

## بررسی تبخیر-تعرق واقعی و ضرایب گیاهی برنج ارقام هاشمی و شیروودی در

### شهرستان ساری

محمدعلی غلامی سفیدکوهی<sup>۱</sup>، 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

دانش آموخته 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 شیروودی) 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 لایسیمترها نشان از تفاوت مقادیر نیاز آبی و نفوذ عمقی در دوره رشد (از مرحله نشا تا برداشت) در ارقام هاشمی و شیروودی داشت به طوری که میزان نیاز آبی این ارقام در طول دوره رشد به ترتیب ۳۵۱ و ۳۹۷ میلی‌متر و نفوذ عمقی در این ارقام به ترتیب 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 شیروودی حاصل شد. ضرایب گیاهی استخراج شده در این پژوهش با در نظر گرفتن رقم و روش برآورد تبخیر-تعرق 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 شیروودی بدست آمد که ضرورت استخراج ضرایب گیاهی ارقام مختلف برنج را بر مبنای شرایط محلی، نشان می‌داد. ضرایب حاصل از این پژوهش می‌تواند برای برآورد نیاز آبی ارقام هاشمی و شیروودی 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

<sup>۱</sup> - آدرس نویسنده مسئول: ساری، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

## مقدمه

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 (احمدپوری 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، پرستلی 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-مانتیت-فائو در منطقه رشت نشان دادند که میزان تبخیر-تعرق گیاه برنج با روش تشت تبخیر دقیق‌تر برآورد شده است. زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی روش‌های پنمن-مانتیت-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 تبخیر-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) ارائه شد که این مقادیر اغلب در شرایطی فاقد دسترسی به اطلاعات محلی قابل استفاده می‌باشد. 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 (پیرمردیان و همکاران، ۱۳۹۲؛ پوریزدان‌خواه و همکاران، ۱۳۹۳؛ یو و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهش پیرمردیان و همکاران (۱۳۸۱) داده‌های بدست‌آمده از لایسیمتر در منطقه

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 (پیرمردیان 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

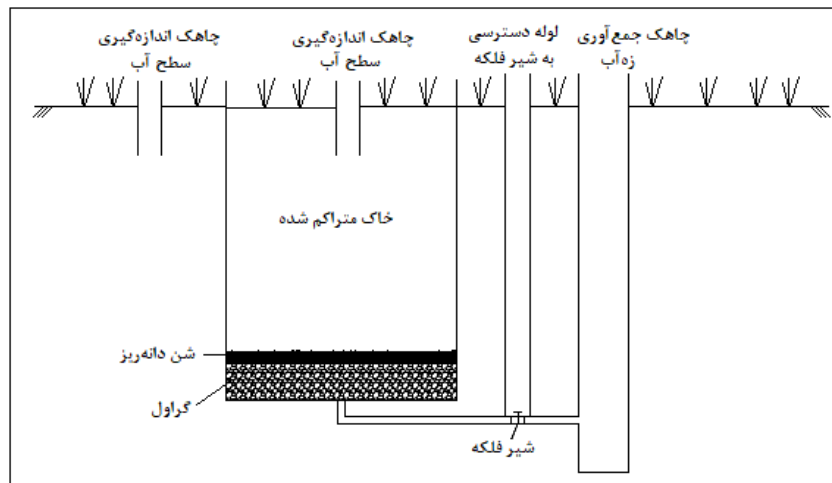
## مواد و روش‌ها

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 اندازه‌گیری 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 می‌دهد. پس از حفاری و نصب لایسیمترها، لایه‌های خاک بر اساس شرایط مزرعه، مجدداً به مخزن برگشت داده شد.

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 به ترتیب 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 به ترتیب ۱/۱، ۱/۴ و ۱/۱- دست 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، به ترتیب برابر ۱/۱، ۱/۲۶ و ۰/۹۲ می‌باشد. در این تحقیق میزان تبخیر-تعرق واقعی دو رقم برنج هاشمی و شیروودی 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.



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/cm <sup>3</sup> )	ضریب آب‌گذری (cm/day)
۱	۰-۳۰	۴۸/۶۷	۴۵/۰۰	۶/۳۳	۱/۴۰	۲۷/۶۰
۲	۳۰-۶۰	۵۲/۵۰	۴۲/۳۳	۴/۱۷	۱/۳۳	۸/۳۷
۳	۶۰-۹۰	۴۸/۳۳	۴۵/۳۳	۶/۳۳	۱/۳۷	۲۱/۱۰

که در آن:

$E_{Tc}$ : تبخیر-تعرق واقعی، I: آب آبیاری، P: بارندگی، D:

نفوذ عمقی (زه آب)،  $\Delta S$ : 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)، پرستلی-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 (پیرمادیان و همکاران، ۱۳۹۲).

تقریب خطی منحنی Kc توسط فائو برای چهار مرحله رشد

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 نشاء

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

لایسیمتر نصب شد تا ضمن بررسی و ترازبایی 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

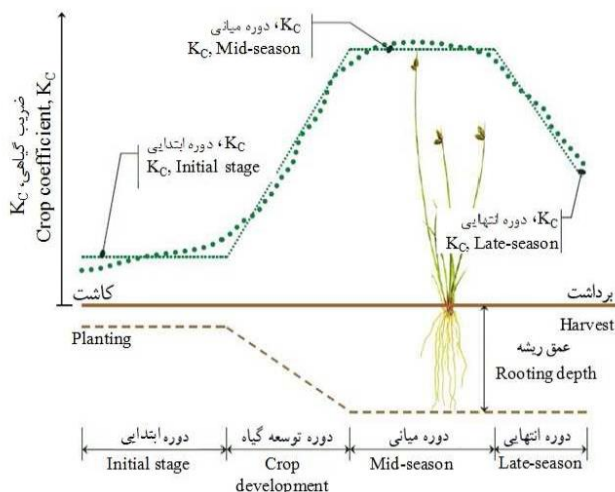
طی دوره رشد گیاه، تغییرات رطوبت طی دوره اندازه‌گیری

ناچیز در نظر گرفته شد.

$$E_{Tc} = I + P - D \pm \Delta S \quad (1)$$

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.

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



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

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.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (2)$$

که در آن:

$K_c$ : ضریب گیاهی،  $ET_0$ : تبخیر-تعرق گیاه مرجع،  $ET_c$ : تبخیر-تعرق واقعی گیاه می باشد.

جدول ۲- طول مراحل مختلف رشد (روز)

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

### 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 می شود 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 می شود که می تواند متأثر از پارامترهای هواشناسی باشد بطوریکه بررسی پارامترهای هواشناسی نشان می دهد، در روزه‌های ابری با

به منظور مقایسه و ارزیابی از پارامتر درصد خطای تخمین<sup>۱</sup> (PE) برای تعیین میزان خطا هر یک از این روش‌ها نسبت به نتایج واقعی استفاده شد (رابطه ۳).

$$PE = \left( \frac{K_{cav} - K_{cFAO}}{K_{cFAO}} \right) \times 100 \quad (3)$$

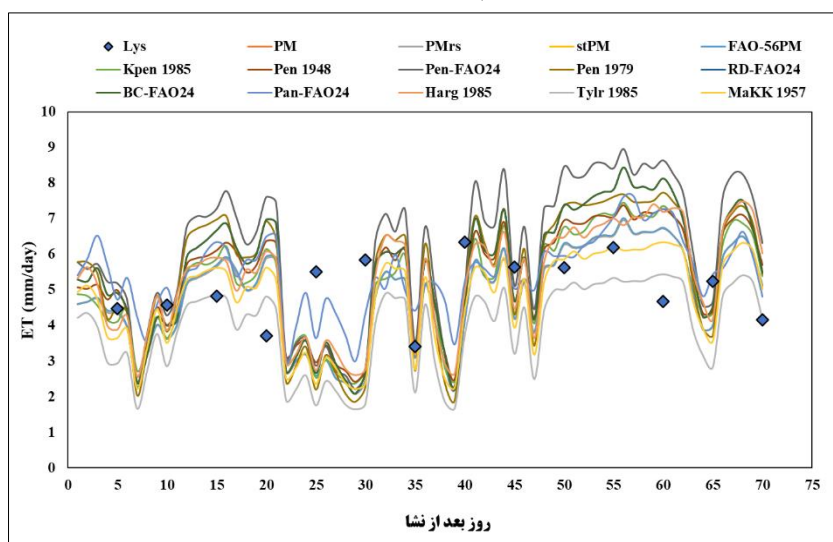
که در آن‌ها:

$K_{cFAO}$  و  $K_{cav}$  به ترتیب میانگین ضریب گیاه در طول مراحل مختلف دوره رشد و ضریب گیاهی توصیه شده فائو ۵۶ می باشد.

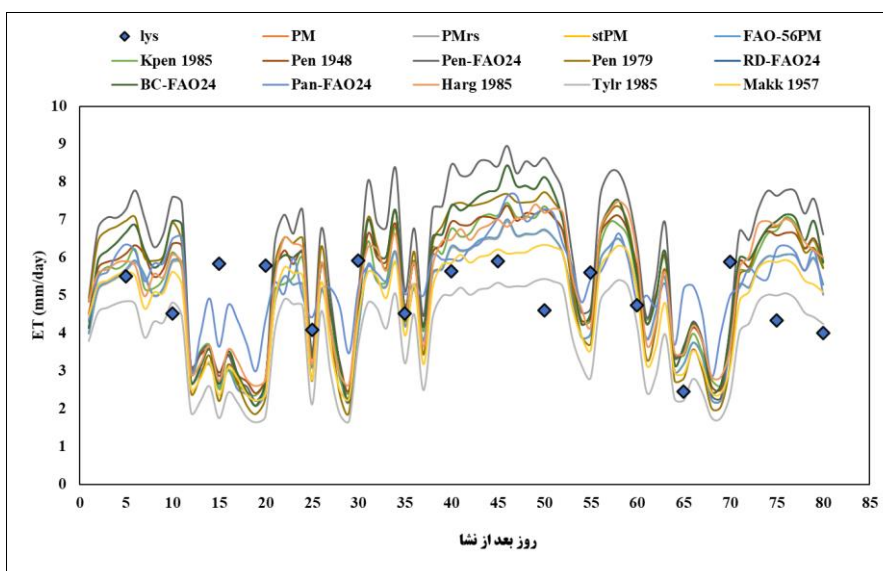
<sup>1</sup> PE: Percentage Error of Estimation

شیروودی ۴۹۲ و ۳۱۵ میلی‌متر بدست آمد. با توجه در شکل ۳ و ۴ مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده در ارقام هاشمی و شیروودی 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.

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 شیروودی بترتیب در روش‌های Pen-FAO24 و prs-Tyler حاصل شد. این مقادیر برای رقم هاشمی بترتیب ۴۲۷ و ۲۷۷ میلی‌متر و برای رقم



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 شیروودی

ابتدایی، توسعه، میانی، انتهای و کل دوره برای ارقام برنج هاشمی و شیروودی را ارائه می‌دهد. بر اساس بیلان جرمی،

جدول ۳ مقادیر متوسط روزانه آب تحویلی، بارندگی، نفوذ عمقی و تبخیر-تعرق واقعی طی مراحل

رقم‌های هاشمی و شیروودی 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 شیروودی ۹۷/۱۱ (بترتیب حدود ۱۳ و ۲۰ درصد از آب تحویلی) بدست آمد. اگرچه نفوذ عمقی متاثر از ساختمان خاک و شرایط آن می‌باشد، 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 شیروودی 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 شیروودی 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 شیروودی است در حالیکه در دوره انتهایی رشد برای رقم شیروودی 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 شیروودی بدست آمد.

مقدار تبخیر-تعرق واقعی برنج ارقام هاشمی و شیروودی 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 اندازه‌گیری کردند (مدبری، ۱۳۸۹). میزان کل آب تحویلی به لایسیمترها طی دوره رشد برای ارقام هاشمی و شیروودی 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 شیروودی 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 پیرمادیان و همکاران (۱۳۹۲) همخوانی دارد. دلیل این رویداد را می‌توان 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 شیروودی است ولی با توجه به طولانی بودن دوره رشد رقم شیروودی، تبخیر-تعرق واقعی رقم شیروودی 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 (پیرمادیان، ۱۳۷۶). با توجه به شرایط فیزیکی خاک، نشت و نفوذ عمقی در اراضی شالیزاری می‌تواند متفاوت باشد به طوری که 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

جدول ۳- متوسط روزانه بارش، آب تحویلی و نفوذ عمقی لایسیمترها در ارقام برنج هاشمی و شیروودی (میلی متر)

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	۰/۳۴	۶/۰۸	۰/۸۷	۵/۴۵
	انتهای	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
شیروودی	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
	انتهای	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

بگونه‌ای که ضرایب گیاهی بر پایه روش پنمن مانیتث فائو ۵۶ در مقایسه با ضریب گیاهی توصیه شده توسط فائو ۵۶ طی دوره‌های رشد ابتدایی، میانی و انتهای بترتیب ۵/۲۹، ۴/۴۵ و ۶/۷۹ درصد در رقم هاشمی و ۱۰/۶۰، ۱۹/۷۴ و ۱۸/۹۴ درصد در رقم شیروودی 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 (پیرمردیان 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 انتهای ۱۱، ۱۱ و ۸ درصد در رقم هاشمی و ۱۵، ۲۳ و ۱۶ درصد در رقم شیروودی بدست آمد.

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<sub>0</sub> در این دو روش بوده است. مقادیر ضریب گیاهی برای گیاه برنج در نشریه فائو ۵۶ برای سه دوره ابتدایی، میانی و انتهای 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 می‌دهد که با توجه به روش برآورد ET<sub>0</sub> و رقم برنج ضرایب محاسباتی و توصیه شده توسط فائو ۵۶ متفاوت است



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

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

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

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

## نتیجه گیری

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 شیروودی 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 شیروودی بیشتر از سایر روش‌ها می‌باشد. ضرایب حاصل از این پژوهش می‌تواند برای برآورد نیاز آبی ارقام هاشمی و شیروودی 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 -۰۲-۱۳۹۶-۲۲) انجام شد و نویسندگان از معاونت پژوهش و فناوری این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

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 شیروودی و استخراج ضریب گیاهی این ارقام، بر پایه روش برآورد تبخیرتعرق مرجع پرداخته شد. نتایج پژوهش نشان داد که برای کشت رقم شیروودی در منطقه مورد مطالعه نسبت به رقم هاشمی به آب بیشتری نیاز است، بطوریکه مقدار آب مصرفی برای کشت رقم شیروودی، 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 شیروودی در طول فصل رشد بصورت نفوذ عمقی از دسترس گیاه خارج شد. میانگین ET<sub>c</sub> برای کل دوره رشد برای ارقام هاشمی و شیروودی بترتیب ۵/۰۱ و ۴/۹۶ میلی‌متر بر روز به دست آمد. بالاترین میانگین تبخیر-تعرق روزانه برای هر دو رقم هاشمی و شیروودی در مرحله میانی رشد و کمترین آن برای رقم هاشمی در مرحله ابتدایی و برای رقم شیروودی در مرحله انتهایی از رشد واقع شد. ضرایب گیاهی استخراج شده در این پژوهش با در نظر گرفتن رقم و روش برآورد

## 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): ۲۳۸-۲۴۹.
۲. عزیزاده، 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 مانیتث (مطالعه موردی: منطقه سپیدان). مجله علمی ترویجی نیوار ۴۱(۹۸): ۱۳-۲۲.
۴. باباپور گل افشان، م.، شاهنظری، ع.، ضیاء تبار احمدی، م. خ.، آقاجانی، ق. ۱۳۹۱. مقایسه پارامترهای بیلان آبی در اراضی شالیزار اراضی سنتی و تسطیح شده شهرستان قائمشهر. نشریه آب و خاک. ۲۶(۴): ۱۰۱۰-۱۰۱۷.

۵. پوریزدان خواه، ه. رضوی پور، ت. خالدیان، م و رضایی، م. ۱۳۹۱. تعیین ضریب گیاهی برنج رقم های بینام و خزر در منطقه رشت. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب.
۶. پیرمردیان، 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. پیرمردیان، ن. ۱۳۷۶. تعیین نیاز آبی برنج (*orzia stavia L.*) در منطقه کوشک استان فارس. پایان نامه تحصیلات تکمیلی، کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز.
۸. پیرمردیان، ن. کامکارحقیقی، ع و سپاس خواه، ع. ۱۳۸۱. ضریب گیاهی و نیاز آبی برنج در منطقه کوشک استان فارس. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۶(۳): ۲۲-۱۵.
۹. ذکری، ف. پیرمردیان، ن و رضایی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی روش های پنمن مانیتث 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 مانیتث فائو و تشت تبخیر کلاس A با داده های لایسمتری در برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج در منطقه آمل. پژوهش های 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): ۹۷-۱۰۷.
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.