

مقایسه‌ی روش پنمن مانتیت فائو و تشت تبخیر کلاس A با داده‌های لایسیمتری در برآورد

تبخیر و تعرق گیاه برنج در منطقه‌ی آمل

حمید زارع‌ابیانه* - دانشیار گروه مهندسی آبیاری دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا
حدیثه نوری - دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه بوعلی‌سینا
عبدالمجید لیاقت - دانشیار گروه آبیاری، دانشگاه تهران
حمیده نوری - استادیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
ولی‌ا. کریمی - کارشناس ارشد مرکز ترویج و توسعه‌ی تکنولوژی هراز

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۵/۲۴ تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۴/۲۷

چکیده

در بخش عظیمی از قاره‌ی آسیا، برنج تأمین‌کننده‌ی بیش از ۸۰ درصد کالری مصرفی مردم است. تأمین نیاز آبی برنج، به‌عنوان گیاهی با ارزش غذایی و اقتصادی بالا، در بسیاری از اراضی شالیزاری امری مهم تلقی می‌شود. در این مطالعه، تبخیر و تعرق گیاه برنج در قالب طرحی دو ساله، با کشت دو رقم خزر و طارم به دو روش مستقیم (لایسیمتر) و غیرمستقیم (فائو) در منطقه‌ی آمل در استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت. در راستای اندازه‌گیری‌های لایسیمتری و محاسبه‌های فوق، تبخیر و تعرق گیاه مرجع از اندازه‌گیری‌های روزانه‌ی تشت تبخیر کلاس A و تعیین ضرایب اصلاحی تشت تبخیر به‌دست‌آمد. ضرایب اصلاحی تشت تبخیر از معادله‌های پژوهشگران مختلفی مانند کونیکا، آلن و پرویت، اشنایدر، اشنایدر اصلاح شده، اورنگ و کونیکا محاسبه‌شد. با بررسی نتایج لایسیمتری، تبخیر و تعرق گیاه برنج در سال اول کشت ۵۷۸/۵ میلی‌متر و در سال دوم ۴۸۱/۶ میلی‌متر حاصل شد. نتایج مطالعه نشان داد، استفاده از روش پنمن مانتیت فائو در محاسبه‌ی تبخیر و تعرق گیاه مرجع و اعمال ضریب گیاهی تبخیر و تعرق برنج در این منطقه، ۵-۴ درصد برآورد بیشتری نسبت به مقادیر اندازه‌گیری لایسیمتری دارد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، روش اشنایدر برای تعیین ضریب تشت تبخیر توصیه می‌شود. همچنین، استفاده از تشت تبخیر در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع منطقه‌ی مورد مطالعه، مناسب است. مقایسه‌ی تبخیر و تعرق برنج برآوردی، براساس داده‌های تشت تبخیر و ضریب تشت اشنایدر و اعمال ضریب گیاهی با مقادیر تبخیر و تعرق واقعی برنج نشان داد، مقادیر برآوردی به‌طور میانگین ۱/۵ درصد نسبت به مقادیر واقعی کمتر است که مؤید دقت مناسب مدل در برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج در منطقه‌ی مورد مطالعه است. در مجموع یافته‌های پژوهش نشان داد با به‌کارگیری روش‌های مناسب تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع و اعمال ضریب گیاهی، می‌توان تبخیر و تعرق گیاه برنج را که برای مناطق مختلف کاربردی و مناسب است با دقت مطلوب محاسبه کرد.

کلیدواژه‌ها: برنج آمل، روش پنمن مانتیت فائو، روش اشنایدر، ضریب گیاهی و لایسیمتر.

مقدمه

برنج در بخش عظیمی از قاره آسیا تأمین‌کننده‌ی بیش از ۸۰ درصد کالری مصرفی مردم است (وبستر و گانل، ۱۹۹۲). مصرف این ماده غذایی در ایران از دیرباز معمول بوده و در حال حاضر، به‌عنوان دومین ماده‌ی مهم غذایی پس از گندم، در ردیف کالاهای اساسی قرار دارد (جوان نیکخواه و همکاران، ۱۳۸۰، ۱۹۱). گیاه برنج علاوه بر اهمیت غذایی، از نظر وابستگی به آب نیز ویژگی‌های منحصربه‌فردی دارد. در بسیاری از اراضی شالیزاری، تأمین آب به‌عنوان اساسی‌ترین نهاده در تولید برنج با مشکل جدی روبه‌رو بوده و این مسئله، لزوم بررسی نیاز آبی و آب مصرفی گیاه برنج را نشان می‌دهد.

نیاز آبی هر گیاه^۱ (ET_c) تابعی از نیاز آبی گیاه مرجع^۲ (ET_0) بوده که در قالب ضریب گیاهی^۳ (K_c) به‌صورت $ET_c = ET_0 \times K_c$ بیان می‌شود. به‌عبارت دیگر، تبخیر و تعرق هر محصول مانند برنج، نسبتی از تبخیر و تعرق گیاه مرجع است که این نسبت را عاملی به‌نام ضریب گیاهی تعیین می‌کند (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). ضریب گیاهی با توجه به تفاوت‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گونه‌های گیاهی و ویژگی‌های اقلیمی منطقه‌ی رشد، متغیر است (آلن و همکاران، ۲۰۰۵، ۲۶). با افزایش طول دوره‌ی رشد مقدار ضریب گیاهی افزایش می‌یابد، به‌طوری که در مرحله‌ی توسعه کامل^۴ به حداکثر و پس از آن روبه‌کاهش می‌گذارد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). تعیین ضریب گیاهی به‌صورت کاشت گیاه مرجع (چمن) و گیاه اصلی، همواره، مورد تأکید پژوهشگران بوده است (جنسن و همکاران، ۱۹۹۰)، درحالی که، این مسئله از نظر اقتصادی پرهزینه و از نظر زمانی وقت‌گیر است؛ زیرا باید با کاشت هم‌زمان گیاه مرجع و گیاه اصلی در لایسیومتر، ضریب گیاهی طی مراحل مختلف رشد تعیین شود.

ضریب گیاهی برنج براساس پیشنهاد فائو (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) برای مرحله‌ی ابتدایی رشد ۱/۰۵، مرحله‌ی میانی ۱/۲ و مراحل پایانی رشد ۰/۹، با عنوان ضرایب جدولی توصیه شده است. انجام یک پژوهش در هندوستان نشان داد ضریب گیاهی برنج با افزایش طول دوره‌ی رشد، تغییر می‌کند، به‌طوری که، مقدار این ضرایب در مراحل اول، سوم و چهارم رشد به‌ترتیب ۱/۱۵، ۱/۱۴ و ۱/۰۲ بود (تیاگی و همکاران، ۱۹۹۹، ۴۵). در مطالعه‌ی دیگر در منطقه‌ی کوشک فارس، با هدف تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی برنج رقم چمپای کامفیروز، میانگین تبخیر و تعرق دوره‌ی رشد، بین ۵۶۰ تا ۷۵۷ میلی‌متر بود و ضریب گیاهی مرحله‌ی اول رشد ۰/۹۷، مرحله‌ی میانی ۱/۲۵ و مرحله‌ی پایانی رشد ۱/۰۹ تعیین شد (پیرمادیان و همکاران، ۱۳۸۱، ۱۵). در پژوهش‌های انجام‌شده در شمال چین، مقدار نیاز آبی برنج در طول دوره‌ی رشد ۵۶۰ میلی‌متر و ضریب گیاهی آن در مرحله‌ی اول رشد ۱/۰۷، مرحله‌ی سوم ۱/۲ و مرحله‌ی چهارم ۰/۸۷ گزارش شد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۶، ۳۷). بررسی مقدار آب مصرفی و میزان عملکرد محصول برنج رقم خزر در منطقه‌ی گیلان بیانگر عدم وجود تفاوت معنادار بین تیمارهای با دور آبیاری ۲ و ۵ روز بود و آب مورد نیاز برنج ۸۷۱/۴ میلی‌متر گزارش شد (نحوی و همکاران، ۱۳۷۹، ۱)؛ درحالی که، پژوهشگران دیگر نیاز آبی برنج در منطقه‌ی گیلان را ۵۶۰ میلی‌متر

1. Crop evapotranspiration
2. Reference evapotranspiration
3. Crop coefficient
4. Crop development

گزارش کردند (خوش خواهش، ۱۳۷۶). در پژوهشی میدانی با کاشت لایسیمتری دو رقم برنج و گیاه مرجع چمن در منطقه‌ی گیلان، میانگین ضریب گیاهی برای برنج رقم بی‌نام ۱/۱۱ و رقم خزر ۱/۱۴ و میانگین ضریب تشت ۰/۷۸ به‌دست آمد (رضوی‌پور و یزدی، ۱۳۸۷، ۶۲۱).

تبخیر از تشت نیز می‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب، برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و درنهایت گیاه اصلی قلمداد شود (ایرماک و همکاران، ۲۰۰۲، ۱۵۵). استفاده از تشت تبخیر به‌دلیل سادگی، سهولت تفسیر داده‌های آن و داشتن دقت خوب در مناطق مرطوب برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع مناسب است (ایرماک و همکاران، ۲۰۰۲، ۱۵۴)، اما در اقلیم‌های خشک، برآوردهای تشت تبخیر کمتر از واقعیت است (رزبرگ و پاورز، ۱۹۷۰، ۲۷۶). در تبدیل مقادیر تبخیر از تشت به تبخیر و تعرق گیاه مرجع از ضریب تشت (K_p) استفاده می‌شود. ضریب تشت از روش‌های مختلف، برآورد می‌شود. نتایج یک پژوهش انجام‌شده در منطقه‌ی گرگان نشان داد ضریب تشت برآوردشده به‌روش اورنگ و شنایدر اصلاحی در مقیاس زمانی روزانه، روش کونیکا، آن پروت و شنایدر اصلاحی برای دوره‌های ده روزه و روش شنایدر اصلاحی و کونیکا برای تبخیر و تعرق ماهیانه مناسب است (شریفان و قهرمان، ۱۳۸۵، ۲). دانش‌کار آراسته و همکاران (۲۰۰۴، ۴۷ و ۵۲) در برآورد مقدار تبخیر از مخازن چاه‌نیمه سیستان بلوچستان به‌روش بیلان انرژی و از تشت تبخیر ایستگاه هواشناسی سد چاه‌نیمه به واسنجی ضریب تشت به‌روش‌های مختلف اقدام کردند. نتایج آنان نشان داد، مقدار ضریب تشت در هر ماه از سال و همچنین از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند. به‌همین دلیل هر چند سال یک‌بار باید مقادیر تعیین‌شده بار دیگر از نو تعیین و به‌سازی شوند. در مطالعه‌ای دیگر در منطقه‌ی تبریز، ضرایب تشت تبخیر کلاس A در سه وضعیت استقرار یافته در مزرعه‌ی چمن و در دو ارتفاع ۵۰ و ۸۰ سانتی‌متری از یک مزرعه‌ی یونجه بررسی شد. نتایج نشان داد مقادیر ضریب حاصل از تشت مستقر در ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری پوشش یونجه در برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع مناسب است (مرادی دالینی، ۱۳۷۸، ۱۶۷). نتایج مطالعات امداد (۱۳۷۸، ۹۲) در منطقه‌ی گرگان نشان داد، دقت تبخیر و تعرق برآورد شده از روش تشت، براساس ضریب تشت محاسبه‌شده به‌روش فائو کمتر از تبخیر و تعرق گیاه مرجع برآوردی از روش‌های بلانی کریدل و پنمن مانیتیت بود.

در این مطالعه تبخیر و تعرق گیاه برنج براساس اطلاعات اقلیمی به‌روش تشت تبخیر و روش پنمن مانیتیت در مقایسه با مقادیر تبخیر و تعرق لایسیمتر برآورد شد. همچنین تبخیر و تعرق گیاه مرجع براساس اطلاعات تبخیر اندازه‌گیری‌شده از تشت تبخیر کلاس A نیز محاسبه شد. برای این منظور ضریب تشت از مدل‌های مختلف و در مقادیر تبخیر از تشت اعمال شد. مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌دست‌آمده از تشت تبخیر با مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه‌شده با روش پنمن مانیتیت فائو ۵۶ مقایسه و یک مدل ضریب تشت برای منطقه پیشنهاد شد. درنهایت تبخیر و تعرق گیاه برنج با محاسبه‌ی ضریب گیاهی به‌روش فائو و اعمال آن بر مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌روش تشت و پنمن مانیتیت به‌دست آمد و با مقادیر دو ساله‌ی لایسیمتری مقایسه و بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه، طی دو سال در مزرعه‌ی تحقیقاتی مرکز ترویج و توسعه‌ی تکنولوژی هراز در کیلومتر ۱۰ جاده آمل - محمودآباد (طول جغرافیایی ۵۳° ۱۷' شرقی، عرض جغرافیایی ۵۸° ۳۶' شمالی و ارتفاع ۵/۵ متر از سطح دریا) انجام شد. از نظر آب‌وهوایی، میانگین درازمدت بیشینه‌ی دما ۳۲/۷، کمینه‌ی دما ۷/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه، ۸۸۲/۶ میلی‌متر است که ۶۳ درصد از ریزش‌ها در ماه شهریور تا آذر اتفاق می‌افتد.

برای تعیین نیاز آبی گیاه برنج و ضریب گیاهی، دو رقم اصلاح‌شده‌ی منطقه (خزر و طارم) به‌عنوان ارقام پُر محصول، طی دو سال زراعی کشت و مورد مقایسه قرار گرفتند. تمامی اندازه‌گیری‌های مربوط به نیاز آبی برنج، در یک دستگاه لایسیمتر غیروزنی مستقر در ایستگاه هواشناسی به طول ۱ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۶۵ سانتی‌متر صورت گرفت. برای جلوگیری از ورود آب از سطح زمین به لایسیمتر، دیواره‌های لایسیمتر تا ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح زمین ادامه یافت. همچنین، دیواره‌های لایسیمتر از درون اندود شد تا نشت آبی به لایسیمتر وجود نداشته باشد. لایه‌های خاک درون لایسیمتر، مشابه خاک زمین‌های اطراف بود تا بیانگر شرایط طبیعی مزرعه باشد و از دقت نتایج کاسته نشود. بافت خاک محل اجرای آزمایش سیلتی رسی بود که نشان‌دهنده‌ی ریز دانه بودن خاک منطقه است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک لایسیمتر پیش از کاشت برنج با نمونه‌گیری از لایه ۰-۳۰ سانتی‌متر تعیین شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی خاک

متغیرهای اندازه‌گیری شده	لایه ۰-۳۰ سانتی‌متر
۱- بافت خاک	سیلتی رسی
الف - درصد شن	۱۱/۷۳
ب - درصد سیلت	۴۶/۴۱
ج - درصد رس	۴۱/۸۶
۲- رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی (درصد)	۰/۳۴
۳- رطوبت وزنی در نقطه‌ی پژمردگی (درصد)	۰/۲۰
۴- اسیدیته خاک (pH)	۸/۲۸
۵- هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع خاک (dSm^{-1})	۰/۸

بذرپاشی شلتوک برنج، در اردیبهشت ماه، در خزانه انجام شد و نشاها پس از ۳-۴ برگی شدن در خرداد ماه در لایسیمتر قرار گرفتند. کشت به‌صورت کپه‌کاری دستی، با فاصله‌ی ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و تعداد ۲۵-۲۰ نشا در هر کپه بود. در سال اول، برنج رقم خزر و در سال دوم، رقم طارم به‌عنوان ارقام پُر محصول منطقه کشت شد. از آن‌جاکه لایسیمتر در محدوده‌ی مزارع شالیزاری مستقر بود و اندازه‌گیری‌ها نیز با حداکثر دقت انجام شد، بنابراین، نتایج این مطالعه قابل اطمینان و کاربردی است. اندازه‌گیری‌های لایسیمتری براساس معادله‌ی بیلان آب - خاک درون لایسیمتر به‌صورت روزانه انجام گرفت (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۶، ۲۴۹).

عملیات آبیاری به‌صورت دستی در مقیاس روزانه انجام گرفت و مقادیر بارندگی در طول دوره‌ی رشد از باران‌سنج مستقر در ایستگاه هواشناسی قرائت و در محاسبه‌ی نیاز آبی لحاظ شد (جلالی کوننائی، ۱۳۷۶). علاوه‌بر تعیین نیاز آبی گیاه برنج، برای تعیین دقت روش‌های برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج از سنجش‌های لایسیمیتری استفاده شد. تبخیر و تعرق گیاه مرجع از مدل پنمن مانتیث فائو ۵۶^۱ (PMF56) به‌عنوان یک مدل استاندارد و روش تشت تبخیر کلاس A به‌دلیل دسترسی آسان به داده‌های مورد نیاز طبق روابط ۱ و ۲ برآورد شد (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۸۷، ۳۳۱).

$$ET_0 = \frac{0.408 (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 237} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$ET_0 = K_p \times E_{pan} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در روابط فوق،

ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن (mmd^{-1})، R_n : تابش خالص در سطح تبخیر و تعرق ($MJm^{-2}d^{-1}$)، G : شار حرارتی خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$)، \bar{T} : متوسط درجه حرارت هوا ($^{\circ}C$)، e_s : فشار بخار اشباع (Kpa)، e_a : فشار بخار واقعی (Kpa)، $(e_s - e_a)$: کمبود فشار بخار اشباع^۲ (Kpa)، Δ : شیب منحنی فشار بخار در مقابل درجه حرارت ($Kpa^{\circ}C^{-1}$)، γ : ثابت سایکرومتریک ($Kpa^{\circ}C^{-1}$)، U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (ms^{-1})، E : تبخیر از تشت (mmd^{-1}) و K_p : ضریب تشت (بدون بعد) است.

در این مطالعه، برای تعیین ضریب تشت از روابط کونیکا (رابطه ۳)، آلن و پروت (رابطه ۴)، اشنایدر (رابطه ۵)، اشنایدر اصلاح‌شده (رابطه ۶)، اورنگ (رابطه ۷) و فائو (رابطه ۸) استفاده شد (شریفان و قهرمان، ۱۳۸۵، ۵).

$$K_p = 0.475 - (2.4 \times 10^{-4} \times U) + (5.16 \times 10^{-3} \times RH) + (1.18 \times 10^{-3} \times F) - (1.6 \times 10^{-5} \times RH) - (1.01 \times 10^{-6} \times F^2) - (8 \times 10^{-9} \times RH^2 \times U) - (1 \times 10^{-8} \times RH^2 \times F) \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$K_p = 0.108 - (3.31 \times 10^{-4} \times U) + (0.0422 \times \ln(F)) + (0.1434 \times \ln(RH)) - (6.31 \times 10^{-4} \times [\ln(F)]^2 \times \ln(RH)) \quad \text{(رابطه ۴)}$$

$$K_p = 0.482 - (3.76 \times 10^{-4} \times U) + (0.024 \times \ln(F)) + (0.0045 \times RH) \quad \text{(رابطه ۵)}$$

$$K_{padj} = 0.5321 - (3 \times 10^{-4} \times U) + (0.0249 \times \ln(F)) + (0.0025 \times RH) \quad \text{(رابطه ۶)}$$

$$K_p = 0.51206 - (3.21 \times 10^{-4} \times U) + (0.031886 \times \ln(F)) + (0.00288945 \times RH) - (1.07 \times 10^{-4} \times RH \times \ln(F)) \quad \text{(رابطه ۷)}$$

1. Penman Mantieth FAO 56

2. Vapor pressure deficit

$$K_p = 0.61 + 0.00341 RH_{mean} - (0.000162 \times U \times RH_{mean}) - (0.00000959 \times U \times F) \\ + (0.00327 \times U \times \ln(F)) - (0.00289 \times U \times \ln(86.4U)) - (0.0106 \times \ln(86.4U)) \times \ln(F) \quad (\text{رابطه ۸}) \\ + (0.00063 \times [\ln(F)]^2 \times \ln(86.4U))$$

که در آن‌ها: K_p ضریب تشت، U سرعت باد بر حسب Kmd^{-1} (در معادله فائو، ms^{-1})، RH رطوبت نسبی ($\%$)، F فاصله‌ی سبزی‌نگی از جهتی که باد به سمت تشت می‌وزد (m).

تمامی اطلاعات مربوط به روابط فوق از مجموعه داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز ترویج و توسعه استخراج و در معادله‌های ۳ تا ۸ جای‌گذاری شد. در کل، هفت سری داده شامل: یک سری داده تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش پنمن مانیت فائو ۵۶ و شش سری داده تبخیر و تعرق از روش تشت تبخیر کلاس A برای دو سال حاصل شد. مناسب‌ترین رابطه ضریب تشت، با مقایسه‌ی ET_0 های به‌دست‌آمده از مدل ۲، با ET_0 مدل ۱، در قالب معیارهای آماری، تعیین و برای منطقه توصیه شد. از بین روابط ضریب تشت، رابطه‌ای مناسب است که پس از اعمال در مقادیر تبخیر از تشت کمترین اختلاف را با ET_0 برآورد شده از مدل پنمن مانیت داشته باشد. سپس تبخیر و تعرق گیاه برنج براساس محاسبه‌ی ضریب گیاهی و اعمال آن در مدل‌های ET_0 پیشنهادی به‌دست‌آمد. برای تخمین ضریب گیاهی، از رابطه ارائه‌شده در نشریه فائو ۵۶ (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶، ۱۴۳)، طبق معادله‌ی زیر استفاده شد:

$$K_C = K_C(\text{table}) + [0.04(U_2 - 2) \cdot 0.004(RH_{\min} - 45)] \left[\frac{h}{3} \right]^{0.3} \quad (\text{رابطه ۹})$$

که در آن k_c ضریب گیاهی اصلاحی، $k_{c(\text{table})}$ ضریب گیاهی جدولی از نشریه فائو ۵۶، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (ms^{-1})، RH_{\min} حداقل رطوبت نسبی ($\%$)، h ارتفاع گیاه (m).

از حاصل ضرب، ضریب گیاهی به‌دست‌آمده از معادله‌ی ۹ در تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌روش تشت تبخیر کلاس A و پنمن مانیت فائو ۵۶، تبخیر و تعرق گیاه برنج به‌دست می‌آید. به‌عبارت دیگر، برای هر سال زراعی دو سری تبخیر و تعرق گیاه برنج محاسبه شد.

برای تعیین دقت نتایج تبخیر و تعرق محاسبه‌شده‌ی گیاه برنج، از اندازه‌گیری‌های لایسیمتری استفاده شد که به‌عنوان داده‌های مرجع برای مقایسه‌ی این مقادیر به‌کار گرفته شد. به‌عبارت دیگر، کلیه‌ی مقایسه‌ها، براساس مقادیر لایسیمتری و معیارهای خطا بود. برای این منظور از برخی معیارهای آماری مانند ضریب همبستگی^۱ (r)، جذر میانگین مربع‌های خطا^۲ ($RMSE$) و میانگین خطای متوسط^۳ (MBE) به‌شکل زیر استفاده شد.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 (P_i - \bar{P})^2}} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

1. Correlation coefficient
2. Root mean square error
3. Mean bias error

$$RMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$MBE = \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) / n \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

که در آن: P_i = مقدار برآورد شده، O_i = مقدار مشاهده شده، \bar{O} = میانگین مقادیر مشاهده شده، \bar{P} = میانگین مقادیر برآورد شده و n = تعداد داده‌ها است.

یافته‌های تحقیق

اطلاعات هواشناسی منطقه‌ی مورد مطالعه در طول مدت رشد گیاه برنج، براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز ترویج و توسعه‌ی هراز در جدول ۲ آمده است. در این جدول میانگین اطلاعات دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارندگی ارائه شده است. اطلاعات مربوط به این عوامل از روی داده‌های ثبت شده در دفاتر مخصوص ایستگاه هواشناسی مرکز ترویج و توسعه‌ی تکنولوژی هراز استخراج شده است.

جدول ۲. میانگین ماهانه‌ی داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی آمل (مرکز ترویج و توسعه‌ی تکنولوژی هراز)

سال	ماه رشد	دمای متوسط (°C)		رطوبت نسبی (%)		سرعت باد* (ms ⁻¹)		بارندگی (mm)	
		بلند مدت	ماهانه	بلند مدت	ماهانه	بلند مدت	ماهانه	بلند مدت	ماهانه
۱۳۹۵	تیر	۲۵/۸	۲۳/۲	۷۲/۰	۷۴/۰	۲/۰	۱/۹	۷۹/۰	۳۶/۰
	مرداد	۲۶/۸	۲۶/۶	۷۳/۰	۷۰/۴	۲/۰	۱/۸	۸۰/۱	۳۲/۵
	شهریور	۲۳/۷	۲۶/۴	۷۲/۰	۷۰/۷	۳/۰	۲/۵	۲۰۰/۴	۱۱۰/۵
	مهر	۱۹/۵	۲۱/۶	۷۰/۰	۷۲/۷	۳/۰	۲/۴	۲۳۳/۱	۲۱۵/۵
	میانگین	۲۴	۲۴/۵	۷۲/۳	۷۲	۲/۵	۲/۲	۱۴۸/۲	۹۸/۶
۱۳۹۶	اردیبهشت	۱۹/۱	۱۸/۳	۷۴/۰	۷۵/۴	۳/۰	۲/۴	۴۹/۰	۱۰/۰
	خرداد	۲۳/۲	۲۴/۵	۷۳/۰	۷۱/۷	۲/۰	۲/۶	۹۷/۴	۴۱/۵
	تیر	۲۵/۸	۲۴/۶	۷۲/۰	۷۵/۳	۲/۰	۱/۸	۷۹	۵۲/۰
	مرداد	۲۶/۸	۲۷/۳	۷۳/۰	۷۴/۰	۲/۰	۱/۸	۸۰/۱	۲۶/۵
	میانگین	۲۳/۷	۲۳/۷	۷۴/۱	۷۴	۲/۳	۲/۲	۷۶/۴	۳۲/۵

* سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین

همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد، تفاوت قابل توجهی بین میانگین بلندمدت متغیرهای دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد با میانگین سالانه‌ی این عوامل در هر یک از سال‌های مورد مطالعه وجود ندارد، اما بارش ماهانه نسبت به میانگین درازمدت آن کاهش داشته است. هرچند بررسی وضعیت بارندگی و روند آن از اهداف این پژوهش نیست، اما

آشکارسازی تغییرات فوق و یافتن علل آن برای مدیریت منابع آب کشاورزی و غیرکشاورزی لازم است. مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای هر یک از سال‌های کشت، به ترتیب از معادله‌های پنمن مانیتش فائو و تشت تبخیر (معادله‌های ۱ و ۲) محاسبه شد. در جدول ۳، نتایج تبخیر و تعرق گیاه مرجع حاصل از روش تشت تبخیر با لحاظ ضریب تشت از معادله‌های ۳ تا ۸ محاسبه و با برآوردهای مدل پنمن مانیتش مقایسه شده است. انتخاب مدل پنمن مانیتش، به عنوان مدل استاندارد، براساس مطالعات ایرماک و همکاران (۲۰۰۲، ۱۵۳) و رحیمی خوب (۲۰۰۹، ۲۸۹) بود که می‌تواند فرض منطقی باشد، زیرا در مدل پنمن مانیتش از شش متغیر هواشناسی شامل: دما، تشعشع خورشیدی، ساعت‌های آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد استفاده شده است. برآوردهای روش تشت در مقایسه با برآوردهای مدل پنمن مانیتش، در قالب محاسبه‌ی معیارهای آماری جذر میانگین مربع‌های خطا (RMSE)، میانگین خطای متوسط (MBE) و ضریب همبستگی (r) در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش تشت تبخیر و روش پنمن مانیتش فائو و مقایسه‌های آماری مرتبط

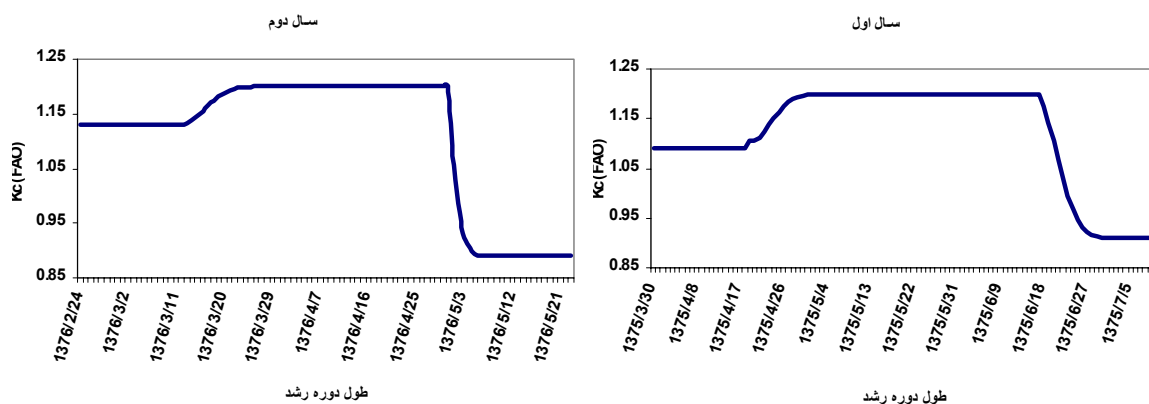
سال	ماه رشد	تبخیر تعرق گیاه مرجع (mmd^{-1})						
		تشت تبخیر					پنمن مانیتش	
		فائو	اورنگ	اشنایدرا اصلاح شده	اشنایدرا	آلن و پروت	کونیکا	
اول	تیر	۳/۳۶	۳/۵۵	۳/۱۲	۳/۹۴	۳/۶۵	۳/۷۹	۴/۵۹
	مرداد	۳/۳۱	۳/۵۰	۳/۱۲	۳/۸۹	۳/۶۵	۳/۹۸	۵/۵
	شهریور	۳/۱۷	۳/۵۶	۲/۹۴	۳/۶۸	۳/۵۰	۳/۸۱	۵/۴۹
	مهر (۱۰-۱)	۳/۲۲	۳/۴۱	۲/۹۹	۳/۷۳	۳/۵۵	۳/۳۶	۳/۶۷
	میانگین	۳/۲۷	۳/۵۱	۳/۰۴	۳/۸۱	۳/۵۹	۳/۷۴	۴/۸۱
	RMSE (mmd^{-1})	۱/۵۶	۱/۴۰	۱/۸۱	۱/۱۳	۱/۳۱	۱/۱۹	-
	MBE (mmd^{-1})	-۱/۳۵	-۱/۱۲	-۱/۶۳	-۰/۱۸	-۰/۱۷	-۰/۷۰	-
	r	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۴	-
دوم	اردیبهشت (۲۴-۱)	۲/۸۴	۳/۰۵	۲/۶۷	۳/۲۷	۳/۱۸	۳/۳۱	۳/۸۸
	خرداد	۳/۲۸	۳/۴۸	۳/۰۹	۳/۸۷	۳/۶۳	۳/۹۲	۴/۴۸
	تیر	۲/۹۸	۳/۱۵	۲/۷۷	۳/۴۹	۳/۲۳	۳/۵۳	۵/۰۵
	مرداد (۲۳-۱)	۳/۵۴	۳/۷۴	۳/۳۴	۴/۱۵	۴/۹۰	۴/۲۰	۵/۷
	میانگین	۳/۱۶	۳/۳۶	۲/۹۷	۳/۹۶	۳/۴۹	۳/۷۴	۴/۷۸
	RMSE (mmd^{-1})	۱/۳۶	۱/۱۸	۱/۵۷	۰/۹۰	۱/۰۸	۰/۹۰	-
	MBE (mmd^{-1})	-۱/۲۰	-۰/۹۸	-۱/۴۵	-۰/۵۵	-۰/۸۳	-۰/۵۶	-
	r	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۹	-

جدول ۳ نشان می‌دهد در بین روش‌های مختلف تعیین ضریب تشت، بیشترین خطای RMSE در هر دو سال، مربوط به روش اشنایدرا اصلاحی بوده است. در مقابل، نتایج روش اشنایدرا در مقایسه با روش‌های دیگر کمترین RMSE را دارد و مقادیر ضریب همبستگی (r) و متوسط خطای تخمین (MBE) آن نیز از وضعیت مناسبی برخوردار است. به همین ترتیب روش کونیکا از نظر دقت برآوردهای در رتبه‌ی دوم قرار گرفت که با نتایج شریفان و قهرمان (۱۳۸۵) در گام زمانی ماهانه برای منطقه‌ی گرگان هم‌خوانی دارد. بدیهی است که هرچه RMSE کوچک‌تر باشد، برآورد

به‌دست‌آمده دقیق‌تر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، برای محاسبه‌ی ET_0 ، روش تشت تبخیر با ضریب تشت، پیشنهاد می‌شود از روش اشنایدر استفاده شود.

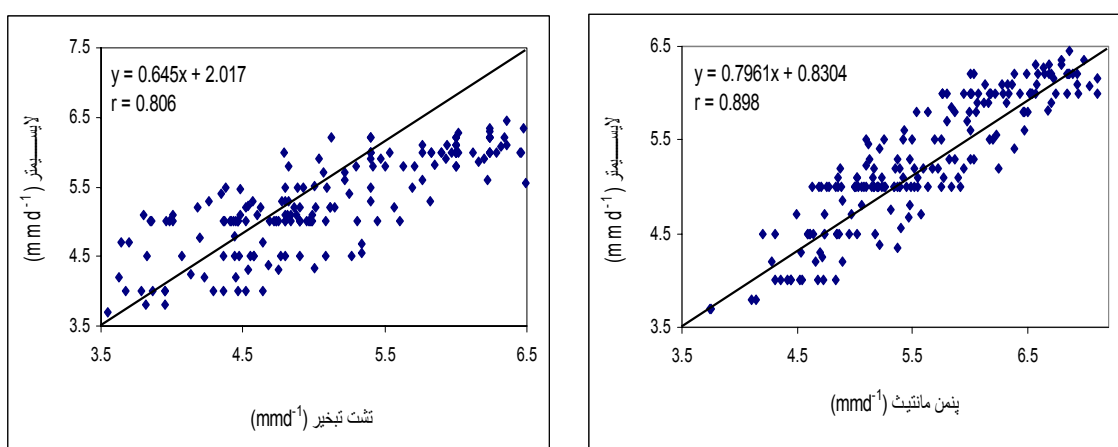
بررسی ضریب تغییرات متغیرهای باد و رطوبت نسبی، طی دو سال مطالعه نشان داد ضریب تغییرات سرعت باد در سال اول و دوم به‌ترتیب معادل $0/28$ و $0/35$ بود. درحالی‌که ضریب تغییرات رطوبت نسبی در هر دو سال $0/18$ به‌دست آمد. بنابراین، می‌توان تأثیر متغیر باد را در ضریب تشت بیشتر از متغیر رطوبت نسبی دانست. از طرفی دانش کار آراسته و همکاران (۱۳۸۳) ضریب تشت را متغیری متأثر از سرعت باد گزارش کردند. بدین ترتیب، با توجه به کمتر بودن مقدار ضریب لحاظ شده برای عامل باد (3×10^{-4})، در روش اشنایدر اصلاح‌شده، طبق رابطه ۶ نسبت به‌روش اشنایدر ($3/76 \times 10^{-4}$) براساس رابطه ۵، منجر به محاسبه‌ی کمتر مقدار ضریب تشت می‌شود. بدین ترتیب، برآوردهای کمتر تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر مبنای معادله‌ی ۲ منطقی است.

شکل ۱ روند کلی ضریب گیاهی برنج به‌دست‌آمده از معادله‌ی ۹ را برای دو سال نشان می‌دهد. حداکثر مقدار K_C در مرحله‌ی سوم رشد و توسعه‌ی گیاه برنج برای هر دو سال معادل $1/2$ به‌دست آمد. حداقل آن نیز در مرحله‌ی چهارم برای هر دو سال اول و دوم $0/9$ بود. بررسی‌های آلن و همکاران (۱۹۹۸) و یانگ و همکاران (۲۰۰۶، ۴۰) نیز نشان داد حداکثر مقدار K_C در مرحله‌ی سوم رشد، به‌ترتیب معادل $1/25$ و $1/2$ بود و حداقل آن نیز در مرحله‌ی چهارم رشد $0/9$ و $0/87$ است که مؤید نتایج پژوهش حاضر است. در پژوهش حاضر، مقدار K_C برای مرحله‌ی اولی‌ی رشد نیز برای هر دو سال زراعی به‌ترتیب $1/09$ و $1/13$ به‌دست آمد که در راستای مقادیر گزارش‌شده از سوی رضوی‌پور و یزدی (۱۳۸۷، ۶۲۱) برای منطقه‌ی گیلان است. بیشتر بودن ضریب گیاهی در مرحله‌ی یک، نسبت به مرحله‌ی چهارم رشد در گیاه برنج می‌تواند به‌دلیل نشاکاری و اشباع بودن ناحیه‌ی ریشه باشد؛ زیرا بوته‌های برنج، بخشی از دوره‌ی رشد اولی‌ی را خزانه داشته و پس از آن به لایسیمتر منتقل شده‌اند. ضمن آن‌که مقدار K_C در این مرحله، به دور آبیاری وابسته بوده و در صورت کوتاه‌بودن دور آبیاری مقدار K_C افزایش می‌یابد (نشریه‌ی ۲۴ فائو).



شکل ۱. تغییرات ضریب گیاهی برنج (K_C) طی دوره‌ی رشد در دو سال زراعی

در شکل ۲ تغییرات تبخیر و تعرق گیاه برنج، براساس مدل پنمن مانیتث و مدل تشت تبخیر به‌همراه داده‌های اندازه‌گیری شده ترسیم شده است. تبخیر و تعرق محاسبه شده برای گیاه برنج نتیجه اعمال مقدار ضریب گیاهی (K_c) در مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع از مدل پنمن مانیتث و تشت تبخیر است. در این شکل یک مدل خطی به مقادیر مشاهده شده تبخیر و تعرق در محور عمودی و مقادیر محاسبه شده در محور افقی، برازش داده شد.



شکل ۲. مقدار تبخیر تعرق گیاه برنج به دست آمده از مدل پنمن مانیتث فائو و روش تشت تبخیر در مقایسه با مقادیر لایسیمتری

شکل ۲ نشان می‌دهد روش تشت تبخیر در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق برنج در مقایسه با روش پنمن مانیتث از دقت کمتری برخوردار بوده است. برای تأیید این مسئله، می‌توان به ضرایب مدل‌های خطی در هر دو حالت اشاره کرد. در مدل پنمن مانیتث شیب خط برازش داده شده (۰/۷۹) نسبت به تشت تبخیر (۰/۶۵) بیشتر و به عدد یک نزدیک‌تر است. ضمن آن که مقدار عرض از مبدأ مدل پنمن مانیتث (۰/۸۳) نیز از مدل تشت تبخیر (۲/۰۱) کمتر بوده و به صفر نزدیک‌تر است. خلیلی و همکاران (۱۳۸۷، ۹۶) و زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۸، ۱۷۹) نیز عامل مؤثر در انتخاب مدل پیشنهادی را بالا بودن مقدار شیب و کمتر بودن مقدار عرض از مبدأ مدل خطی دانستند. عدم دقت نتایج حاصل از مدل تشت در مقایسه با مدل پنمن مانیتث می‌تواند ناشی از محاسبه‌ی ضریب تشت باشد که در مدل پنمن مانیتث لازم نیست. در مدل تشت تبخیر از دو ضریب محاسبه شده، یعنی ضریب تشت (K_p) و ضریب گیاهی (K_c) و در مدل پنمن مانیتث فقط از K_c برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج استفاده می‌شود.

مقایسه‌ی نتایج تبخیر و تعرق تجمعی برنج براساس اندازه‌گیری‌های لایسیمتری و محاسبه شده به روش پنمن مانیتث برای هر دو سال در جدول ۴ آورده شده است. همچنین جذر میانگین مربع‌های خطای (RMSE) و میانگین خطای متوسط (MBE) مقادیر برآوردی نسبت به مشاهداتی نیز محاسبه و در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴. تبخیر و تعرق گیاهی تجمعی اندازه‌گیری و برآوردی (روش فائو) برنج

مقدار خطا		درصد تغییرات	تبخیر و تعرق گیاه برنج (mm) و (mmd^{-1})		دوره‌ی رشد (روز)	واریته	سال
MBE (mmd^{-1})	RMSE (mmd^{-1})		لاسیمتری	پنمن مانیتیت			
-۰/۳۹	۰/۶۷	۴/۹	۵۷۸/۵ و (۵/۵۱)	۵۵۰/۱ و (۵/۲۴)	۱۰۵	طارم	اول
-۰/۰۹	۰/۴۵	۴/۷	۴۸۱/۶ و (۵/۱۸)	۵۰۴/۷ و (۵/۴۳)	۹۳	خزر	دوم

مقایسه‌ی نتایج اولیه جدول ۴ بیان می‌کند، تبخیر و تعرق لایسمتری در رقم طارم ۵۷۸/۵ میلی‌متر و در رقم خزر ۴۸۱/۶ میلی‌متر است. این امر به دلیل بیشتر بودن طول دوره‌ی رشد رقم طارم در سال اول کشت، نسبت به رقم خزر در سال دوم کشت (جدول ۲) منطقی به نظر می‌رسد. از طرفی رقم طارم در طبقه‌ی ارقام دیررس با بوته‌های بلند قرار دارد. بنابراین، افزایش طول دوره‌ی رشد و بلندی بوته‌ها در میزان آب مصرفی تأثیرگذار است؛ زیرا ضریب انتقال بخار با افزایش زبری سطح زیاد می‌شود و با نتایج تحقیقات مورتون (۱۹۸۳، ۶۵) و تیاگی و همکاران (۱۹۹۹، ۵۲) هم‌خوانی دارد. ضمن آن‌که، میانگین دمای هوای فصل رشد در سال اول نسبت به سال دوم و میانگین رطوبت نسبی سال دوم نسبت به سال اول بیشتر بوده (جدول ۲) که این می‌تواند در افزایش تبخیر و تعرق سال اول تأثیر داشته باشد. همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، تبخیر و تعرق تجمعی برآوردی از روش فائو نسبت به مقادیر اندازه‌گیری در سال اول ۴/۹ و در سال دوم ۴/۷ درصد بیشتر است. به عبارتی، مدل پنمن مانیتیت و ضریب گیاهی فرمولی فائو در منطقه‌ی آمل با ۴-۵ درصد بیش‌برآورد نسبت به مقادیر تبخیر و تعرق گیاهی واقعی همراه خواهد بود. دلیل این بیش‌برآورد استفاده نکردن از مقدار واقعی مقاومت آئرو‌دینامیک در منطقه (به دلیل مشکل بودن اندازه‌گیری آن) برای مدل پنمن مانیتیت و ثابت در نظر گرفتن مقاومت روزنه‌ای در این مدل نسبت داد؛ در حالی که در شرایط طبیعی، گیاه توانایی تنظیم و ایجاد مقاومت در مسیرهای انتقال آب را برای جلوگیری از دادن آب دارد. به عبارت دیگر، ضریب انتقال بخار با لحاظ نشدن مقدار واقعی مقاومت‌های آتمسفری، سبب افزایش تبخیر و تعرق شده است. نقش ناپایداری‌ها در افزایش متغیر تبخیر و مقاومت‌های آتمسفری در کاهش متغیر تبخیر در پژوهش‌های مورتون (۱۹۸۳، ۶۵) و تیاگی و همکاران (۱۹۹۹، ۵۲) نیز تأیید شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، با توجه به اهمیت اقتصادی و ارزش غذایی گیاه برنج در ایران، پژوهشی دو ساله برای تعیین نیاز آبی و انتخاب روش مناسب تخمین تبخیر و تعرق گیاه برنج انجام شد. با بررسی نتایج لایسمتری، تبخیر و تعرق گیاه برنج در سال اول کشت، ۵۷۸/۵ میلی‌متر و در سال دوم، ۴۸۱/۶ میلی‌متر حاصل شد. مقایسه‌ی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق گیاه برنج نشان داد با تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش تشت تبخیر و اعمال ضریب گیاهی، نتایج به

مقادیر واقعی نزدیک‌تر است. در بین روش‌های مختلف برآورد ضریب تشت نیز، رابطه‌اشنايدر مناسب‌تر از ديگر روش‌ها ارزیابی شد. در مجموع یافته‌های پژوهش نشان داد، با به‌کارگیری روش‌های مناسب تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع و اعمال ضریب گیاهی، می‌توان تبخیر و تعرق گیاه برنج را با دقت مطلوب محاسبه کرد که برای مناطق مختلف کاربردی و مناسب است.

منابع

- Alizadeh A., and Kamali G.A., 2007, **Lands Water Requirements in Iran**, Emam Reza Publication, pp. 223.
- Allen, R.G., Clemments, A.J., Burt, C.M., Solomom, K. and Ohlloran, T., 2005, **Rediction Accuracy for Project Wide Evapotranspiration Using Crop Coefficient and Reference Evapotranspiration**, J. Irri., Drain. Eng, 13(1), pp. 24-36.
- 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.
- Daneshkar Araste, P., Tajrishi, M., Mirlatifi, S.M. and Saghafian, B., 2004. **Necessity of Revision on Free Water Surface Estimation Models in Arid Areas with Regional Advection: Chahnimeh Reservoirs as a Case Study**, J. of Agr, Eng, Res. 5(18), pp. 37-58.
- Emdad, R. and Farshi, A., 1999, **Determiation of the Best Empirical Formula for Estimating Evapotranspiration in Reference Plant in Golestan**, J. of Soil & Water Science, 12 (10), pp. 90-95.
- Ghasemi, A., Zare Abyaneh H., Amiri-Chayjan, R., Mohammadi, K., Maroofi, S. and Ahmadi, M., 2007, **Assessment of Reference Evapotranspiration (ET₀) Results from Empirical Methods and Artificial Neural Networks with Lysimetric Data**, Agricultural Research, 7: 3, pp. 245-258.
- Irmak, S., Haman, D.Z., and Jones, J.W., 2002, **Valuation of Class Pans Coefficients for Estimating Reference Evapotranspiration in Humid Location**, J. of Irri, And Drain. Eng., ASCE, 128, 3, pp.153-159.
- Jalali Kontaee, N., 2007, **Determiation of Water Requirements of Zara and Tarom Varieties by Lysimeter**, Haraz Agricultural Human Resources Development Center, pp. 25-28.
- Javan Nikkhah, M., Hejaroud, Gh. A., Sharifi Tehrani A., and Elahi-Nia S.A., 2001, **Study of the Tolerance of Several Varieties and Lines of Rice to Stem Rot Fungus, Magnaporthe Salvinii in Gilan, Iran**, J. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 5(4), pp.189-196.
- Jensen, M.E., Burman, R.D., Allen, R.G., 1990, **Evapotranspiration and Irrigation Water Requirement**, ASCE, Manuals and Rep, On Eng, Prac., No. 70, New York.
- Khalili, S.R., Davari, K., and Mousavi Baygi, M., 2008, **Monthly Precipitation Forecasting Using Artificial Neural Networks: A Case Study for Synoptic Station of Mashad**, Journal Water and Soil, Agricultural Science & Thechnology Ferdowsi University of Mashhad, 22(1), pp. 39-99.

- Khosh Khahesh, Y, 1997, **Evaluate the Efficiency of farm Irrigation in Rice under Irrigation Zarhay Gilan and Fouman**, Thesis, Tehran University.
- Moradi Dalini, A., Nishabori, M., Jahanbakhsh Asl, S., and Jafarzade, A., 2000, **Determination and Evaluation of Pan Coefficient Class a in Different Condition**, J. of soil & Water Sci., 14 (2), pp. 164-175.
- Morton, F.I., 1983, **Operational Estimates of Aerial Evaporation and their Significance to the Science and Practice of Hydrology**, J. of Hydrology, 66, pp. 1-67.
- Nahvi, M., Yazdani, M.R. and Rahim Soroush, H., 2000, **The Effect of Different Irrigation Periods**, the Amount of Water Use, Yield and Yield Components of Rice, Tenth Conference of Irrigation and Drainage National Committee, Tehran, pp. 1-8.
- Pirmoradian, M., Kamgar Haghighi, A.A., and Sepaskhah, A.R., 2002, **Crop Coefficient and Water Requirement of Rice in Kooshkak Area, Fars Province**, J. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 6(3), pp. 15-22.
- Rahimikhoob, A., 2009, **An Evaluation of Common Pan Coefficient Equations to Estimate Reference Evapotranspiration in a Subtropical Climate (North of Iran)**, J. of Irrig Sci., 27, pp. 289-296.
- Razavipor, T., and Yazdani, M.R., 1999, **Coefficient and Coefficient of Rice Basin Region of Gilan (Rasht)**, Sixth Congress of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Agriculture, pp. 621-692.
- Rosenberg, N.J. and Powers, W., 1970, **Potential for Evapotranspiration and Its Manipulation in the Plains Region**, Proc. Symp. Evapotranspiration Great Plains, Great Plains Agric, Council Publ. No. 50, pp. 275-300.
- Sabziparvar, A., Tafazoli, F., Zare Abyaneh, H., Banejad, H., Mousavi Bayegi, M., Ghafouri, M., Mohseni Movahed, A.A., and Maryanaji, Z, 2008, **Comparison of some Crop Reference Evapotranspiration Models in a Cold Semi-Arid Climate to Optimize the Use of Radiation Models**, Water and Soil (Agr. Sci. & Technology), 22(2), pp. 328-340.
- Sharifan, H. and Ghahraman, B., 2006, **Evaluation and Comparison of Estimated Reference Evapotranspiration from Evaporation with ET0 Standard Method in Gorgan**, J. Agric., Sci., Nature, Resource, 13(5), pp. 2-9.
- Tyagi, N.K., Director, D.K., Sharma; and Luthra, S.K., 1999, **Determination of Evapotranspiration and Crop Coefficients of Rice and Sunflower with Lysimeter**, Central Soil Salinity Research Institute, Karnal-132001, Indi, pp. 45-53.
- Webster, R.K. and Gunnell, P.S., 1992, **Compendium of Rice Disease**, APS Press, Saint Paul, Minnesota, USA. 62 p.
- Yang, X., Bouman, B.A.M., Zhang, Q., Xue, C., Zhang, T., Xu, J., Wang and Wang, H., 2006, **Crop Coefficient of Aerobic Rice in North China**, Nongye Gongcheng Xuebao/ Transactions of the Chinese Society of Agric. Eng. 22(2), pp. 37-41.
- Zare Abyaneh, H., Ghasemi, A., Bayat Varkeshi, M., Sabziparvar, A.A., and Mohamadi, K., 2009, **The Evaluation of two Artificial Neural Network Software in Predict of Crop Reference Evapotranspiration**, J. Water and Soil Science. 23 (3), pp. 176-185.