

مقاله علمی-پژوهشی

اثر مقدار آستانه مکش خاک در مدیریت آبیاری و تناوب کشت بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت

فهیمة محمدزاده^۱، مهدی قیصری^{۲*}، حمیدرضا عشقی زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۲۷

چکیده

با توجه به پتانسیل سامانه‌های نوین آبیاری انجام آبیاری هوشمندانه یا به عبارتی تعیین زمان، مکان و مقدار آب با هدف حداکثر نمودن کارایی مصرف آب در شرایط کمبود آب اهمیت دارد. این پژوهش به منظور بررسی اثر سطوح مختلف آستانه مکش خاک قبل از آبیاری و تناوب کشت بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت سینگل کراس 606 در خاک لومی تحت سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل یک تیمار آبیاری بر اساس روبه مرسوم محاسبه تبخیر-تعرق (W_1)، دو حد آستانه مکش خاک ۴۰ کیلوپاسکال (W_2) و ۲۰ کیلوپاسکال (W_3) برای تعیین زمان آبیاری، و دو سطح نیتروژن اولیه خاک تناوب گندم - ذرت (N_{seq}) و آیش-ذرت (N_{fal}) بودند. شاخص عملکرد زیتوده و شاخص سطح برگ در طی دوره رشد و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند. بیشترین عملکرد زیتوده و دانه خشک و حداکثر شاخص سطح برگ در تیمار $N_{fal}W_3$ به ترتیب برابر ۲۵ تن در هکتار، ۱۲/۶ تن بر هکتار و ۵/۳ مترمربع بر مترمربع مشاهده شد. اختلاف کارایی مصرف آب و کارایی مصرف آب آبیاری W_3 کمترین مقدار بود که نشان‌دهنده اعمال آبیاری دقیق بر اساس نیاز آبی گیاه و کاهش تلفات تبخیر و نفوذ عمقی است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، ذرت سینگل کراس 606، مدیریت آب، مکش ماتریک

مقدمه

سیستم آبیاری موضعی به عنوان راهکاری برای استفاده بهینه از آب مورد توجه بسیاری از کشاورزان و مسئولین این استان قرار گرفته است. کشت ذرت در این استان با توجه به سازگاری آن در شرایط مختلف اقلیمی، مصرف آن در گروه بزرگ انسان، دام و طیور، قابلیت استفاده به صورت علوفه سبز، سیلو و دانه مورد توجه قرار دارد. بر اساس آمار ارائه شده توسط فائو کشت ذرت در اغلب کشورهای جهان افزایش شدیدی یافته به طوری که پس از گندم در رتبه سوم از نظر سطح زیر کشت قرار دارد (FAO, 2014).

تأمین آب مورد نیاز در زمان و مکان مناسب برای گیاه از اهداف اصلی برنامه‌ریزی آبیاری برای دستیابی به عملکرد بهینه است (امیری و همکاران، ۱۳۹۸). محققین با استفاده از روش‌های مختلف سعی در افزایش دقت تعیین آب مورد نیاز گیاه و راهکارهای مناسب برای تأمین آب مورد نیاز گیاه در زمان و مکان مناسب را دارند. به طوری که بررسی استفاده از سه روش سنسور، سنجش از دور و مدل‌سازی تعادل آب در سیستم خاک، گیاه و هوا روی گیاه ذرت نشان داد هر سه روش در تخمین آب مورد نیاز گیاه دقت مناسبی داشتند و تعیین حد آستانه جهت آبیاری در هر روش بر عمق آبیاری و دقت آن تأثیر

کشاورزی در ایران سابقه دیرینه‌ای دارد و یکی از پایه‌های اصلی در تأمین امنیت غذایی کشور محسوب می‌شود. قرارگیری ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان و مواجه شدن آن با بحران جدی آب در سالهای اخیر باعث شده است که بخش کشاورزی ایران با چالش جدی در تأمین آب مواجه شود. اصفهان از جمله شهرهای ناحیه مرکزی ایران با آب و هوای نیمه بیابانی است که کاهش منابع آب در سال‌های اخیر موجب ایجاد بحران آب در بخش کشاورزی شده است. در این شرایط استفاده از سیستم‌های آبیاری به ویژه

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(Email: gheysari@cc.iut.ac.ir)

(*- نویسنده مسئول)

است (رحیمی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹). کشت گندم و ذرت از کشت‌های متناوب رایج در بسیاری از مناطق ایران هستند. محققین نشان دادند که کشت گندم و ذرت با تناوب یونجه و همچنین استفاده از دو تا سه آیش در هر پنج سال باعث حفظ شرایط مناسب خاک و عدم کاهش عملکرد گندم و ذرت می‌شود (پیرسته انوشه و همکاران، ۱۳۹۵).

کاهش منابع آب، ضرورت حفظ تولید محصول به دلیل افزایش تقاضا و افزایش سود کشاورز، کشاورزان را به استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای-نواری در کشت ذرت ترغیب کرده است. کشاورزان به دلیل سرمایه‌گذاری اقتصادی زیادی که در سامانه‌های نوین آبیاری کرده‌اند و هزینه زیادی که بابت آماده‌سازی زمین، خرید نهاده‌های بذر و سم و کود پرداخت می‌کنند، علاقه‌مند به افزایش عملکرد در واحد سطح، بهره‌وری مصرف آب و کارایی مصرف آب هستند. تا از این طریق تولید توجیه اقتصادی داشته باشد، به همین دلیل تمایل به کم‌آبیاری در سیستم‌های آبیاری موضعی ندارند.

در سیستم آبیاری قطره‌ای امکان اجرای آبیاری متواتر و حفظ مکش خاک نزدیک به حد ظرفیت مزرعه (مقادیر کم MAD) وجود دارد. از سوی دیگر اثر مثبت حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه در عمق توسعه ریشه بر افزایش عملکرد (Gheysari et al., 2015) توسط محققین تأیید شده است. لذا با توجه به سرمایه‌گذاری زیادی که در سامانه‌های آبیاری موضعی شده است و کمبود منابع آب، بررسی اثر سطوح مختلف آستانه مکش خاک بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت در مدیریت آبیاری کامل برای بهینه نمودن مدیریت آبیاری ضرورت دارد. ظرفیت مزرعه بنابراین هدف این تحقیق بررسی اثر سطوح مختلف آستانه مکش خاک قبل از آبیاری و شرایط اولیه مزرعه بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت در خاک با بافت لوم تحت سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری بود.

مواد و روش‌ها

سایت آزمایشی

این پژوهش در سال ۱۳۹۶ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در منطقه لورک شهرستان نجف‌آباد (۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان) با موقعیت جغرافیایی ۵۳°۳۶′۳۳″ شرقی و ۳۶°۰۲′۳۵″ شمالی و ارتفاع ۱۶۳۰ متر از سطح آب‌های آزاد انجام شد. در زمان انجام تحقیق بارندگی وجود نداشت و حداکثر متوسط دمای ماهیانه ۲۸/۵ درجه سلسیوس بود (جدول ۱). بافت خاک مزرعه لوم بود، درصد ذرات در لایه‌های مختلف خاک و مقدار رطوبت حجمی در مکش‌های ۱۰، ۲۰ و ۴۰ کیلوپاسکال در جدول ۲ ارائه شده است. آب مورد استفاده در کشت با هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر و

بزرایی دارد (Bonfante et al., 2019). همچنین در سایر تحقیقات تعیین نسبت مناسب از نیاز آبی گیاه (Fang et al., 2014)، تعیین رطوبت مناسب خاک و دور آبیاری (Kresovic et al., 2016)، تعیین دستیابی به عملکرد مطلوب نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

در شرایطی که دسترسی به منابع آب محدود است مدیریت کم آبیاری برای تولید عملکرد مناسب مورد توجه قرار دارد، به طوری که برخی محققین استفاده آگاهانه از کم‌آبیاری (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۷، نادری و همکاران، ۱۳۹۴) و افزایش کارایی مصرف آب در اعمال کم‌آبیاری ملایم (Sezen et al., 2019; Segovia-Cardozo et al., 2019; Rodrigues et al., 2013; Dagdelen et al., 2006، ابراهیمی و حسن‌پور درویشی، ۱۳۹۴) را پیشنهاد می‌کنند. اگرچه در برخی تحقیقات نشان داده شده است که بیش آبیاری برای گیاهان ردیفی باعث وقوع بیشترین کارایی مصرف آب می‌شود (Kiani et al., 2016)، برخی دیگر از محققین انجام آبیاری هوشمندانه و افزایش بهره‌وری مصرف آب را با توجه به زیرساخت‌های اقتصادی انجام شده در سامانه‌های نوین آبیاری توصیه می‌کنند (قیصری، ۱۳۹۳) و اعمال کم‌آبیاری را برای جبران هزینه‌های سرمایه‌گذاری شده در سامانه‌های نوین توجیه‌پذیر نمی‌دانند (Rodrigues et al., 2013).

کارایی مصرف آب بیان‌کننده مقدار عملکرد به ازای واحد آب مصرفی گیاه است و برای ارزیابی عملکرد آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد (Segovia-Cardozo et al., 2019). مقدار این پارامتر برای زیتوده هوایی کل ذرت در بازه ۳ تا ۳/۷ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است (Sadras Grassini and Steduto, 2012) و محققین نیز با اعمال مدیریت‌های دقیق آب و کود نیتروژن ۳/۵ کیلوگرم بر مترمکعب (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۷) و ۳/۶ کیلوگرم بر مترمکعب (Kresovic et al., 2016) را گزارش کرده‌اند. مدیریت مصرف آب و کود (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Ning et al., 2019) و نوع سیستم آبیاری (El-Wahed and Ali, 2013, Oker et al., 2018) از دیگر عوامل مؤثر بر کارایی مصرف آب هستند. سیستم آبیاری قطره‌ای علاوه بر فراهم آوردن امکان مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری آسان در مزرعه (امیری و همکاران، ۱۳۹۸)، باعث افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب نسبت به سیستم آبیاری سطحی شده است (Sandhu et al., 2019).

کشاورزان برای استفاده بهینه از مزرعه از کشت متوالی یا متناوب گیاهان زراعی استفاده می‌کنند. کشت پی‌درپی یک گیاه زراعی باعث کاهش حاصلخیزی خاک و کاهش عملکرد گیاه می‌شود و کشت متناوب گیاهان زراعی بسته به نوع گیاهان زراعی که در تناوب قرار می‌گیرند بر پویایی عناصر معدنی و آلی خاک با تأثیر بر ویژگی شیمیایی خاک، میزان نگهداری و انتقال عناصر به گیاه زراعی اثرگذار

تیمارهای آزمایشی در قالب کرت‌های خرد شده در سه تکرار در ۱۸ کرت اجرا شدند. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۱۰ متر در ۲/۵ متر بودند و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بصورت تقسیط در تمام تیمارها استفاده شد. سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری برای آبیاری تیمارها نصب شد. برای هر ردیف کشت یک نوار تیپ پلاک‌دار با دبی ۱/۶ لیتر بر ساعت و فاصله روزنه ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد.

غلظت نیتروژن اولیه ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر بدون محدودیت برای کشت ذرت بود.

ذرت رقم SC606 با فاصله ۱۷ سانتی‌متر روی ردیف و فاصله ۸۰ سانتی‌متر بین ردیف در ۱۳ تیرماه ۱۳۹۶ کشت شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح نیتروژن اولیه خاک و سه سطح مدیریت آبیاری بر مبنای مکش خاک و تبخیر-تعرق محاسباتی بودند.

جدول ۱- پارامترهای هواشناسی و تبخیر-تعرق مرجع در دوره رشد گیاه در مزرعه آزمایشی در سال ۱۳۹۶

ماه	دمای حداکثر (°C)	دمای حداقل (°C)	دمای میانگین (°C)	تشعشع خورشیدی (MJ/m ² /d)	بارش (mm)	رطوبت نسبی (%)	تبخیر-تعرق مرجع (mm)
تیر	۳۶/۵	۲۰/۴	۲۸/۵	۴۱/۰	.	۲۸/۲	۸/۳
مرداد	۳۵/۴	۱۹/۴	۲۷/۴	۳۸/۷	.	۲۰/۳	۷/۹
شهریور	۳۲/۴	۱۶/۲	۲۴/۳	۳۴/۰	.	۱۸/۷	۶/۳
مهر	۲۸/۲	۱۱/۳	۱۹/۷	۲۷/۹	.	۲۳/۰	۴/۸

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق نمونه (cm)	رس (%)	شن (%)	سیلت (%)	رطوبت حجمی در مکش ۱۰ کیلوپاسکال (%)	رطوبت حجمی در مکش ۲۰ کیلوپاسکال (%)	رطوبت حجمی در مکش ۴۰ کیلوپاسکال (%)	چگالی ظاهری (kg m ⁻³)
۰ - ۲۰	۲۲/۲	۲۷/۹	۴۹/۹	۲۷/۶	۲۶/۳	۲۵/۹	۱/۳۰
۲۰ - ۴۰	۲۱/۴	۳۲/۴	۴۶/۲	۲۶/۸	۲۵/۶	۲۳/۷	۱/۳۱
۴۰ - ۶۰	۲۳/۸	۳۱/۰	۴۵/۲	۲۷/۱	۲۵/۷	۲۳/۴	۱/۲۴

Soilmoisture CO., USA, 2725ARL06-L, 2725ARL12-)

(L استفاده شد. کالیبره تانسومتر به روش میدانی با اندازه‌گیری رطوبت وزنی در دو عمق ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر در مکش‌های مختلف انجام شد. در این تحقیق رطوبت خاک در مکش ۱۰ کیلو پاسکال به عنوان رطوبت حد ظرفیت مزرعه در نظر گرفته شد. عمق آبیاری در سطح آبیاری W₂ با استفاده از معادله ۱ و برای سطح آبیاری W₃ با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید.

$$d_{W2} = \sum_{z=20}^{z=60} (\theta_{h10} - \theta_{h40}) \times z \quad (1)$$

$$d_{W3} = \sum_{z=20}^{z=60} (\theta_{h10} - \theta_{h20}) \times z \quad (2)$$

که در این روابط d_{W2} و d_{W3} بیانگر عمق آبیاری (سانتی‌متر) به ترتیب در تیمار W₂ و W₃ و رطوبت حجمی خاک در مکش ۱۰ کیلوپاسکال بر حسب درصد، θ_{h20} رطوبت حجمی خاک در مکش ۲۰ کیلوپاسکال بر حسب درصد، θ_{h40} رطوبت حجمی خاک در مکش ۴۰ کیلوپاسکال بر حسب درصد و Z بیانگر عمق توسعه ریشه ذرت (سانتی‌متر) که بین ۲۰ تا ۶۰ سانتی‌متر طی دوره رشد متغیر بود.

شرایط اولیه مزرعه آزمایشی

به منظور بررسی اثر شرایط اولیه خاک بر عملکرد و شاخص‌های عملکرد دو قطعه زمین با شرایط مختلف انتخاب شد، در یک قطعه تناوب کشت گندم-ذرت و در قطعه دیگر آیش-ذرت مورد بررسی قرار گرفت. در مزرعه با تناوب کشت آیش-ذرت (N_{fall}) هیچ کشتی در مدت ۳ سال منتهی به سال ۱۳۹۶ صورت نگرفته بود و نیتروژن نیتراتی اولیه خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متر در زمان کاشت ۷۵ کیلوگرم بر هکتار اندازه‌گیری شد. در قطعه دوم تناوب ذرت-گندم-ذرت (N_{seq}) انجام شده بود و مقدار نیتروژن نیتراتی اولیه خاک در زمان کاشت تا عمق ۶۰ سانتی‌متر برابر ۵۰ کیلوگرم بر هکتار بود.

مدیریت آبیاری

سه سطح مدیریت آبیاری شامل: مدیریت آبیاری بر مبنای تبخیر-تعرق محاسباتی ذرت (W₁) با استفاده از داده‌های بهنگام هواشناسی (esfahanmet.ir) و ضرایب گیاهی اصلاح شده پیشنهادی فائو (Allen Pereira Raes and Smith, 1998)، آبیاری در مکش خاک ۴۰ کیلوپاسکال (W₂) و آبیاری در مکش خاک ۲۰ کیلوپاسکال (W₃) بودند. برای پایش مکش خاک تانسومتر

درصد در نظر گرفته شد و عمق خالص آبیاری و عمق آب آبیاری یکسان بود. با توجه به نوع مدیریت آبیاری عمق آب آبیاری بطور دقیق بر اساس تخلیه رطوبت خاک محاسبه و اعمال می‌گردید. همچنین اندازه‌گیری رطوبت خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری با آگر و همچنین حفر پروفیل در پایان فصل کشت، عدم نفوذ عمقی را تأیید کرد، بنابراین نفوذ عمقی در معادله برابر صفر در نظر گرفته شد.

شاخص‌های اندازه‌گیری

طی فصل رشد شاخص‌های گیاهی شامل سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی در شش مرحله اندازه‌گیری و ثبت شد. به منظور حذف اثرات حاشیه‌ای، نمونه‌گیری از ردیف میانی تیمارها و به طول ۶۰ سانتی‌متر (به طور متوسط ۳ بوته) تهیه گردید. در مراحل نمونه‌گیری سطح برگ با اندازه‌گیری طول و عرض‌ترین مقطع برگ و ضریب اصلاحی 0.73 محاسبه شد (Tanko and Hassan, 2016). شاخص سطح برگ (LAI) از نسبت کل سطح برگ‌های سه گیاه ذرت به مساحتی که توسط سه گیاه اشغال شده بود، بدست آمد. وزن زیتوده در مرحله برداشت علوفه‌ای و وزن دانه در رسیدگی فیزیولوژیک نیز اندازه‌گیری شد.

کارایی مصرف آب آبیاری تحت تأثیر آب مصرفی و کارایی مصرف آب تحت تأثیر تبخیر - تعرق به ترتیب با استفاده از روابط ۶ و ۷ محاسبه گردید (Gheysari et al., 2015).

$$IWUE = \frac{Y}{ID \times 10} \quad (6)$$

$$WUE = \frac{Y}{ET_{ac} \times 10} \quad (7)$$

که در اینجا IWUE و WUE به ترتیب کارایی مصرف آب آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب) و کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)، Y عملکرد دانه یا زیتوده (تن بر هکتار)، ID عمق ناخالص آب آبیاری (مجموع عمق خالص آب و بارش) (میلی‌متر) و ET_c تبخیر - تعرق واقعی ذرت (میلی‌متر) است. ضریب ۱۰ در مخرج برای تبدیل واحد اعمال شده است. کارایی مصرف آب آبیاری و کارایی مصرف آب به صورت جداگانه براساس دانه و زیتوده محاسبه شدند.

تحلیل آماری تیمارهای آزمایشی بر اساس طرح بلوک کاملاً تصادفی در سه تکرار با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 در سطح ۱ و ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارزیابی داده‌های قرائت شده از تانسومتر

منحنی مکش - رطوبت خاک با استفاده از تانسومتر و نمونه‌گیری از خاک و تعیین رطوبت در دو عمق ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری استخراج گردید و منحنی حاصل با منحنی pF خاک که در آزمایشگاه

کنترل حجم آبیاری با استفاده از کنتور حجمی نصب شده در مسیر جریان و کنترل زمان آبیاری صورت گرفت.

زمان آبیاری به وسیله قرائت تانسومترهای نصب شده در عمق ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری کنترل و تعیین شد و قبل از انجام آبیاری هر تیمار علاوه بر قرائت تانسومترها نمونه خاک با استفاده از آگر تا عمق ۴۰ سانتی‌متری برای تعیین درصد رطوبت تهیه شد. در دو مرحله برداشت علوفه‌ای و دانه‌ای از محل نمونه‌گیری گیاهی در تمام هجده پلات آزمایشی با حفر پروفیل به ابعاد $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ متر نمونه خاک از شبکه 15×15 سانتی‌متر تهیه و رطوبت خاک جهت استفاده در بیلان آب خاک اندازه‌گیری گردید.

تبخیر - تعرق مرجع در طی دوره رشد ذرت با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه به روش فائو پنمن ماتنیت محاسبه شد (معادله ۳). ضرایب گیاهی ذرت بر اساس نشریه فائو-۵۶ استخراج و بر اساس مراحل فنولوژیکی گیاه اعمال شد (معادله ۴).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (3)$$

که در اینجا ET_0 تبخیر - تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه (مگاژول بر مترمربع بر روز)، G شار گرمای خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز)، T میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع دو متری (درجه سلسیوس)، u_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e_s فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، e_a فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال)، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) و γ ضریب ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) است.

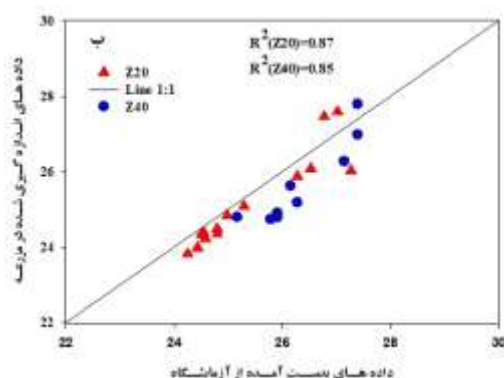
$$ET_{c(predict)} = k_c \times ET_0 \quad (4)$$

که در اینجا $ET_{c(predict)}$ تبخیر - تعرق ذرت (میلی‌متر بر روز) و k_c ضریب گیاهی است. بر اساس مقادیر پیشنهادی فائو ضریب گیاهی ذرت در مراحل اولیه، میانی و پایانی به ترتیب 0.4 ، $1/2$ و 0.6 در نظر گرفته شد. طول دوره رشد هر مرحله نیز بر اساس مقادیر پیشنهادی فائو برای مراحل اولیه، توسعه گیاه، میانی و پایانی به ترتیب برابر با ۲۰، ۳۵، ۴۰ و ۳۰ روز لحاظ گردید. مقدار تبخیر تعرق واقعی برای محاسبه کارایی مصرف آب به روش بیلان آب خاک در یک بازه مشخص (معادله ۵) محاسبه گردید.

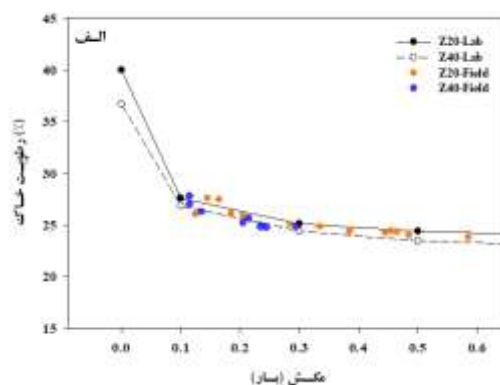
$$ET_{ac} = I_n + P - D - (\theta_2 - \theta_1) \times Z \quad (5)$$

که در این معادله ET_{ac} تبخیر تعرق واقعی (میلی‌متر)، I_n عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)، P بارش مؤثر (میلی‌متر)، D نفوذ عمقی (میلی‌متر)، θ_1 و θ_2 به ترتیب رطوبت باقیمانده در آخر فصل و رطوبت اولیه خاک و Z عمق خاک (متر) است. با توجه به کوتاه بودن طول نوارهای آبیاری و یکنواختی بالای سیستم آبیاری راندمان آبیاری ۱۰۰

لایه ۲۰ سانتی متری بود، احتمالاً در تهیه نمونه دست نخورده از عمق ۴۰ سانتی متری خطا وجود داشته یا در هر حال کمی تراکم خاک نمونه نسبت به شرایط واقعی تغییر کرده است. بنابراین توصیه می‌شود در مدیریت‌های دقیق آبیاری از منحنی‌های مکش - رطوبت استخراج شده در مزرعه استفاده شود، در این تحقیق مدیریت آبیاری بر اساس منحنی مکش - رطوبت بدست آمده در مزرعه انجام شد.



با استفاده از دستگاه صفحه فشاری بدست آمده بود مقایسه شد (شکل ۱-الف). نتایج نشان داد در محدوده مکش ۰ تا ۶۰ کیلوپاسکال متوسط خطا ۱/۵ درصد بود. نتایج نشان داد تطبیق بسیار خوبی بین داده‌های تانسیموتر و داده‌های منحنی PF خاک در عمق ۲۰ سانتی متری وجود دارد (شکل ۱-ب) اما در لایه ۴۰ سانتی متری رطوبت اندازه‌گیری شده در مکش مشخص در آزمایشگاه بیشتر از رطوبت اندازه‌گیری شده در مزرعه بود. دلیل آن را می‌توان به دانسیته خاک ارتباط داد، زیرا در لایه ۴۰ سانتی متری تراکم خاک بیشتر از



شکل ۱- الف- مقایسه مقادیر رطوبت حجمی و مکش اندازه‌گیری شده در مزرعه با استفاده از تانسیموتر با نمودار مکش- رطوبت خاک دستگاه صفحه فشاری ب- مقایسه مقادیر رطوبت استخراج شده از منحنی PF خاک و داده‌های تانسیموتر برای یک مکش مشخص در عمق‌های ۲۰ و ۴۰ سانتی متری خاک

آزمایشی طی دوره رشد ذرت در دو عمق ۲۰ و ۴۰ سانتی متر تأیید می‌نماید که در مدیریت آبیاری W_3 همواره رطوبت خاک بیشتر از رطوبت حد آستانه مدیریتی ($MAD=50\%$) بوده است (شکل ۳). در مدیریت آبیاری W_1 و W_2 در عمق‌های ۲۰ و ۴۰ سانتی متری، رطوبت خاک قبل از آبیاری گاهی کمتر از رطوبت حد آستانه رطوبتی بود، اما میانگین وزنی رطوبت در عمق ۰ تا ۴۰ سانتی متری بیشتر از رطوبت حد آستانه مدیریتی بود. این نتایج دلالت بر اعمال مدیریت آبیاری کامل بدون تنش براساس ضریب مدیریتی ($MAD=50\%$) می‌باشد (شکل ۳). در ۳۰ روز اول دوره رشد، آبیاری یکسانی اعمال شد و رطوبت حجمی خاک بین ۲۲ تا ۲۶ درصد متغیر بود. مشاهده می‌شود پس از ۵۰ روز از کشت در سطح W_1 در عمق ۲۰ سانتی متر مقدار رطوبت در بازه ۲۲ تا ۲۵ درصد حجمی و در عمق ۴۰ سانتی متر در بازه ۲۳ تا ۲۶ درصد حجمی تغییر کرده است. در سطح W_2 درصد رطوبت حجمی خاک در عمق ۲۰ سانتی متر در بازه ۲۳ تا ۲۵ درصد و در عمق ۴۰ سانتی متر در بازه ۲۱ تا ۲۶ دارای نوسان بود. در سطح W_3 تغییرات رطوبت در بازه ۲۴ تا ۲۷ درصد در عمق ۲۰ سانتی متر و در عمق ۴۰ سانتی متر در بازه ۲۴ تا ۲۷ درصد بوده است. افزایش آستانه مکش خاک از ۲۰ به ۴۰ کیلوپاسکال باعث افزایش دور آبیاری

عمق آبیاری

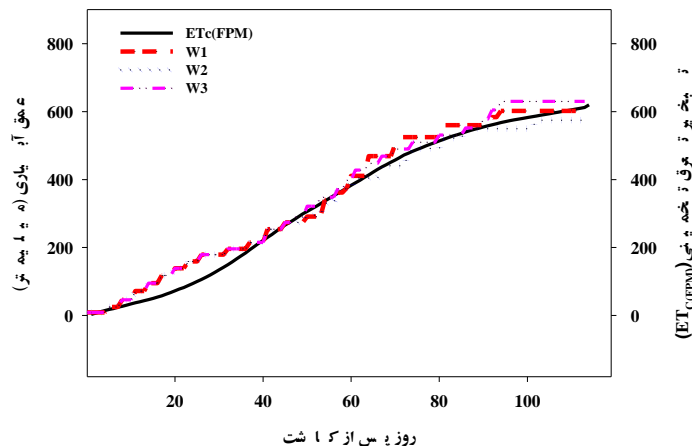
عمق آب آبیاری در تیمارهای W_1 ، W_2 و W_3 به ترتیب برابر ۶۰۰، ۵۷۵ و ۶۳۰ میلی متر بود (شکل ۲). عمق آب آبیاری در تمام فصل بر اساس عمق توسعه ریشه ۶۰ سانتی متری بکار برده شد، بنابراین قسمتی از آب کاربردی که زیر عمق ریشه فعال واقعی گیاه ذخیره شده بود، در خاک ذخیره شده و در اوایل دوره رشد توسط گیاه مصرف نشده است. این موضوع باعث شده که نمودار عمق آبیاری در ابتدای دوره رشد بالای نمودار تبخیر تفرق تخمینی قرار بگیرد. مقدار تبخیر - تفرق مرجع محاسبه شده بر اساس معادله فائو پنمن مانیتث (معادله ۳) و تبخیر - تفرق ذرت بر اساس اعمال ضرایب گیاهی فائو (معادله ۴) در طی ۱۱۳ روز دوره رشد گیاه به ترتیب برابر با ۷۲۸ و ۶۲۰ میلی متر بود. مراحل هشت برگی، شانزده برگی، گلدهی و سخت شدن دانه پس از ۴۵، ۶۳، ۷۰، ۹۸ روز از کاشت اتفاق افتاد. مقدار تبخیر - تفرق محاسباتی ذرت در این مراحل به ترتیب برابر با ۲۶۶، ۴۰۶، ۴۵۷ و ۵۷۸ میلی متر بود.

بررسی رطوبت خاک

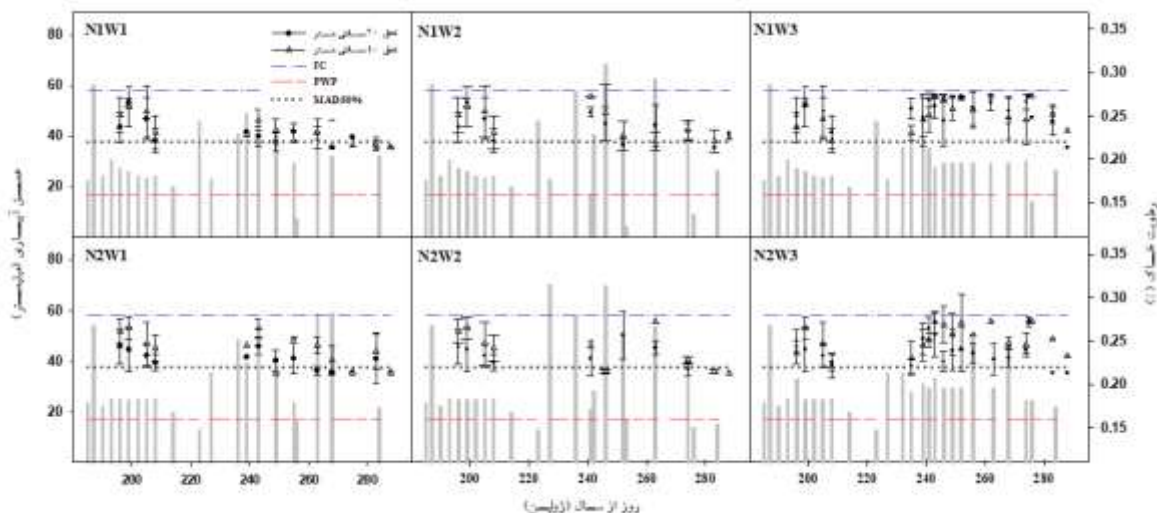
نتایج درصد رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری در تیمارهای

(مکش ۴۰ کیلوپاسکال) نسبت به سطح سوم آبیاری شده است.

و تخلیه بیشتر آب از پروفیل خاک می‌شود که همین امر باعث کاهش درصد رطوبت باقی مانده در قبل از آبیاری در سطح آبیاری دوم



شکل ۲- عمق آبیاری تیمارهای آزمایشی و تبخیر - تعرق گیاهی در دوره رشد گیاه



شکل ۳- تغییرات رطوبت خاک قبل از آبیاری در تیمارهای مدیریت آبیاری

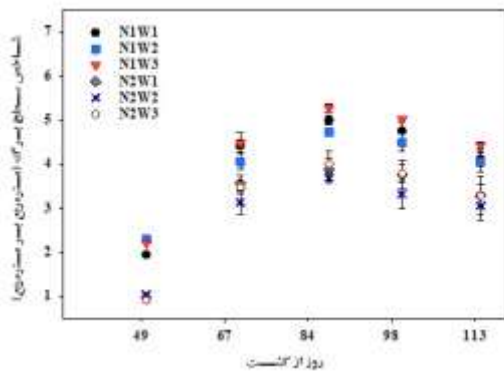
مقدار (۴/۲۴ مترمربع بر مترمربع) در تیمار $N_{seq}W_1$ رخ داده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطح آبیاری روی تمام شاخص‌های عملکرد دانه (GY)، زیتوده (TB)، حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_x) و کارایی مصرف آب آبیاری بر مبنای دانه ($IWUE_G$) معنی‌دار ($P < 0.1$) بود. این درحالی است که برهم کنش آب و نیتروژن اولیه خاک تنها بر زیتوده در سطح ۵ درصد و کارایی مصرف آب بر مبنای زیتوده (WUE_T) و کارایی مصرف آب آبیاری بر مبنای زیتوده ($IWUE_T$) در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقدار تمام شاخص‌های LAI_x ، GY، WUE و $IWUE$ در سطح N_{fal} بیش

شاخص‌های گیاهی و کارایی مصرف آب و آبیاری

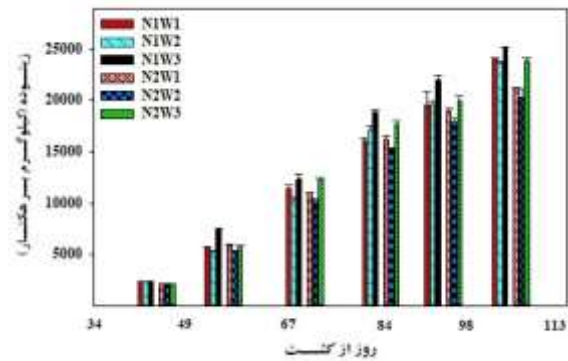
نتایج تغییرات وزن زیتوده و شاخص سطح برگ در طی دوره رشد در سه سطح آبیاری و دو سطح شرایط اولیه خاک در شکل ۴ و ۵ ارائه شده است. بیشترین و کمترین وزن زیتوده به ترتیب در سطوح W_3 و W_2 در هر دو سطح شرایط اولیه خاک مشاهده شد، به طوریکه حداکثر مقادیر زیتوده در تیمارهای $N_{seq}W_3$ و $N_{fal}W_3$ به ترتیب ۲۵ و ۲۳/۸ تن بر هکتار بود (شکل ۴). بر اساس شکل ۵، روند تغییرات شاخص سطح برگ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار حداکثر شاخص سطح برگ (۵/۲۸ مترمربع بر مترمربع) در تیمار $N_{fal}W_3$ و کمترین

N_{seq} بود (جدول ۴).

از سطح N_{seq} بود. حداکثر شاخص سطح برگ، GY و WUE در N_{fal} به ترتیب حدود ۱۵ درصد، ۲ درصد و ۱۲ درصد بیشتر از شرایط اولیه



شکل ۵- شاخص سطح برگ در تیمارهای مدیریت آب



شکل ۶- نتایج مقادیر زیتوده در تیمارهای مدیریت آب

مقدار WUE_T نسبت به $IWUE_T$ در سطح W_1, W_2, W_3 به ترتیب $0/13, 0/17$ و $0/11$ کیلوگرم بر مترمکعب بود (جدول ۴). کم بودن تفاوت WUE و $IWUE$ دلالت بر حداقل بودن تلفات و انجام آبیاری دقیق می‌باشد، بر این اساس تیمار آبیاری سوم (آبیاری در مکش ۲۰ کیلو پاسکال) بیشترین دقت را داشت. مقایسه بین کارایی مصرف آب آبیاری تحت سیستم آبیاری در تحقیقات متعدد در جدول ۵ ارائه شده است. مقایسه مقادیر WUE و $IWUE$ در تحقیقات انجام گرفته در سیستم آبیاری قطره‌ای و بارانی نشان می‌دهد که سیستم آبیاری قطره‌ای در اقلیم‌های متفاوت قادر به کاهش میزان آب مصرفی به ازای تولید یک کیلوگرم محصول نسبت به سیستم آبیاری بارانی است و همین امر باعث افزایش کارایی مصرف آب آبیاری می‌شود. سیستم آبیاری قطره‌ای با کاهش تلفات تبخیر و نفوذ عمقی و همچنین فراهم کردن بهتر آب برای گیاه در مکش‌های کمتر در مقایسه با سیستم آبیاری بارانی و حفظ رطوبت مناسب در ناحیه ریشه موجب افزایش کارایی مصرف آب آبیاری و تولید شده است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، اثر سطوح مدیریت آبیاری بر عملکرد زیتوده، دانه، حداکثر شاخص سطح برگ، کارایی مصرف آب و آبیاری معنی‌دار ($P < 0.01$) بود. بیشترین عملکرد زیتوده، عملکرد دانه، شاخص سطح برگ، کارایی مصرف آب و کارایی مصرف آب آبیاری در مدیریت آبیاری با مکش ۲۰ کیلوپاسکال و الگوی کشت آیش-ذرت (N_{fal}) و کمترین مقدار شاخص‌های مذکور در مدیریت آبیاری با مکش ۴۰ کیلوپاسکال و الگوی کشت ذرت-گندم-ذرت

نتایج نشان می‌دهد سطح مدیریت آبیاری بر عملکرد دانه و شاخص سطح برگ اثرگذار است که با نتایج تحقیقات سایر محققین تطابق دارد (Dagdelen et al., 2006; ابراهیمی و حسن‌پور درویشی، ۱۳۹۴). نتایج حاصله از پژوهش ابراهیمی و حسن‌پور درویشی (۱۳۹۴) نقش نیتروژن اولیه خاک بر عملکرد ذرت را نشان می‌دهد که در مدیریت آیش-ذرت نیتروژن اولیه خاک بیشتر بوده و سبب افزایش عملکرد در مقایسه با مزرعه ذرت-گندم-ذرت شده است. همچنین اثر نیتروژن باقیمانده در خاک تحت‌تأثیر تناوب و آیش نشان داده است که عملکرد ذرت علوفه‌ای در تناوب آیش-ذرت نسبت به شرایط تناوب گندم-ذرت بیشتر است (پیرسته انوشه و همکاران، ۱۳۹۵; Sandhu et al., 2019) که مطابق با نتایج بدست آمده در این تحقیق است.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد تفاوت معنی‌داری برای WUE و $IWUE$ بر مبنای دانه و بر مبنای زیتوده بین سطوح آبیاری و بین سطوح شرایط اولیه وجود دارد (جدول ۴). کمترین مقدار WUE_T در سطح مدیریت آبیاری W_2 و سطح شرایط اولیه N_{seq} و بیشترین مقدار آن در سطح مدیریت آبیاری W_3 و سطح شرایط اولیه N_{fal} مشاهده شد. بیشترین WUE_T و $IWUE_T$ به ترتیب برابر $3/88$ و $3/99$ کیلوگرم بر مترمکعب در سطح مدیریت آبیاری W_3 بدست آمد. کارایی مصرف آب بر مبنای دانه (WUE_G) و $IWUE_G$ در W_3 به ترتیب برابر $1/97$ و $1/91$ کیلوگرم بر مترمکعب بود. نتایج بدست آمده با نتایج طباطبایی و همکاران (۱۳۹۷) در بررسی مدیریت آبیاری و کود سیستم آبیاری قطره‌ای نواری برای ذرت علوفه‌ای مطابقت دارد. تفاوت مقدار WUE_G نسبت به $IWUE_G$ در سطح W_1, W_2 و W_3 به ترتیب $0/06, 0/08$ و $0/05$ کیلوگرم بر مترمکعب و تفاوت

بر مبنای مکش ۲۰ کیلوپاسکال در سیستم آبیاری قطره‌ای نواری ذرت در مقایسه با مکش ۴۰ کیلوپاسکال ۱۱/۵ درصد افزایش عملکرد زی‌توده و ۱۸/۶ درصد افزایش عملکرد دانه، ۰/۲ درصد افزایش کارایی مصرف آب و ۱/۷ درصد افزایش کارایی مصرف آب آبیاری بر مبنای زی‌توده دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در شرایط بحران کمبود آب با توجه به زیرساخت‌های سامانه‌های نوین آبیاری، حرکت به سمت آبیاری هوشمندانه می‌تواند عملکرد ذرت علوفه‌ای را افزایش و کارایی مصرف آب زی‌توده را تا ۳/۹۹ کیلو گرم بر متر مکعب افزایش دهد.

مشاهد شد. در الگوی کشت آیش- ذرت (N_{fal}) بیشترین عملکرد دانه و زی‌توده رخ داد و بیشترین کارایی مصرف آب بر مبنای زی‌توده در تیمار $N_{fal}W_3$ مشاهده شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت.

مقایسه مقدار WUE و IWUE در تیمارهای مدیریتی آبیاری نشان داده کمترین اختلاف بین دو شاخص (بطور متوسط ۸ درصد) در مدیریت آبیاری با مکش ۲۰ کیلوپاسکال مشاهده شد، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود مدیریت آبیاری بر اساس آبیاری در مکش ۲۰ کیلوپاسکال (W_3) تطابق بسیار زیادی با نیاز آبی گیاه ذرت داشت و نشان دهنده کاهش قابل توجه تلفات تبخیر و نفوذ عمقی و ناچیز بودن ذخیره رطوبت خاک در پایان دوره رشد می‌باشد. مدیریت آبیاری

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max})، زی‌توده، عملکرد دانه، کارایی مصرف بر مبنای دانه (WUE_G) و زی‌توده (WUE_T)، کارایی مصرف آب آبیاری بر مبنای دانه ($IWUE_G$) و زی‌توده ($IWUE_T$) میانگین مربعات

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
$IWUE_T$	WUE_T	$IWUE_G$	WUE_G	عملکرد دانه	زی‌توده	LAI		
** ۰/۸۰	** ۰/۸۶	** ۰/۱۹	** ۰/۲۰	** ۶۷۶۷۴۱	** ۲۸۰۴۴۶۱۰	** ۲/۰۳	۱	نیترژن
ns ۰/۰۱	ns ۰/۰۱	ns ۰/۰۰۴	ns ۰/۰۰۴	ns ۱۴۶۷۶۲	ns ۴۱۹۲۰۹	ns ۰/۰۵	۲	تکرار (نیترژن)
ns ۰/۰۲	ns ۰/۰۱	** ۰/۰۳	* ۰/۰۲	** ۵۳۹۸۵۸۷	** ۱۰۰۰۴۸۶۲	** ۰/۱۷	۲	آبیاری
** ۰/۰۷	** ۰/۰۷	ns ۰/۰۰۹	ns ۰/۰۰۹	ns ۳۱۷۳۸۱	* ۲۰۱۵۴۲۱	ns ۰/۰۱۲	۲	آبیاری×نیترژن
۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۱۳۸۹۹۱	۱۸۱۷۷۷	۰/۰۲	۱۰	خطا
۱/۹۳	۱/۹۵	۳/۳۱	۳/۳۱	۳/۳۵	۱/۸۵	۳/۰۵	-	ضریب تغییرات

ns, * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی نیترژن اولیه خاک و آبیاری بر شاخص سطح برگ (LAI)، زی‌توده، عملکرد دانه، کارایی مصرف بر مبنای دانه (WUE_G) و زی‌توده (WUE_T)، کارایی مصرف آب آبیاری بر مبنای دانه ($IWUE_G$) و زی‌توده ($IWUE_T$)

$IWUE_T$	WUE_T	$IWUE_G$	WUE_G	عملکرد دانه	زی‌توده	$LAI(m^2/m^2)$	عامل آزمایشی
(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kg/ha)	(kg/ha)		
نیترژن							
^a ۴/۰۴	^a ۴/۱۸	^a ۱/۹۵	^a ۲/۰۲	^a ۱۱۷۵۰	^a ۲۴۲۷۵	^a ۵/۰۶	N_{fal}
^b ۳/۶۲	^b ۳/۷۴	^b ۱/۷۵	^b ۱/۸۱	^b ۱۰۵۲۳	^b ۲۱۷۷۸	^b ۴/۳۸	N_{seq}
آبیاری							
^b ۳/۷۸	^a ۳/۹۱	^a ۱/۸۶	^a ۱/۹۳	^b ۱۱۱۸۳/۶	^b ۲۲۶۸۷	^b ۴/۵۶	W_1
^{ab} ۳/۸۲	^a ۳/۹۸	^b ۱/۷۷	^b ۱/۸۴	^c ۱۰۱۶۵/۸	^c ۲۱۹۳۹	^b ۴/۷۰	W_2
^a ۳/۸۸	^a ۳/۹۹	^a ۱/۹۱	^a ۱/۹۷	^a ۱۲۰۶۱/۲	^a ۲۴۴۵۴	^a ۴/۹۰	W_3

در هر ستون و برای هر اثر میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند.

جدول ۵- مقایسه متوسط کارایی مصرف آب و کارایی مصرف آب آبیاری در سایر تحقیقات تحت تأثیر سیستم آبیاری

محققان (سال)	موقعیت	اقلیم	سیستم آبیاری	سطوح آبیاری	ET _c (میلی متر)	عمق آبیاری (میلی متر)	عملکرد (تن بر هکتار)	WUE (kg/m ³)	IWUE (kg/m ³)
نادری و همکاران (۱۳۹۴)	خراسان رضوی ۳۶°۱۴'	نیمه خشک	آبیاری قطره‌ای (PRD)	I60	-	۵۷۶/۹	۹/۵۶	-	۱/۹۱
	I80			۶۹۶/۱		۱۴/۱۳	-	۲/۰۳	
	I100			۸۱۵/۱		۱۶/۹۰	-	۱/۹۶	
طباطبایی و همکاران (۱۳۹۷)	نجف آباد ۳۲°۳۲'	نیمه بیابانی	آبیاری قطره‌ای	0.8ET	۶۳۱	۵۸۵	۱۶/۴۰	-	۳/۳
	0.93ET			۶۳۳		۱۷/۴۸	-	۳/۱	
	ET			۶۷۸		۲۱/۰۸	-	۳/۵	
	1.06ET			۷۱۹		۲۳/۶۴	-	۳/۵۷	
قیصری و همکاران (۲۰۱۵)	ورامین ۳۵°۲۰'	نیمه بیابانی	آبیاری بارانی	0.70 SWD	-	۵۷۲	-	۲/۵۱	۱/۴۹
	0.85 SWD			۶۴۱		-	۲/۶۷	۱/۶۵	
	SWD			۷۰۷		-	۲/۳۹	۱/۶۸	
	1.13SWD			۷۶۹		-	۲/۳۱	۱/۶۳	
Kresovic و همکاران (۲۰۱۶)	Zemun Polje ۴۴°۵۲'	مدیترانه‌ای	آبیاری بارانی	I0	۵۱۳/۳	۰	۲۰/۳۷	۲/۹۰	-
	I50			۸۰		۲۴/۰۳	۳/۲۲	۲/۸۳	
	I75			۱۲۸/۳		۲۶/۳۲	۲/۹۹	۲/۵۵	
	I100			۱۷۸/۳		۳۰/۶۳	۳/۰۰	۳/۰۲	
Sandhu و همکاران (۲۰۱۹)	Ladhowal ۳۰/۹۹°	نیمه گرمسیری	آبیاری جویچه‌ای - حذف مواد باقیمانده آبیاری قطره‌ای -	-	-	۲۸۶	۹/۹۳	-	۱/۶۳
	شمالی ۷۵/۴۴°			۱۲۲		۱۱/۰۰	-	۴/۲۵	
	شرقی ۲۲۹ متر از سطح دریا			۹۷/۶		۱۱/۹۰	-	۵/۸۸	
تحقیق حاضر	نجف آباد ۳۲°۳۲'	نیمه بیابانی	آبیاری قطره‌ای	W ₁	۶۱۳	۵۸۰	۲۲/۶۸	۳/۹۱	۳/۷۸
	شمالی ۵۱°۳۲'			۵۷۵		۲۱/۹۴	۳/۹۸	۳/۸۲	
	۱۶۳۰ متر از سطح دریا			۶۳۰		۲۴/۴۵	۳/۹۹	۳/۸۸	

با مصرف آب (نیاز آبی محاسباتی و کمبود رطوبت خاک). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۹(۴): ۶۰۵-۶۱۳.

منابع

ابراهیمی، ح. و حسن‌پور درویشی، ح. ۱۳۹۴. رابطه بین عملکرد ذرت

- Fang, Q. X., Ma, L., Nielsen, D.C., Trout, T.J. and Ahuja, L.R. 2014. Quantifying corn yield and water use efficiency under growth stage-based deficit irrigation conditions. In book: Adv. Agricultural Systems Modeling Vol. 5. Practical Applications of Agricultural System Models to Optimize the Use of Limited Water (pp.1-24). Chapter: 1. Publisher: American Society of Agronomy, Crops Science Society of America, and Soil Science Society of America. Editors: L.R. Ahuja, L. Ma, R.J. Lascano.
- FAO. 2014. The State of Food and Agriculture Innovation in family farming. Rome, Italy.
- Gheysari, M., W. Loesch, H., Sadeghi, S.H., Mirlatifi, S.M., Zareian, M.J., and Hoogenboom, G. 2015. Water-yield relations and water use efficiency of maize under nitrogen fertigation for semiarid environments: experiment and synthesis. *Advances in Agronomy*. 130: 175-229.
- Kiani, M., Gheysari, M., Mostafazadeh-fard, B., Majidi, M.M., Karchani, K., & Hoogenboom, G. (2016). Effect of the interaction of water and nitrogen on sunflower under drip irrigation in an arid region. *Agricultural Water Management*, 171: 162-172.
- Kresovic, B., Tapanarova, A., Tomic, Z., Zivotic, L., Vujovic, D., Sredojevic, Z. and Gajic, B. 2016. Grain yield and water use efficiency of maize as influenced by different irrigation regimes through sprinkler irrigation under temperate climate. *Agricultural Water Management*. 169: 34-43.
- Ning, D., Qin, A., Duan, A., Xiao, J., Zhang, J., Liu, Z., Liu, Z., Zhao, B. and Liu, Z. 2019. Deficit irrigation combined with reduced N- fertilizer rate can mitigate the high nitrous oxide emissions from Chinese drip-fertigated maize field. *Global Ecology and Conservation*. 20: e00803.
- Oker, T.E., Kisekka, I., Shshukov, A.Y., Aguilar, J. and Rogers, D.H. 2018. Evaluation of maize production under mobile drip irrigation. *Agricultural Water Management*. 210: 11- 21.
- Rodrigues, G.C., Paredes, P., Gonçalves, J.M., Alves, I. and Pereira, L.S. 2013. Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated maize using multicriteria analysis and simulation modelling: Ranking for water saving vs. farm economic returns. *Agricultural Water Management*. 126: 85-96.
- Sadras, V.O., Grassini, P. and Steduto, P. 2012. Status of water use efficiency of main crops. The state of the world's land and water resources for food and agriculture, F.A.O. Thematic report No.7.
- Sandhu, O.S., Gupta, R.K., Thind, H.S., Jat, M.L., Sidhu, H.S. and Yadvinder-Singh. 2019. Drip irrigation and nitrogen management for improving crop yields, nitrogen use efficiency and water productivity of maize-wheat system on permanent
- آمیزی، ز، قیصری، م، مصدقی، م.ر، طباطبایی، م.س. و مرادیان نژاد، م. ۱۳۹۸. تعیین مکان مناسب اندازه‌گیری رطوبت خاک در مدیریت آبیاری قطره‌ای - نواری ذرت. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۳(۲): ۴۵-۵۴.
- پیرسته انوشه، ه، عدالت، م. و دهقانی، ف. ۱۳۹۵. اثر میان‌مدت تناوب‌های زراعی بر عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) و ویژگی‌های خاک. مجله علوم زراعی ایران. ۱۸(۲): ۱۴۷-۱۶۰.
- رحیمی‌زاده، م، کاشانی، ع، و زارع فیض‌آبادی، ا. ۱۳۸۹. اثر زراعت پیش‌کاشت، کود نیتروژنه و برگشت بقایای محصول بر رشد و عملکرد گندم. پژوهش‌های زراعی ایران. ۸(۱): ۹۸-۱۱۰.
- طباطبایی، م.س، قیصری، م، عابدی کوپایی، ج. و امیری، ز. ۱۳۹۷. اثر متقابل آب و نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف آب آبیاری ذرت علوفه‌ای تحت مدیریت آبیاری قطره‌ای - نواری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۶(۱۲): ۱۵۲۹-۱۵۳۹.
- قیصری، م. ۱۳۹۳. مسائل توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار با تاکید بر جایگاه آبیاری دقیق. نشست تخصصی نقد و بررسی سیاست‌های توسعه روش‌های آبیاری و تحویل آب در ایران. آذرماه، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج.
- نادری، ن، فضل‌اولی، ر، میرخالق، ض، احمدی، ت، شاهنظری، ع. و خاوری خراسانی، س. ۱۳۹۴. بررسی اثر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۳(۹): ۵۲۳-۵۳۱.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper* 56. FAO: Rome, Italy.
- Bonfante, A., Monaco, E., Manna, P., De Mascellis, R., Basile, A., Buonanno, M., Cantilena, G., Esposito, A., Tedeschi, A., De Michele, C., Belfiore, O., Catapano, I., Ludeno, G., Salinas, K. and Brook, A. 2019. LCIS DSS- An irrigation supporting system for water use efficiency improvement in precision agriculture: A maize case study. *Agricultural Systems*. 176: 102646.
- Dagdelen, N., Yilmaz, E., Sezgin, F. and Gurbuz, T. 2006. Water use relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. *Agricultural Water Management*. 82: 63-85.
- El-Wahed, M.H. and Ali, E.A. 2013. Effect of irrigation system, amounts of irrigation water and mulching on corn yield, water use efficiency and net profit. *Agricultural Water Management*. 20: 64-71.

221: 211-219.

Tanko, U., and Hassan, U.T. 2016. Leaf area determination for maize (*Zea mays* L.), okra (*Abelmoschus esculentus* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) crops using linear measurements. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 6(4): 103–111.

Zhang, G., Shen, D., Ming, B., Xie, R., Jin, X., Liu, C., Hou, P., Xue, J., Chen, J., Zhang, W., Liu, W., Wang, K. and Li, S. 2019. Using irrigation intervals to optimize water-use efficiency and maize yield in Xinjiang. Northwest china. *The Crop Journal*. 7: 322- 334.

beds in north-west India. *Agricultural Water Management*. 219: 19-26.

Segovia-Cardozo, D.A., Rodríguez-Sinobas, L. and Zubelzu, S. 2019. Water use efficiency of corn among the irrigation districts across the Duero river basin (Spain): Estimation of local crop coefficients by satellite images. *Agricultural Water Management*. 212: 241-251.

Sezen, S.M., Yucel, S., Tekin, S. and Yildiz, M. 2019. Determination of optimum irrigation and effect of deficit irrigation strategies on yield and disease rate of peanut irrigated with drip system in Eastern Mediterranean. *Agricultural Water Management*.

Effect of Soil Suction Threshold Value of Irrigation Management and Crop Rotation on Yield and Water Use Efficiency of Maize

F. Mohamadzade¹, M. Gheysari^{2*}, H.R. Eshghizadeh³,
Received: Mar.18, 2020 Accepted: May.16, 2020

Abstract

Given the potential of modern irrigation system, it is important to perform intelligently irrigation, or in other words, determine the time, place and amount of water in order to maximize water use efficiency in the face of water shortages. This study was conducted to examine the effect of different levels of soil suction threshold before irrigation and crop rotation on yield and water use efficiency of maize in loam soil under drip-tape irrigation system. The three irrigation management levels contain; irrigation based on ET_C calculation using FAO-PM equation (W_1), soil moistures suction levels of 40 kPa (W_2), and 20 kPa (W_3), and two crop rotation contains; fallow-maize (N_{fal}) and wheat-maize sequence (N_{seq}). Total biomass, and leaf area index during the growing season and grain yield at maturity stage were measured. The maximum total biomass, grain yield, and leaf area index were observed in $N_{fal}W_3$ treatment with 25 ton/ha, 12.6 ton/ha, and 5.3 m²/m², respectively. The difference between water use efficiency and irrigation water use efficiency was lowest in the third level of irrigation management, indicating a precise irrigation based on the water requirement of the plant and reducing evaporation and penetration losses.

Keywords: Irrigation management, Soil suction, SC606 variety, Water Productivity

1- Ph.D. Student in Drainage and Irrigation, Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

2- Associate Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

3- Assistant Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

(*- Corresponding Author Email: gheysari@cc.iut.ac.ir)