

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

الهام مدیری<sup>۱</sup>

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 اقلیم های گرم و مرطوب با بارش نسبتاً زیاد و یا مناطق غنی از آب های سطحی و زیر زمینی قابلیت کشت دارد. مناسب ترین منطقه برای کشت این محصول استان های شمالی کشور می باشد. 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 ایستگاه های منتخب با استفاده از روش فائو پنمن -مانتیث به عنوان بهترین روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق، محاسبه و سپس با حاصل ضرب 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 می دهد که بیشینه میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در مرحله میانی و کمینه آن در مرحله پایانی رشد تجربه می شود (به استثنای ایستگاه منجیل)، در بیشتر ایستگاه های 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 می دهد. 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 می یابد، در مقابل میزان بارش در دوره رشد این محصول از شرق به غرب، روندی افزایشی را طی می کند به طوری که در ایستگاه های 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 ایستگاه های 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.

## 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 می‌کند (Kudo et al, 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 پیش‌بینی‌های صورت گرفته، در پاسخ به رشد جمعیت تا سال ۲۰۵۰ به منظور تامین نیاز غذایی مردم جهان می‌بایست 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 عموماً 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 می‌رود. 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 عمدتاً 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 می‌باشد (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 می‌رود به طوریکه ۷۰ درصد برنج تولید شده کشور در استان‌های شمالی به ویژه دو استان مازندران و گیلان کشت می‌شود (Amiri Larjani et al, 2011).

از سویی دیگر بنا به گزارش هیات بین دولتی تغییرات اقلیمی (IPCC) در سال ۲۰۰۷ درجه حرارت طی ۲۵ سال گذشته به صورت فزاینده‌ای افزایش یافته است. مطابق پیش‌بینی این پنل درجه حرارت می‌تواند به طور متوسط تا ۳ درجه تا سال ۲۱۰۰ افزایش یابد؛ اثرات ناشی از این پدیده بر تغییرات اقلیمی و ایجاد جریان‌های حدی در برخی مناطق قابل مشاهده است این افزایش درجه حرارت و تغییر در میزان بارش بر سیستم‌های 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 بیماری‌ها 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 عمدتاً 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 سناریوهای 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 و عملکرد محصول برنج گزارش کردند، افزایش دما و کاهش بارندگی ناشی از پدیده تغییر اقلیم بر نیاز واقعی آب مصرفی برنج، تاثیرگذار بوده و منجر به افزایش آن در سال‌های آتی خواهد شد. حفظ و بهبود عملکرد برنج مستلزم شناخت و تطابق با چالش‌های زیست محیطی است. پهنه‌بندی محصولات کشاورزی از جمله روش‌هایی 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 کوتاه مدت، 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 داده‌های 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, 2013 & Van Ittersum et al, 2012). 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 فوق‌الذکر 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 - مانیتیت به عنوان بهترین روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET<sub>0</sub>) 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, 2006).

Doorenbos and (1977; Pruitt, 1977). این روش هم در گام زمانی روزانه (Liu et al. 1997; Garcia et al. 2004; Temesgen et al. 2005) 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 معمولاً در بازه‌های زمانی ۱۰ روزه یا ماهانه از این روش استفاده می‌کنند.

نتایج روش فائو پنمن - مانیتث دارای دقت زیادی نسبت به روش‌های فیزیکی دیگر، از قبیل لایسی متر 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 - مانیتث در مناطق مختلف است (Feng et al., 2016; Tian and Martinez, 2012)

برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مانیتث 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)

$\Delta$  = 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.

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

$n$  = تعداد ساعات آفتابی و  $N$  حداکثر ساعات ممکن آفتاب که برای ماه‌ها و عرض‌های مختلف جغرافیایی از جداول مخصوص قابل حصول است.

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

با توجه به اینکه در ایستگاه‌های 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 ایستگاه‌های 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 می آید. تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو پنمن مانیتیت 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 گونه های گیاهی اثر گذار است که آن را از تبخیر و تعرق گیاه مرجع متمایز می سازد (Allen et al, 1998: 89, 90).

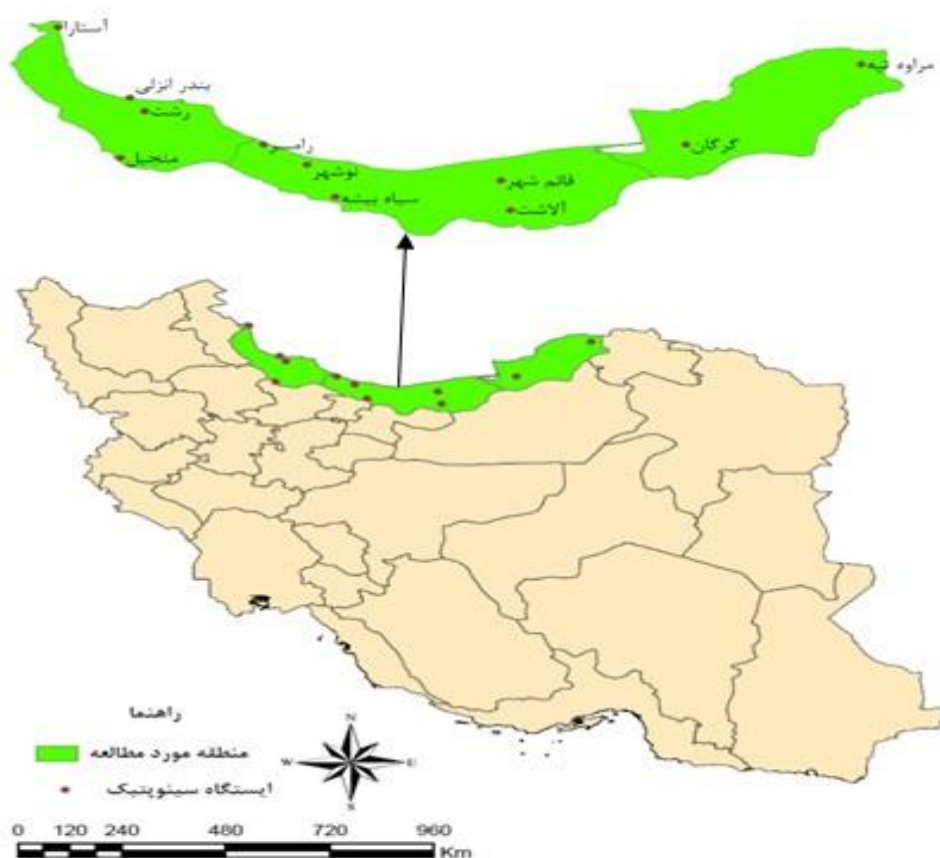
$$ET_c = K_c \times ET_0$$

$ET_c$  = 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 بررسی میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج شامل ایستگاه های منتخب سینوپتیک سه استان گیلان، مازندران و گلستان می باشد. موقعیت ایستگاه های منتخب منطقه مورد مطالعه در جدول او 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	۱۹۸۶ - ۲۰۱۷
بندر انزلی	۴۹ ۲۷	۳۷ ۲۹	-۲۳/۶	۱۹۵۲ - ۲۰۱۷
رشت	۴۹ ۳۷	۳۷ ۱۹	-۸/۶	۱۹۵۶ - ۲۰۱۷
منجیل	۴۹ ۲۵	۳۶ ۴۴	۳۳۸/۳	۱۹۹۳ - ۲۰۱۷
رامسر	۵۰ ۴۰	۳۶ ۵۴	-۲۰	۱۹۵۶ - ۲۰۱۷
نوشهر	۵۱ ۳۰	۳۶ ۳۹	-۲۰/۹	۱۹۷۷ - ۲۰۱۷
قائم شهر	۵۲ ۴۶	۳۶ ۲۷	۱۴/۷	۱۹۸۴ - ۲۰۱۷
آلاشت	۵۲ ۵۱	۳۶ ۰۵	۱۸۰/۵	۲۰۰۳ - ۲۰۱۷
سیاه بیشه	۵۱ ۱۸	۳۶ ۱۵	۱۸۵۵/۴	۱۹۹۹ - ۲۰۱۷
گرگان	۵۴ ۲۴	۳۶ ۵۴	۰	۱۹۵۴ - ۲۰۱۷
مراوه تپه	۵۵ ۵۷	۳۷ ۵۴	۴۶۰	۱۹۹۳ - ۲۰۱۷

## روش

در پژوهش حاضر در ابتدا مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در ایستگاه‌های منتخب نیمه شمالی کشور محاسبه و سپس با حاصل ضرب 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 اقلیم‌های نیمه مرطوب تا مرطوب با سرعت باد ملایم تا متوسط  $1/05$  (در ایستگاه منجیل که دارای میانگین سرعت باد  $7$  تا  $10$  متر بر ثانیه است، ضریب گیاهی آن  $1/15$  است) و در مراحل میانی و پایانی رشد به ترتیب  $1/20$  و  $0/75$  می‌باشد (Allen et al, 1998). (جدول ۲). متوسط ماهانه سرعت باد در مراحل مختلف رشد گیاه برنج در بیشتر ایستگاه‌های منتخب ۱ تا ۲ متر بر ثانیه (به استثنای ایستگاه منجیل که در حدود  $7$  تا  $10$  متر بر ثانیه) است که می‌توان 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 ایستگاه‌های منتخب بر حسب میلی متر در روز

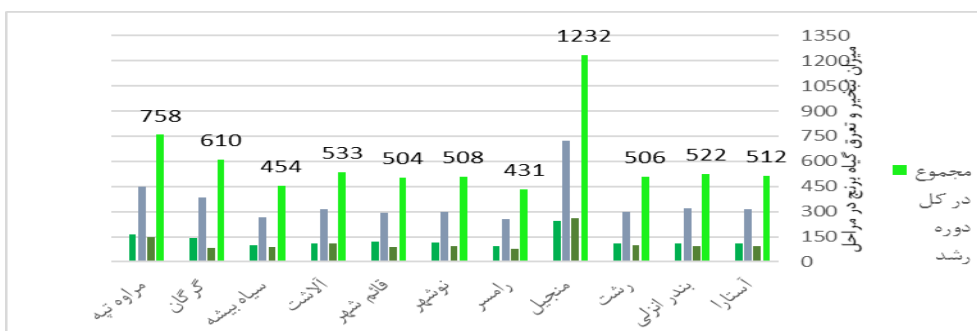
نام ایستگاه	تبخیر و تعرق ماهانه گیاه مرجع بر حسب میلی متر در روز			
	مجموع تبخیر و تعرق گیاه مرجع در کل طول دوره رشد بر حسب میلی متر	ژوئن	جولای	آگوست
آستارا	۳/۳۳	۴/۰۶	۴/۴۵	۴/۰۲
بندر انزلی	۳/۳۵	۴/۱۵	۴/۵۲	۴/۱۲
رشت	۳/۳۹	۳/۹۲	۴/۱۶	۴/۳
منجیل	۶/۹۲	۹/۳۸	۱۰/۳۹	۹/۶۸
رامسر	۲/۹۶	۳/۴۷	۳/۵۴	۳/۳۶
نوشهر	۳/۵۷	۳/۹۸	۴/۲۲	۳/۹۳
قائم شهر	۳/۶۶	۳/۹۶	۴/۰۸	۳/۸۹
آلاشت	۳/۴۰	۴/۳۱	۴/۲۵	۴/۶۹
سیاه بیشه	۳/۰۸	۳/۶۹	۳/۵۸	۳/۷۷
گرگان	۴/۳۱	۵/۳۴	۵/۱۵	۳/۶۶
مراوه تپه	۵/۰۴	۶	۶/۲۴	۶/۲۹

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 میلی متر و سپس در ایستگاه سیاه بیشه با ۴۳۴ میلی متر قابل مشاهده است. در سایر ایستگاه‌ها نیز از ۴۸۴ تا ۵۱۲ میلی متر متفاوت است.

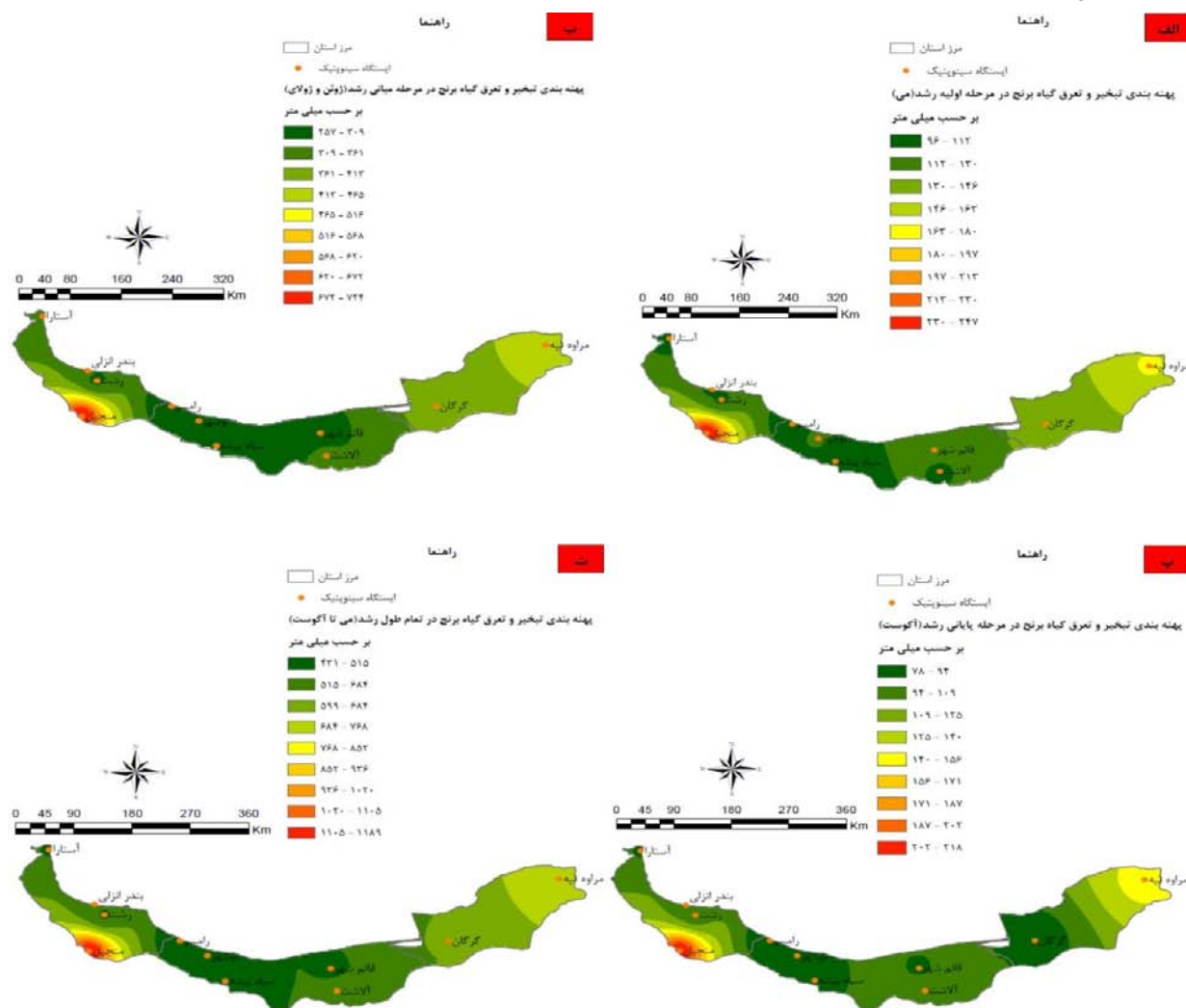
در صورتی که ماه می را مرحله اولیه رشد (در این مرحله گونه‌های گیاهی تقریباً ۱۰ درصد سطح زمین را می‌پوشانند) و ماه‌های ژوئن و جولای، مراحل میانی رشد (پوشش کامل موثر گیاه بدست آمده و دوران بلوغ فرا رسیده به طوری که اغلب با شروع زرد شدن یا پیری برگ‌ها و افتادن آنها یا رسیدگی گل آذین همراه است) و ماه آگوست را مرحله پایانی رشد (از مرحله بلوغ تا برداشت محصول یا پیری کامل یا ریزش تمام برگ‌ها 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 ایستگاه‌ها بیشینه میزان تبخیر و تعرق (حدود ۳ برابر) را به خود اختصاص داده اند. همچنین به طور کلی از شرق ایستگاه‌های منتخب (مراوه تپه) به سمت ایستگاه‌های غربی (آستارا) از میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج (به استثنای ایستگاه منجیل) کاسته می‌شود.

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	۱۲۳۳
رامسر	۹۶	۲۵۷	۷۸	۴۳۱
نوشهر	۱۱۶	۳۰۰	۹۱	۵۰۸
قائم شهر	۱۱۹	۲۹۴	۹۰	۵۰۴
الاشد	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 مراره 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 میلی‌متر (جدول ۵) و میزان نیاز آبی این گیاه در حدود ۶۱۰ میلی‌متر است، یعنی بایستی به اندازه ۴۹۰ میلی‌متر 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 میلی‌متر (جدول ۵) و نیاز آبی گیاه برنج به ترتیب ۴۵۴ و ۵۳۳ میلی‌متر می‌باشد (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 میلی‌متر

نام ایستگاه	میزان بارندگی مراحل مختلف کشت برنج (بر حسب میلی‌متر)				مجموع بارندگی در کل دوره رشد (بر حسب میلی‌متر)
	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 تبخیر و 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 میلی متر می‌باشد. در مقابل کمینه میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در ایستگاه رامسر و سپس سیاه بیشه به ترتیب با ۴۳۱ و ۴۵۴ میلی متر 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 می‌باشد.

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 می‌کند 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 ۳۳-۳۴. 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](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. I. 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.