فصلنامه علمی-پژوهشی
جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)
سال نهم، شماره ۱، زمستان ۱۳۹۷
صص: ۵۷۲-۵۶۱

ارزیابی و برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در استان های شمالی کشور

الهام مدیری[۱]
دکتری مهندسی کشاورزی- زراعت. دانشکده کشاورزی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
داود براری تاری
دانشکده کشاورزی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
ابراهیم امیری
دانشکده کشاورزی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
یوسف نیک نژاد
دانشکده کشاورزی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
هرمز فلاح
دانشکده کشاورزی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
مهدی خزایی
دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۵

چکیده
برنج (*Oryza sativa* L) یکی از محصولات زراعی است که در اقلیم‌های گرم و مرطوب با بارش نسبتا زیاد و یا مناطق غنی از آب‌های سطحی و زیر زمینی قابلیت کشت دارد. مناسب‌ترین منطقه برای کشت این محصول استان‌های شمالی کشور می‌باشد. بدین منظور در این پژوهش تلاش شده است که میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در مراحل مختلف رشد (می تا آگوست) در سه استان گیلان، مازندران و گلستان بدست آید. در ابتدا میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های منتخب با استفاده از روش فائو پنمن ـ مانتیث به عنوان بهترین روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق، محاسبه و سپس با حاصلضرب ضریب گیاهی گیاه برنج در مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع، مقدار تبخیر و تعرق گیاه برنج در مراحل مختلف رشد بدست آمد. نتایج نشان می‌دهد که بیشینه میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در مرحله میانی و کمینه آن در مرحله پایانی رشد تجربه می‌شود (به استثنای ایستگاه منجیل)، در بیشتر ایستگاه‌های منتخب، تبخیر و تعرق گیاه برنج در مرحله میانی رشد (ژوئن و جولای) در حدود ۶۵ تا ۷۰ درصد از کل تبخیر و تعرق این محصول را به خود اختصاص می‌دهد. به طور کلی میزان تبخیر و تعرق برنج در تمام مراحل رشد از شرق منطقه (ایستگاه مراوه تپه) به سمت غرب (ایستگاه آستارا) به استثنای ایستگاه منجیل کاهش می‌یابد، در مقابل میزان بارش در دوره رشد این محصول از شرق به غرب، روندی افزایشی را طی می‌کند به طوری که در ایستگاه‌های مراوه تپه و گرگان میزان بارش به ترتیب در حدود ۹ و ۲۰ درصد از نیاز آبی این محصول را تامین کند در حالی که در بیشتر ایستگاه‌های استان مازندران و گیلان در حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد نیاز آبی این محصول از طریق بارش قابل تامین است.

واژگان کلیدی: تبخیر و تعرق، پنمن مانتیث، برنج، استان های شمالی.

۱- (نویسنده مسئول) elham64ir@yahoo.com و st.e.modiri@iauamol.ac.ir

مقدمه

برنج(*Oryza sativa* L) غذای اصلی بیش از نیمی از مردم جهان است (Roy *et al*, 2011& Thakur *et al*, 2014). بیشترین تولید محصول در دنیا پس از ذرت و بیشترین سطح زیر کشت پس از گندم به برنج اختصاص یافته است (Cavada *et al* 2014& FAO, 2016). در حال حاضر قاره آسیا در حدود ۹۰ درصد برنج دنیا را تولید می کند (Kudo *et a*l, 2014). نیاز به برنج با توجه به سهم آن در سبد غذایی در کشورهای در حال توسعه رو به افزایش است. یافته‌های علمی نشان می‌دهد به منظور تامین تقاضای روزافزون برنج در قرن حاضر، تولید برنج در جهان در سال ۲۰۲۵ باید به میزان ۷۰ درصد افزایش یابد. مطابق پیش‌بینی های صورت گرفته، در پاسخ به رشد جمعیت تا سال ۲۰۵۰ به منظور تامین نیاز غذایی مردم جهان می بایست افزایش عملکردی حدود ۲,۴٪ در هر سال رشد داشته باشد (Fei and Shao-Bing, 2017).

اقلیم مناسب کشت برنج، عرض جغرافیائی ۴۵ درجه شمالی تا ۴۵ درجه جنوبی است و عموما در نواحی مرطوب استوایی، و شرایط نسبتاً گرم و مرطوب رشد بهتری دارد. نور و رطوبت از جمله عوامل مهم در مرحله گلدهی به شمار می رود. دمای کمتر از ۱۳-۱۴ و یا بیشتر از ۴۰ درجه سلسیوس آب آبیاری بر فرایند رشد آن تاثیر منفی می‌گذارد. برنج نیاز آبی بالایی دارد و عمدتا به صورت غرقابی کشت می‌شود، اما در مناطقی که میزان بارندگی سالیانه به ۷۵۰ میلیمتر می‌رسد می‌توان آن را به صورت دیم نیز کشت نمود (اخوت و وکیلی، ۱۳۷۶؛ محمد بیگی، ۱۳۹۶). نیاز برنج به آب در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی به حدی است که چیزی حدود ۸۰ درصد کل منابع آب کشاورزی آسیا را به خود اختصاص داده است (Sedaghat *et al*, 2015). سطح زیر کشت برنج در ایران در حدود ۶۰۰۰۰ هکتار می باشد (IRRI, 2016). از نظر سطح زیر کشت محصولات زراعی در کشور، برنج رتبه دوم را پس از گندم به خود اختصاص داده است. جنوب دریای مازندران یکی از مناطق مهم و مستعد کشت برنج به شمار می رود به طوریکه ۷۰ درصد برنج تولید شده کشور در استان های شمالی به ویژه دو استان مازندران و گیلان کشت می شود (Amiri Larijani *et a*l, 2011).

از سویی دیگر بنا به گزارش هیات بین دولی تغییرات اقلیمی (IPCC) در سال ۲۰۰۷ درجه حرارت طی ۲۵ سال گذشته به صورت فزاینده ای افزایش یافته است. مطابق پیش بینی این پنل درجه حرارت می تواند به طور متوسط تا ۳ درجه تا سال ۲۱۰۰ افزایش یابد؛ اثرات ناشی از این پدیده بر تغییرات اقلیمی و ایجاد جریان های حدی در برخی مناطق قابل مشاهده است این افزایش درجه حرارت و تغییر در میزان بارش بر سیستم های تولید کشاورزی به ویژه تولید برنج نیز موثر خواهد بود به طوریکه ممکن است موجب کاهش عملکرد محصول و افزایش نیاز آبی در گیاه شود (Wassman *et al*, 2010& Sim *et al*, 2012). نیاز آبی وابسته به تبخیر و تعرق است در واقع میزان آب مورد نیاز برای جبران تبخیر و تعرق گیاه با عنوان نیاز آبی در گیاه شناخته می‌شود. پارامترهای آب و هوایی (از جمله تابش، دمای هوا، رطوبت و سرعت باد)، محصول (گونه‌های گیاهی، رقم و مرحله رشد) و مدیریت در مزرعه (از جمله شوری خاک، مواد آلی کم، محدودیت در مصرف کودها، عدم کنترل آفات و بیماری ها و غیره) از جمله مواردی است که بر میزان تبخیر و تعرق موثر است (Allen *et al*, 1998). کمتر از ۵ درصد از کل آب مورد نیاز گیاه برنج که عمدتا توسط ریشه جذب می‌شود، صرف تشکیل اندام‌های گیاهی شده و ۹۵ درصد باقی مانده از طریق

تبخیر و تعرق از دسترس گیاه خارج می‌شود (هادیان و قربان نژاد ۱۳۸۹). بررسی تغییرات نیاز آبی اراضی شالیزاری در سریلانکا ناشی از تغییر اقلیم، افزایش ۱۳ تا ۲۳ درصدی نیاز آب آبیاری تحت سناریو های مختلف را نشان می‌دهد (De Silva *et al*, 2007). از طرفی افزایش تبخیر و تعرق در نتیجه افزایش دما ممکن است سبب تغییر فیزیولوژیکی گیاه و کاهش دوره رشد شود که نتیجه آن کاهش تعداد روزهای آبیاری است (درزی نفت چانی و همکاران، ۱۳۹۵). بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد افزایش دما می‌تواند بر جابجایی فصلی و تقویم زراعی اثر بگذارد، اگرچه تغییر اقلیم بر عملکرد برنج و نیاز آبیاری موثر است ولی کشاورزان با تغییر تاریخ کشت، انتخاب ارقام با طول مدت کشت متفاوت یا تغییر تناوب زراعی می‌توانند تا حدی کشت را با تغییر اقلیم تطابق دهند (Wassmann and Dobermann, 2007). تاخیر در کاشت نشا در شمال غرب هند منجر به کاهش تبخیر و تعرق برنج از ۸۰۰ تا ۵۵۰ میلیمتر گردید این روش در برخی مناطق می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد (Hira and Khera, 2000& Kinger et al, 2014). شیدائیان و همکاران (۱۳۹۳) نیز با بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری وعملکرد محصول برنج گزارش کردند، افزایش دما وکاهش بارندگی ناشی از پدیده تغییر اقلیم بر نیاز واقعی آب مصرفی برنج، تاثیرگذار بوده و منجر به افزایش آن در سال های آتی خواهد شد.

حفظ و بهبود عملکرد برنج مستلزم شناخت و تطابق با چالش های زیست محیطی است. پهنه‌بندی محصولات کشاورزی از جمله روش هایی است که به منظور شناسایی تغییرات عملکردی و عوامل محدود کننده بر رشد گیاه (Caldiz *et al*, 2002& Williams *et al*, 2008)، بهینه کردن مدیریت زراعی در مناطق (Seppelt *et al*, 2001)، مقایسه روند تولید (*Geerts et al*, 2006& Arya *et al*, 2010) و اثرات آنالیز تغییرات اقلیم بر کشاورزی (Fischer *et al*, 2005) استفاده می‌شود. شبیه‌سازی کشت با استفاده از داده‌های طولانی مدت آب و هوایی در مقایسه با داده‌های کوتاه‌مدت، برآورد قوی‌تری از پتانسیل عملکرد و عملکرد در شرایط محدودیت آب نشان می‌دهد، در این روش اثر دامنه حرارتی، تابش خورشید و بارندگی‌های زیاد نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. درحالیکه استفاده از مدل‌های محصول نیاز به داده های مکانی خاص، به ویژه داده‌های مرتبط با تاریخ کاشت، جمعیت گیاهی، خاک و آب و هوا دارد که ممکن است همه موارد جهت بررسی در دسترس نباشد (Ramires- Villegas and Challinor, 2012 & Van Ittersum *et al*, 2013). با توجه به نقش عوامل محیطی و اقلیمی در توسعه کشت محصولات زراعی و ارائه راهکار مناسب مدیریت زراعی، این پژوهش با ارزیابی داده‌های طولانی مدت آب و هوایی در استان‌های شمالی به ویژه عوامل موثر بر نیاز آبی برنج، به معرفی و شناسای مناطق مستعد کشت این محصول می‌پردازد.

داده و روش

چهار روش برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (روش بلانی کریدل، روش تابشی، روش تشت تبخیر و روش پنمن) در نظر گرفته شده است (Allen *et al*,1998). روش‌های فوق الذکر بر مبنای داده‌های اقلیمی در دسترس و دقت در تعیین نیاز آبی گیاه (تبخیر و تعرق) ارائه گردیده است (Doorenbos and Pruitt,1977).

در بین تمامی روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع، روش فائو پنمن ـ مانتیث به عنوان بهترین روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET0) پیشنهاد شده است. این روش سازگار برای همه مناطق و اقلیم‌ها می‌باشد (Allen *et al*,1998 ;Summer and Jacobs,2005 ;Hargreaves,1994 ;Bakhtiari *et al*,2011; Steduto *et*

al, 2012; Tian and Martinez, 2012; Kulkarni *et al*, 2015; Feng *et al*, 2016). در این روش تبخیر و تعرق گیاه مرجع را برای دوره‌های ۱۰ یا ۳۰ روزه با استفاده از داده‌های میانگین اقلیمی استفاده می‌شود (Doorenbos and Pruitt,1977). این روش هم در گام زمانی روزانه (Liu *et al*. 2004; Temesgen *et al*. 2005; Garcia *et al*. 1997) و هم در گام‌های زمانی ماهانه قابل اجرا است (Allen *et al*. 1998; McVicar *et al*. 2005, 2007)، البته در گام‌های زمانی روزانه باید کالیبره شود. به همین دلیل معمولا در بازه‌های زمانی ۱۰ روزه یا ماهانه از این روش استفاده می‌کنند.

نتایج روش فائو پنمن ـ مانتیث دارای دقت زیادی نسبت به روش‌های فیزیکی دیگر، از قبیل لایسی‌متر و تشت تبخیر کلاس A است (Kulkarni *et al*,2015). در حقیقت استفاده از روش‌های تجربی دیگر برای محاسبه تبخیر و تعرق، فقط به دلیل نبود تمامی پارامترهای مورد نیاز روش فائو پنمن ـ مانتیث در مناطق مختلف است (Feng *et al*,2016; Tian and Martinez, 2012).

برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مانتیث از رابطه زیر استفاده می‌شود:

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

ET_0 = تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)

Δ = شیب منحنی فشار بخار آب ($KPaC^{-1}$) که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\Delta = \frac{2504\exp[17.27\,T \div (T + 237.3)]}{(T + 237.3)^2}$$

T= دمای هوا بر حسب درجه سلیسیوس

R_n= تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$) که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$R_n = 0.77(0.25 + 0.50n \div N)R_a - 2.45 \times 10^{-9}(0.9n \div N + 0.1)(0.34 - 0.14\sqrt{ea})(Tkx^4 + Tkn^4)$$

n= تعداد ساعات آفتابی و N حداکثر ساعات ممکن آفتاب که برای ماه ها و عرض های مختلف جغرافیایی از جداول مخصوص قابل حصول است.

R_a= تابش زمین تاب بر حسب $MJm^{-2}d^{-1}$.

با توجه به اینکه در ایستگاه های هواشناسی سرعت باد بر حسب نات و در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود، ابتدا واحد مقادیر سرعت باد از نات، به متر بر ثانیه تبدیل و سپس با استفاده از رابطه زیر سرعت باد از ارتفاع ۱۰ متری به ارتفاع ۲ متری تبدیل گردید.

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{Ln(67.8z - 5.42)}$$

در رابطه فوق: u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین بر حسب متر بر ثانیه،

U_z = سرعت باد در ارتفاع z از سطح زمین بر حسب متر بر ثانیه.

Z = ارتفاع اندازه‌گیری باد (در ایستگاه های سینوپتیک سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری اندازه‌گیری می‌شود).

محاسبه ضریب گیاهی

ضریب گیاهی از ضرب ضریب گونه گیاهی مورد نظر در تبخیر و تعرق گیاه مرجع بدست می‌آید. تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو پنمن مانتیث که مقادیر آن، تحت تاثیر پارامترهای جوی است حاصل می شود. در حالی که علاوه بر پارامترهای جوی، چهار عامل ارتفاع گونه گیاهی زراعی، مقدار آلبدو، مقاومت تاج پوشش گیاهی و تبخیر از سطح خاک نیز بر میزان تبخیر و تعرق گونه‌های گیاهی اثر گذار است که آن را از تبخیر و تعرق گیاه مرجع متمایز می سازد (Allen *et al*,1998:89,90).

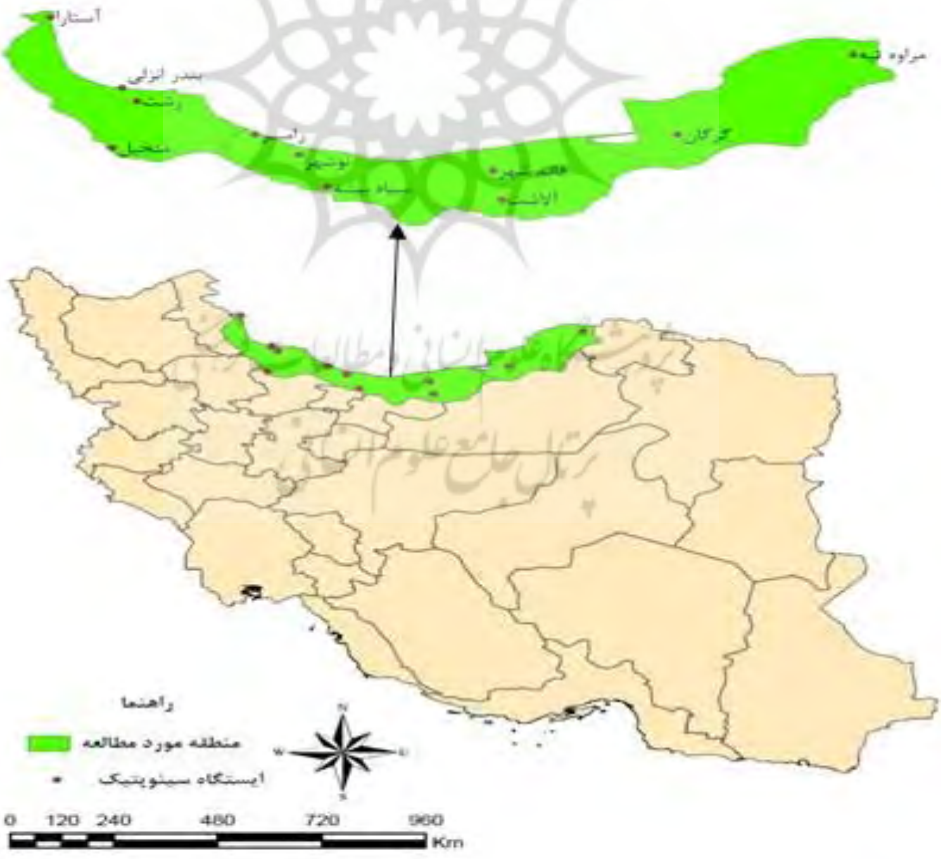
$$ET_c = K_c \times ET_0$$

ET_c = تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر (میلی متر در روز)،

K_c = ضریب گیاه مورد نظر (واحد ندارد)،

ET_0 = تبخیر و تعرق گیاه مرجع(میلی متر در روز).

منطقه مورد مطالعه برای بررسی میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج شامل ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک سه استان گیلان، مازندران و گلستان می‌باشد. موقعیت ایستگاه‌های منتخب منطقه مورد مطالعه در جدول ۱و شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه های منتخب منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: مختصات ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع بر حسب متر	دوره آماری
آستارا	۴۸ ۵۱	۳۸ ۲۲	-۲۱/۱	۲۰۱۷ – ۱۹۸۶
بندر انزلی	۴۹ ۲۷	۳۷ ۲۹	-۲۳/۶	۲۰۱۷ _ ۱۹۵۲
رشت	۴۹ ۳۷	۳۷ ۱۹	-۸/۶	۲۰۱۷ – ۱۹۵۶
منجیل	۴۹ ۲۵	۳۶ ۴۴	۳۳۸/۳	۲۰۱۷ – ۱۹۹۳
رامسر	۵۰ ۴۰	۳۶ ۵۴	-۲۰	۲۰۱۷ – ۱۹۵۶
نوشهر	۵۱ ۳۰	۳۶ ۳۹	-۲۰/۹	۲۰۱۷ – ۱۹۷۷
قائم شهر	۵۲ ۴۶	۳۶ ۲۷	۱۴/۷	۲۰۱۷ – ۱۹۸۴
آلاشت	۵۲ ۵۱	۳۶ ۰۵	۱۸۰۵	۲۰۱۷ ۲۰۰۳
سیاه بیشه	۵۱ ۱۸	۳۶ ۱۵	۱۸۵۵/۴	۲۰۱۷ – ۱۹۹۹
گرگان	۵۴ ۲۴	۳۶ ۵۴	۰	۲۰۱۷ – ۱۹۵۴
مراوه تپه	۵۵ ۵۷	۳۷ ۵۴	۴۶۰	۲۰۱۷ – ۱۹۹۳

روش

در پژوهش حاضر در ابتدا مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در ایستگاه های منتخب نیمه شمالی کشور محاسبه و سپس با حاصل‌ضرب ضرایب گیاهی گیاه برنج در مراحل مختلف رشد در مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع، تبخیر و تعرق گیاه برنج محاسبه گردید. مقدار ضریب گیاهی در مراحل اولیه رشد گیاه برنج در اقلیم های نیمه مرطوب تا مرطوب با سرعت باد ملایم تا متوسط ۱/۰۵ (در ایستگاه منجیل که دارای میانگین سرعت باد ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه است، ضریب گیاهی آن ۱/۱۵ است) و در مراحل میانی و پایانی رشد به ترتیب ۱/۲۰ و ۰/۷۵ می باشد (Allen *et al*,1998) (جدول ۲). متوسط ماهانه سرعت باد در مراحل مختلف رشد گیاه برنج در بیشتر ایستگاه های منتخب ۱ تا ۲ متر بر ثانیه (به استثنای ایستگاه منجیل که در حدود ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه) است که می توان وضعیت جوی به لحاظ شرایط بادی را آرام تا متوسط دانست.

جدول ۲: طبقه‌بندی کلی سرعت باد ماهانه (Allen *et al*,1998:63)

میانگین ماهانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین	وضعیت سرعت باد
کمتر از ۱ متر بر ثانیه	ملایم یا سبک
۱ تا ۳ متر بر ثانیه	ملایم تا متوسط
۳ تا ۵ متر بر ثانیه	متوسط تا قوی
بیشتر از ۵ متر بر ثانیه	خیلی قوی

جدول ۳: مقادیر تبخیر و تعرق ماهانه گیاه مرجع در ایستگاه های منتخب بر حسب میلی متر در روز

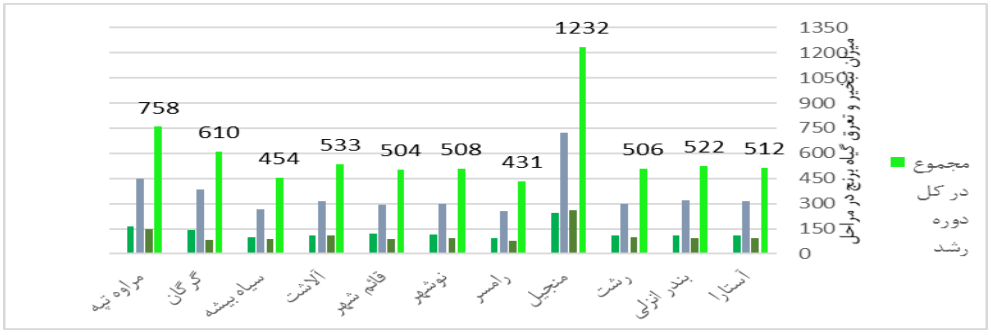
نام ایستگاه	تبخیر و تعرق ماهانه گیاه مرجع بر حسب میلی متر در روز				مجموع تبخیر و تعرق گیاه مرجع در کل طول دوره رشد بر حسب میلی متر
	می	ژوئن	جولای	آگوست	
آستارا	۳/۳۳	۴/۰۶	۴/۴۵	۴/۰۲	۴۸۷/۶
بندر انزلی	۳/۳۵	۴/۱۵	۴/۵۲	۴/۱۲	۴۹۶/۱۹
رشت	۳/۳۹	۳/۹۲	۴/۱۶	۴/۳	۴۸۴/۹۵
منجیل	۶/۹۲	۹/۳۸	۱۰/۳۹	۹/۶۸	۱۱۰۸/۷۹
رامسر	۲/۹۶	۳/۴۷	۳/۵۴	۳/۳۶	۴۰۹/۷۶
نوشهر	۳/۵۷	۳/۹۸	۴/۲۲	۳/۹۳	۴۸۲/۷۲
قائم شهر	۳/۶۶	۳/۹۶	۴/۰۸	۳/۸۹	۴۷۹/۳۳
آلاشت	۳/۴۰	۴/۳۱	۴/۲۵	۴/۶۹	۵۱۱/۸۴
سیاه بیشه	۳/۰۸	۳/۶۹	۳/۵۸	۳/۷۷	۴۳۴/۰۳
گرگان	۴/۳۱	۵/۳۴	۵/۱۵	۳/۶۶	۵۶۶/۹۲
مراوه تپه	۵/۰۴	۶	۶/۲۴	۶/۲۹	۷۲۴/۶۷

جدول ۳ مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع در طول دوره رشد گیاه برنج (می تا آگوست) را در ایستگاه‌های منتخب شمال کشور نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشینه میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاه منجیل با ۱۱۰۹ میلی متر قابل مشاهده است. میزان تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع در این ایستگاه در مرحله میانی (ژوئن و جولای) و پایانی رشد (آگوست) در حدود ۱۰ میلی متر و در مرحله اولیه رشد (می) در حدود ۷ میلی متر است. علت اصلی افزایش تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاه منجیل نسبت به سایر ایستگاه‌ها به دلیل افزایش سرعت باد (میانگین ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه) در این منطقه است. بعد از ایستگاه منجیل، ایستگاه مراوه تپه و سپس گرگان به ترتیب با ۷۲۵ و ۵۶۷ میلی متر تجربه می‌شود. در مقابل کمینه میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاه رامسر با ۴۱۰ میلی‌متر و سپس در ایستگاه سیاه بیشه با ۴۳۴ میلی متر قابل مشاهده است. در سایر ایستگاه‌ها نیز از ۴۸۴ تا ۵۱۲ میلی‌متر متفاوت است.

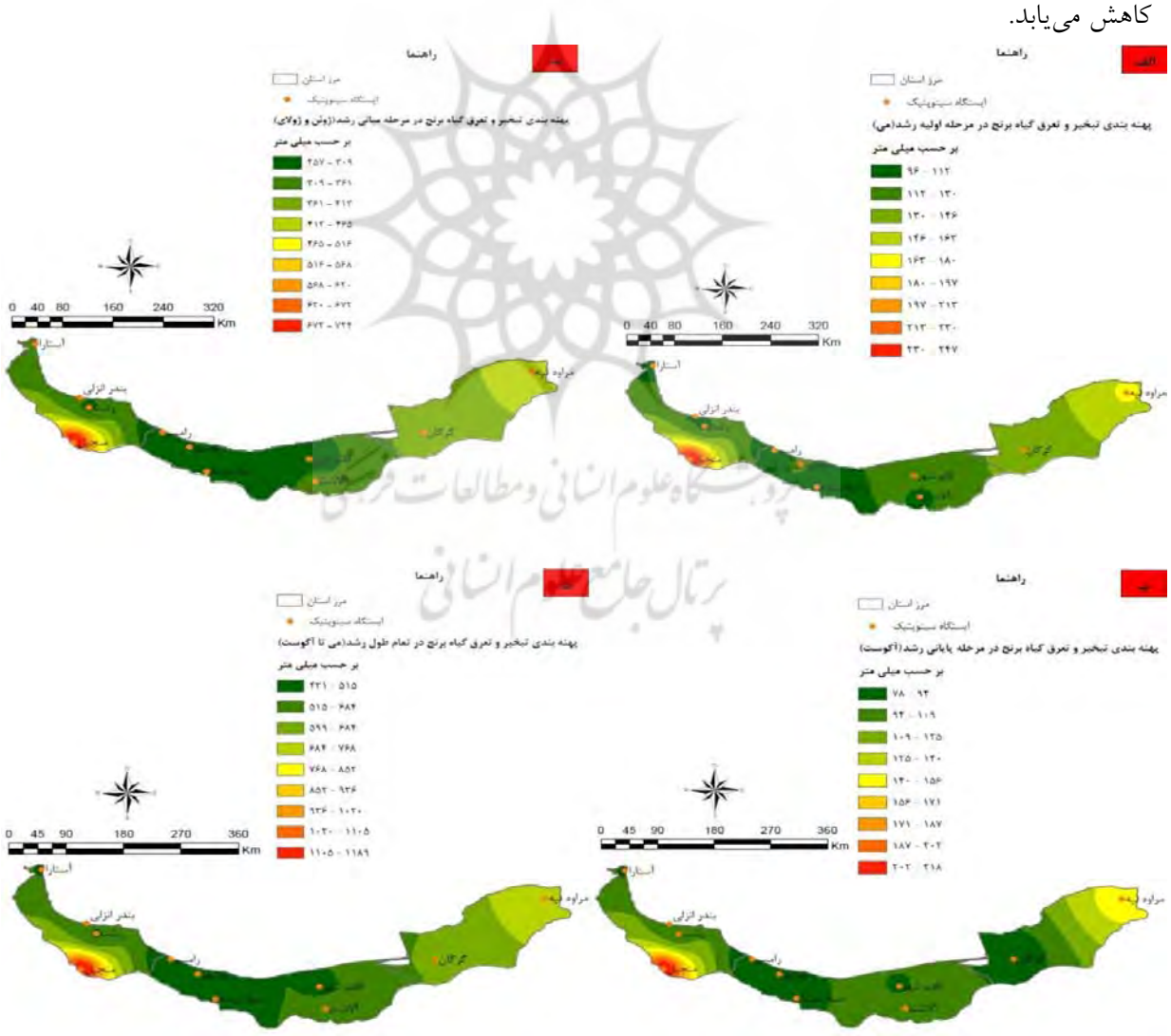
در صورتی که ماه می را مرحله اولیه رشد (در این مرحله گونه‌های گیاهی تقریبا ۱۰ درصد سطح زمین را می‌پوشانند) و ماه‌های ژوئن و جولای، مراحل میانی رشد (پوشش کامل موثر گیاه بدست آمده و دوران بلوغ فرا رسیده به طوری که اغلب با شروع زرد شدن یا پیری برگ‌ها و افتادن آنها یا رسیدگی گل آذین همراه است) و ماه آگوست را مرحله پایانی رشد (از مرحله بلوغ تا برداشت محصول یا پیری کامل یا ریزش تمام برگ ها را شامل می‌شود) تعریف کنیم؛ در این صورت مقادیر واقعی تبخیر و تعرق گیاه برنج در ایستگاه‌های منتخب شمال کشور به شرح جدول ۴ و شکل ۲ می‌باشد. همانطور که در جدول ۴ قابل مشاهده است میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در مرحله انتهایی رشد در تمامی ایستگاه‌های منتخب، کمتر از مرحله اولیه رشد است. در مقابل، در مرحله میانی رشد، تمام ایستگاه ها بیشینه میزان تبخیر و تعرق (حدود ۳ برابر) را به خود اختصاص داده اند. همچنین به طور کلی از شرق ایستگاه های منتخب (مراوه تپه) به سمت ایستگاه های غربی(آستارا) از میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج (به استثنای ایستگاه منجیل) کاسته می شود.

جدول ۴: تبخیر و تعرق گیاه برنج در مراحل مختلف رشد بر حسب میلی متر

نام ایستگاه	می (مرحله اولیه)	ژوئن و جولای (مرحله میانی)	آگوست (مرحله پایانی)	مجموع در کل دوره رشد
آستارا	۱۰۸	۳۱۱	۹۳	۵۱۲
بندر انزلی	۱۰۹	۳۱۷	۹۶	۵۲۲
رشت	۱۱۰	۲۹۶	۱۰۰	۵۰۶
منجیل	۲۴۷	۷۲۴	۲۶۲	۱۲۳۲
رامسر	۹۶	۲۵۷	۷۸	۴۳۱
نوشهر	۱۱۶	۳۰۰	۹۱	۵۰۸
قائم شهر	۱۱۹	۲۹۴	۹۰	۵۰۴
آلاشت	۱۱۰	۳۱۳	۱۰۹	۵۳۳
سیاه بیشه	۱۰۰	۲۶۷	۸۸	۴۵۴
گرگان	۱۴۰	۳۸۴	۸۵	۶۱۰
مراوه تپه	۱۶۴	۴۴۸	۱۴۶	۷۵۸



شکل ۳ پهنه‌بندی مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج در مرحله اولیه (الف) مرحله میانی (ب)، مرحله انتهایی (پ) و کل دوره رشد (ت) را در ایستگاه‌های منتخب شمال کشور (گیلان، مازندران و گلستان) نشان می‌دهد. همانطور که قابل مشاهده است میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در تمامی ایستگاه‌ها در مرحله پایانی کمتر (شکل پ) و در مرحله میانی بیشتر (شکل ب) و به طور کلی در تمامی ایستگاه‌ها (به استثنای ایستگاه منجیل) مجموع تبخیر و تعرق گیاه برنج در کل طول دوره رشد از سمت ایستگاه‌های شرقی (ایستگاه مراوه تپه) به سمت ایستگاه‌های غربی (ایستگاه آستارا) کاهش می‌یابد.



شکل ۳: پهنه بندی مقادیر تبخیر و تعرق گیاه برنج در ایستگاه های منتخب شمال کشور

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود کمترین میزان بارندگی در طول دوره رشد گیاه برنج در ایستگاه منجیل رخ می‌دهد؛ به طوری که در طی مراحل اولیه کشت گیاه تا زمان برداشت این محصول، این میزان به ۲۹ میلی‌متر می‌رسد؛ درحالی که نیاز آبی این گیاه در همین دوره در حدود ۱۲۳۰ میلی‌متر است. در حقیقت باید چیزی حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر از ذخایر آبی سطحی و زیرزمینی برای کشت برنج، در این منطقه استفاده شود تا بتوان نیاز آبی کامل این گیاه را جهت کشت بهینه فراهم کرد. بعد از ایستگاه منجیل، ایستگاه مراوه تپه، با بارش ۶۸ میلی‌متری، کمترین مقدار بارش را در طول دوره رشد گیاه برنج دارد. نیاز آبی گیاه برنج در این منطقه در حدود ۷۶۰ میلی‌متر است (جدول ۴) که نزدیک به ۷۰۰ میلی‌متر آن باید از منابع آب سطحی و زیر زمینی تهیه گردد. میزان بارش در ایستگاه گرگان طی دوره رشد گیاه برنج ۱۲۰ میلی متر (جدول ۵) و میزان نیاز آبی این گیاه در حدود ۶۱۰ میلی متر است، یعنی بایستی به اندازه ۴۹۰ میلی متر آب از ذخایر آب سطحی و زیر زمینی جهت کشت گیاه برنج استفاده گردد.

در ایستگاه قائم شهر در حدود ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه برنج از طریق بارش تامین می‌شود لذا لازم است مابقی آن (حدود ۷۵ درصد) از سایر منابع آبی تامین گردد. در ایستگاه‌های آستارا، رشت، بندر انزلی، نوشهر و رامسر مقدار بارش در حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر (جدول ۵) و نیاز آبی گیاه در حدود ۴۳۰ تا ۵۲۰ میلی‌متر می‌باشد (جدول ۴) یعنی چیزی حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه برنج از طریق بارش قابل تامین است. در نهایت مقدار بارش در ایستگاه سیاه بیشه و آلاشت در طول دوره رشد گیاه برنج به ترتیب ۱۱۰ و ۱۴۷ میلی متر(جدول ۵) و نیاز آبی گیاه برنج به ترتیب۴۵۴ و ۵۳۳ میلی‌متر می باشد(جدول ۴) به عبارت دیگر یعنی حدود ۲۰ درصد نیاز آبی این گیاه از طریق بارش و ۸۰ درصد دیگر آن میبایست از طریق سایر منابع آبی جهت کشت بهینه تامین گردد.

جدول ۵: مقادیر بارندگی در طول دوره رشد گیاه برنج بر حسب میلی متر

نام ایستگاه	میزان بارندگی مراحل مختلف کشت برنج (بر حسب میلی متر)				مجموع بارندگی در کل دوره رشد(بر حسب میلی متر)
	مرحله اولیه	مرحله میانی		مرحله پایانی	
	می	ژوئن	جولای	آگوست	
آستارا	۶۴	۴۶	۴۷	۷۸	۲۳۵
بندر انزلی	۴۷	۵۲	۴۶	۱۱۲	۲۵۷
رشت	۵۲	۴۳	۴۲	۶۸	۲۰۵
منجیل	۲۱	۳	۴	۱	۲۹
رامسر	۴۶	۵۸	۳۸	۶۵	۲۰۷
نوشهر	۴۷	۵۰	۳۳	۶۵	۱۹۵
قائم شهر	۳۱	۳۱	۳۰	۴۳	۱۳۵
آلاشت	۳۶	۳۲	۴۵	۳۴	۱۴۷
سیاه بیشه	۴۴	۱۹	۲۷	۲۰	۱۱۰
گرگان	۴۲	۳۱	۲۱	۲۶	۱۲۰
مراوه تپه	۲۰	۲۰	۱۷	۱۱	۶۸

نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی تبخیرو تعرق گیاه برنج در طول دوره رشد (می تا آگوست) در شمال کشور پرداخته شد. نتایج این بررسی را می‌توان در چند بند زیر خلاصه کرد:

بیشینه میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مرحله میانی(ژوئن و جولای) و کمینه آن در مرحله اولیه رشد (می) به استثنای ایستگاه گرگان قابل مشاهده است. در بیشتر ایستگاه‌های منتخب میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در مرحله میانی رشد در حدود ۶۵ تا ۷۰ درصد از کل تبخیر و تعرق گیاه برنج را به خود اختصاص می‌دهد.

بیشینه میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در کل دوره رشد (می تا آگوست) در ایستگاه منجیل با ۱۲۳۲ میلی متر و سپس در ایستگاه مراوه تپه و گرگان به ترتیب در حدود ۷۵۸ و ۶۱۰ میلی‌متر می‌باشد. در مقابل کمینه میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در ایستگاه رامسر و سپس سیاه بیشه به ترتیب با ۴۳۱ و ۴۵۴ میلی‌متر می‌باشد.

افزایش حدود دو برابری تبخیر و تعرق گیاه برنج در ایستگاه منجیل نسبت به سایر ایستگاه‌ها، در ارتباط با افزایش حدود ۵ تا ۷ برابری سرعت باد در ایستگاه منجیل نسبت به سایر ایستگاه‌ها می باشد.

در ایستگاه‌های آستارا، رشت، بندر انزلی، نوشهر، قائم شهر و آلاشت میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در کل طول دوره رشد در حدود ۵۰۰ تا ۵۳۰ میلی متر می‌باشد.

به طور کلی میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج از شرق ایستگاه‌های منتخب (مراوه تپه) به سمت غرب (ایستگاه آستارا) به استثنای ایستگاه منجیل کاهش می‌یابد و برعکس میزان بارندگی در طول دوره رشد گیاه برنج از شرق به غرب به استثنای ایستگاه منجیل افزایش می‌یابد.

میزان بارش در طول دوره رشد گیاه برنج در ایستگاه منجیل در حدود ۲ درصد نیاز آبی این گیاه را تامین می کند و در حدود ۹۸ درصد دیگر آن از سایر منابع آبی سطحی و زیر سطحی بایستی تامین گردد. در ایستگاه‌های مراوه تپه و گرگان به ترتیب در حدود ۹ و ۲۰ درصد از نیاز آبی گیاه برنج از بارش قابل تامین است و باقی دیگر آن بایستی از ذخایر آب سطحی و زیر سطحی تامین گردد. در مقابل در بیشتر ایستگاه‌های استان مازندران و گیلان (به استثنای منجیل) در حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه برنج در طول دوره رشد (می تا آگوست) از طریق بارش قابل تامین است.

منابع

اخوت، م.، وکیلی، د. ۱۳۷۶. برنج (کاشت، داشت، برداشت). انتشارات فارابی. ۲۱۲ صفحه.

درزی نفت چالی، ع. ا. و کار اندیش، ف. ۱۳۹۵. مدیریت کشت برنج در استان مازندران در شرایط تغییر اقلیم. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳ شماره ۳. صفحه ۳۳-۳۴۶. doi: 10.22092/JWRA.2016.107154

شیدائیان، م.، ضیاء تبار احمدی، م. خ. و فضل اولی، ر. ۱۳۹۳. تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج (مطالعه موردی: دشت تجن). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۸. شماره ۶. صفحه ۱۲۹۷– ۱۲۸۴.

محمد بیگی، ع. ۱۳۹۶. برنج. جهاد کشاورزی شهرستان اصفهان. قابل دسترسی در http://www.agri-esfahan.ir/Default.aspx?tabID=1742

– هادیان، س. ح. و قربان نژاد، ا. ۱۳۸۹. مدیریت مصرف بهینه آب در شالیزار. ناشر مدیریت ترویج کشاورزی مازندران. ۲۳ صفحه.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements), FAO Irrigation and Drainage. Paper No.56. Rome, Italy.

Amiri Larijani, B., Sarvestani, Z. T., Nematzadeh, G. H., Manschadr, A. M. and Amiri, E. 2011. Simulation phenology, growth and yield of transplanted rice at different seedling ages in northern Iran using ORYZA2000. Rice Science 18(4):321-34. Doi: 10.1016/S1672-6308 (12) 60011-0. Applications. Agric. Forest Meteorol. 161, 26-45.

Araya, A., Keesstra, S. D., Stroosnijder, L. 2010. A new agro climatic classification for crop suitability zones: a methodological approach for potatoes in Argentina, Agric. Syst. 73, 297- 311.

Bakhtiari, B., Ghahreman, N., Liaghat, A. M. and Hoogenboom. G. 2011. Evaluation of Reference Evapotranspiration Models for a Semiarid Environment Using Lysimeter Measurements, J. Agr. Sci. Tech. (2011) Vol. 13: 223-237.

Caldiz, D. O., Haverkort, A. J., Struik, P. C., 2002. Analysis of a complex crop production system in interdependent agro-ecological zones: a methodological approach for potatoes in Argentina. Agric. Syst. 73, 297–311.

Cavada, E. P., Drago, S. R. and González, R. J. 2014. Wheat and Rice in Disease Prevention and Health, Chapter 33 - Evaluation of Physical and Nutritional Properties of Extruded Products Based on Brown Rice and Wild Legume Mixtures, Pages 431-441.

De Silva, C. S., Weather head, E. K., Knox, J. W. and Rodriguez-Diaz, J. A. 2007. Predicting the impacts of climate change: a case study on paddy irrigation water requirements in Sri Lanka. Agricultural Water Management, 93(1-2): 19-29.

Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO Food and Agriculture Organization; 2016 [http://faostat3.fao.org/browse/Q/*/E].

Fei, W. and Shao- bing, P. 2017. Yield potential and nitrogen use efficiency of Chinas super rice, Review. Journal of Integrative Agriculture. 16(5): 1000- 1008.

Feng, G., Cobb, S., Abdo, Z., Fisher, D., Ouyang, Y., Adeli, A. and Jenkins, N. J. 2016. Trend Analysis and Forecast of Precipitation, Reference Evapotranspiration, and Rainfall Deficit in the Backland Prairie of Eastern Mississippi, journal of applied meteorology and climatology, 55, P 1425-1439. https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0265.1

Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F. N. and Van Velhuizen, H. 2005. Socio economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990-2080.

Garcia, M., D. Raes, R. Allen, and C. Herbas, .2004. Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands (Altiplano). Agric. For. Meteor., 125, 67–82.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Del Castillo, C. and Buytaert, W. 2006. Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: a case study for quinoa. Agric. Forest Meteorol. 139, 399–412.

Hargreaves,G. H. 1994. Defining and using reference evapotranspiration, J .Irrig and Drain.Eng.ASCE, 120(6).

Hira, G. S. and Khera, K. l. 2000. Water resource management in Punjab under rice – wheat production system. Research Bulletin. No. 2/2000. pp 57.

IRRI statistic, 2016.

Kim, J. and Hogue, T. S. 2008. Evaluation of a MODIS-Based Potential Evapotranspiration Product at the Point Scale. Journal of hydrometeorology. Vol.9, p.444-460.

Kudo, Y., Noborio, K., Shimoozono, N. and Kurihara, R. 2014. The effective water management practice for mitigating greenhouse gas emissions and maintaining rice yield in central Japan. Agric. Ecosyst. Environ. 186, 77–85. Doi:10.1016/j.agee.2014.01.015

Kulkarni, A. K., Masuti, R. and Limaye, V. S. 2015. Comparative study of evaluation of evapotranspiration methods and calculation of crop water requirements at chaskaman command area in pune region, india. International Journal of Research in Engineering and Technology,V.4,323-326.

Liu, Y., L. S. Pereira, J. L. Teixeira, and L. G. Cai. 1997. Update definition and computation of reference evapotranspiration (in Chinese). J. Hydrol. Eng., 6, 27–33.

McVicar, T .R., Van Niel, T. G., Li, L. T., Hutchinson, M. F., Mu., X. M. and Liu, Z. H. 2007. Spatially distributing monthly reference evapotranspiration and pan evaporation considering topographic influences. Journal of Hydrology, 338, 196–220.

McVicar, T .R., Van Niel, T. G., Li, L. T., Hutchinson, M. F., Mu., X. M. and Liu, Z. H. 2005. Spatially Distributing 21 Years of Monthly Hydro meteorological Data in China: Spatio-Temporal Analysis of FAO-56 Crop Reference Evapotranspiration and Pan Evaporation in the Context of Climate Change CSIRO Land and Water Tech. Rep. 8/05, Canberra, Australia, 316 pp.

Ramirez- villegas. J. and Chalinor. A. 2012. Assessing relevant climate data for agricultural application. Journal of Agricultural and Forest Meteorology. Vol: 161: 26-45. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.03.015.

Roy, P., Orikasa, T., Okadome, H., Nakamura, N. and Shiina, T. 2011. Processing conditions, rice properties, health and environment. Int J Environ Res Public Health Jun; 8(6):1957-76. Doi: 10.3390/ijerph8061957.

Sedaghat, N., Pirdashti, H., Asadi, R. and Mousavi Taghani, Y. 2015. Effect of different Irrigation methods on rice water productivity. Journal of water research in agriculture. 28(1):1-9.

Seemann, J. Chircov, Y. I., Lomas, J. and Primault ,B. 1979. Agro meteorology, New York, springer.

Seppelt, R. 2000. Regionalized optimum control problems for agro ecosystem management Ecol. Model. 131, 121- 132.

Sim, k., Sou, S., Sam, C. and Neang, M. 2012.The Impact of climate change on rice production in Colombia. The NGO Forum on Cambodia, Environment Programme's Agricultural Policies Monitoring Project. Pp 100. Doi: 10.13140/2.1.3464.5122

Pasquale, S. Hsiao, T.C., Fereres, E. and Raes, D. 2012. Crop yield response to water. Vol. 1028. Rome: fao.

Sumner, D .M., and Jacobs, J. M. 2005. Utility of Penman-Monteith, Priestley-Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. J. Hydrol., 308, 81–104.

Temesgen, B., Eching, S., Davidoff, B. and Frame, K. 2005. Comparison of some reference evapotranspiration equations for California. J. Irrig. Drain. Eng., 131 (1) , 73–84.

Thakur, A.K., Mohanty, R.K., Patil, D.U. and Kumar, A. 2014. Impact of water management on yield and water productivity with system of rice intensification (SRI) and conventional transplanting system in rice. Paddy Water Environ. 12, 413–424.

Tian, D. and Martinez, C. J. 2012. Forecasting reference evapotranspiration using retrospective forecast analogs in the southeastern United States. Journal of Hydrometeorology 13, no. 6 (2012): 1874-1892. https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-037.1

Van Ittersum, M.k., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonel, P. and Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance- a review. Field Crop. Res. 143, 4–17. Doi: 10.1016/j.fcr.2012.09.009.

Wassmann, R., Jagadish, K., Peng, S. B., Sumfleth, K. and Ole Sander, B. 2010. Rice production and global climate change: scope for adaptation and mitigation activities.

Wassmann, R and Dobermann,A. 2007. Climate change adaptation through rice production in regions with high poverty levels. Journal of Semi-Arid Tropical Agricultural Research, 4(1):1–24.

Willians, C.L., Liebman, M., Edwards, J. W., James, D. E., Singer, J. W., Arritt, R., Herzmann, D. 2008. Patterns of regional yield stability in association with regional environmental characteristics. Crop Sci, 48,1545-1559.