نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳، ص. ۲۴۹-۲۳۸

Journal of Agroecology
Vol. 6, No. 2, Summer 2014, p. 238-249

تعیین ضریب گیاهی برنج، رقم‌های بینام و خزر با استفاده از لایسیمتر و کرت‌های کنترل‌شده در منطقه رشت

هدیه پوریزدان‌خواه[۱]، تیمور رضوی‌پور[۲*]، محمدرضا خالدیان[۳] و مجتبی رضایی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۷

چکیده

ارزیابی و تعیین نیاز آبی برنج که کشت عمده منطقه رشت را تشکیل می‌دهد، از مسائل مهم مدیریت آب در این منطقه است. معادلاتی که برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع (ET_0) استفاده می‌شوند، به‌دلیل ماهیت تجربی آن‌ها برای تمام شرایط اقلیمی مناسب نیستند. از این‌رو لازم است که معادله مناسب هر منطقه مشخص شود. ضریب گیاهی (K_c) نیز پارامتری مهم برای تعیین مقدار تبخیر- تعرق هر گیاه و متعاقباً نیاز آبی گیاه می‌باشد. بدین منظور در این تحقیق، داده‌های تبخیر- تعرق برای گیاه چمن و برنج (رقم‌های بینام و خزر) در دوره‌های ده روزه خرداد تا شهریور در طی سه سال زراعی متوالی در مؤسسه تحقیقات برنج کشور با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار برداشت شد. مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع محاسبه شده و با ۱۶ معادله تجربی موجود در نرم‌افزار Ref-ET برآورد شد و معنی‌دار بودن اختلاف آن‌ها با نرم‌افزار SPSS سنجیده شد، همچنین مقدار ضریب گیاهی برای هر رقم برنج نیز محاسبه شد. درکل، نتایج نشان داد که بین تبخیر- تعرق برآورد شده با فرمول‌های تجربی هارگریوز، پریستلی‌تیلور و پنمن (فائو ۲۴) و تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و در بین این سه روش، فرمول تجربی هارگریوز به عنوان مناسب‌ترین فرمول برای منطقه رشت پیشنهاد شد، زیرا این روش برخلاف دو روش دیگر، روشی دمایی است و با توجه به پدیده گرمایش زمین، قادر است مقادیر تبخیر- تعرق را در آینده پیش‌بینی نماید. همچنین متوسط ضریب گیاهی (K_c) در سه سال اجرای طرح برای رقم خزر،۱/۱۰ و رقم بینام، ۱/۰۹ برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: پرستلی تیلور، پنمن، تبخیر- تعرق مرجع، نیاز آبی، هارگریوز

مقدمه

کاهش تولیدات گیاهی ناشی از روند نزولی منابع آب در دسترس، نگرانی‌هایی را در افکار عمومی ایجاد کرده و از این رو موضوع بسیاری از مطالعات و پژوهش‌های در دست انجام برخی از مناطق، به‌خصوص مناطق کم‌باران است. اگرچه باور عمومی بر این است که استان‌های برنج‌خیز شمالی از این امر مستثنی هستند، ولی کاهش بارندگی در سال‌های اخیر، مناطق شمالی ایران را نیز در معرض خطرات کمبود منابع آب قرار داده است. آمارها نشان می‌دهد که میزان بارش در شهر رشت طی سال‌های آبی ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ نسبت به آمار بلندمدت بارندگی ایستگاه هواشناسی فرودگاه سردار جنگل رشت به‌ترتیب حدود ۲۵ و ۲۰ درصد کاهش یافته است. این کاهش، در شهرهای دیگر استان گیلان بالغ بر ۳۵ درصد گزارش شده است (Anonymous, 2008). همچنین افزایش دما در سال‌های کم‌باران در آمارها، بیان‌کننده افزایش میزان تبخیر- تعرق و در پی آن، افزایش آب مورد نیاز گیاه است و این باعث ایجاد فشار بیشتر بر منابع آب و بدترشدن کیفیت آب‌ها می‌شود.

برنج زراعت عمده در اراضی استان گیلان بوده و سطح زیرکشت آن با وسعتی نزدیک به ۲۰۵۲۶۹ هکتار، بالغ بر ۳۵/۸۱ درصد از سطح

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان
۲- پژوهشگر مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان
۴- پژوهشگر مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت
(*- نویسنده مسئول: Email: razavi46@yahoo.com)

Archive of SID
www.SID.ir

کل برنج‌کاری کشور را شامل می‌شود (Ebrahimirad, 2010). مهم‌ترین منبع تأمین آب شالیزارها در این استان، شبکه آبیاری سفیدرود می‌باشد، بنابراین ارزیابی و تعیین نیاز آبی برنج از مسائل مهم در تخصیص آب به بخش‌های مختلف شبکه آبیاری این منطقه است. تبخیر- تعرق پارامتر بسیار مهمی برای مدیریت دقیق منابع آب و برنامه‌ریزی آبیاری است (Liu & Luo, 2010) و تقریباً در تمام مطالعات آب‌شناسی تاحدی مطرح می‌شود.

از آن‌جا که تبخیر- تعرق به عوامل محیطی تأثیرگذار بر آن مانند دمای هوا، سرعت باد و تشعشع خورشیدی بستگی دارد، فرمول‌های مختلف بسیاری برای برآورد تبخیر- تعرق غیرمستقیم به روش محاسباتی عنوان شده است (Allen, 2001). روش‌های بسیار زیادی برای تعیین تبخیر- تعرق مرجع (ET_0) ارائه شده است، اما انتخاب بهترین روش‌ها برای هر منطقه، مستلزم تحقیق و مقایسه روش‌های مختلف با داده‌های اندازه‌گیری شده از روش مستقیم لایسیمتری و کرت‌های کنترل شده است و هر روش تجربی با توجه به فرضیات و داده‌های مختلف هواشناسی مورد استفاده در آن، نتایج متفاوتی می‌دهد که اغلب تحت واسنجی‌های محلی به‌دست می‌آیند و اعتبار جهانی ندارند (Alizadeh et al., 2004).

ازآن‌جا که کشور ایران بسیار بزرگ و دارای اقلیم‌های متفاوت است، لازم است در هر منطقه با توجه به داده‌های هواشناسی بهترین روش غیرمستقیم جهت برآورد تبخیر- تعرق انتخاب و معرفی گردد، البته در بعضی از مناطق ایران مانند کردستان، خوزستان و خراسان مطالعاتی صورت گرفته و روش‌هایی نیز پیشنهاد شده است (Mohammadian, 2006; Moosavi-Baygi et al., 2009; Rahimzadegan, 1991; Samadi & Majdzade, 2003)؛ اما متأسفانه تعداد پروژه‌های انجام شده برای تخمین این فاکتور مهم در شالیزارهای شمال، بسیار نادر است که می‌توان به تحقیق انجام شده توسط زارع ابیانه و همکاران (Zare-Abiane et al., 2010) اشاره نمود که برای کل کشور ایران، روش‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع را ارزیابی و پهنه‌بندی نمودند.

تبخیر- تعرق مرجع، همان تبخیر- تعرق پتانسیل برای یک پوشش گیاهی به‌خصوص است که این پوشش گیاهی معمولاً چمن یا یونجه انتخاب می‌شود، البته در عمل چمن به‌عنوان گیاه مرجع کاربرد بیشتری دارد. در تمام روش‌های محاسباتی نیز تبخیر- تعرق گیاه مرجع محاسبه می‌شود و برای آن‌که بتوان آن را به سطوح پوشش مورد نظر تعمیم داد، لازم است مقدار تبخیر- تعرق مورد نظر را در ضریب گیاهی (K_c) ضرب نمود تا نیاز آبی گیاه مورد نظر (ET_c) به دست آید (Alizadeh, 2007). آلن و همکاران (Allen et al., 1990) عنوان نمودند که ضریب گیاهی هر گیاه بایستی به صورت تجربی و بر اساس داده‌های لایسیمتری و شرایط اقلیمی منطقه محاسبه شود، زیرا ضریب گیاهی وابسته به نوع گیاه، نوع خاک و شرایط اقلیمی منطقه است. سازمان خواروبار جهانی (FAO)[1] وابسته به سازمان ملل متحد در طول سال‌های متمادی و با استفاده از نتایج تحقیقات و تجربیات کشورهای مختلف جهان اعم از توسعه یافته و یا در حال توسعه، مطالعات وسیعی انجام داده و نتایج این مطالعات را در سال ۱۹۷۵ و سپس در سال ۱۹۷۷ به‌صورت یک راهنما برای تخمین آب مورد نیاز گیاهان انتشار داده است (Aboukhaled et al., 1982).

تومار و اُتول (Tomar & Otoole, 1980) طی آزمایشات خود بر روی تبخیر- تعرق برنج در آسیا عنوان کردند که میانگین تبخیر- تعرق برنج از ۴/۴ میلی‌متر در روز در کشور چین، تا ۹/۸ میلی‌متر در روز در کشور ویتنام متفاوت است. شیه و همکاران (Shih et al., 1982) تبخیر- تعرق برنج را به‌وسیله لایسیمتر و در شرایط مزرعه به‌طور هفتگی اندازه‌گیری کرده و کل تبخیر- تعرق را برای فصول مختلف مورد مقایسه قراردادند. آنها میانگین تبخیر- تعرق روزانه گیاه را برای فصل‌های بهار، تابستان و پاییز به ترتیب ۶/۵، ۶/۸ و ۴/۵ میلی‌متر در روز برآورد کردند و محدوده تغییرات کل تبخیر- تعرق در این فصول به ترتیب ۷۴۰ تا ۸۰۰، ۶۱۰ تا ۸۴۰ و ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر عنوان کردند.

پنگ و همکاران (Peng et al., 1994) در شان‌دانگ چین به کمک لایسیمتر آزمایشاتی بر روی برنج انجام داده و آبیاری را بر اساس ظرفیت نگهداری آب مورد بررسی قراردادند و نتیجه گرفتند که آبیاری بر اساس رطوبت خاک، مصرف آب را تا ۴۱ ٪، تبخیر از خاک را تا ۲۲٪، تراوش از مزرعه را تا ۴۶/۸٪ و تعرق را تا ۳۵٪ و میزان عملکرد برنج را تا ۱۵٪ کاهش داده است. در تحقیقی در هند، با استفاده از یک لایسیمتر وزنی الکترونیکی، تبخیر- تعرق برنج به صورت هفتگی اندازه‌گیری شد و ضریب گیاهی آن با استفاده از تبخیر- تعرق گیاه و داده‌های هواشناسی برآورد شد. مقدار تبخیر-

1- Food and Agriculture Organization of United Nations

Archive of SID

www.SID.ir

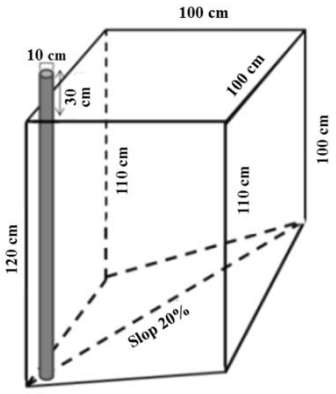
تعرق گیاهی کمتر از ۳/۳ میلی‌متر بر روز در اوایل فصل رشد بود و مقدار بیشینه آن ۶/۶ میلی‌متر بر روز محاسبه شد و مقادیر ضریب گیاهی برنج در چهار گام زمانی دوره رشد؛ مرحله ابتدایی، مرحله رویشی، مرحله زایشی و مرحله بلوغ به‌ترتیب ۱/۱۵، ۱/۲۳، ۱/۱۴ و ۱/۰۲ برآورد شد (Tyagi et al., 2000). در آزمایشات انجام شده در منطقه کوشکک استان فارس، تبخیر- تعرق گیاه برنج رقم چمپای‌کام فیروزی نوع زودرس با استفاده از لایسیمتر اندازه‌گیری شد و محدوده تغییرات آن در طول فصل رشد ۹/۳۴-۳/۶۷ میلی‌متر در روز گزارش شد و مقدار ضریب گیاهی به ترتیب در دوره اول فصل رشد، دوره میانی و هنگام برداشت محصول ۰/۹۷، ۱/۲۵ و ۱/۰۹ برآورد شد (Pirmotadian et al., 2002).

با توجه به اهمیت کشت برنج در استان گیلان و محدود بودن مقدار منابع آب موجود و نیز با توجه به اینکه در مورد نیاز آبی گیاه برنج و به‌ویژه ضریب گیاهی آن در منطقه مطالعاتی صورت نگرفته است، در این تحقیق تلاش شد که جهت تعیین الگوی مصرف آب، برنامه‌ریزی صحیح آبیاری و میزان آب تخصیص‌یافته به هر منطقه، بر اساس فرمول‌های تجربی و استفاده از داده‌های هواشناسی و مقایسه آن‌ها با داده‌های لایسیمتری گیاه چمن، بهترین فرمول تجربی برای منطقه رشت انتخاب شود. همچنین مقدار ضریب گیاهی برنج در طول فصل رشد به مدت سه سال زراعی متوالی تعیین گردد که البته با توجه به وضعیت خاص زراعت برنج در منطقه و به‌دلیل غرقاب‌بودن و سهولت نفوذ عمقی در دیواره‌های داخلی لایسیمتر، مطالعه همزمان روش لایسیمتری با روش اندازه‌گیری مستقیم در سطح مزرعه به وسیله‌کرت‌های کنترل‌شده و مقایسه آنها با یکدیگر انجام گردید.

مواد و روش‌ها

جهت انجام محاسبات مربوط به فرمول‌های تجربی، داده‌های هواشناسی مربوط به دوره‌های ده‌روزه از خرداد تا شهریور طی سال‌های ۷۳، ۷۴ و ۷۵ از ایستگاه هواشناسی رشت، با موقعیت جغرافیایی به عرض ′۱۵ °۳۷ شمالی و طول ′۳۶ °۴۹ شرقی که در ارتفاع ۶/۹- متری از سطح دریا قرار دارد، تهیه شد. متوسط داده‌های ده‌روزه ایستگاه هواشناسی فرودگاه رشت به‌عنوان نزدیک‌ترین و قابل اعتمادترین ایستگاه نیز جمع‌آوری گردید.

طرح مذکور در مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت، طی سال‌های زراعی متوالی ۱۳۷۳، ۱۳۷۴ و ۱۳۷۵ انجام شد. رقم‌های بینام و خزر که از ارقام رایج منطقه است، برای این تحقیق استفاده شد. دوره کشت این ارقام در منطقه رشت از ماه خرداد تا شهریور است. جهت اندازه‌گیری تبخیر- تعرق، شش عدد لایسیمتر آهنی ته‌بسته با سطح مقطع ۱×۱ متر که از عمق یک متر در یک گوشه از آن به ۱/۲ متر در گوشه روبه‌رو می‌رسد، در نظر گرفته شد که در این صورت عمق ۱/۱ متر در اضلاع جانبی و شیب ۲۰٪ در کف لایسیمتر ایجاد شد. در قسمت پایین شیب آن یک لوله پولیکا به‌طور عمودی کار گذاشته شد که سطح آن حدود ۳۰ سانتی‌متر بالای سطح لایسیمتر قرار گرفت (شکل ۱). زهاب جمع‌آوری شده در لوله به‌وسیله یک پمپ دستی پلاستیکی به بیرون پمپاژ شد و به‌وسیله ظروف مدرج اندازه‌گیری گردید.



شکل ۱- نمای لایسیمتر مورد استفاده در تعیین نیاز آبی برنج و چمن
Fig. 1– A schematic of the lysimeter used in determining the water requirements of rice and grass

دو عدد از لایسیمترها برای چمن، دو عدد برای برنج رقم بینام و دو عدد برای رقم خزر در داخل خاک کار گذاشته شدند. زمین اطراف لایسیمتر چمن حدود ۶۰۰ متر مربع و زمین اطراف لایسیمترهای برنج ارقام بینام و خزر هر یک ۸۰۰ متر مربع در نظر گرفته شد که پس از نصب لایسیمترها در وسط زمین مربوطه و کاشت گیاه در داخل و خارج لایسیمترها، به صورت روزانه اندازه‌گیری‌ها انجام شد و در نهایت محاسبات برای دوره‌های ده روزه بر اساس معادله بیلان آب صورت گرفت.

جهت ایجاد چاله برای جای دادن لایسیمترها در داخل خاک، ۳۰ سانتی‌متر از هر یک از لایه‌های خاک در یک‌جا جمع‌آوری شد و پس از قرار دادن لایسیمتر درون خاک، ابتدا ۱۰ سانتی‌متر آن با شن‌هایی به قطر تقریباً هفت میلی‌متر پر شد و سپس لایه‌های خاک با رعایت

Archive of SID

www.SID.ir

عمق در لایسیمتر ریخته و به‌خوبی‌کوبیده شد. لایسیمترها چند روز به‌طور مرتب آبیاری شدند تا لایه‌های خاک حالت طبیعی خود را به دست آوردند. برای جلوگیری از تنش رطوبتی در گیاه چمن و برای این‌که حد رطوبت ظرفیت زراعی (FC) تقریباً ثابت باشد، آبیاری به صورت روزانه و به اندازه تبخیر از طشتک تبخیر و زهکشی در دوره‌های پنج‌روزه صورت گرفت. در لایسیمترهای برنج پس از کاهش آب تا عمق حداقل سه سانتی‌متر، آبیاری تا عمق حداکثر پنج سانتی‌متر انجام شد. در این لایسیمترها زهکشی باعث نشت سریع آب به پایین می‌گردید، بنابراین از زهکشی‌های پنج‌روزه در آنها خودداری شد ولی برای جلوگیری از صدمات ناشی از غرقاب طولانی مدت، در طول فصل رشد برنج، فقط سه بار زهکشی صورت گرفت. برای اندازه‌گیری عمق آب در لایسیمترها، در داخل هر یک از آن‌ها یک خط‌کش مدرج چوبی کار گذاشته شد و در نهایت مقدار تبخیر- تعرق متوالی برای دوره‌های ده‌روزه با معادله بیلان آب (معادله ۱) برای هر سه سال برآورد شد.

$$ET = I + P - RO - Dr - \Delta W$$ معادله (۱)

که در این معادله،ET: مقدار تبخیر- تعرق، I: مقدار آبیاری،P: مقدار بارندگی، RO: رواناب سطحی که از زمین خارج می‌شود که در این تحقیق عملاً صفر است، Dr: مقدار آب زهکش‌شده که با پمپ دستی جهت اندازه‌گیری، پمپاژ می‌شد و ΔW: تغییرات رطوبت در حجم کنترل شده از خاک (لایسیمتر) است. تغییرات رطوبت با استفاده از روش وزنی و وزن مخصوص ظاهری خاک برآورد شد. مقدار تبخیر به‌وسیله دو عدد طشتک تبخیر از نوع کلاس A و مقدار بارندگی نیز توسط دو عدد باران‌سنج ذخیره‌ای اندازه‌گیری شدند. در طول آزمایش سعی بر این بوده است‌که شرایط داخل لایسیمترها با محیط اطراف از نظر رشد گیاهی و سایر شرایط یکسان نگه داشته شود و متوسط عملکرد در واحد سطح نیز یکسان باشد.

اگرچه استفاده از لایسیمتر روش خوبی برای برآورد تبخیر- تعرق است ولیکن خاک داخل لایسیمتر دست‌خورده می‌شود و ساختمان خاک به هم می‌ریزد، هرچند که در این تحقیق، موارد نصب لایسیمتر در داخل خاک کاملاً رعایت شده و خاک داخل آن به خوبی کوبیده شده است، ولی باز هم شرایط خاک اطراف را نخواهد داشت و این امر باعث می‌شود که آب داده شده اعم از آبیاری و بارندگی به لایسیمتر از جداره‌های داخلی یعنی محل‌تماس بین خاک و دیواره داخلی لایسیمتر سریعاً به اعماق نفوذ نماید و چنانچه بافت خاک از نوع سنگین باشد و رس غالب آن از نوع متورم شونده باشد، این امر محسوس‌تر خواهد بود. به‌طورکلی لایسیمتر با تمام معایبی که ذکر شد، تخمین مناسبی از تبخیر- تعرق را خواهد داد، ولی باید اظهار نمود که استفاده از کرت‌های‌کنترل‌شده، درصورتی که دیواره‌های جانبی یا مرزهای آن طوری ساخته شود که از نفوذ آب به بیرون جلوگیری شود و همچنین با نصب دستگاه‌هایی که بتواند نفوذ عمقی آب را اندازه‌گیری کند، روش بسیار مناسبی است و ارقام تبخیر- تعرق به‌دست آمده از آن می‌تواند دقیق‌تر باشد. به‌علاوه می‌تواند هزینه‌های بسیار سنگین ساخت و نصب لایسیمتر را هم تا حد زیادی بکاهد. در این تحقیق، کرت‌های کنترل شده به ابعاد ۵×۵ متر در نظر گرفته شد، برای هر رقم برنج سه کرت کنترل شده در نظر گرفته شد که دیواره‌های هر کرت تا عمق ۵۰ سانتی‌متر با پلاستیک پوشانده شد.

مقادیر تبخیر- تعرق برای هر لایسیمتر و هر کرت کنترل شده محاسبه شد و مقادیر تبخیر- تعرق لایسیمتر و کرت برای هر گیاه به‌طور جداگانه با میانگین‌گیری از مقادیر دو لایسیمتر و سه کرت برآورد شد. ضریب گیاهی برای هر رقم برنج بر اساس معادله (۲) محاسبه گردید.

$$K_c = {ET_c}/{ET_0}$$ معادله (۲)

که در آن، K_c: ضریب گیاهی، ET_c: تبخیر- تعرق گیاه و ET_0: تبخیر- تعرق مرجع است. اطلاعات هواشناسی به عنوان ورودی به نرم‌افزار Ref-ET (Allen, 2001) داده شد. نرم‌افزار Ref-ET در سال ۲۰۰۱ میلادی با هدف ایجاد یک برنامه استاندارد جهت محاسبه روش‌های مختلف تبخیر- تعرق و امکان مقایسه آن‌ها با یکدیگر، در دانشگاه آیداهو براساس معادلات پیشنهاد شده توسط فائو[1] و انجمن مهندسان عمران آمریکا[2]تهیه شد که کلاً شامل ۱۷ روش است.

در این تحقیق، نتایج فرمول‌های تجربی تورک[3] (۱۹۶۱)، ۱۹۵۷[4](ماکینک)، پریستلی‌تیلور[5] (۱۹۷۲)، هارگریوز[6] (۱۹۸۵)، طشتک‌تبخیر[7] (فائو)، بلانی کریدل[8] (فائو ۲۴)، تابش[9] (فائو ۲۴)،

1- FAO
2- ASCE
3- Turc
4- Makkink
5- Priestley-Taylor
6- Hargreaves
7- Pan Evaporation
8- Blaney-Criddle
9- Radiation

Archive of SID

www.SID.ir

پنمن[1] (فائو ۲۴)، پنمن (۱۹۷۹)، پنمن (۱۹۴۸)، پنمن کیمبرلی[2] (۱۹۷۲ و ۱۹۹۶) و پنمن مونتیث[3] (فائو ۵۶ و انجمن مهندسان عمران عمران آمریکا) و پنمن مونتیث استاندارد شده برای گیاهان بلند و کوتاه (انجمن مهندسان عمران آمریکا) موجود در نرم‌افزار Ref-ET با داده‌های لایسیمتری مقایسه گردید. تنها روش پنمن (فائو ۵۶) در این نرم‌افزار انتخاب نشد، زیرا فقط به‌صورت ساعتی به‌کار برده می‌شود. با توجه به تحقیقات آیتک (Aytek, 2008) و لین و همکاران (Lin et al., 2008) فرض همبستگی داده‌های هواشناسی و مقادیر تبخیر- تعرق پذیرفته شده است.

جهت مشاهده معنی‌دار بودن اختلافات حاصل از فرمول‌های تجربی و داده‌های لایسیمتری در سطح احتمال پنج درصد از آزمون t موجود در نرم‌افزار SPSS برای مقایسه داده‌های جفت استفاده شد و در بین روش‌های مورد بررسی، روشی به‌عنوان روش مطلوب‌تر انتخاب شد که اولاً داده‌های ورودی مورد نیاز آن به سهولت قابل دسترس بوده و ثانیاً نتایج حاصل از آن به داده‌های لایسیمتری نزدیک‌تر باشند (Alizadeh, 2004).

نتایج و بحث

مقادیر تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی محاسبه شده برای هر یک از دوره‌های ده روزه، طی سه سال زراعی متوالی به ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ آورده شده است. برای برآورد تبخیر- تعرق حاصل از لایسیمتر و کرت از دو لایسیمتر و سه کرت میانگین‌گیری شد. نتایج جدول‌های ۱، ۲ و ۳ نشان می‌دهندکه در هر یک از سال های اجرای آزمایش، ضریب گیاهی در ابتدای فصل رشد برنج کم بوده و در اواسط رشد زیادتر شده و سپس در پایان فصل رشد مجدداً کاهش می‌یابد. علت تغییرات این است‌که در ابتدای فصل رشد چون گیاه هنوز رشد کاملی نداشته و تعداد پنجه و نیز ارتفاع آن کم است، میزان تعرق حاصل از آن نیز کم بود، ولی در اواسط فصل رشد که گیاه به حداکثر رشد خود رسیده و تعداد پنجه آن زیادتر می‌شود و ارتفاع گیاه به بیشترین حد خود می‌رسد، میزان تعرق حاصل ازآن بیشتر می‌شود و لذا میزان ضریب گیاهی افزایش پیدا می‌کند. همچنین در اواسط رشد گیاه با حداکثر درجه حرارت هوا مصادف می‌شود و از طرف دیگر به رشد زایشی می‌رسد، بنابراین فعالیت آن زیاد شده و تعرق بیشتری انجام می‌دهد. در پایان فصل رشد از فعالیت گیاه کاسته شده و میزان تعرق آن‌کم می‌شود و همان‌طورکه مشاهده می‌شود، میزان ضریب‌گیاهی نیز کاهش می‌یابد. ارقام جدول فوق همچنین نشان می‌دهد که بیشترین مقدار متوسط ضریب گیاهی در هر دو رقم بینام و خزر در دهه سوم تیرماه می‌باشد که شامل دوره زایشی برنج در تقویم زراعی منطقه رشت می‌باشد.

مقادیر میانگین تبخیر- تعرق گیاه برنج در طول فصل رشد برای سال‌های اول، دوم و سوم این تحقیق با میانگین‌گیری از ضرایب به‌دست آمده از لایسیمتر و کرت‌های کنترل‌شده برای رقم بینام به‌ترتیب برابر با ۱/۰۹، ۱/۱۳ و ۱/۰۶ و برای رقم خزر به‌ترتیب برابر با ۱/۱۲، ۱/۱۵ و ۱/۰۷ میلی‌متر در روز به‌دست آمد.

افزایش اختلاف تبخیر- تعرق گیاه برنج و گیاه مرجع در طول دوره رشد نشان از افزایش نیاز آبی برنج در این دوره دارد.

همان‌طورکه در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، مقادیر تبخیر- تعرق به‌دست آمده توسط کرت‌های کنترل شده، بسیار نزدیک به مقادیر به‌دست آمده از لایسیمترها می‌باشد و این نشان دهنده کارگذاری صحیح لایسیمتر درون مزارع است. با توجه به تقسیم‌بندی دوره رشد گیاه برنج پس از نشاءکاری به سه مرحله؛ رشد رویشی (۳۰ روز)، رشد زایشی (۵۰ روز) و مرحله خوشه‌دهی (۲۰ روز)، مقادیر ضریب گیاهی با میانگین‌گیری از سه سال اجرای طرح برای هر کدام از دوره‌های یاد شده در رقم بینام به‌ترتیب ۰/۹۵، ۱/۱۹ و ۱/۰۲ و در رقم خزر به‌ترتیب ۰/۹۵، ۱/۲۵ و ۱/۰۳ به‌دست می‌آید. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که رقم خزر در دوره رشد زایشی خود نسبت به رقم بینام به آب بیشتری نیاز دارد. البته قابل ذکر است که کل آب مورد نیاز در کل فصل رشد در این دو رقم برنج تفاوت چندانی ندارد، به‌طوری که متوسط ضریب گیاهی در طی سه سال برای رقم بینام ۱/۰۹ و برای رقم خزر ۱/۱۰ برآورد شده است. مقادیر به‌دست آمده تقریباً مشابه مقدار ضریب گیاهی برآورد شده توسط آلن و همکاران (Allen et al., 1998) در نشریه فائو ۵۶ است که این مقادیر را به ترتیب ۱/۰۵، ۱/۲۰ و برای مرحله خوشه‌دهی بازه ۰/۹- ۰/۶ را عنوان کردند. ضرایب به‌دست آمده برای ارقام بینام و خزر در منطقه رشت بسیار مشابه رقم چمپای‌کام فیروزی در منطقه کوشکک استان فارس است (Pirmoradian et al., 2002). مقادیر نفوذ عمقی برای هر یک از سه سال اجرای طرح در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ آمده است و متوسط نفوذ عمقی ۲/۳۷ میلی‌متر در روز برآورد شد.

1- Penman
2- Kimberly Penman
3- Penman-Montieth

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱- مقادیر تبخیر- تعرق و ضرایب گیاهی برای هر رقم برنج و مقادیر نفوذ عمقی و بارندگی در طول فصل رشد در سال اول تحقیق

Table 1- Evapotranspiration amounts and crop coefficients for each variety of rice and precipitation depth and infiltration rate during the growing season in the first year of study

کرت‌های کنترل‌شده Controled plots		لایسیمتر Lysimeter				کرت‌های کنترل‌شده Controled plots		لایسیمتر Lysimeter				
K_cخزر $K_{c\ Khazar}$	K_cبینام $K_{c\ Binam}$	K_cخزر $K_{c\ Khazar}$	K_cبینام $K_{c\ Binam}$	نفوذ عمقی (میلی‌متر بر روز)	بارندگی (میلی‌متر)	ETخزر (میلی‌متر بر روز)	ETبینام (میلی‌متر بر روز)	ETخزر (میلی‌متر بر روز)	ETبینام (میلی‌متر بر روز)	تبخیر- تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)	دهه‌ها	ماه‌ها
–	–	–	–	Infiltration	Precipitation	ET_{Khazar}	ET_{Binam}	ET_{Khazar}	ET_{Binam}	ET_o		
–	–	–	–	($mm.day^{-1}$)	(mm)	($mm.day^{-1}$)	($mm.day^{-1}$)	($mm.day^{-1}$)	($mm.day^{-1}$)	($mm.day^{-1}$)	Decades	Months
0.96	0.94	0.93	0.91	–	0	4.59	4.50	4.45	4.38	4.80	1	
0.94	0.95	0.93	0.92	–	3.50	4.60	4.65	4.53	4.50	4.88	2	3
1.10	1.06	1.02	0.99	2.67	1.67	5.65	4.45	5.25	5.10	5.15	3	
1.12	1.08	1.04	1.04	2.42	13.54	4.85	4.65	4.49	4.50	4.32	1	
1.29	1.24	1.18	1.15	2.86	0	6.05	5.80	5.50	5.39	4.68	2	4
1.36	1.30	1.22	1.17	2.70	0	6.44	6.16	5.82	5.58	4.75	3	
1.26	1.23	1.18	1.17	2.85	0.81	6.72	6.59	6.31	6.26	5.35	1	
1.24	1.20	1.18	1.13	3.10	1.59	6.03	5.84	5.71	5.49	4.85	2	5
1.23	1.19	1.14	1.09	2.54	2.49	5.90	5.70	5.45	5.20	4.78	3	
1.11	1.06	1.05	1.02	2.80	2.54	5.25	4.98	4.95	4.80	4.72	1	
–	–	–	–	2.45	6.38	–	–	–	–	3.69	2	6
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3	
1.16	1.12	1.09	1.06	2.71	–	5.61	5.43	5.25	5.12	4.72		میانگین Avarege
–	–	–	–	–	30.52	577.32	559.50	540.34	527.36	486.16		مجموع Total

www.SID.ir

جدول۲- مقادیر تبخیر- تعرق و ضرایب گیاهی برای هر رقم برنج و مقادیر نفوذ عمقی و بارندگی در طول فصل رشد در سال دوم تحقیق

Table 2- Evapotranspiration amounts and crop coefficients for each variety of rice and precipitation depth and infiltration rate during the growing season in the second year of study

کرت‌های کنترل‌شده Controled plots		لایسیمتر Lysimeter					کرت‌های کنترل‌شده Controled plots			لایسیمتر Lysimeter						
K_c خزر $K_{c\ Khazar}$	K_c بینام $K_{c\ Binam}$	K_c خزر $K_{c\ Khazar}$	K_c بینام $K_{c\ Binam}$	نفوذ عمقی (میلی‌متر بر روز) Infiltration ($mm.day^{-1}$)	بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)	ET خزر (میلی‌متر بر روز)	ET_{Khazar} ($mm.day^{-1}$)	ET بینام (میلی‌متر بر روز)	ET_{Binam} ($mm.day^{-1}$)	ET خزر (میلی‌متر بر روز)	ET_{Khazar} ($mm.day^{-1}$)	ET بینام (میلی‌متر بر روز)	ET_{Binam} ($mm.day^{-1}$)	تبخیر- تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز) ET_o ($mm.day^{-1}$)	دهه‌ها Decades	ماه‌ها Months
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	3
—	0.98	–	0.93	2.74	0	–	–	5.23	–	–	–	4.95	–	5.35	3	
0.98	0.98	0.93	0.92	2.58	3.18	4.90	4.88	4.88	4.65	4.65	4.65	4.60	4.60	4.98	1	
1.03	1.01	0.98	0.93	2.49	3.27	4.75	4.65	4.65	4.50	4.50	4.50	4.30	4.30	4.60	2	
1.33	1.32	1.29	1.23	2.71	2.15	6.32	6.25	6.25	6.10	6.10	6.10	5.81	5.81	4.74	3	4
1.33	1.33	1.29	1.26	2.65	0.91	6.53	6.50	6.50	6.34	6.34	6.34	6.18	6.18	4.90	1	
1.33	1.31	1.31	1.25	2.65	0.25	6.80	6.73	6.73	6.70	6.70	6.70	6.41	6.41	5.13	2	
1.19	1.18	1.16	1.13	2.53	0.16	7.09	7.00	7.00	6.89	6.89	6.89	6.70	6.70	5.94	3	
1.31	1.28	1.26	1.22	2.35	0	6.95	6.80	6.80	6.70	6.70	6.70	6.44	6.44	5.30	1	
1.07	1.04	1.01	1.02	2.69	2.40	5.12	4.96	4.96	4.80	4.80	4.80	4.85	4.85	4.75	2	5
0.98	–	0.96	–	–	0.54	5.34	–	–	5.23	–	5.23	–	–	5.47	3	
–	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–	–	–	5.60	1	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	6
1.17	1.16	1.13	1.10	2.61	–	5.98	5.88	5.88	5.77	5.77	5.77	5.58	5.58	5.16	3	
–	–	–	–	–	112.86	556.14	546.84	546.84	536.61	536.61	536.61	518.94	518.94	531.48		مجموع Total

www.SID.ir

جدول۳- مقادیر تبخیر- تعرق و ضرایب گیاهی برای هر رقم برنج و مقادیر نفوذ عمقی و بارندگی در طول فصل رشد در سال سوم تحقیق

Table 3- Evapotranspiration amounts and crop coefficients for each variety of rice and precipitation depth and infiltration rate during the growing season in the third year of study

کرت‌های کنترل‌شده Controled plots			لایسیمتر Lysimeter					کرت‌های کنترل‌شده Controled plots			لایسیمتر Lysimeter				
K_c خزر $K_{c\ Khazar}$	K_c بینام $K_{c\ Binam}$		K_c خزر $K_{c\ Khazar}$	K_c بینام $K_{c\ Binam}$		نفوذ عمقی (میلی‌متر بر روز)	بارندگی (میلی‌متر)	ET خزر (میلی‌متر بر روز)	ET بینام (میلی‌متر بر روز)		ET خزر (میلی‌متر بر روز)	ET بینام (میلی‌متر بر روز)		تبخیر-تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)	دهه‌ها	ماه‌ها
					Infiltration ($mm.day^{-1}$)	Precipitation (mm)	ET_{Khazar} ($mm.day^{-1}$)	ET_{Binam} ($mm.day^{-1}$)		ET_{Khazar} ($mm.day^{-1}$)	ET_{Binam} ($mm.day^{-1}$)		ET_c ($mm.day^{-1}$)	Decades	Months
–	–	–	–	–	1.20	4.20	–	4.35		–	4.34		–	1	
0.86	0.88	0.88	0.86	0.99	1.50	31.90	3.69	3.78		3.78	3.70		4.29	2	3
0.86	1.04	0.90	0.99	1.05	1.18	32.70	4.15	5.02		4.38	4.82		4.85	3	
1.12	1.01	1.04	0.97	1.28	2.20	21.50	5.80	5.26		5.40	5.03		5.20	1	
1.01	1.03	1.12	1.05	1.18	1.95	9.10	4.65	4.76		5.15	4.85		4.61	2	4
1.43	1.39	1.34	1.30	–	2.45	2.50	7.45	7.24		6.95	6.75		5.20	3	
1.18	1.15	1.33	1.28	–	1.88	1.60	5.21	5.05		5.87	5.65		4.40	1	
1.10	1.08	1.26	1.18	–	2.20	2.00	5.35	5.26		6.11	5.73		4.85	2	5
0.87	0.80	1.02	0.91	–	1.18	24.00	3.98	3.70		4.71	4.20		4.60	3	
0.88	–	103	–	–	2.20	5.40	4.30	–		5.05	–		4.90	1	
–	–	–	–	–	–	0	–	–		–	–		4.95	2	6
–	–	–	–	–	–	0	–	–		–	–		–	3	
1.03	1.05	1.10	1.07	–	1.79	–	4.95	4.94		5.27	4.99		4.78		میانگین Average
–	–	–	–	–	179	134.90	448.89	436.22		520.63	474.52		490.55		مجموع Total

www.SID.ir

جدول ۴ متوسط سه ساله مقادیر تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده و محاسبه شده توسط هر فرمول را گزارش می‌کند و جدول ۵ میانگین مقادیر حاصل از نرم‌افزار SPSS را با در نظرگرفتن میانگین سه سال زراعی، نشان می‌دهد. نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که برای فرمول‌های تجربی هارگریوز، پریستلی‌تیلور و پنمن (فائو ۲۴) در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است که بیانگر این است که مقادیر برآورد شده از طریق این فرمول‌های تجربی با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر شبیه‌اند.

در جدول ۳ مشاهده می‌شود که در تمام فرمول‌های تجربی به جز سه روش هارگریوز، پنمن (فائو ۲۴) و پریستلی‌تیلور، فرمول‌ها، مقادیر کمتری را نسبت به مقادیر واقعی (لایسیمتری) تخمین زده‌اند. درکل، نتایج نشان داده است که به‌ترتیب، فرمول‌های تجربی هارگریوز، پنمن (فائو ۲۴) و پریستلی‌تیلور برای منطقه رشت، روش‌های قابل قبولی هستند که به مقادیر واقعی نزدیک‌ترند. معادله اصلاح شده پنمن که توسط متخصصان سازمان فائو ارائه شده است، به‌صورت معادله ۳ ارائه شده است (Doorenbos & Pruitt, 1997).

معادله (۳) $$ET_0 = C\left[\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}R_n + \frac{\gamma}{\Delta+\gamma}(0.27)(1.0+0.01U_{2m})(e_s - e_a)\right]$$

که در آن، ET_0: تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن ($mm.day^{-1}$)، R_n: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$)، U_{2day}: سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین ($Km.day^{-1}$)، Δ: شیب منحنی فشار بخار اشباع که بر اساس دمای متوسط هوا محاسبه می‌شود، γ: ضریب رطوبتی که براساس دمای هوا و ارتفاع محل از سطح دریا محاسبه می‌شود، (e_s-e_a): کمبود فشار بخار و C: ضریب اصلاحی که با داشتن سرعت باد در روز و شب، رطوبت نسبی حداکثر و تابش خورشیدی (R_s) قابل محاسبه است. پرستلی و تیلور (Priestley & Taylor, 1972) تلاش کردند تا فرآیند تبخیر را با استفاده از مفهوم شرایط تعادل توضیح دهند، حالتی که در آن هوا در تماس با سطح مرطوب از بخار اشباع است. با محاسبه و تعریف فرضیاتی و در نظر گرفتن ضریب ۱/۲۶ معادله (۴) را معرفی نمودند.

معادله (۴) $$ET_0 = 1.26\left[\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\right]\left(\frac{R_n+G}{\lambda}\right)$$

که در آن، G: چگالی جریان حرارتی خاک ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$) و λ:گرمای نهان تبخیر ($MJ.kg^{-1}$) است. سایر پارامترها در روش پنمن ذکر شد. معادله هارگریوز در سال ۱۹۸۵ میلادی ارائه شد که به‌صورت معادله ۵ است (Hargreaves & Samani, 1985).

معادله (۵) $$ET_0 = 0.0023R_a(T+17.8)\sqrt{TR}$$

که در آن، R_a: تابش برون‌زمینی ($mm.day^{-1}$) است که با داشتن فاصله نسبی زمین تا خورشید، عرض جغرافیایی و زاویه میل خورشیدی قابل برآورد است؛ T: میانگین دمای روزانه و TR: اختلاف بیشترین و کمترین دما می‌باشد (°C).

با مقایسه سه روش هارگریوز، پریستلی‌تیلور و پنمن (فائو ۲۴) مشاهده می‌شود که اطلاعات مورد نیاز در روش هارگریوز و پریستلی‌تیلور جهت برآورد تبخیر- تعرق کمتر از معادله پنمن (فائو ۲۴) است، ولی مطلوبیت روش پنمن را می‌توان ناشی از بیشتر بودن پارامترهای تأثیرگذار هواشناسی در میزان تبخیر- تعرق در این مدل دانست (Rahimi Khoob, 2008). معادله پریستلی‌تیلور در واقع خلاصه شده معادله پنمن است و برای مناطق بدون تنش آبی و یا تنش آبی کم مناسب می‌باشد، زیرا در مناطق با تنش آبی کم، ۹۵٪ از آب تبخیر می‌شود (Stagnitti et al., 1989).

از آن‌جا که رشت منطقه‌ای شرجی با کشت رایج برنج است، گیاه به‌صورت غرقاب و بدون تنش رشد می‌کند. بنابراین معادله پریستلی‌تیلور به‌خوبی پاسخ‌گو بوده است، اما مشکل این معادله عموماً فقدان داده G است (Hasheminia, 1989)، درحالی‌که روش هارگریوز، بر خلاف دو روش مذکور که روش‌های ترکیبی دما- تابشی هستند، روش دمایی است.

طی تحقیقی جهت حساسیت‌سنجی پارامترهای اقلیمی مؤثر در تبخیر- تعرق در هند، نشان داده شده است که ۲۰ درصد تغییرات در پارامترهای دما، تشعشع خورشیدی و سرعت باد به‌ترتیب ۱۵، ۱۱ و ۷ درصد تغییرات در تبخیر- تعرق ایجاد می‌کند و با افزایش دما، مقدار تبخیر- تعرق افزایش می‌یابد (Goyal, 2004). از طرفی، دما یکی از کلیدی‌ترین پارامترهای مؤثر در تغییرات اقلیمی است (Ojwang et al., 2010). با توجه به این نکات، معادله‌ای مانند هارگریوز نسبت به پریستلی‌تیلور و پنمن (فائو ۲۴) که بر اساس پارامترهای دمایی است، توانایی بیشتری در پیش‌بینی مقادیر تبخیر- تعرق در سال‌های آتی را دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۴- متوسط سه سال مقادیر تبخیر – تعرق پتانسیل محاسبه شده با فرمول‌های تجربی و داده‌های لایسیمتری (mm/day)؛ Lys(data): داده‌های به دست آمده از لایسیمتر؛ PM: پنمن مونتیث؛ PMrs: پنمن مونتیث استاندارد شده؛ stPM: پنمن مونتیث استاندارد شده برای گیاهان بلند و کوتاه؛ KPen: کیمبرلی پنمن؛ Pen: پنمن؛ RD: تابش؛ BC: بلانی کریدل؛ Pan: طشتک تبخیر؛ Harg: هارگریوز؛ Prs-Tylr: پریستلی تیلور؛ Mak: ماکینک؛ Turc: تورک.

Table 4-Three years of potential evapotranspiration values calculated with empirical formulas and data obtained from the lysimeter(mm / day); Lys (data): the values obtained from the lysimeter; PM: Penman-Montieth (1989); PMrs: Penman-Montieth with user supplied surface resistance;stPM: Standardized form of ASCE Penman-Montieth (2005); KPen: Kimberly Penman; Pen: Penman; RD: Radiation; BC: Blaney-Criddle; Pan: Pan Evaporation; Harg: Hargreaves; Prs-Tylr: Priestley-Taylor; Mak: Makkink; Turc: Turc.

ماهها	دهه‌ها	Lys	PM	PMrs	stPM	PM	KPen	Kpen	Pen	Pen	Rd	BC	Pan	Harg	Prs-	Mak	Turc
Months	Decades	Data	ASCE	ASCE	ASCE	FAO56	1996	1972	1948	FAO 24	1979	FAO 24	FAO 24	FAO	1985	Tylr	1957	1961
3	1	4.69	4.08	4.08	4.08	4.07	4.46	3.98	4.58	4.98	4.58	4.77	4.35	3.45	4.67	4.83	3.70	5.48
	2	4.72	3.32	3.32	3.32	3.32	3.63	3.19	3.76	3.90	3.76	3.53	3.44	3.13	4.18	3.69	2.86	3.51
	3	4.87	3.87	3.87	3.87	3.87	4.05	3.50	4.35	4.62	4.35	4.34	4.10	3.34	4.67	4.65	3.43	4.14
4	1	4.75	4.07	4.07	4.07	4.07	4.31	3.76	4.56	4.92	4.56	4.63	4.38	3.48	4.88	4.84	3.62	4.33
	2	4.73	3.89	3.89	3.88	3.88	3.90	3.37	4.35	4.60	4.35	4.22	4.13	3.45	4.77	4.67	3.39	4.12
	3	5.03	4.90	4.90	4.88	4.88	4.94	4.37	5.46	6.04	5.46	5.73	5.45	4.13	5.34	5.76	4.35	5.15
5	1	5.23	4.10	4.10	4.09	4.09	4.23	3.71	4.61	4.94	4.61	4.54	4.49	3.36	4.83	4.83	3.54	4.29
	2	5.00	4.33	4.33	4.31	4.31	4.50	3.95	4.85	5.23	4.85	4.95	4.81	3.89	5.06	5.12	3.84	4.62
	3	4.71	3.48	3.48	3.47	3.47	3.77	3.39	3.91	4.07	3.91	3.73	3.79	2.67	4.41	4.09	3.00	3.72
6	1	5.03	3.30	3.30	3.29	3.29	3.63	3.16	3.74	3.86	3.74	3.54	3.68	2.89	4.31	3.78	2.83	3.52
	2	4.75	3.35	3.35	3.34	3.34	3.80	3.31	3.77	3.96	3.77	3.81	3.87	2.96	4.34	3.82	2.99	3.69
	3	4.09	2.86	2.86	2.85	2.85	3.35	2.90	3.23	3.31	3.24	3.24	3.28	2.94	3.62	3.24	2.59	3.25

n.s. و *، ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

n.s. and *, ** are non- significant and significant at 5% and 1% probability level, respectively.

جدول۵- میانگین مقادیر sig. بدست آمده از نرم‌افزارSPSS برای سه سال زراعی؛ PM: پنمن مونتیث؛ PMrs: پنمن مونتیث استاندارد شده؛ stPM: پنمن مونتیث استاندارد شده برای گیاهان بلند و کوتاه؛ KPen: کیمبرلی پنمن؛ Pen: پنمن؛ RD: تابش؛ BC: بلانی کریدل؛ Pan: طشتک تبخیر؛ Harg: هارگریوز؛ Prs-Tylr: پریستلی تیلور؛ Mak: ماکینک؛ Turc: تورک.

Table 5- sig.values obtained using the SPSS software; PM: Penman-Montieth (1989); PMrs: Penman-Montieth with user supplied surface resistance; stPM: Standardized form of ASCE Penman-Montieth (2005); KPen: Kimberly Penman; Pen: Penman; RD: Radiation; BC: Blaney-Criddle; Pan: Pan Evaporation; Harg: Hargreaves; Prs-Tylr: Priestley-Taylor; Mak: Makkink; Turc: Turc.

	PM	PMrs	stPM	PM	KPen	KPen	Pen	Pen	Rd	BC	Pan	Harg	Prs-	Mak	Turc
	ASCE	ASCE	ASCE	FAO56	1996	1972	1948	FAO 24	1979	FAO 24	FAO	1985	Tylr	1957	1961
میانگین Average	**0	**0	**0	**0	**0.002	**0	*0.023	$0.296^{n.s}$	$0.028^{n.s}$	*0.025	*0.013	**0.004	$0.268^{n.s}$	0.199	**0	*0.078

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه بررسی و مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق مرجع با مقادیر اندازه‌گیری‌شده با لایسیمتر و انتخاب بهترین روش و همچنین تعیین ضرایب گیاه برنج ارقام بینام و خزر برای منطقه رشت بود که سه روش هارگریوز، پریستلی‌تیلور و پنمن (فائو ۲۴) به‌عنوان بهترین روش‌ها شناخته شدند و از آن‌جا که تغییرات دمایی عامل اصلی تغییرات اقلیمی شناخته شده است، معادله‌ای که بر پایه پارامتر دما باشد، با توجه به تأثیرپذیری بیشتر تبخیر- تعرق از دما می‌تواند به‌عنوان روش مناسب‌تر انتخاب شود. پیشنهاد می‌شود از روش هارگریوز که روش دمایی است، به دلیل نیازمند بودن به داده‌های ورودی کمتر و پاسخ‌گو بودن به مسئله پدیده گرمایش زمین، جهت تعیین مقادیر تبخیر- تعرق استفاده شود. قابل ذکر است که معادله پریستلی‌تیلور نیز برای منطقه رشت مورد قبول است که به دلیل ورودی‌های کمتر بر روش پنمن (فائو ۲۴) ارجحیت دارد.

با توجه به وضعیت خاص زراعت برنج در منطقه، مطالعه هم‌زمان روش لایسیمتری با روش اندازه‌گیری مستقیم در سطح مزرعه به‌وسیله کرت‌های کنترل‌شده انجام شد و با یکدیگر مقایسه گردید که نتایج تبخیر- تعرق در دو روش بسیار نزدیک بودند. مقادیر ضریب گیاهی با میانگین‌گیری از سه سال اجرای طرح برای دوره‌های رویشی، زایشی و خوشه‌دهی در رقم بینام به‌ترتیب ۰/۹۵، ۱/۱۹ و ۱/۰۲ و در رقم خزر به‌ترتیب ۰/۹۵، ۱/۲۵ و ۱/۰۳ به‌دست می‌آید. بررسی ضرایب گیاهی و مقایسه آنها نشان داد که رقم خزر در دوره زایشی رشد خود نسبت به رقم بینام به آب بیشتری نیاز دارد ولی در کل، مقدار آب مورد نیاز در کل دوره رشد را برای هر دو رقم می‌توان یکسان در نظر گرفت. از نتایج این پژوهش می‌توان در مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری از طریق ارائه ضریب گیاهی (K_c) و در نتیجه تعیین الگوی مصرف آب و تخصیص میزان آب لازم برای مزارع منطقه مورد بررسی، استفاده نمود.

منابع

Aboukhaled, A., Alfaro, A., and Smith, M. 1982. Lysimeters. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Irrigation and Drainage. Rome, Italy. 68 pp.

Alizadeh, A. 2004. Soil, Water, Plant Relationship. Imam Reza Publication, Mashhad, Iran. 470 pp. (In Persian)

Alizadeh, A. 2007. Surface Irrigation System Design. Imam Reza Publication, Mashhad, Iran. 452 pp. (In Persian)

Alizadeh, A., Kamali, G.A., Khanjani, M.J., and Rahnavard, M.R. 2004. Assessment methods used to estimate evapotranspiration in arid regions. Geographical Research 19(2): 97-105. (In Persian with English Summary)

Allen, R.G., Pereira, S.L., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop Evaporation Irrigation and Drainage paper, 56, FAO, Rome.

Allen, R.G., Jensen, M.E., and Burman, R.D. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirement. ASCE Manual and Report on Engineering Practice, No. 70. American Society of Civil Engineers, New York, USA. 123 pp.

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.

Anonymous. 2008. Meteorology Report. Meteorology Institute of Guilan. Guilan, Iran. 90 pp. (In Persian)

Aytek, A. 2008. Co-active neuro-fuzzy inference system for evapotranspiration modeling, soft computing-a fusion of foundations, Methodologies and Applications 13(7): 691-700.

Doorenbos, J., and Pruitt, W.O. 1997. Crop Water Requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Irrigation and Drainage Paper N24.

Ebrahimirad, H. 2010. Study water quality variation of irrigation in Sepidroud River during different growth periods on rice yield. MSc Thesis, Islamic Azad University, Firouzabad, Fars province, Shiraz, Iran. (In Persian with English Summary)

Goyal, R.K. 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India). Agricultural Water Management 69: 1–11.

Hargreaves, G.L., and Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture 1(2): 96–99.

Archive of SID

www.SID.ir

Hasheminia, S.M. 1989. Evaporation, Evapotranspiration and Climate Data. Research Agriculture Organization, Education and Extension, Training and Equipment, Human Resources Department, Agricultural Education Publishing, Karaj, Tehran, Iran. (In Persian)

Lin, C.H., Chao, C., and Chen, W.F. 2008. Estimation of regional evapotranspiration by adaptive network-based fuzzy inference system for Dan-Shui basin in Taiwan. Journal of the Chinese Institute of Engineers 30(6): 1091-1096.

Liu, Y., and Luo, Y. 2010. A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. Agriculture Water Management 97: 31-40.

Mohammadian, A. 2006. Measured evapotranspiration from energy balance method and compare it with the direct and indirect methods. MSc Thesis, Agricultural Meteorology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Ojwang, G.O., Agatsiva, J., and Situma, C. 2010. Analysis of climate change and variability risks in the smallholder sector. Environment and Natural Resources Management working paper. 70 pp.

Moosavi-Baygi, M., Erfanian, M., and Sarmad, M. 2009. Estimation of Reference crop Evapotranspiration Using the Least Meteorological Data. Journal of Water and Soil 23(1): 91-99. (In Persian with English Summary)

Peng, S.Z., Li, S.S., and Wu, Z.J. 1994. New water consumption pattern of rice under water saving irrigation. Irrigation and Drainage System 8(2): 97-108.

Pirmoradian, N., Kamkar, A.A., and Sepaskhah, A.R. 2002. Crop coefficient and water requirement of rice in Koshkak region of Fars province. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 6(3): 15-22.

Priestley, C.H.B., and Taylor, R.J. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Monthly Weather Review 100: 81-92.

Rahimi Khoob, A. 2008. Artificial neural network estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation in a semi-arid environment. Irrigation Science 27: 35–39.

Rahimzadegan, R. 1991. Find a suitable method for the estimation of evapotranspiration in Esfahan region. Iranian Journal of Agriculture Science 22 (1&2): 1-9. (In Persian with English Summary)

Samadi, H., and Majdzade, B. 2003. Comparison of evaporation- evapotranspiration calculated by empirical formulas whit lysimeter in Kerman. In Eighth Conference on Irrigation and Evapotranspiration Reduction. (In Persian)

Shih, S.F., Rahi, G.S., and Harrison, D.S. 1982. Evapotranspiration studies on rice in relation to water efficiency. Transactions of the ASAE 25(3): 702-707.

Stagnitti, F., Parlange, J.Y., and Rose, C.W. 1989. Hydrology of a small wet catchment. Hydrological Processes 3: 137-150.

Tomar, V.S., and Otoole, J.C. 1980. Water use in lowland rice cultivation in Asia: a review of evapotranspiration. Agriculture Water Management 3: 83-106.

Tyagi, N. K., Sharma, D. K., and luthra, S.K. 2000. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. Agriculture Water Management 45: 41-54.

Zare Abiane, H., bayatvarekshi, M., Sabziparvar, A.A., Maaroofi, S., and Ghasemi, A. 2010. Evaluating different methods of estimating reference evapotranspiration and plant zonation in Iran. Physical Geography Research Quarterly 95-110. (In Persian with English Summary)

Archive of SID

www.SID.ir