نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۴ / شماره ۴/ ۱۳۹۹
10.22092/jwra.2021.123620

بررسی تبخیر-تعرق واقعی و ضرایب گیاهی برنج ارقام هاشمی و شیرودی در شهرستان ساری

محمدعلی غلامی سفیدکوهی[1]، زهرا باقری خلیلی و امین قلعه‌نوی

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران.
ma.gholami@sanru.ac.ir
دانشجوی دکتری رشته مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران.
zahrabagheri587@gmail.com
دانش‌آموخته ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
amin.ghalenovi@yahoo.com

دریافت: آبان ۱۳۹۹ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۹

چکیده

به منظور مدیریت بهینه و مناسب بر منابع آبی استان‌های شمالی کشور، اندازه‌گیری مقدار تبخیر-تعرق واقعی گیاه برنج از اهمیت بالایی برخوردار است. این پژوهش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در اراضی شالیزاری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی و ضریب گیاهی دو رقم برنج (هاشمی و شیرودی) با استفاده از شش عدد لایسیمتر زهکش‌دار طراحی و احداث شد. پس از کشت برنج در درون لایسیمترها، ، مقادیر بارندگی، آب آبیاری و نشت عمقی در دوره‌های پنج روزه اندازه‌گیری شد. نتایج بدست آمده از لایسمترها نشان از تفاوت مقادیر نیاز آبی و نفوذ عمقی در دوره رشد (از مرحله نشا تا برداشت) در ارقام هاشمی و شیرودی داشت به‌طوری‌که میزان نیاز آبی این ارقام در طول دوره رشد به‌ترتیب ۳۵۱ و ۳۹۷ میلی‌متر و نفوذ عمقی در این ارقام به‌ترتیب ۴۸ و ۹۷ میلی‌متر بدست آمد. همچنین با مقایسه تبخیر-تعرق واقعی اندازه‌گیری شده در لایسیمتر و تبخیر-تعرق مرجع محاسباتی ۱۴ روش غیرمستقیم، ضرایب گیاهی برای ارقام هاشمی و شیرودی حاصل شد. ضرایب گیاهی استخراج شده در این پژوهش با در نظر گرفتن رقم و روش برآورد تبخیرتعرق مرجع، بین ۰/۷۳ تا ۱/۱۲ برای مرحله ابتدایی، ۰/۸۳ تا ۱/۴۱ برای مرحله میانی و ۰/۶۴ تا ۱/۱۵ برای مرحله انتهایی متغیر بود. همچنین متوسط درصد خطای تخمین(PE) ضریب گیاهی در مقایسه با ضریب گیاهی توصیه شده توسط فائو به ترتیب طی مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی ۱۱٪، ۱۱٪ و ۸٪ در رقم هاشمی و ۱۵٪، ۲۳٪ و ۱۶٪ در رقم شیرودی بدست آمد که ضرورت استخراج ضرایب گیاهی ارقام مختلف برنج را بر مبنای شرایط محلی، نشان می داد. ضرایب حاصل از این پژوهش می‌تواند برای برآورد نیاز آبی ارقام هاشمی و شیرودی بر پایه روش‌های غیر مستقیم در طراحی پروژه‌های آبی و برنامه‌ریزی تحویل آب در شبکه آبیاری و زهکشی در منطقه پژوهش استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: نیاز آبی برنج، تبخیر-تعرق مرجع، لایسیمتر، شالیزار

[1] -آدرس نویسنده مسئول: ساری، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

مقدمه

با توجه به مصرف بالای آب در بخش کشاورزی و افزایش نیازآبی گیاهان بدلیل تغییرات اقلیمی، اعمال برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده بهینه از منابع آب در کشاورزی لازم و ضروری است (زارعی و همکاران، ۱۳۹۵). اگرچه باور عمومی بر این است که استان‌های برنج‌خیز شمالی از این امر مستثنی هستند، ولی با کاهش بارندگی در سال‌های اخیر و عدم یکنواختی توزیع آن، مناطق شمالی ایران نیز در معرض خطرات کمبود منابع آب قرار دارند (پوریزدانخواه و همکاران، ۱۳۹۳). برنج تنها غله‌ای است که حدود نیمی از جیره غذایی جمعیت دنیا را تشکیل می‌دهد و بعد از گندم دارای بیش‌ترین سطح زیرکشت در جهان می‌باشد. عامل اصلی موفقیت در کاشت ارقام پر محصول برنج، وجود آب مطمئن و کنترل شده است (مدبری و همکاران، ۱۳۹۳). بومن و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که بین ۳۴ تا ۴۳ درصد از آبیاری یا ۲۴ تا ۳۰ درصد از کل آب شیرین دنیا برای تولید حدود ۷۵ درصد از برنج دنیا مصرف می‌شود. روش مرسوم آبیاری برنج در ایران، غرقاب دائم با ارتفاع مناسب آب در تمامی طول فصل رویش است. در این روش مقدار آب مورد نیاز گیاه برنج با مقدار تبخیر-تعرق آن رابطه مستقیم دارد؛ بنابراین تعیین میزان تبخیر-تعرق گیاه برنج در طول فصل رشد و نیز میزان آب مورد نیاز این گیاه، از عوامل مهم در امر مدیریت مزرعه می‌باشد (پیرمرادیان و همکاران، ۱۳۸۱).

تبخیر-تعرق به عوامل محیطی مانند دمای هوا، سرعت باد، تشعشع خورشیدی و رطوبت و سایر پارامترها وابسته است. از این‌رو انتخاب بهترین روش غیر مستقیم برآورد تبخیر-تعرق، مستلزم تحقیق و مقایسه روش‌های مختلف با داده‌های اندازه‌گیری شده از روش‌های مستقیم است (آلن، ۲۰۰۱؛ علیزاده، ۱۳۸۲). در روش مستقیم از اصل بیلان جرمی در یک حجم کنترل شده خاک استفاده می‌شود. مناسب‌ترین وسیله به‌منظور اندازه‌گیری تبخیر-تعرق در این روش، لایسیمتر می‌باشد. به دلیل هزینه بالای لایسیمتر و داده برداری دشوار این روش، محققین سعی در استفاده از روش‌های غیر مستقیم برآورد تبخیر-تعرق از مقادیر تشت تبخیر یا برخی از داده‌های هواشناسی داشته‌اند. در روش‌های غیر مستقیم برآورد تبخیر-تعرق، مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_0) تخمین زده می‌شود و با استفاده از آن، نیاز آبی گیاه مورد نظر محاسبه می‌شود (احمدپری و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج پژوهش سه ساله در موسسه تحقیقات برنج کشور نشان داد که بین تبخیر- تعرق برآورد شده گیاه برنج (بینام و خزر) با فرمول‌های تجربی هارگریوز، پریستلی تیلور و پنمن (فائو ۲۴) و تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (پوریزدان‌خواه و همکاران، ۱۳۹۳). ذکری و همکاران (۱۳۹۱) با مقایسه روش‌های تشت تبخیر و پنمن-مانتیث-فائو در منطقه رشت نشان دادند که میزان تبخیر-تعرق گیاه برنج با روش تشت تبخیر دقیق‌تر برآورد شده است. زارع ابیانه و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی روش‌های پنمن مانتیث-فائو ۵۶ و تشت تبخیر با مقادیر واقعی تبخیر-تعرق برنج دریافتند که به کارگیری روش‌های مناسب تخمین تبخیر-تعرق مرجع و اعمال ضریب گیاهی می‌توان تیخیر-تعرق گیاه برنج را با دقت مطلوب محاسبه کرد.

تبخیر-تعرق هر محصول مانند برنج، نسبتی از تبخیر-تعرق گیاه مرجع است که این نسبت را عاملی به نام ضریب گیاهی تعیین می‌کند (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). در این ارتباط مقادیر ضریب گیاهی تعدادی از گیاهان تحت شرایط مختلف اقلیمی توسط درونبوس و پرویت (۱۹۷۷) و آلن و همکاران (۱۹۹۸) ارایه شد که این مقادیر اغلب در شرایطی فاقد دسترسی به اطلاعات محلی قابل استفاده می باشد. پیشنهاد شد تا این ضرایب بصورت تجربی و بر اساس داده‌های لایسیمتر برآورد شود زیرا نوع گیاه، نوع خاک و شرایط اقلیمی منطقه بر این ضریب گیاهی تاثیر دارد (آلن و همکاران، ۱۹۹۰). در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی در این زمینه انجام شده است (پیرمرادیان و همکاران، ۱۳۹۲؛ پوریزدان‌خواه و همکاران، ۱۳۹۳؛ یو و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهش پیرمرادیان و همکاران (۱۳۸۱) داده‌های بدست‌آمده از لایسیمتر در منطقه

کوشکک فارس نشان داد که محدوده تغییرات تبخیر-تعرق گیاه برنج در طول فصل رشد ۳/۷۶-۹/۳۴ میلی‌متر در روز می‌باشد و ضریب گیاهی برنج برای دوره اولیه حدود ۰/۹۷، دوره میانی ۱/۲۵ و دوره انتهایی ۱/۰۹ تعیین شد. در پژوهشی دیگر پوریزدان‌خواه و همکاران (۱۳۹۱)، با کاربرد لایسیمتر، متوسط میزان تبخیر-تعرق مرجع طی سه فصل رشد برای چمن ۴/۸۹ و برنج رقم خزر ۵/۴۳ و رقم بینام ۵/۲۳ میلی‌متر در روز برآورد کردند. این مقدار در کرت‌های کنترل شده برای رقم خزر و بینام به‌ترتیب ۵/۵۱ و ۵/۴۲ اندازه‌گیری شد و ایشان متوسط ضریب گیاهی در طول سه سال اجرای طرح برای رقم خزر ۱/۱۰ و رقم بینام ۱/۰۹ برآورد کردند. مدبری و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی در دشت مرداب گیلان ضریب گیاهی برنج رقم هاشمی در سه مرحله اولیه، میانی و پایانی به‌ترتیب ۱/۱، ۱/۴ و ۱/۱ به‌دست آوردند. این ضرایب برای رقم خزر به ترتیب ۱/۱، ۱/۳ و ۱/۲ حاصل شد (مدبری و همکاران، ۱۳۹۳). ویو و همکاران (۲۰۰۵)، در پژوهشی با عنوان کاربرد معادله فائو ۵۶ در ارزیابی تبخیر-تعرق در اراضی شالیزاری ژاپن به این نتیجه رسیدند که ضریب گیاهی برنج برای سه دوره ابتدایی، میانی و پایانی، به‌ترتیب برابر ۱/۱، ۱/۲۶ و ۰/۹۲ می‌باشد.

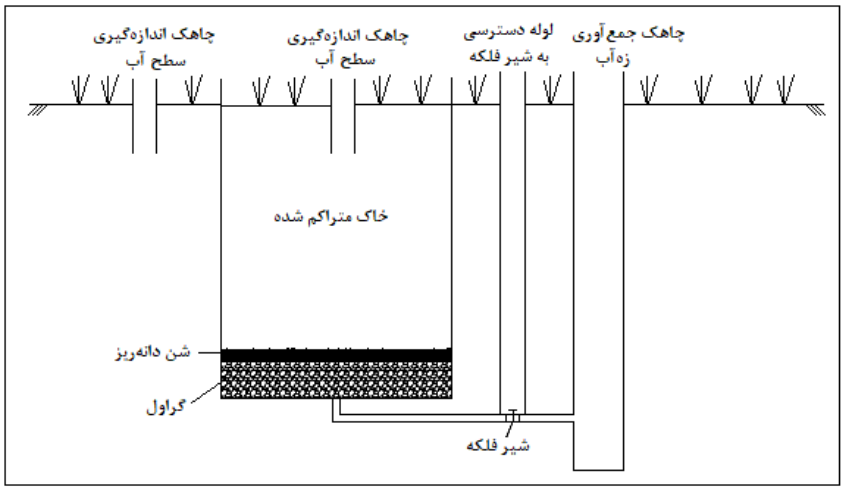
در این تحقیق میزان تبخیر-تعرق واقعی دو رقم برنج هاشمی و شیرودی در شالیزارهای شهرستان ساری و با استفاده از لایسیمتر اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از روش‌های مختلف غیر مستقیم تعیین تبخیر-تعرق، مقادیر ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد در منطقه مورد مطالعه برآورد شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در محدوده اراضی شالیزاری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. طی دوره رشد، تغییرات دمای کمینه در دامنه ۱۳ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد و تغییرات دمای بیشینه ۲۲/۴ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. تغییرات سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین در دوره آماری از ۱/۲۵ تا ۵ متر بر ثانیه و تغییرات متوسط رطوبت نسبی در دامنه حدود ۵۱ تا ۹۳ درصد متغیر بود. همچنین میانگین بارش روزانه و تبخیر روزانه از تشت در ایستگاه هواشناسی دشت ناز ساری بترتیب ۰/۳۱ و ۵/۹ میلی متر بر روز گزارش شد.

از شش عدد لایسیمتر به ترتیب با قطر و ارتفاع ۱۲۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر که در خاک اراضی شالیزار مدفون شده‌اند، استفاده شد. شکل ۱ نمای شماتیک لایسمترهای نصب شده را نشان می‌دهد. خاکریزی لایسیمترها در لایه های ۱۵ سانتیمتری انجام و سپس با استفاده از وزنه فلزی با صفحه گسترده، شرایط طبیعی تراکم در داخل لایسیمتر فراهم شد. همچنین به منظور خروج خلل و فرج، مخازن به مدت دو ماه اشباع شد و پس از آن با تخلیه و پرکردن چند باره، نشست و تراکم مناسب خاک فراهم شد.

مقدار نفوذ عمقی هر مخزن، با استفاده از زه‌کش نصب شده در کف لایسیمتر اندازه گیری شد. به منظور کاهش اثر واحه‌ای، لایسیمترها در داخل مزرعه اصلی نصب شدند بطوری‌که اطراف مخازن نیز شالی کشت شد. جدول ۱ مشخصات فیزیکی خاک مزرعه را ارائه می دهد. پس از حفاری و نصب لایسیمترها، لایه‌های خاک بر اساس شرایط مزرعه، مجددا به مخزن برگشت داده شد.



شکل ۱- طرح شماتیک لایسیمتر مورد استفاده در این پژوهش

جدول ۱- مشخصات فیزیکی لایه‌های خاک مزرعه

شماره	عمق (cm)	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm3)	ضریب آبگذری (cm/day)
۱	۰-۳۰	۴۸/۶۷	۴۵/۰۰	۶/۳۳	۱/۴۰	۲۷/۶۰
۲	۳۰-۶۰	۵۳/۵۰	۴۲/۳۳	۴/۱۷	۱/۳۳	۸/۳۷
۳	۶۰-۹۰	۴۸/۳۳	۴۵/۳۳	۶/۳۳	۱/۳۷	۲۱/۱۰

پس از تهیه نشاء، رقم برنج هاشمی در تاریخ ۱۳۹۷/۲/۱۶ در سه عدد از لایسیمترها و رقم شیرودی در تاریخ ۱۳۹۷/۲/۲۶ در سه عدد باقی مانده از لایسیمترها نشا شد. همچنین ارقام مورد بررسی در تاریخ ۱۳۹۷/۴/۲۳ برای هاشمی و ۱۳۹۷/۵/۱۲ برای شیرودی، برداشت شدند. اندازه‌گیری‌های حجم آب آبیاری، آب زه‌کشی و مقدار بارندگی به صورت روزانه در هر لایسیمتر انجام شد. به منظور کنترل غرقاب بودن سطح آب لایسیمتر، از دو عدد لوله به ترتیب با قطر و طول ۱۰۰ میلی‌متر و ۴۰ سانتیمتر که نیمی از طول آن مشبک شده بود، در درون و بیرون لایسیمترنصب شد تا ضمن بررسی و ترازیابی سطح آب، در صورت پایین بودن سطح آب لایسیمتر، آب به درون لایسیمتر اضافه شد تا به تراز بیرون مزرعه برسد.

با استفاده از رابطه ۱، مقدار تبخیر –تعرق روزانه واقعی ارقام برنج محاسبه شد. بدلیل اشباع بودن لایسیمتر طی دوره رشد گیاه، تغییرات رطوبت طی دوره اندازه‌گیری ناچیز در نظر گرفته شد.

$$ET_c = I + P - D \pm \Delta S \qquad (۱)$$

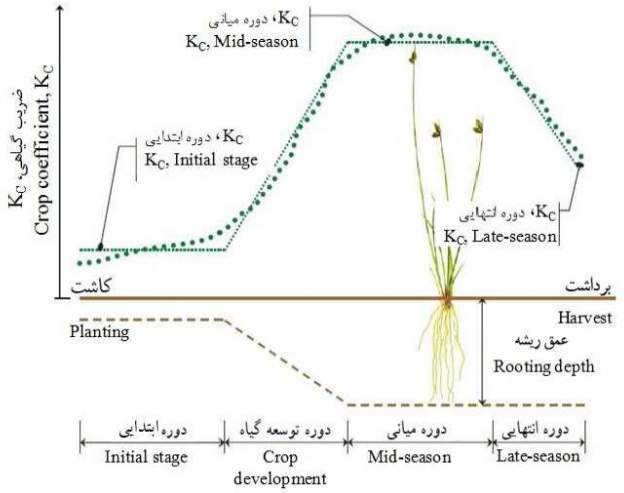
که در آن:

ET_c: تبخیر-تعرق واقعی، I: آب آبیاری، P: بارندگی، D: نفوذ عمقی (زه آب) ، ΔS: تغییرات رطوبت می‌باشد.

برآورد تبخیر-تعرق مرجع از ۱۴ روش غیر مستقیم با استفاده از نرم افزار Ref-ET انجام شد. در این نرم افزار از روابط پنمن-مانتیث-فائو (PM-FAO56)، تشت تبخیر (Pan-FAO24)، پنمن-مانتیث (PM)، پنمن-مانتیث اصلاح شده برای گیاهان بلند (PMrs) و کوتاه (stPM)، کمبرلی پنمن ۱۹۹۶ (Kpen 1996)، پنمن ۱۹۴۶ (Pen 1946)، پنمن-فائو (Pen FAO24)، پنمن ۱۹۷۹، تابش (RD-FAO24)، بلانی کریدل (BC-FAO24)، هارگریوز-سامانی (Harg 1985)، پریستلی-تیلور (prs-Tylr 1985) و ماکینک (Makk 1957) بهره گرفته شد.

دورنبوس و پرویت (۱۹۷۷) و آلن و همکاران (۱۹۹۸) تقریب ساده و خطی از منحنی Kc پیشنهاد دادند که هم اکنون نیز کاربرد گسترده‌ای دارد و توصیف دقیقی از منحنی Kc ارائه می‌دهد (پیرمرادیان و همکاران، ۱۳۹۲). تقریب خطی منحنی Kc توسط فائو برای چهار مرحله رشد

گیاه و تعریف سه مقدار برای ضریب گیاهی در شکل ۲ ارائه شده است. بر این اساس با داشتن تبخیر–تعرق مرجع و نیز تبخیر– تعرق واقعی گیاه برنج، مقدار ضریب گیاهی برای طول دوره رشد و بر پایه هر کدام از روش‌های مورد استفاده در برآورد تبخیر–تعرق مرجع با توجه به رابطه ۲ بدست آمد. در نهایت مقادیر بدست آمده با مقادیر پیشنهادی نشریه فائو ۵۶ نیز مقایسه شد.



شکل ۲- تقریب خطی K_c توسط فائو برای چهار مرحله رشد گیاه و تعریف سه مقدار برای ضریب گیاهی (درونبوس و پرویت، ۱۹۷۷؛ آلن و همکاران، ۱۹۹۸)

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \qquad (۲)$$

که در آن:

K_c: ضریب گیاهی، ET_0: تبخیر–تعرق گیاه مرجع، ET_c: تبخیر–تعرق واقعی گیاه می‌باشد.

جدول ۲ طول مراحل مختلف رشد رقم هاشمی و شیرودی را ارائه می دهد. بطورکلی برداشت محصول این ارقام به ترتیب ۷۰ و ۸۰ روز پس از انتقال نشاء از خزانه به زمین صورت گرفت.

جدول ۲- طول مراحل مختلف رشد (روز)

رقم	ابتدایی	توسعه	میانی	انتهایی
هاشمی	۱۲	۱۱	۳۱	۱۶
شیرودی	۱۰	۱۵	۳۳	۲۲

به منظور مقایسه و ارزیابی از پارامتر درصد خطای تخمین[1] (PE) برای تعیین میزان خطا هر یک از این روش‌ها نسبت به نتایج واقعی استفاده شد (رابطه ۳).

$$PE = \left(\frac{Kc_{av} - Kc_{FAO}}{Kc_{FAO}}\right) \times 100 \qquad (۳)$$

که در آن‌ها:

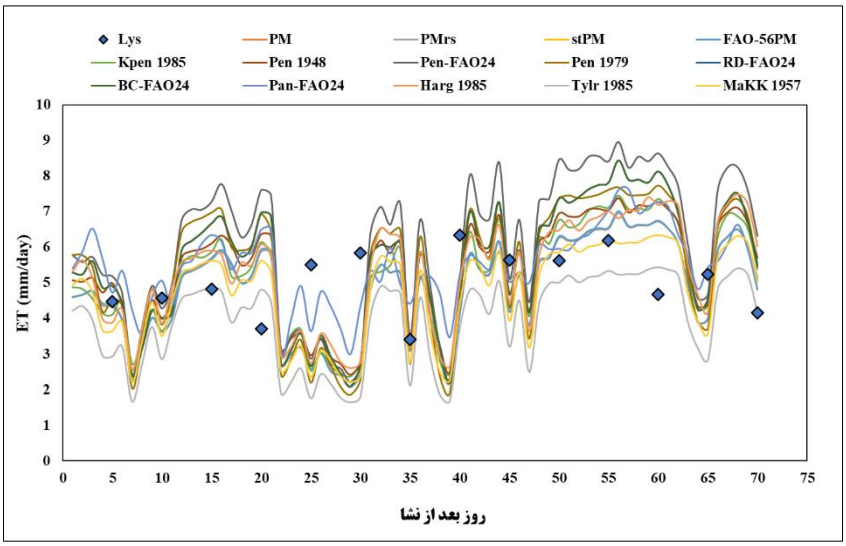
Kc_{av} و Kc_{FAO} به ترتیب میانگین ضریب گیاه در طول مراحل مختلف دوره رشد و ضریب گیاهی توصیه شده فائو ۵۶ می‌باشد.

نتایج و بحث

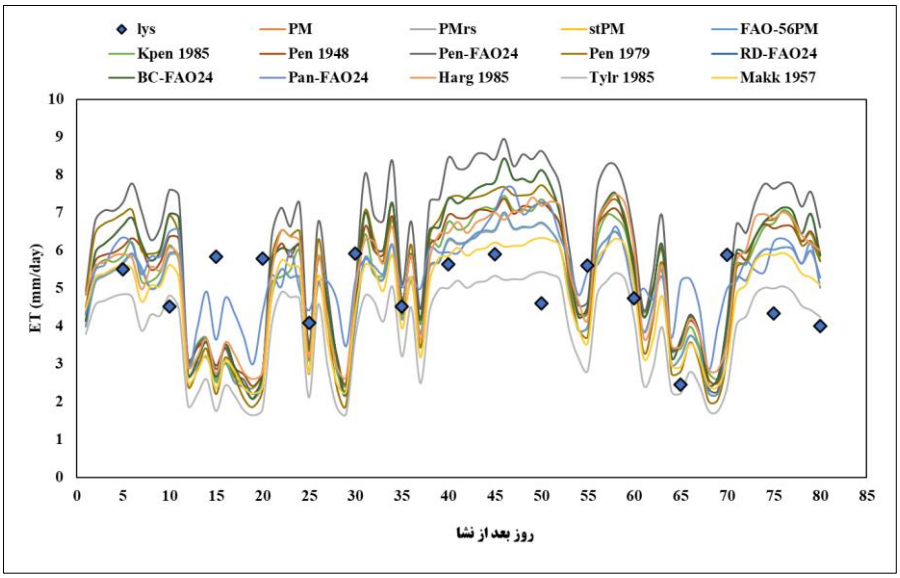
روند تغییرات تبخیر–تعرق واقعی برنج (ET_c) و تبخیر–تعرق ۱۴ روش غیر مستقیم در اشکال ۳ و ۴ آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود تغییرات ET_0 صرف نظر از روش برآورد در طول دوره رشد مشابه است. در سال مورد مطالعه از ابتدا دوره کشت افت و خیزهایی در منحنی‌های تبخیر–تعرق مرجع دیده می‌شود که می‌تواند متاثر از پارامترهای هواشناسی باشد بطوریکه بررسی پارامترهای هواشناسی نشان می‌دهد، در روزه‌های ابری با

[1] PE: Percentage Error of Estimation

رطوبت نسبی بالا تبخیر- تعرق مرجع با افت همراه بود. بطور کلی روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع در تمامی روش‌های برآوردی در ابتدای رشد کم بوده و بتدریج در اواسط فصل افزایش نسبی یافت که در نهایت در انتها رشد دوباره کاهش می‌یابد. بیشترین و کمترین مقدار ET_0 برای کل دوره رشد در ارقام هاشمی و شیرودی بترتیب در روش-های Pen-FAO24 و prs-Tylr حاصل شد. این مقادیر برای رقم هاشمی بترتیب ۴۲۷ و ۲۷۷ میلی‌متر و برای رقم شیرودی ۴۹۲ و ۳۱۵ میلی‌متر بدست آمد. با توجه در شکل ۳ و ۴ مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده در ارقام هاشمی و شیرودی در کل دوره رشد در محدوده ET_0 در نوسان بود بطوریکه همانند روند تغییرات ET_0 تبخیر-تعرق گیاه برنج در ارقام مورد مطالعه نیز در ابتدای دوره رشد کم بوده و در اواسط دوره رشد با رشد گیاه و افزایش فعالیت گیاه افزایش یافت و در انتها دوره نیز کاهش یافت.



شکل ۳- تبخیر-تعرق واقعی (ET_c) و تبخیر-تعرق مرجع محاسباتی روش‌های مختلف در طول دوره رشد برای رقم هاشمی



شکل ۴- تبخیر-تعرق واقعی (ET_c) و تبخیر-تعرق مرجع محاسباتی روش‌های مختلف در طول دوره رشد برای رقم شیرودی

جدول ۳ مقادیر متوسط روزانه آب تحویلی، بارندگی، نفوذ عمقی و تبخیر-تعرق واقعی طی مراحل ابتدایی، توسعه، میانی، انتهایی و کل دوره برای ارقام برنج هاشمی و شیرودی را ارایه می‌دهد. بر اساس بیلان جرمی،

مقدار تبخیر–تعرق واقعی برنج ارقام هاشمی و شیرودی در کل دوره رشد بترتیب ۳۵۰/۸۶ و ۳۹۶/۶۷ میلی‌متر و متوسط تبخیر–تعرق روزانه بترتیب ۵/۰۱ و ۴/۹۸ میلی‌متر در روز است که با نتایج پژوهش مدبری (۱۳۸۹) مطابقت دارد. ایشان در پژوهش خود میزان تبخیر–تعرق واقعی برای ارقام هاشمی و خزر را بترتیب ۵ و ۵/۱ میلی‌متر در روز اندازه-گیری کردند (مدبری، ۱۳۸۹). میزان کل آب تحویلی به لایسیمترها طی دوره رشد برای ارقام هاشمی و شیرودی بترتیب ۳۷۹/۱۱ و ۴۶۷/۶۳ میلی‌متر است. کمترین نیاز آبی روزانه رقم هاشمی در مرحله ابتدایی رخ داده این در حالی-است که کم‌ترین نیاز آبی رقم شیرودی در مرحله انتهایی بوده است. بیشترین نیاز آبی روزانه برای هر دو رقم در مرحله میانی رشد رخ داده است که با نتایج پژوهش مدبری (۱۳۸۹)، پوریزدانخواه و همکاران (۱۳۹۳) و پیرمرادیان و همکاران (۱۳۹۲) همخوانی دارد. دلیل این رویداد را می-توان رسیدن گیاه به حداکثر پوشش سبز و افزایش نسبی نیاز آبی دانست. اگرچه مقدار میانگین روزانه تبخیر–تعرق واقعی در طول دوره رشد رقم هاشمی بیشتر از رقم شیرودی است ولی با توجه به طولانی بودن دوره رشد رقم شیرودی، تبخیر–تعرق واقعی رقم شیرودی طی دوره رشد بیشتر از رقم هاشمی است.

تعیین میزان نفوذ عمقی برای برآورد آب مورد نیاز گیاه در دوره رشد آن، بسیار اهمیت دارد. معمولا میزان نفوذ تحت تاثیر مشخصات خاک و شرایط هیدرولیکی آن می‌باشد (پیرمرادیان، ۱۳۷۶). با توجه به شرایط فیزیکی خاک، نشت و نفوذ عمقی در اراضی شالیزاری می‌تواند متفاوت باشد به‌طوری‌که میانگین روزانه نفوذ عمقی در طول دوره کشت برنج در اراضی سنتی و تسطیح‌شده شالیزار شهرستان قائم‌شهر بترتیب ۲/۴ و ۱/۸ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (باباپور گل‌افشانی و همکاران، ۱۳۹۱). در پژوهش حاضر میانگین نفوذ عمقی در کل دوره رشد برای رقم‌های هاشمی و شیرودی بترتیب ۰/۶۸ و ۱/۲۱ میلی‌متر در روز و مقدار تجمعی آن در کل دوره رشد برای رقم هاشمی ۴۷/۸۱ میلی‌متر و برای رقم شیرودی ۹۷/۱۱ (بترتیب حدود ۱۳ و ۲۰ درصد از آب تحویلی) بدست آمد. اگرچه نفوذ عمقی متاثر از ساختمان خاک و شرایط آن می باشد، اما در دوره رشد گیاه برنج، بدلیل اشباع بودن خاک، خصوصیات و نحوه گسترش ریشه گیاه می‌تواند بر میزان نفوذ عمقی این محصول موثر باشد. از آنجایی که تعداد پنجه زنی رقم شیرودی بیشتر از رقم هاشمی می‌باشد، بنابراین می‌توان بیشتر بودن نفوذ عمقی این رقم را به تعداد پنجه و گسترش ریشه این رقم مربوط دانست. نتایج حاصل شده در این تحقیق با پژوهش موسوی و همکاران (۱۳۹۱) و لو و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت دارد. موسوی و همکاران (۱۳۹۱) نفوذ عمقی را در ۴ منطقه از شالیزارهای شهرستان صومعه‌سرا استان گیلان اندازه‌گیری کردند و مقدار متوسط نفوذ برابر ۰/۷ میلی‌متر در روز برای کشت رقم هاشمی در سیاه‌کوه و ضیابر بدست آوردند.

جدول ۴ مقادیر ضرایب گیاهی طی دوره‌های رشد بر مبنای روش‌های محاسباتی برای ارقام هاشمی و شیرودی را ارایه می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد، مقدار ضریب گیاهی دوره ابتدایی و میانی رشد در رقم هاشمی، صرف نظر از روش برآورد تبخیر–تعرق مرجع، بیش‌تر از رقم شیرودی است در حالیکه در دوره انتهایی رشد برای رقم شیرودی نسبت به رقم هاشمی ضریب گیاهی بیشتری حاصل شد. ضریب گیاهی بر پایه روش‌های محاسباتی تبخیر–تعرق مرجع طی دوره‌های ابتدایی، میانی و انتهایی رشد بترتیب بین ۰/۸ تا ۱/۲، ۰/۹ تا ۱/۴۱ و ۰/۶۹ تا ۰/۹۹ برای رقم هاشمی و ۰/۷۳ تا ۱/۱۲، ۰/۷۶ تا ۱/۲ و ۰/۷۳ تا ۱/۱۵ برای رقم شیرودی بدست آمد.

جدول ۳- متوسط روزانه بارش، آب تحویلی و نفوذعمقی لایسیمترها در ارقام برنج هاشمی و شیرودی (میلی‌متر)

رقم	مرحله رشد	بارش	آب تحویلی	نفوذ عمقی	تبخیر-تعرق واقعی
هاشمی	ابتدایی	۰/۱۰	۴/۸۶	۰/۴۴	۴/۵۲
	توسعه	۰/۷۵	۴/۸۸	۰/۶۰	۵/۰۳
	میانی	۰/۲۴	۶/۰۸	۰/۸۷	۵/۴۵
	انتهایی	۰/۲۶	۵/۲۱	۰/۶۹	۴/۷۸
	میانگین	۰/۲۸	۵/۴۲	۰/۶۸	۵/۰۱
	جمع کل	۱۹/۵۶	۳۷۹/۱۱	۴۷/۸۱	۳۵۰/۸۶
شیرودی	ابتدایی	۰/۰۰	۵/۹۰	۰/۸۹	۵/۰۱
	توسعه	۰/۶۰	۵/۷۴	۱/۱۰	۵/۲۴
	میانی	۰/۲۸	۵/۹۵	۰/۹۲	۵/۳۱
	انتهایی	۰/۳۷	۵/۷۳	۱/۸۸	۴/۲۲
	میانگین	۰/۳۳	۵/۸۵	۱/۲۱	۴/۹۶
	جمع کل	۲۶/۱۵	۴۶۷/۶۳	۹۷/۱۱	۳۹۶/۶۷

نتایج مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق مرجع نشان می‌دهد بیشترین و کمترین مقادیر ضریب گیاهی بترتیب در روش prs-Tylr و Pen-FAO24 به دست آمد و بیانگر آن است که به ترتیب کمترین و بیشترین برآورد ET_0 در این دو روش بوده است. مقادیر ضریب گیاهی برای گیاه برنج در نشریه فائو ۵۶ برای سه دوره ابتدایی، میانی و انتهایی رشد بترتیب برابر ۱/۰۵، ۱/۲ و ۰/۶- ۰/۹ پیشنهاد شده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). مقایسه ضریب گیاهی برآورد شده در این پژوهش با مقادیر پیشنهادی فائو حاکی از وجود اختلاف بین مقادیر مذکور است. مقادیر درصد تفاوت ضریب گیاهی برآوردی با ضریب توصیه شده فائو (PE) در جدول ۵ ارایه شده است. نتایج نشان می‌هد که با توجه به روش برآورد ET_0 و رقم برنج ضرایب محاسباتی و توصیه شده توسط فائو ۵۶ متفاوت است بگونه‌ای که ضرایب گیاهی بر پایه روش پنمن مانتیث فائو ۵۶ در مقایسه با ضریب گیاهی توصیه شده توسط فائو ۵۶ طی دوره‌های رشد ابتدایی، میانی و انتهایی بترتیب ۵/۲۹، ۴/۴۵ و ۶/۷۹ درصد در رقم هاشمی و ۱۰/۶۰، ۱۹/۷۴ و ۱۸/۹۴ درصد در رقم شیرودی اختلاف داشت که ممکن است بخشی از این تفاوت به دلیل عدم تطابق طول دوره رشد برنج در منطقه مورد مطالعه با آنچه در فائو ۵۶ آمده است، باشد (پیرمرادیان و همکاران، ۱۳۹۲). در نتیجه توصیه شده بمنظور لحاظ اثرات گیاه، اقلیم و عملیات زراعی استخراج ضرایب گیاهی بر مبنای مشاهدات محلی صورت گیرد (بوس و همکاران، ۲۰۰۹). بطور کلی این متوسط PE بترتیب طی مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی ۱۱، ۱۱ و ۸ درصد در رقم هاشمی و ۱۵، ۲۳ و ۱۶ درصد در رقم شیرودی بدست آمد.

جدول ۴- مقادیر برآوردی ضریب گیاهی بر مبنای روش برآورد تبخیر-تعرق مرجع برای ارقام هاشمی و شیرودی

روش‌های برآورد ET_0	هاشمی			شیرودی		
	ابتدایی	میانی	انتهایی	ابتدایی	میانی	انتهایی
PM	۱/۰۰	۱/۱۵	۰/۸۰	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۸۹
PMrs	۱/۰۰	۱/۱۵	۰/۸۰	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۸۹
stPM	۰/۹۹	۱/۱۵	۰/۸۰	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۸۹
PM-FAO56	۰/۹۹	۱/۱۵	۰/۸۰	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۸۹
KPen1996	۰/۹۶	۱/۰۷	۰/۷۴	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۸۱
Pen1948	۰/۹۱	۱/۰۳	۰/۷۴	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۸۱
Pen-FAO24	۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۶۴	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۷۳
Pen 1979	۰/۸۸	۱/۰۲	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۸۱
Rd-FAO24	۰/۸۹	۱/۰۰	۰/۶۹	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۷۹
BC-FAO24	۰/۹۱	۱/۰۶	۰/۷۷	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۹۲
Pan-FAO24	۰/۸۵	۱/۰۴	۰/۷۵	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۸۲
Harg 1985	۰/۹۴	۱/۰۵	۰/۷۲	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۸۰
prs-Tylr 1985	۱/۲۰	۱/۴۱	۰/۹۹	۱/۱۲	۱/۲۰	۱/۱۵
Makk 1957	۱/۰۱	۱/۱۸	۰/۸۴	۰/۹۶	۱/۰۱	۰/۹۵
پیشنهادی فائو ۵۶	۱/۰۵	۱/۲	۰/۹-۰/۶	۱/۰۵	۱/۲	۰/۹-۰/۶

جدول ۵- مقادیر درصد تفاوت ضریب گیاهی برآوردی با ضریب توصیه شده فائو برای ارقام هاشمی و شیرودی

روش‌های برآورد ET_0	هاشمی			شیرودی		
	ابتدایی	میانی	انتهایی	ابتدایی	میانی	انتهایی
PM	۴/۶۸	۴/۰۷	۶/۹۱	۱۰/۰۰	۱۹/۴۷	۱۹/۰۴
PMrs	۴/۶۹	۴/۰۸	۶/۹۰	۱۰/۰۱	۱۹/۴۸	۱۹/۰۳
stPM	۵/۲۹	۴/۴۵	۶/۷۹	۱۰/۶۰	۱۹/۷۴	۱۸/۹۴
PM-FAO56	۵/۲۹	۴/۴۵	۶/۷۹	۱۰/۶۰	۱۹/۷۴	۱۸/۹۴
KPen1996	۸/۱۲	۱۱/۱۹	۰/۶۹	۱۳/۶۵	۲۵/۵۷	۸/۳۸
Pen1948	۱۳/۵۳	۱۴/۴۱	۱/۹۴	۱۷/۸۹	۲۶/۹۷	۷/۶۳
Pen-FAO24	۲۳/۳۹	۲۴/۹۸	۱۵/۲۵	۳۰/۱۹	۳۷/۰۰	۲/۷۳
Pen 1979	۱۶/۳۵	۱۴/۹۴	۴/۲۰	۲۱/۵۵	۲۸/۱۶	۷/۵۶
Rd-FAO24	۱۵/۴۶	۱۶/۳۱	۷/۹۴	۲۱/۸۳	۳۰/۷۲	۵/۶۲
BC-FAO24	۱۳/۲۳	۱۱/۹۶	۲/۴۹	۱۲/۰۴	۲۵/۸۳	۲۲/۰۶
Pan-FAO24	۱۹/۱۸	۱۳/۳۹	۰/۳۱	۱۷/۱۷	۲۵/۷۰	۸/۹۳
Harg 1985	۱۰/۶۱	۱۲/۶۷	۳/۶۵	۱۴/۳۹	۲۶/۰۳	۶/۸۳
prs-Tylr 1985	۱۴/۱۸	۱۷/۴۲	۳۲/۱۳	۶/۶۳	۰/۳۷	۵۳/۲۳
Makk 1957	۳/۸۴	۱/۷۱	۱۲/۰۸	۸/۶۲	۱۵/۷۹	۲۶/۰۳

نتیجه‌گیری

با توجه به کمبود آب و افت سطح آب‌های زیرزمینی، برآورد و بررسی میزان مصرف در بخش‌های مختلف به‌خصوص کشاورزی به عنوان مصرف کننده آب حائز اهمیت است. در این پژوهش به بررسی میزان تبخیر-تعرق برنج در ارقام هاشمی و شیرودی و استخراج ضریب گیاهی این ارقام، بر پایه روش برآورد تبخیر تعرق مرجع پرداخته شد. نتایج پژوهش نشان داد که برای کشت رقم شیرودی در منطقه مورد مطالعه نسبت به رقم هاشمی به آب بیشتری نیاز است، بطوریکه مقدار آب مصرفی برای کشت رقم شیرودی، از مرحله نشا تا برداشت محصول در سال زراعی پژوهش، حدود ۴۶۸ میلی‌متر بدست آمد در صورتیکه این مقدار برای رقم هاشمی حدود ۳۸۰ میلی‌متر می‌باشد که از این مقادیر، حدود ۱۳ درصد برای رقم هاشمی و ۲۰ درصد برای رقم شیرودی در طول فصل رشد بصورت نفوذ عمقی از دسترس گیاه خارج شد. میانگین ET_c برای کل دوره رشد برای ارقام هاشمی و شیرودی بترتیب ۵/۰۱ و ۴/۹۶ میلی‌متر بر روز به دست آمد. بالاترین میانگین تبخیر-تعرق روزانه برای هر دو رقم هاشمی و شیرودی در مرحله میانی رشد و کمترین آن برای رقم هاشمی در مرحله ابتدایی و برای رقم شیرودی در مرحله انتهایی از رشد واقع شد. ضرایب گیاهی استخراج شده در این پژوهش با در نظر گرفتن رقم و روش برآورد تبخیرتعرق مرجع، بین ۰/۷۳ تا ۱/۱۲ برای مرحله ابتدایی، ۰/۸۳ تا ۱/۴۱ برای مرحله میانی و ۰/۶۴ تا ۱/۱۵ برای مرحله انتهایی متغیر بود. همچنین متوسط درصد خطای تخمین (PE) ضریب گیاهی در مقایسه با ضریب گیاهی توصیه شده توسط فائو ۵۶ بترتیب طی مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی ۱۱، ۱۱ و ۸ درصد در رقم هاشمی و ۱۵، ۲۳ و ۱۶ درصد در رقم شیرودی بدست آمد. اختلاف ضرایب گیاهی برآورد شده در این پژوهش با مقادیر توصیه شده فائو ۵۶ در مراحل مختلف رشد ضرورت استخراج ضرایب گیاهی بر مبنای شرایط محلی را خاطر نشان می-سازد. با توجه به یافته‌ها، دقت برآورد تبخیر-تعرق مرجع به روش Makk 1957 برای رقم هاشمی و روش prs-Tylr 1985 برای رقم شیرودی بیشتر از سایر روش ها می‌باشد. ضرایب حاصل از این پژوهش می‌تواند برای برآورد نیاز آبی ارقام هاشمی و شیرودی بر پایه روش‌های غیر مستقیم در طراحی پروژه‌های آبی و برنامه‌ریزی تحویل آب در شبکه آبیاری و زهکشی در منطقه پژوهش استفاده شود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (با شماره قرارداد ۰۲-۲۲-۱۳۹۶) انجام شد و نویسندگان از معاونت پژوهش و فناوری این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌نماید.

فهرست منابع

۱. . پوریزدان‌خواه، ه. رضوی‌پور، ت. خالدیان، م و رضایی، م. ۱۳۹۳. تعیین ضریب گیاهی برنج، رقم بینام و خزر با استفاده از لایسیمتر و کرت‌های کنترل شده در منطقه رشت. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. ۶(۲): ۲۴۹-۲۳۸.

۲. .علیزاده، ا. ۱۳۸۲. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا. ص ۴۷۹.

۳. احمدپری، ه.، هاشمی گرم دره، س. ا.، قلعه کهنه، ک. ۱۳۹۶. مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل با روش فائو پنمن مانتیث (مطالعه موردی: منطقه سپیدان). مجله علمی ترویجی نیوار۴۱(۹۸): ۱۳- ۲۲.

۴. باباپور گل‌افشان، م.، شاهنظری، ع.، ضیاء تبار احمدی، م. خ.، آقاجانی، ق. ۱۳۹۱. مقایسه پارامترهای بیلان آبی در اراضی شالیزار اراضی سنتی و تسطیح‌شده شهرستان قائمشهر. نشریه آب و خاک. ۲۶(۴): ۱۰۱۰-۱۰۱۷.

۵. پوریزدان‌خواه، ه. رضوی‌پور، ت. خالدیان، م و رضایی، م. ۱۳۹۱. تعیین ضریب گیاهی برنج رقم‌های بینام و خزر در منطقه رشت. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب.

۶. پیرمرادیان، ذ.، رضایی، عبدالهی، و. (۱۳۹۲). استخراج ضرایب گیاهی سه رقم برنج بر پایه روش برآورد تبخیر-تعرق مرجع در منطقه رشت. مجله تحقیقات غلات. ۳(۲): ۹۵- ۱۰۶.

۷. پیرمرادیان، ن. ۱۳۷۶. تعیین نیاز آبی برنج (*orzia stavia L.*) در منطقه کوشکک استان فارس. پایان‌نامه تحصیلات تکمیلی، کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز.

۸. پیرمرادیان، ن. کامکارحقیقی، ع و سپاس‌خواه، ع. ۱۳۸۱. ضریب گیاهی و نیازآبی برنج در منطقه کوشکک استان فارس. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۶(۳): ۲۲-۱۵.

۹. ذکری، ف. پیرمرادیان، ن و رضایی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی روش‌های پنمن مانتیث فائو و تشت تبخیر کلاس A در برآورد تبخیر-تعرق گیاه برنج در منطقه رشت. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب.

۱۰. زارع ابیانه ح., نوری ح., لیاقت ع., نوری ح.، کریمی و.۱۳۹۰. مقایسه روش پنمن مانتیث فائو و تشت تبخیر کلاس A با داده های لایسیمتری در برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج در منطقه آمل. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۳(۷۶): ۷۱-۸۳.

۱۱. مدبری، ه. ۱۳۸۹. تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی دو رقم رایج برنج در دشت مرداب (گیلان). پایان نامه تحصیلات تکمیلی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی.

۱۲. مدبری، ه. میرلطیفی، م و غلامی، م. ۱۳۹۳. تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی ارقام هاشمی و خزر برنج در دشت مرداب (گیلان). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۸(۶۷): ۱۰۷-۹۷.

۱۳. موسوی، س. م. ، هوشمند، ع.، برومندنسب س.، یزدانی م.ر. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات نفوذ عمقی در یک ترانسکت از اراضی شالیزاری در طول دوره کشت. مجله علوم آب و خاک. ۱۶(۶۰) :۳۳-۴۳.

14. Allen, R. G. (2001). REF-ET reference evapotranspiration software, version 2/0. For FAO and ASCE standardized equations. Kimberly, Idaho: University of Idaho Research and Extension Center.
15. Allen, R.G., Jensen, M.E., and Burman, R.D. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirement. ASCE
16. Allen, R.G., Pereira, L.S., Rase, D. and Smith, M., 1998, Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Requirements, Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO Rom, Italy, 300 p.
17. Bouman, B. A. M., Lampayan, R. M., and Tuong, T. P. 2007. Water management in irrigated rice: Coping with water scarcity. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. pp: 54.
18. Lu, G., R. Cabangon, T.P. Tuong, P. Belder, B.A.M. Bouman and E. Castillo. 2002. The effects of irrigation management on yield and water productivity of inbred, hybrid, and aerobic rice varieties. International Rice research Institute, LosBanos, Philippines. 15-28 in Water-wise rice production
19. Vu, S. H., Watanabe, H., & Takagi, K. (2005). Application of FAO-56 for evaluating evapotranspiration in simulation of pollutant runoff from paddy rice field in Japan. Agricultural Water Management, 76(3), 195-210.
20. Yoo, S. H., Choi, J. Y., & Jang, M. W. (2008). Estimation of design water requirement using FAO Penman–Monteith and optimal probability distribution function in South Korea. Agricultural Water Management, 95(7), 845-853.
21. Bos, M. G., Kselik, R. A. L., Allen, R. G. and Molden D. J. 2009. Water Requirements for Irrigation and the Environment. Springer.

Investigation of Rice Actual Evapotranspiration and Crop Coefficients for Shiroudi and Hashemi Cultivars in Sari

M. A. Gholami Sefidkouhi [1], Z. Bagheri Khalili, and A. Ghalenovi

Associate Professor, Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

ma.gholami@sanru.ac.ir

Ph.D. student in irrigation and drainage engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

zahrabagheri587@gmal.com

MSc. Graduate in irrigation and drainage engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

amin.ghalenovi@yahoo.com

Received: November 2020, and Accepted: March 2021

Abstract

Measuring the actual evapotranspiration of rice is very important for appropriate and optimal water management in the Northern provinces of Iran. The present study aimed to measure the actual evapotranspiration for two Shiroudi and Hashemi cultivars of rice, in paddy fields of Sari Agricultural and Natural Resources University (SANRU). For this propose, six drainage lysimeters were designed and constructed. After cultivating rice inside the lysimeters, the amount of precipitation, irrigation water, and deep percolation were measured in 5-days intervals. Investigation of the lysimeter results showed differences between water requirement and also deep percolation of the two studied cultivars in growth period (seeding to harvest): water requirement was 351 and 397 mm and the deep percolation was 48 and 97 mm, for cultivars Shiroudi and Hashemi, respectively. Also, the crop coefficients were obtained by comparison of the lysimeter's actual evapotranspiration and 14 indirect methods of reference evapotranspiration estimation. Considering the cultivars and the estimating method, the crop coefficients were in the following ranges: 0.73-1.12 for the initial stage, 0.83-1.41 for the middle stage, and 0.64-1.15 for the final stage. Also, the average estimation Error Percentage (PE) of the resulting crop coefficients compared to the recommended coefficients of FAO-Penman-Monteith method, is 11%, 11% and 8% for Hashemi cultivar and 15%, 23%, and 16% for Shiroudi cultivar, in initial, middle and final stages, respectively; which shows the necessity of determining crop coefficients for each cultivar under local conditions. The coefficients obtained in the current study can be useful to calculate the water requirements of Hashemi and Shiroudi cultivars based on indirect estimation methods for designing water projects and water delivery in the irrigation and drainage networks in the research area.

Keywords: Rice water requirement, Reference Evapotranspiration, Lysimeter, Paddy field

[1] Corresponding author: Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari