_2: فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر
			۳	E_3: فاصله قطره‌چکان ۳۰ سانتی‌متر



شکل ۲- شمایی از تیمارها در آزمایش

پارامترهای مورد بررسی

تبخیر و تعرق گیاه (ET_C)

مقدار تبخیر و تعرق گیاه یکی از پارامترهایی است که در هر تیمار باید اندازه‌گیری شود. برای این منظور از روش موازنه آب خاک استفاده شد (چن و همکاران، ۲۰۱۵):

$$ET_C = -\Delta S + P + I + U - SRO - DP \qquad (۱)$$

که در آن:

ET_C تبخیر-تعرق گیاه در طول فصل رشد، ΔS تغییر در پتانسیل آب خاک، P کل مقدار بارندگی، I عمق خالص آب آبیاری، U مقدار آب صعود یافته به ناحیه توسعه ریشه از سطح آب زیرزمینی، SRO رواناب سطحی و DP تلفات نفوذ عمقی می‌باشد. در تحقیق حاضر تغییرات در پتانسیل آب خاک ناچیز و برابر با صفر بود. به دلیل پایین بودن سطح آب زیرزمینی از ترم آب صعود یافته به منطقه توسعه ریشه نیز صرف‌نظر گردید. با عنایت به کم‌شیب بودن زمین و نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای نواری) مقدار رواناب و تلفات نفوذ عمقی نیز قابل صرف‌نظر کردن بود. لذا معادله فوق به صورت زیر ساده‌سازی و در محاسبات به کار گرفته شد. مقدار بارش مؤثر در فصل زراعی برابر با ۲۰۱/۵ میلی‌متر بود.

$$ET_C = P + I \qquad (۲)$$

پارامترهای گیاهی

به منظور مقایسه بین تیمارها از نظر پارامترهای گیاهی، نمونه‌ای از وسط سطح هر کرت برداشت و پارامترهای ارتفاع گیاه و حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max})[3] توسط دستگاه سطح برگ‌سنج مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (نیکخواه و همکاران، ۱۳۹۴؛ الرحمان، ۲۰۰۹).

عملکرد و اجزای عملکرد

در این بخش پارامترهایی نظیر تعداد سنبله در متر مربع، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص

---

[3] Leaf Area Index at maturity

برداشت از نمونه‌های برداشت شده از سطح کرت‌های آزمایشی به دست آمد. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک دو شاخصه مهم عملکرد می‌باشند که معمولاً به صورت کیلوگرم در هکتار بیان می‌شوند. عملکرد دانه از تقسیم وزن دانه به دست آمده از نمونه برداشت شده از سطح هر تیمار بر مساحت سطح نمونه‌برداری و تعمیم آن به کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. عملکرد بیولوژیک نیز از حاصل تقسیم اندام هوایی به دست آمده از نمونه گیاه کف‌بر شده از هر تیمار بر مساحت سطح نمونه‌برداری و تعمیم آن به کیلوگرم بر هکتار محاسبه شد. شاخص برداشت در واقع بیان‌کننده نسبت توزیع مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد کل می‌باشد. شاخص برداشت از رابطه ذیل قابل محاسبه خواهد بود (معیری، ۱۳۹۲؛ چن و همکاران، ۲۰۱۵):

$$HI = \frac{GY}{BY} \tag{۳}$$

که در آن:

HI شاخص برداشت بر حسب درصد، GY و BY به ترتیب عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با واحد کیلوگرم بر هکتار می‌باشند.

کارایی مصرف آب (WUE)

برای محاسبه کارآیی مصرف آب از نسبت ماده خشک تولیدی به میزان تبخیر- تعرق استفاده می‌شود. کارآیی مصرف آب به صورت‌های مختلفی بیان می شود که در این مطالعه دو فرم آورده شده در ذیل برای بیان این شاخص محاسبه و استفاده شد (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۵):

$$WUE_G = \frac{GY}{ET} \tag{۴}$$

$$WUE_B = \frac{BY}{ET} \tag{۵}$$

$$WUE_B = \frac{BY}{ET}$$

که در آن:

WUE_G و WUE_B به ترتیب کارایی مصرف آب دانه و بیوماس بر حسب کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر و ET کل تبخیر-تعرق تجمعی گیاه در طول فصل رشد برحسب میلی‌متر می‌باشد. در این تحقیق از وزن دانه و وزن کاه و کلش به دست آمده از نمونه‌گیری هر کرت و با داشتن مقدار تبخیر و تعرق به میزان ۴۹۱/۵ میلی‌متر مقدار شاخص کارآیی مصرف آب برای هر تیمار محاسبه گردید.

مقایسه اقتصادی

در این پژوهش به منظور مقایسه تیمارهای مختلف سیستم آبیاری تیپ از نظر اقتصادی، مقایسه‌ای از لحاظ اختلاف درآمد (فروش گندم و کاه و کلش) و هزینه سیستم (تیپ مصرفی) صورت گرفت (ترک‌نژاد، ۱۳۹۲ و فنگ و همکاران ۲۰۱۸). محاسبات برای یک هکتار زمین با ابعاد ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر انجام شد. به منظور محاسبه اختلاف درآمد و هزینه بین تیمارها، مجموع هزینه‌های کارگری، نهاده های کشاورزی (کود، سم و ...)، خاکورزی و آماده‌سازی زمین در همه تیمارها یکسان فرض شد. فقط هزینه خرید و اجرای تیپ (تیپ‌کشی) از مجموع درآمدهای ناشی از فروش دانه، کاه و کلش گندم کسر گردید و نتایج مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

شاخص‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک (شاخص سطح برگ و ارتفاع بوته)

نتایج نشان داد که اثرات اصلی فاصله لترال و فاصله قطره‌چکان‌ها و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر صفات LAI_{max} و ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۴، $P<0.01$). بیشترین و کم‌ترین میزان LAI_{max} به ترتیب در تیمارهای L1E1 (۲/۷۵) و L3E2 (۲/۱۱) مشاهده شد (جدول ۵). در فاصله لترال ۳۰ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری بین فاصله قطره‌چکان‌های ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری از نظر $\mathrm{LAI_{max}}$ وجود نداشت و با افزایش فاصله قطره‌چکان به ۳۰ سانتی‌متر میزان $\mathrm{LAI_{max}}$ کاهش یافت. در فاصله لترال ۴۵ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف فاصله قطره‌چکان‌ها وجود نداشت و در فاصله لترال ۶۰ سانتی‌متر بیشترین میزان $\mathrm{LAI_{max}}$ از فاصله قطره‌چکان ۳۰ سانتی‌متری حاصل شد.

به طور کلی شاخص سطح برگ پارامتری است که بیشتر تحت تأثیر موجودیت رطوبت کافی در محیط ریشه می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۱۵). به نظر می‌رسد که در سطح L1 و L2 به دلیل توزیع مناسب‌تر رطوبت اختلاف معنی‌داری وجود نداشته است. نتایج تحقیقات چن و همکاران (۲۰۱۵) نیز این نکته را تأیید می نماید؛ اما در سطح L3 به دلیل فاصله زیاد لترال و نرسیدن رطوبت کافی به ردیف‌های دورتر از لترال، مقدار LAI_{max} کم‌تر شده است. در ارتباط با صفت ارتفاع بوته، نگاه اجمالی به جدول ۵، بیانگر این نکته است که به طور کلی تأثیر چندانی بر روی این شاخص نداشته است. به طوری که در فاصله لترال‌های ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متری هیچ تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف فاصله قطره‌چکان‌ها وجود نداشت. بیشترین و کم‌ترین ارتفاع بوته به ترتیب در تیمارهای L1E1 (۷۶/۵۶) و L1E3 (۷۲/۳۸) حاصل شد. فقط در فاصله لترال ۳۰ سانتی‌متری کاهش معنی‌دار در ارتفاع بوته در سطح E3 مشاهده شد. ارتفاع بوته شاخصی مورفولوژیکی است که بیشتر تحت تأثیر اثر متقابل ژنتیک گیاه و عوامل محیطی همچون موجودیت رطوبت در مرحله ساقه‌روی می‌باشد (آرنون، ۱۹۶۱). به طور کلی معنی‌دار نشدن پارامتر ارتفاع بوته در پژوهش حاضر می‌تواند به دلیل وجود رطوبت مناسب ناشی از بارندگی‌های بهاره در دوران ساقه‌روی باشد. افشار و همکاران (۱۳۹۱) نیز گزارش نمودند به طور کلی تیمارهای مختلف، اختلاف معنی‌داری در شاخص ارتفاع بوته نداشته‌اند. در ارتباط با صفت ارتفاع بوته، نگاه اجمالی به جدول ۵، بیانگر این نکته است که به طور کلی تأثیر چندانی بر روی این شاخص نداشته است. به طوری که در فاصله لترال‌های ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متری هیچ تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف فاصله قطره‌چکان‌ها وجود نداشت.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای گیاهی اندازه گیری شده (میانگین مربعات) در بررسی آبیاری قطره‌ای در گندم

کارایی مصرف آب (بیوماس)	کارایی مصرف آب (دانه)	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص سطح برگ	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	تعداد سنبله در متر مربع	میانگین ارتفاع بوته	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۲۰	۰/۵۲	۵۰۹/۰۴	۴/۹۲	۳	تکرار
۶۵/۷۶**	۱/۱۲ ns	۱۵/۹۰**	۰/۲۷ ns	۰/۳۵**	۳۵/۴۱**	۱۵۸/۵۶**	۱۴۳۲۳/۱۱**	۲۰/۶۸**	۲	فاصله لترال (L)
۶/۷۸ ns	۲/۸۰ ns	۱/۶۴ ns	۰/۶۷ ns	۰/۱**	۵۵/۴۴**	۲۸/۰۰**	۶۸۱۶/۴۴**	۶/۴۴**	۲	فاصله قطره‌چکان (E)
۵۶/۰۱**	۲۵/۵۸**	۱۳/۵۴**	۶/۱۸**	۰/۱۳**	۳۳/۲۶**	۴۹/۸۷**	۹۱۱۶/۴۴**	۷/۵۰**	۴	اثر متقابل (L×E)
۳/۱۶	۱/۱۹	۰/۷۶	۰/۲۹	۰/۰۱	۰/۵۳	۱/۹۴	۹۷۸/۳۷	۰/۸۲	۲۴	خطا
۶/۱۲	۷/۴	۶/۱	۷/۴	۴/۲	۲/۱	۲/۷	۴/۲	۱/۲	-	ضریب تغییرات (CV)

*، ** و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و غیر معنی دار می‌باشند

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب گندم دربرهمکنش تیمارهای فاصله لاترال و فاصله قطره چکان در سیستم آبیاری قطره‌ای

کارایی مصرف آب (بیوماس) (کیلوگرم بر مترمکعب)	کارایی مصرف آب (دانه) (کیلوگرم بر مترمکعب)	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار)	عملکرد دانه (تن در هکتار)	شاخص سطح برگ	وزن هزار دانه (گرم)	شاخص برداشت (٪)	تعداد سنبله در متر مربع	میانگین ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	فاصله قطره‌چکان (E)	فاصله نوار (L)
۲/۷۲ b	۱/۲۰ b	۱۳/۳۹ b	۵/۹۲ b	۲/۷۵ a	۳۲/۳۷ b	۴۴/۲۱ b	۷۹۵ a	۷۶/۵۶ a	E_1: ۱۰ سانتی‌متر	L1: ۳۰ سانتی‌متر
۳/۳۷ a	۱/۷۶ a	۱۶/۵۷ a	۸/۶۵ a	۲/۷۰ a	۳۹/۵۲ a	۵۲/۲۰ a	۷۵۹ a	۷۵/۰۱ a	E_2: ۲۰ سانتی‌متر	
۲/۷۹ b	۱/۴۰ b	۱۳/۷۱ b	۶/۸۷ b	۲/۵۷ b	۳۳/۷۶ b	۵۰/۱۰ a	۷۴۷ a	۷۲/۳۸ b	E_3: ۳۰ سانتی‌متر	
۳/۱۷ a	۱/۵۱ ab	۱۵/۵۷ a	۷/۴۱ ab	۲/۶۰ a	۲۹/۶۸ c	۴۷/۵۹ b	۷۵۱ a	۷۶/۱۹a	E_1: ۱۰ سانتی‌متر	L2: ۴۵ سانتی‌متر
۳/۱۵ a	۱/۵۶ a	۱۵/۴۷ a	۷/۶۸ a	۲/۷۱ a	۳۶/۸۰ a	۴۹/۶۴ a	۷۴۱ ab	۷۷/۷۳a	E_2: ۲۰ سانتی‌متر	
۳/۰۲ a	۱/۴۵ b	۱۴/۸۵ a	۷/۱۲ b	۲/۵۸ a	۳۲/۰۵ b	۴۷/۹۴ b	۷۱۵ b	۷۶/۲۴a	E_3: ۳۰ سانتی‌متر	
۲/۶۷ a	۱/۲۱ a	۱۳/۱۴ a	۵/۹۰ a	۲/۳۱ b	۳۵/۹۶ b	۴۴/۹۰ b	۷۷۴ a	۷۴/۵۲ a	E_1: ۱۰ سانتی‌متر	L3: ۶۰ سانتی‌متر
۲/۶۲ a	۱/۲۰ a	۱۲/۸۶ b	۵/۸۸ a	۲/۱۱ b	۳۸/۰۱ a	۴۵/۷۲ b	۶۹۱ b	۷۴/۴۶ a	E_2: ۲۰ سانتی‌متر	
۲/۲۳ b	۱/۱۳ b	۱۱/۰۰ c	۵/۵۶ b	۲/۶۵ a	۳۴/۵۷ c	۵۰/۵۴ a	۶۲۹ b	۷۳/۸۷ a	E_3: ۳۰ سانتی‌متر	

بیشترین و کم‌ترین ارتفاع بوته به ترتیب در تیمارهای L1E1 (۷۶/۵۶) و L1E3 (۷۲/۳۸) حاصل شد. فقط در فاصله لترال ۳۰ سانتی‌متری کاهش معنی‌دار در ارتفاع بوته در سطح E3 مشاهده شد. ارتفاع بوته شاخصی مورفولوژیکی است که بیشتر تحت تأثیر اثر متقابل ژنتیک گیاه و عوامل محیطی همچون موجودیت رطوبت در مرحله ساقه‌روی می‌باشد (آرنون، ۱۹۶۱). به طور کلی معنی‌دار نشدن پارامتر ارتفاع بوته در پژوهش حاضر می‌تواند به دلیل وجود رطوبت مناسب ناشی از بارندگی‌های بهاره در دوران ساقه‌روی باشد. افشار و همکاران (۱۳۹۱) نیز گزارش نمودند به طور کلی تیمارهای مختلف، اختلاف معنی‌داری در شاخص ارتفاع بوته نداشته‌اند.

عملکرد و اجزای آن

بر اساس نتایج به دست آمده، اثر متقابل عوامل فاصله لترال و فاصله قطره‌چکان در عملکرد دانه از نظر آماری معنی‌دار گردید (جدول ۴، $P<0.01$). لذا برش‌دهی انجام شد و نتایج مقایسه میانگین در جدول ۵ آورده شد. بالاترین عملکرد دانه در تیمار L1E2 (۸/۶۵) و کم‌ترین مقدار آن در تیمار L3E3 (۵/۵۶) مشاهده شد. در فاصله لترال ۳۰ سانتی‌متر (L1) فاصله قطره‌چکان در سطح E2 بالاترین عملکرد را داشت و با دو فاصله قطره‌چکان دیگر اختلاف معنی‌داری از خود نشان داد. در فاصله لترال ۴۵ سانتی‌متر (L2) نیز فاصله قطره‌چکان در سطح E2 بالاترین عملکرد را داشت. اگرچه اختلاف آن با تیمار L2E3 از نظر آماری معنی‌دار بود، اما مقدار عددی هر سه سطح فاصله قطره‌چکان در این فاصله لترال در محدوده هفت تن در هکتار قرار داشت. در فاصله لترال ۶۰ سانتی‌متر (L3) فاصله قطره‌چکان در سطح E1 بالاترین عملکرد را داشت. به طور کلی فاصله قطره چکان ۲۰ سانتی‌متری در همه سطوح فاصله لترال بالاترین عملکرد را از خود نشان داد. تنش آبی بیشترین تأثیر در کاهش عملکرد دانه دارد. به طوری که هر چه مقدار رطوبت در اختیار گیاه بیشتر باشد عملکرد بالاتری خواهد داشت. هر چند که واکنش محصولات مختلف به این عامل متفاوت است و مکانیزمی پیچیده دارد (چاوز و اولیویرا، ۲۰۰۴). با افزایش فاصله ردیف‌های کشت از لترال، مقدار رطوبت کاهش می‌یابد و این امر باعث کاهش وزن هزار دانه در ردیف‌های دورتر می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۱۵). لذا به نظر می‌رسد در تیمارهای با فاصله لترال بیشتر به دلیل عدم همپوشانی جبهه رطوبتی در فواصل بین دو لترال و کمبود رطوبت، عملکرد ردیف‌های دورتر کاهش یافته و باعث کاهش عملکرد دانه در این تیمارها شده است و روند کاهش عملکرد به ازای افزایش فاصله لترال روندی منطقی است.

در رابطه با پارامتر عملکرد بیوماس، بر اساس نتایج به دست آمده، اثر متقابل عوامل فاصله لترال و فاصله‌ی قطره‌چکان در این پارامتر از نظر آماری معنی‌دار گردید، اگرچه اثر اصلی فاصله لترال از نظر آماری معنی‌دار و اثر اصلی فاصله قطره‌چکان غیر معنی‌دار بود (جدول ۴، $P<0.01$). لذا برش‌دهی انجام و نتایج مقایسه میانگین آورده شد (جدول ۵). با عنایت به جدول ۵، بالاترین مقدار عملکرد بیوماس را تیمار L1E2 (۱۶/۵۷) و پایین‌ترین مقدار آن را تیمار L3E3 (۱۱/۰۰) از خود نشان داد. به طور کلی روند حاکم بر تغییرات عملکرد بیولوژیک مشابه با روند عملکرد دانه بود. با عنایت به اینکه هر چه مقدار رطوبت و یکنواختی آن و دسترسی گیاه به آن بیشتر باشد عملکرد بالاتری خواهد داشت و مطالب بیان شده در فوق، این روند، روندی منطقی به نظر می‌رسد.

در رابطه با پارامتر تعداد سنبله در متر مربع، نتایج نشان داد (جدول ۴) که اثرات اصلی فاصله لترال و فاصله قطره‌چکان‌ها و همچنین اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار بود ($P<0.01$). به طوری که بالاترین تعداد سنبله در متر مربع در تیمار L1E1 (۷۹۵) و پایین‌ترین مقدار آن در تیمار L3E3 (۶۲۹) بود. در فاصله لترال ۳۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. در فاصله لترال ۴۵ سانتی‌متری بیشترین تعداد سنبله در متر مربع در سطح E1 (۷۵۱) بود؛ اما اختلاف آماری معنی‌داری با سطح E2 نداشت و در سطح E3 (۷۱۵) نشان‌دهنده کم‌ترین مقدار تعداد سنبله در متر

مربع بود. در فاصله لترال ۶۰ سانتی‌متر تیمار برتر، تیمار L3E2 با تعداد سنبله ۷۷۴ در متر مربع بود و اختلاف آماری معنی‌داری را با دو تیمار L3E1 و L3E3 داشت. به طور کلی، فاصله لترال تأثیر چندانی بر روی تعداد سنبله در متر مربع نداشت (چن و همکاران، ۲۰۱۵). در تحقیق حاضر نیز در فاصله لترال ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر این‌گونه بود. به دلیل نابرابر بودن مقدار آب آبیاری در تیمارهای مختلف فاصله لترال در تحقیق افشار و همکاران (۱۳۹۱)، نتایج به دست آمده تحقیق حاضر کاملاً مغایر با نتایج ایشان می‌باشد.

نتایج نشان داد که در پارامتر وزن هزار دانه نیز، اثرات اصلی فاصله لترال و فاصله قطره‌چکان‌ها و همچنین اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار بوده است ($P<0.01$). بیشترین مقدار وزن هزار دانه متعلق به تیمار L1E2 (۳۹/۵۲) و کم‌ترین آن متعلق به تیمار L2E1 (۲۹/۶۸) بود. در فاصله لترال ۴۵ سانتی‌متر، برترین سطح فاصله قطره‌چکان، سطح E2 بود و این تیمار از نظر آماری، اختلاف معنی‌داری با دو سطح فاصله قطره‌چکان E1 و E3 نشان داد. به طور کلی سطح فاصله قطره‌چکان E2 (۲۰ سانتی‌متر) در تمامی سطوح فاصله لترال، سطح برتر بوده است. افزایش نسبی در وزن هزار دانه مربوط به جذب مناسب یا عدم جذب مناسب آب در دوران پسا گلدهی می‌باشد (سلیم، ۲۰۰۳). همچنین کمبود رطوبت در دوران پر شدن دانه نیز باعث کاهش وزن دانه‌ها می‌گردد (چن و همکاران، ۲۰۱۵). با افزایش فاصله ردیف‌های کشت از لترال، مقدار رطوبت کاهش می‌یابد و این امر باعث کاهش وزن هزار دانه در ردیف‌های دورتر می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۱۵). کاهش وزن هزار دانه با افزایش فاصله لترال در تیمارها منطقی به نظر می‌رسد؛ اما عدم تبعیت از روند مذکور در تیمار فاصله لترال ۶۰ سانتی‌متر، می‌تواند به دلیل یک بارنگی مناسب در دوران بعد از گلدهی باشد.

شاخص برداشت

نتایج نشان داد که اثرات اصلی فاصله لترال و فاصله قطره‌چکان‌ها و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۴، $P<0.01$). بیشترین و کم‌ترین میزان شاخص برداشت به ترتیب در تیمارهای L1E2 (۵۲/۲۰) و L3E1 (۴۴/۹۰) مشاهده شد (جدول ۵). بالا بودن شاخص برداشت عموماً بیان کننده بالا بودن عملکرد دانه می‌باشد (پنگ و همکاران، ۱۹۹۹)؛ اما در مواردی مانند L1E3 و L3E3 که با وجود این که عملکرد دانه بالا نبوده اما شاخص برداشت بالایی داشت. این امر به دلیل انتقال ماده خشک از اندام‌های هوایی به دانه در دوره دانه پرکنی و کاهش وزن اندام‌های هوایی به نظر می‌رسد (هان و همکاران، ۲۰۱۰). در هر حال این پارامتر روند مشخصی از خود نشان نداد. به طوری که در فاصله لترال ۳۰ سانتی‌متر، تیمارهای L1E2 و L1E3 با شاخص برداشت به ترتیب ۵۲/۲۰ و ۵۰/۱۰ درصد در یک رده قرار گرفته و از نظر آماری با تیمار اختلاف معنی‌داری داشتند. در فاصله لترال ۴۵ سانتی‌متر هم فاصله قطره‌چکان سطح E2 با شاخص برداشت ۴۹/۶۴ درصد به عنوان تیمار برتر خود را نشان داده و از نظر آماری اختلاف معنی داری با دو تیمار دیگر داشته است. در فاصله لترال ۶۰ سانتی‌متر تیمار L3E3 با شاخص برداشت ۵۴/۶۶ درصد تیمار برتر بوده است و از نظر آماری با دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌داری داشته است.

کارایی مصرف آب (دانه و بیوماس)

در محاسبات تبخیر-تعرق میزان رواناب و تلفات نفوذ عمقی برابر با صفر بود. سطح آب زیرزمینی نیز در منطقه پایین بود و از آب صعود یافته به ناحیه توسعه ریشه نیز صرفه‌نظر گردید. تغییرات رطوبت خاک در ابتدا و انتهای فصل رشد ناچیز بود. بارندگی مؤثر در فصل رشد نیز طبق داده‌های ایستگاه هواشناسی برابر با ۲۰۱/۵ میلی‌متر و کل عمق آب داده شده به هر کرت با توجه به کنتور حجمی برابر با ۲۹۰ میلی‌متر بود. با عنایت به ابعاد کوچک کرت‌های آزمایشی، راندمان کاربرد برابر با ۱۰۰ درصد فرض شد. لذا در این پژوهش میزان تبخیر-تعرق برابر با ۴۹۱/۵ میلی‌متر به دست آمد. از تقسیم مقدار عملکرد (دانه و بیوماس) بر مقدار تبخیر و تعرق (۴۹۱/۵ میلی‌متر) مقدار

کارایی مصرف آب با واحد کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی توسط گیاه به دست آمد. بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) اگرچه اثر اصلی فاصله لترال و فاصله قطره‌چکان از نظر آماری معنی‌دار نبود، ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار گردید ($P<0.01$). لذا برش‌دهی آماری صورت گرفت و فاصله قطره‌چکان‌های مختلف در هر یک از فاصله لترال‌ها مورد مقایسه میانگین قرار گرفتند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) بالاترین کارایی مصرف آب دانه در تیمار L1E2 (۱/۷۶) و پایین‌ترین مقدار آن در تیمار L3E3 (۱/۱۳) به دست آمد. در سطح فاصله لترال ۳۰ سانتی‌متر، بالاترین کارایی مصرف آب متعلق به سطح فاصله قطره‌چکان E2 بود. به نحوی که با تولید ۱/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب اختلاف معنی‌داری را با E1 و E3 نشان داد. چن و همکاران (۲۰۱۵) نیز مقدار کارایی مصرف آب در فاصله لترال ۳۰ سانتی‌متری را برابر با ۱/۲۲ گزارش کرده‌اند. نتایج حاصل از پژوهش فنگ و همکاران (۲۰۱۸) مقدار کارایی مصرف آب را در آبیاری قطره‌ای برابر با ۱/۹۵ گزارش کرده است. نتایج افشار و همکاران (۱۳۹۱) نیز بالاترین کارایی مصرف آب را در فاصله لترال ۵۰ (کمترین فاصله لترال) و فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر (۱/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب) نشان داده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. در فاصله لترال ۴۵ سانتی‌متر نیز سطح فاصله قطره‌چکانی E2 (L2E2) با تولید ۱/۵۶ کیلوگرم بر متر مکعب برترین تیمار بود. اگرچه این تیمار با تیمار L2E1 از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را نشان نداد؛ اما با تیمار L2E3 اختلاف معنی‌داری را به نمایش گذاشت. در فاصله لترال ۶۰ سانتی‌متر نیز برتری با تیمار سطح قطره‌چکان‌های E2 و E1 با کارایی مصرف آب ۱/۲۰ و ۱/۲۱ کیلوگرم بر متر مکعب بود. در تحلیل برتری آماری فاصله قطره‌چکان E2 نسبت به E1 و E3 سانتی‌متر، به نظر می‌آید که در فاصله کم‌تر با عنایت به بالا رفتن سرعت پخش آب در سطح خاک باعث ایجاد رواناب سطحی شده و باعث ممانعت از نفوذ عمقی مناسب می‌گردد که تأثیر این امر خود را در عملکرد دانه تولید شده و کارایی مصرف آب در فاصله قطره‌چکان E1 نشان داده است.

در پارامتر کارایی مصرف آب بیوماس (زیست توده)، نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر فاصله لترال از نظر آماری معنی‌دار و اثر فاصله قطره‌چکان غیر معنی‌دار بود؛ اما اثر متقابل فاصله لترال و فاصله قطره‌چکان را در این پارامتر از نظر آماری معنی‌دار نشان داد ($P<0.01$). با عنایت به جدول مقایسات میانگین (جول ۵) برترین تیمار، تیمار L1E2 با کارایی مصرف آب بیوماس ۳/۳۷ و ضعیف‌ترین تیمار، تیمار L3E3 با مقدار ۲/۲۳ کیلوگرم بر متر مکعب بود. در این پارامتر مطابق با جدول ۵، مشاهده شد همان روند حاکم بر کارایی مصرف آب دانه در لترال‌های ۳۰ سانتی‌متر برقرار بود. در فاصله لترال ۴۵ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نگردید. در فاصله لترال ۶۰ سانتی‌متر هم تیمار L3E1 (۲/۶۷) برترین تیمار بود و پس از آن تیمار L3E2 با کارایی مصرف آب بیوماس ۲/۶۲ کیلوگرم بر متر مکعب جایگاه دوم را به خود اختصاص داد. به طور کلی با افزایش مقدار آب آبیاری مقدار کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۵). لذا در تحقیق حاضر به دلیل یکسان بودن مقدار آب آبیاری برای کلیه تیمارها، به نظر می‌رسد عامل تأثیرگذار بر مقدار کارایی مصرف آب، میزان عملکرد دانه و بیوماس بوده است. همان طور که در فوق بیان شد به نظر می‌رسد عوامل مؤثر در بالا رفتن عملکرد (یکنواختی توزیع رطوبت و همپوشانی جبهه رطوبت لترال‌ها) باعث تأثیر در افزایش کارایی مصرف آب در تیمار ۳۰ سانتی‌متر و روند حاکم در این تحقیق شده است.

مقایسه اقتصادی

صرفه اقتصادی در ارزیابی عملکرد طرح‌های کشاورزی نکته بسیار مهمی می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۱۵). همانطور که نتایج این تحقیق نشان داد، به طور کلی فاصله لترال ۳۰ سانتی‌متر بالاترین عملکرد را از خود نشان داده است؛ اما در گزینش و انتخاب بهترین فاصله لترال برای کشاورزان، عوامل صرفه اقتصادی نقش بسیار تعیین

کننده‌ای دارند (فن و همکاران، ۲۰۱۴). برای مشخص شدن این موضوع باید به بررسی هزینه‌های مترتب در سطح یک مزرعه یک هکتاری پرداخت و نتایج آن مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان فاصله لترال بهینه را انتخاب نمود. برای این منظور در جدول ۶ مقدار تیپ مصرفی، هزینه تیپ، هزینه‌های اجرا و تفاوت آن با درآمد ناشی از فروش گندم و کاه و کلش آن، در هر یک از حالت‌ها، در یک مزرعه یک هکتاری آورده شده است.

جدول ۶- هزینه‌های تیپ مصرفی و مقایسه اقتصادی برای یک هکتار مزرعه گندم تحت سیستم آبیاری تیپ با فاصله لترال‌های مختلف

فاصله لترال	عملکرد دانه (تن در هکتار)	وزن کاه و کلش (تن در هکتار)	طول تیپ مورد نیاز در هکتار (متر)	هزینه تیپ در هکتار (میلیون ریال)	هزینه کارگری تیپ‌کشی در هکتار (میلیون ریال)	درآمد فروش گندم (میلیون ریال)	درآمد فروش کاه و کلش (میلیون ریال)	مجموع درآمدها (میلیون ریال)	مجموع هزینه‌های تیپ کشی (میلیون ریال)	تفاوت درآمد و هزینه (میلیون ریال)
۳۰ سانتی‌متر	۸/۶۵	۷/۹۲	۳۳۳۳۳	۵۰/۰۰	۵/۰۰	۱۱۲/۴۵	۱۹/۸۰	۱۳۲/۲۵	۵۵/۰۰	۷۷/۲۵
۴۵ سانتی‌متر	۷/۶۸	۷/۷۹	۲۲۲۲۲	۳۳/۳۳	۴/۰۰	۹۹/۸۴	۱۹/۴۸	۱۱۹/۳۲	۳۷/۳۴	۸۱/۹۸
۶۰ سانتی‌متر	۵/۸۸	۶/۹۸	۱۶۶۶۷	۲۵/۰۰	۳/۰۰	۷۶/۴۴	۱۷/۴۵	۹۳/۸۹	۲۸/۰۰	۶۵/۴۵

- محاسبات برای یک هکتار زمین با ابعاد ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر انجام شده‌اند.

- در جدول فوق با سال پایه ۹۷، قیمت هر متر نوار تیپ، ۱۵۰۰ ریال، هر کیلوگرم گندم، ۱۳۰۰۰ ریال و هر کیلوگرم کاه و کلش، ۲۵۰۰ ریال لحاظ شده است.

همان‌گونه که از جدول شماره ۶ مشخص است، فاصله لترال ۴۵ سانتی‌متر با وجود عملکرد دانه کمتر نسبت به تیمار فاصله لترال ۳۰ سانتی‌متر، از نظر اقتصادی با دارا بودن تفاوت درآمد و هزینه‌ای برابر با ۸۱/۹۸ میلیون ریال بر هکتار برتر بوده است؛ یعنی اگرچه تیمار ۳۰ سانتی‌متر عملکرد بالاتری داشته است، اما این افزایش عملکرد در مقابل تیپ مصرفی بیشتر و هزینه‌های ناشی از آن مقرون به صرفه نبوده است. لذا این فاصله لترال در کشت گندم می‌تواند بیشتر مورد توجه کشاورزان گندم‌کار قرار گیرد.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که فاصله لترال بر روی عملکرد گندم تأثیر مستقیم دارد. به طوری که با افزایش فاصله لترال، عملکرد گندم کاهش می‌یابد. همان گونه که از نتایج مشخص است در بیشتر شاخص‌های مورد بررسی، فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر (E2) در فاصله لترال‌های مختلف، تیمار برتر بوده است. با عنایت به داده‌های جدول مقایسات میانگین (جدول ۵) مشاهده می‌گردد، همه فاصله لترال‌های مختلف سیستم آبیاری تیپ به لحاظ کارایی مصرف آب، قابل قبول می‌باشند و با صرفه‌جویی بیشتر در مصرف آب در شرایط کم‌آبی حاضر می‌توانند بیشتر مورد توجه قرار گیرند.

در گزینش و انتخاب بهترین فاصله لترال، برای کشاورزان عوامل اقتصادی نقش بسیار تعیین کننده‌ای دارند. نتایج نشان داد فاصله لترال ۴۵ سانتی‌متر علیرغم عملکرد دانه کمتر، نسبت به دو فاصله لترال‌ها دیگر اقتصادی‌تر بوده است. همانگونه که نتایج نشان داد در فاصله لترال ۴۵ سانتی‌متر مقدار تیپ مصرفی در هکتار حدوداً ۳۳٪ نسبت به فاصله لترال ۳۰ سانتی‌متر کاهش داشت. لذا با توجه به مصرف کمتر نوار تیپ نسبت در این فاصله لترال، می‌تواند باعث کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی مواد پلاستیکی نوارهای آبیاری باشد. هم‌چنین اگر انتخاب بهترین فاصله لترال پیش از اجرای سیستم و در زمان طراحی مورد نظر باشد، انتخاب مناسب فاصله لترال و قطره‌چکان‌ها بسیار می‌تواند بر روی هیدرولیک، قطر لوله‌ها و مانیفولدها، تعداد شیرها و سایر هزینه‌های سیستم آبیاری قطره‌ای نواری تأثیر گذاشته و باعث کاهش هزینه‌های اجرای طرح گردد.

فهرست منابع

۱. احمدالی، خ.، لیاقت، ع.م. و پورمحسنی، ع. ۱۳۹۵. بررسی مسائل، مشکلات و اثرات زیست محیطی آبیاری موضعی نواری. *نشریه مدیریت آب در کشاورزی*، ۳(۱): ۵۹-۷۲.

۲. اخوان، ک. ۱۳۹۴. کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) در زراعت گندم. *نشریه فنی سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل*.

۳. افشار، ه. ۱۳۹۱. اثر فاصله لترال و فاصله روزنه در آبیاری قطره‌ای بر روی عملکرد گندم. *گزارش نهائی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی*.

۴. ترک‌نژاد، ا.، آقایی‌سربزه، م.، جعفری، ح.، شیروانی، ع.ر.، روئین‌تن، ر.، نعمتی. ع. و شهبازی، خ. ۱۳۸۵. ارزیابی فنی و اقتصادی روش آبیاری قطره‌ای در گندم و مقایسه آن با روش آبیاری سطحی. *مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی*، ۷۲: ۴۴-۳۶.

۵. رحیمیان، م.ح. ۱۳۹۱. تعیین فاصله اپتیمم نوارها در آبیاری قطره‌ای گندم. *اولین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه*. خردادماه، ۱۳۹۱، کرج، ایران، ۷-۲.

۶. بی‌نام. سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی استان البرز. ۱۳۹۵. نگرشی بر ویژگی های اقلیمی استان البرز. کرج.

۷. قدمی فیروزآبادی، ع.، چایچی، م. و سیدان، س.م. ۱۳۹۶. اثر سامانه‌های آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب سه ژنوتیپ گندم و ارزیابی اقتصادی آن‌ها در همدان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(۲): ۱۴۹-۱۳۹.

۸. معیری، م. ۱۳۹۲. تعیین پتانسیل کارآیی مصرف آب ارقام گندم در روش‌های مختلف آبیاری (بارانی، قطره‌ای و سطحی) در شرایط اقلیمی مختلف کشور. *گزارش نهائی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی*.

۹. بی‌نام. وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۹۷. آمارنامه کشاورزی (جلد اول) *محصولات زراعی، سال زراعی* ۹۶-۱۳۹۵.

۱۰. نیکخواه، م.، رحیمیان، م.ح.، روستا، م.ج. و رزاقیان،ح. ۱۳۹۴. ارزیابی برخی راهکارهای مدیریتی افزایششاخص کارآیی مصرف آب مزارع گندم درشرایط شور. *نشریه آب و توسعه پایدار*، ۳: ۵۸-۵۳.

11. Arnon, I. 1961. Some Aspects of Research on Field Crops in Israel. *National and University Institute of Agriculture, Division of Publications.*

12. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspirationGuidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome*, *300*(9), D05109.

13. Chen, R., Cheng, W., Cui, J., Liao, J., Fan, H., Zheng, Z., and 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.

14. Chouhan, S.S., Awasthi, M.K., and Nema, R. K. 2015. Studies on water productivity and yields responses of wheat based on drip irrigation systems in clay loam soil. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(7): 650.

15. El-Rahman, G.A. 2009. Water use efficiency of wheat under drip irrigation systems at Al-Maghara area, North Sinai, Egypt. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, (5): 664-670.

16. Enciso, J., Jifon, J., and Wiedenfeld, B. 2007. Subsurface drip irrigation of onions: Effects of drip tape emitter spacing on yield and quality. *Agricultural water management*, 92(3): 126-130.

17. Fan, Y., Wang, C. and Nan, Z. 2014. Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid Northwest China. *Agricultural Water Management*, *146*: 335-345.

18. Fang, Q., Zhang, X.Y., Shao, L.W., Chen, S.Y., Sun, H.Y. 2017. Assessing the performance of different irrigation systems on winter wheat under limited water supply. *Agricultural water management*, 196: 133-143.
19. Han, Z.-J., Yu, Z.-W., Wang, D., Zhang, Y.-L. 2010. Effects of supplemental irrigationbased on testing soil moisture on dry matter accumulation and distribution andwater use efficiency in winter wheat. *Acta Agron. Sin*, 36: 457–465.
20. Huang, Y., Chen, L., Fu, B., Huang, Z., and Gong, J. 2005. The wheat yields and water-use efficiency in the Loess Plateau: straw mulch and irrigation effects. *Agricultural water management*, 72(3): 209-222.
21. Chaves, M.M., Flexas, J. and Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of botany*, 103(4): 551-560.
22. Kang, S., Zhang, L., Liang, Y., Hu, X., Cai, H., and Gu, B. 2002. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateau of China. *Agricultural water management*, 55(3): 203-216.
23. Moezzi, A. A., Torfi, K., Albaji, M., and Mahjoobi, A. 2009. Optimal application of irrigation water with drip-tape method for Pashmineh Zar croplands, Andimeshk, Southwest Iran. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(2): 646-650.
24. Mohammed, A. K., & Mohammad, I. R. 2007. Fatal Polythene bag Rumen impaction in Cattle at Shika-Zaria, Nigeria. *Research Journal of Animal Sciences*, *1*(1), 6-8.
25. Peng, S., Cassman, K.G., Virmani, S.S., Sheehy, J. and Khush, G.S. 1999. Yield potential trends of tropical rice since the release of IR8 and the challenge of increasing rice yield potential. 1552-1559.
26. Rao, K. V. R., Bajpai, A., Gangwar, S., Chourasia, L., and Soni, K. 2016. Maximizing water productivity of wheat crop by adopting drip irrigation. *Research on Crops*, 17(1): 163-168.
27. Saleem, M., Waqas, A., and Ahmad, R. N. 2010. Comparison of three wheat varieties with different irrigation systems for water productivity. *International Journal of Agriculture and Applied Sciences (Pakistan)*.
28. Smith M. 1992. *CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management*. FAO irrigation and Drainage, Italy, Rome. Paper No. 26.
29. Sun, H. Y., Liu, C. M., Zhang, X. Y., Shen, Y. J., and Zhang, Y. Q. 2006. Effects of irrigation on water balance, yield and WUE of winter wheat in the North China Plain. *Agricultural water management*, 85(1): 211-218.
30. Wang, J., Gong, S., Xu, D., Yu, Y., and Zhao, Y. 2013. Impact of drip and level-basin irrigation on growth and yield of winter wheat in the North China Plain. *Irrigation Science*, 31(5): 1025-1037.
31. Zhang, J., Sui, X., Li, B., Su, B., Li, J., and Zhou, D. 1998. An improved water-use efficiency for winter wheat grown under reduced irrigation. *Field Crops Research*, 59(2): 91-98.
32. Zhang, Y., Kendy, E., Qiang, Y., Changming, L., Yanjun, S., and Hongyong, S. 2004. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 64(2): 107-122.

Effects of Laterals and Emitters Spacing on Winter Wheat Yield and Water Use Efficiency in Drip-Tape Irrigation System

M.M. Gharahdaghi, S.M. Tabatabaei[1] *, E. Maroufpoor, and F. Hosseinpanahi

PhD. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Soil and Water, Zabol University, Zabol, Iran.
mehdi_gharahdaghi@yahoo.com
Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Soil and Water, University of Zabol, Zabol, Iran.
smtabataba2000@yahoo.com
Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
isamarofpoor@yahoo.com
Assistant Professor, Department of Agricultural, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
f.hosseinpanahi@agri.uok.ac.ir

Abstract

Proper design of the factors effective in hydraulic performance of drip-tape irrigation systems appropriate to the field and crop conditions is the key for their success. For this purpose, two important and sensitive parameters are lateral spacing and emitter spacing. Lack of correct selection of these two parameters affects the drip-tape irrigation system performance and it has a significant impact on the cost of implementing such irrigation systems. To investigate the effect of the lateral and emitter spacing on winter wheat yield, its components, and water use efficiency, a factorial arrangement experiment with two factors based on randomized complete block design was conducted at the Soil and Water Research Institute Station, Karaj, Iran. The investigated factors included lateral spacing (at 30, 45, and 60 cm) and emitter spacing (at 10, 20, and 30 cm). Results showed that in most of the studied indices, the 20 cm emitter spacing in different lateral spacing was the superior treatment. The results showed that, although the 30 cm lateral spacing led to the highest yield, but based on the results of economic analysis, the highest economic performance for a wheat field could be achieved at 45 cm lateral spacing, which could be adopted by farmers.

Keywords: Trickle irrigation, Water use efficiency, Hydraulic performance, Drip-tape economics

---

[1] - Corresponding author: Assistant Professor, Water Engineering Department, University of Zabol

* - Received: May 2019 ,and Accepted: January 2020