

برآورد میزان تبخیر و تعرق تابستانه گیاه نیشکر در استان خوزستان با استفاده از داده‌های اقلیمی

حسین محمدی^۱ قاسم عزیزی^۲
فرامرز خوش اخلاق^۳ مهدی خزایی^۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۶/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۲/۳۰

چکیده

برآورد دقیق و به موقع تبخیر و تعرق تأثیری بسزا و حیاتی در برنامه‌ریزی منابع آب و کشاورزی دارد. در این پژوهش، به برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در استان خوزستان پرداخته شده و داده‌های مورد استفاده شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی از بدو تأسیس ایستگاه‌های سینوپتیک تا سال ۲۰۱۴ بوده است. بدین منظور در ابتدا مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش استاندارد فائو پنمن مانیتث محاسبه و سپس با استفاده از ضرایب گیاهی موجود، مقدار تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مراحل مختلف رشد برآورد شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در استان خوزستان متوسط تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مراحل اولیه رشد در ماه ژوئن ۳۵/۳ میلی متر در روز، در مراحل میانی رشد ۴۶/۱۰ میلی متر و در مراحل پایانی رشد ۲۶/۶ میلی متر در روز بوده است. مقدار این پارامتر در ماه ژوئیه در مراحل اولیه رشد ۵۹/۳ میلی متر، در مراحل میانی ۱۱/۲۳ میلی متر و در مراحل پایانی رشد به میزان ۶/۷۴ میلی متر در روز برآورد شده است. در نهایت مقدار تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در ماه اوت در مراحل اولیه رشد ۳/۵۶ میلی متر در روز، در مراحل میانی رشد ۱۲/۱۱ میلی متر و در مراحل پایانی رشد ۶/۶۷ میلی متر در روز برآورد شده است. بیشینه تبخیر و تعرق روزانه و ماهانه در ماه ژوئیه و کمینه آن در ماه ژوئن اتفاق افتاده است. همچنین بیشترین میزان نوسانات روزانه و ماهانه تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مراحل میانی رشد و کمترین آن در مراحل اولیه رشد اتفاق می‌افتد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، روش فائو پنمن مانیتث، ضریب گیاهی، گیاه نیشکر، استان خوزستان

۱- استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه تهران hmmohammadi@yahoo.com

۲- دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه تهران ghazizi@ut.ac.ir

۳- استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه تهران fkhash@ut.ac.ir

۴- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) M.khazaei14@ut.ac.ir

مقدمه

به روش‌های پنمن مانیت با ضریب تعیین ۰/۸۴ درصد و خطای RMSE ۱/۲۱ میلی‌متر در روز و روش شبکه عصبی مصنوعی با ضریب تعیین ۰/۸۴ درصد و خطای RMSE ۰/۷۴ میلی‌متر در روز به عنوان روش قابل قبول معرفی شده است. زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی روش‌های تبخیر و تعرق پتانسیل از قبیل هفت روش ترکیبی بر پایه روش پنمن، دو روش دمایی، سه روش تشعشعی - دمایی و یک روش تشعشعی در گستره ایران پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که روش‌های با پایه پنمن، در بیشتر مناطق ایران، مناسب‌ترین روش برای برآورد ET_0 به شمار می‌آید. روشن و همکاران (۱۳۹۰) در برآورد روش‌های تبخیر و تعرق پتانسیل ایران با استفاده از روش‌های تورنت وایت، بلانی کریدل، جنسن - هیز و هارگریوز - سامانی به این نتیجه رسیدند که از بین روش‌های مذکور روش بلانی کریدل همخوانی بهتری با شرایط محیطی ارائه می‌دهد. همچنین در این بررسی روش بلانی کریدل برای ماه‌های مختلف اصلاح و بومی سازی شد. همچنین محمدیان و همکاران (۱۳۸۴)؛ سبزی پرور و همکاران (۱۳۸۷)؛ شریفان و علیزاده (۱۳۸۸)؛ سلطانی و همکاران (۱۳۹۱)؛ پیری (۱۳۹۲)؛ مساعدی و قبائی سوق (۱۳۹۲) به ارزیابی روش‌های مختلف تبخیر و تعرق همت گماشته‌اند. در مقابل برخی دیگر از مطالعات تلاش در برآورد ضریب تشت تبخیر به منظور محاسبه تبخیر و تعرق کرده‌اند، یعنی در حقیقت با بدست آوردن ضریب تشت تبخیر، تبخیر و تعرق مورد انتظار منطقه را تخمین زده‌اند. از این دسته مطالعات می‌توان به: شریفان و قهرمان (۱۳۸۵) با استفاده از داده‌های تشت تبخیر ایستگاه هواشناسی گرگان اشاره نمود که مقادیر ET_0 را محاسبه و نتایج آن را با مقادیر ET_0 روش استاندارد مقایسه کردند. بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که از روش‌های اورنگ و اشنای در اصلاح شده برای برآورد مقادیر ET_0 روزانه و از روش‌های کونیکا و اشنایدر اصلاح شده و روش‌های آلن - پرویت برای برآورد مقادیر ET_0 ده روزه و از روش‌های اشنایدر اصلاح شده و روش

برآورد دقیق و به موقع تبخیر و تعرق تأثیری بسزا و حیاتی در برنامه‌ریزی منابع آب و کشاورزی دارد (Kim and hogue, 2008:444). تبخیر و تعرق نقش بسیار مهمی در مدیریت مزرعه به منظور تعیین مقدار آب مورد نیاز گیاهان دارد. چنانچه تبخیر - تعرق مورد انتظار درست تخمین زده نشود، مقدار آب تحویل داده شده به مزارع دقیق نخواهد بود و ابعاد کانال‌های آبیاری به درستی تعیین نخواهد شد. اگر مقدار تبخیر - تعرق مورد انتظار کمتر از مقدار واقعی آن، برآورد شود، کانال‌های آبیاری به علت ابعاد کوچک خود، توانایی انتقال آب کافی به مزارع به ویژه در تابستان را نخواهند داشت (ناظم السادات، ۱۳۹۲: ۲۹۶).

دقت و پیشرفت در اندازه‌گیری‌ها و برآوردها به پیروی از پیشرفت در فناوری و روش‌های اندازه‌گیری، دامنه‌ای از تشت تبخیر تا تکنیک‌های سنجش از دوری را در بر گرفته است (Abteu and Assefa, 2013:29). در زیر به برخی از این روش‌ها اشاره می‌شود.

فروودی و شمسی‌پور (۱۳۷۹) به محاسبه تبخیر و تعرق مورد انتظار با استفاده از دو روش تورنت وایت و بلانی کریدل در منطقه بلوچستان پرداختند. بررسی‌های آن‌ها نشان می‌دهد که روش تورنت وایت ارزیابی قابل قبولی در برآورد میزان تبخیر بدست نمی‌دهد در مقابل روش بلانی کریدل، همبستگی خوبی را با روش اندازه‌گیری مستقیم (تشت تبخیر) نشان می‌دهد. مطالعات جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۸۰) که بر پایه ۱۴ روش محاسبه تبخیر و تعرق و مقایسه آن‌ها با داده‌های تشت تبخیر در ایستگاه هواشناسی تبریز بوده است نشان می‌دهد که در این منطقه، روش کریستینسن - هارگریوز RA نسبت به سایر روش‌ها، تطابق بیشتری با روش محاسبه از طریق تشت تبخیر نشان می‌دهد. شایان‌نژاد و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی تبخیر و تعرق مورد انتظار در ایستگاه اکباتان همدان پرداخته‌اند. در این بررسی روش رگسیون فازی با ضریب تعیین ۰/۸۸ درصد و خطای RMSE ۰/۶۹ میلی‌متر در روز، نسبت

این پژوهش نشان می‌دهد که مدل سبال در مقیاس مکانی حوضه و مقیاس زمانی سال، دارای دقت مناسبی در منطقه نیشابور است. از دیگر مطالعات برآورد تبخیر- تعرق به روش سنجش از دور می‌توان به (مباشری ۱۳۸۶)؛ ابراهیمی و یزدانی (۱۳۹۲) اشاره کرد. در پژوهش حاضر از روش استاندارد فائو پنمن مانتیث که به عنوان دقیق‌ترین روش سنجش تبخیر و تعرق گیاه مرجع می‌باشد، استفاده شده است. در واقع این روش، معیاری برای دقت در برآورد تمامی روش‌های دیگر محاسبه تبخیر و تعرق است که از طرف سازمان فائو پیشنهاد شده است.

داده‌ها و روش کار

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل میانگین دمای هوا، میانگین نم نسبی، تعداد ساعات آفتابی و سرعت باد در سه ماهه فصل گرم سال (ژوئن، ژوئیه و اوت) از بدو تأسیس ایستگاه‌های سینوپتیک تا سال ۲۰۱۴ برای استان خوزستان می‌باشد. در جدول شماره ۱ مختصات ایستگاه‌ها و در نگاره شماره ۱ نقشه ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی استان خوزستان آورده شده است. 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 می‌گردد.

4.87

$$u_2 = u_z \frac{67.8z - 5.42}{z}$$

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 و Z ارتفاعی که باد اندازه‌گیری شده است (در ایستگاه‌های سینوپتیک سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری اندازه‌گیری می‌شود)، می‌باشد. در این پژوهش به منظور برآورد تبخیر و تعرق گیاه

کونیکا برای محاسبه ET_0 ماهانه در منطقه گرگان و سایر مناطقی که اقلیم مشابه دارند، می‌توان استفاده نمود. اکبری نودهی (۱۳۸۹) با برآورد ضریب تشت تبخیر با استفاده از چهار روش آلن و پرویت، اشنایدر، کونیکا و اورنگ، ضریب تشت تبخیر و مقایسه آن با روش استاندارد (فائو - پنمن - مونتیت) را در منطقه ساری بدست آورده است. نتیجه بررسی وی نشان می‌دهد که برای محاسبه مقادیر ET_0 روزانه و ماهانه در ایستگاه ساری روش اورنگ، بهترین برآورد را بدست می‌دهد. برخی مطالعات دیگر سعی در برآورد تبخیر و تعرق به روش سنجش از دور و یا ارزیابی روش‌های تجربی تبخیر - تعرق با استفاده از سنجش از دور داشته‌اند که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

اکبری و همکاران (۱۳۹۰) در برآورد تبخیر و تعرق شرق استان اصفهان با به‌کارگیری تکنیک‌های سنجش از دور و مقایسه آن با روش‌های هارگزبوز و پنمن مانتیث به این نتیجه رسیدند که مقدار ریشه میانگین مربعات خطاها ۰/۶۷ درصد، میانگین خطای مطلق ۰/۴ درصد و انحراف خطا ۰/۲۶ میلی‌متر در روز بوده است. مقادیر به نسبت پایین خطاهای موجود در برآورد تبخیر و تعرق منطقه، نشان می‌دهد که استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، مطابقت خوبی با برآوردهای حاصل از روش‌های محاسباتی داشته است. امیدوار و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از تصاویر سنجنده استر و مدل متریک، مقادیر تبخیر - تعرق واقعی را در سه ایستگاه سینوپتیک مشهد، گل‌مکان و قوچان بدست آورده‌اند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که حداکثر مقدار تبخیر و تعرق در سه ایستگاه گل‌مکان، مشهد و قوچان به ترتیب برابر با ۹/۱۳؛ ۷/۲۹ و ۲/۳۷ میلی‌متر در روز بوده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مدل توازن انرژی متریک از مدل‌های مناسب، جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس محلی می‌باشد. یآوری و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی روش‌های تجربی برآورد تبخیر - تعرق واقعی در مقیاس بزرگ به کمک تبخیر و تعرق برآوردی با استفاده از روش سبال در دشت نیشابور پرداخته‌اند. نتایج

$$ET_0 = \text{تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)}$$

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 سلسیوس

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

$$R_n = 0.77(0.25 + 0.50n \div N)R_a - 2.45 \times 10^{-9}$$

$$(0.9n \div N + 0.1)(0.34 - 0.14\sqrt{ea})(T_{kx}^4 + T_{kn}^4)$$

R_n = تابش خالص

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 ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$) که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_a = 37.6 \text{ dr}(W_s \sin \phi \times \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin W_s)$$

$$W_s = \text{arc cos}(-\tan \phi \tan \delta)$$

$$\text{dr} = 1 + 0.033 \cos(0.0172j)$$

$$\delta = 0.409 \sin(0.0172j - 1.39)$$

$$j = \text{integer}(30.5M - 14.6)$$

در روابط فوق:

dr - فاصله نسبی زمین تا خورشید،

δ - زاویه میل خورشید بر حسب رادیان،

ϕ - عرض جغرافیایی بر حسب رادیان،

W_s - زاویه ساعتی غروب خورشید بر حسب رادیان،

M - شماره ماه سال که تبخیر و تعرق برای آن محاسبه می‌شود،

j - شماره روز ژولوسی که از اول ماه ژانویه در محاسبات استفاده می‌شود،

مرجع^۱ از روش فائو پنمن مانیتث استفاده شده است. روش فائو پنمن مانیتث روشی استاندارد برای محاسبه گیاه مرجع است، زیرا این روش قابل کاربرد در همه فصول و اقلیم‌های متفاوت است و نتایج آن دارای دقت زیادی نسبت به روش‌های فیزیکی از قبیل لایسی متر و تشت تبخیر کلاس A می‌باشد. (Kulkarni et al, 2015).

در این روش، مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مناطق خشک ۱ درصد کمتر از مقادیر واقعی و در مناطق مرطوب ۴ درصد بیشتر از مقادیر واقعی تبخیر و تعرق برآورد می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۳: ۲۵۲). با توجه به اینکه استان خوزستان در منطقه نیمه خشک واقع شده است، می‌توان گفت مقادیر برآوردی روش فائو پنمن مانیتث در استان خوزستان در حدود ۱ تا ۲ درصد بیشتر از واقعیت می‌باشد. مقدار خطای به نسبت پایین این روش در برآوردهای روزانه کاملاً قابل چشم پوشی است و در برآورد تبخیر و تعرق ماهانه نیز بسیار به تبخیر و تعرق واقعی منطقه نزدیک است. در نشریه شماره ۵۶ فائو، این روش به عنوان بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مقایسه با دیگر روش‌ها پیشنهاد شده است (Sumner and Jacobs, 2005)، این روش هم در گام زمانی روزانه (Garcia et al. 2004; Temesgen et al. 2005 Liu 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 معمولاً در بازه‌های زمانی ۱۰ روزه یا ماهانه از این روش استفاده می‌کنند.

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

۱- گیاه مرجع، گیاهی فرضی (معمولاً چمن) با ارتفاع ۱۲ سانتی متر، آلبو ۲۳ درصد و مقاومت روزنه‌های آن در برابر تعرق ۷۰ ثانیه بر متر می‌باشد. (McMahon et al, 2013 Allen et al. 1998, 15, 23). این گیاه باید خوب آبیاری شده، رشد فعال، ارتفاع یکدست و سایه اندازی کامل داشته باشد. (Allen et al. 1998, 15, 23).

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
برآورد میزان تبخیر و تعرق تابستانه گیاه نیشکر ... / ۱۴۵

تبخیر از سطح خاک) در میزان تبخیر و تعرق گونه‌های گیاهی اثر گذار است که آن را از تبخیر و تعرق گیاه مرجع متمایز می‌سازد (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 (بی بعد)،

ET₀ - تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی متر در روز).

جدول ۱: مختصات ایستگاه‌های سینوپتیک استان خوزستان

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع بر حسب متر	طول دوره آماری
آبادان	۴۸ ۱۵	۳۰ ۲۲	۶/۶	۲۰۱۴ - ۱۹۵۱
هندیجان	۴۹ ۴۴	۳۰ ۱۷	۳	۲۰۱۴ - ۲۰۰۰
بهبهان	۵۰ ۱۴	۳۰ ۳۶	۳۱۳	۲۰۱۴ - ۱۹۹۴
رامهرمز	۴۹ ۳۶	۳۱ ۱۶	۱۵۰/۵	۲۰۱۴ - ۱۹۸۷
اهواز	۴۸ ۴۰	۳۱ ۲۰	۲۲/۵	۲۰۱۴ - ۱۹۵۷
ایذه	۴۹ ۵۲	۳۱ ۵۱	۷۶۷	۲۰۱۴ - ۱۹۹۳
مسجد سلیمان	۴۹ ۱۷	۳۱ ۵۶	۳۲۰/۵	۲۰۱۴ - ۱۹۸۵
شوشتر	۴۸ ۵۰	۳۲ ۳	۶۷	۲۰۱۴ - ۱۹۹۴

بحث و نتایج

در این پژوهش ابتدا مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع در فصل تابستان (ژوئن، ژوئیه و اوت) محاسبه و سپس با استفاده از ضرایب گیاهی نیشکر در مراحل مختلف رشد، مقدار تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در این فصل در قالب جداول و نمودار به تفکیک ماه ارائه شده است.

T_{kx} - حداکثر دمای روزانه بر حسب درجه کلونین،

T_{kn} - حداقل دمای روزانه بر حسب درجه کلونین،

G - شارگرمما به داخل خاک بر حسب MJ.m-2.day-1 (در

محاسبات تبخیر و تعرق گیاه مرجع، به دلیل فرض پوشش کامل گیاهی در یک پهنه، شار گرمما به داخل خاک صفر فرض می‌شود)،

γ = ضریب ثابت رطوبتی (KPaC-1) که از رابطه زیر بدست

می‌آید،

$$\gamma = 0.00163 \frac{P}{\lambda}$$

λ = گرمای نهان تبخیر (MJkg-1)

$$Y = 2.501(2.361 \times 10^{-3})T_{mean}$$

P = فشار هوا (KPa) که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065Z}{293} \right)^{5.26}$$

Z = ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر

u₂ = سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین بر حسب متر بر ثانیه

ea-es = کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (KPa)

ea = فشار بخار واقعی آب بر حسب کیلو پاسکال که از رابطه زیر قابل محاسبه است

$$ea = 0.611 \exp \left(\frac{17.27 T_{min}}{T_{min} + 237.3} \right)$$

es = فشار واقعی اشباع (KPa) که از رابطه زیر بدست می‌آید.

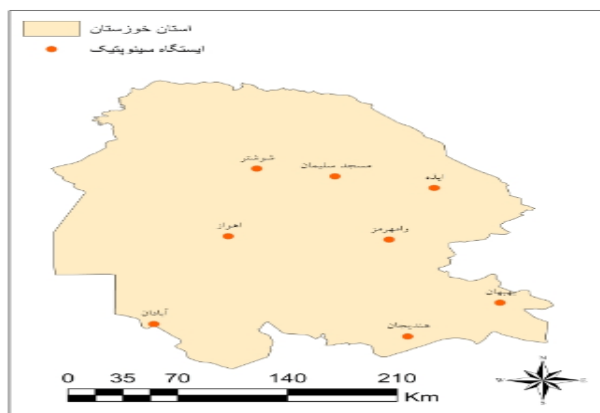
$$es = 0.611 \exp \left(\frac{17.27 T}{T + 237.3} \right)$$

محاسبه ضریب گیاهی

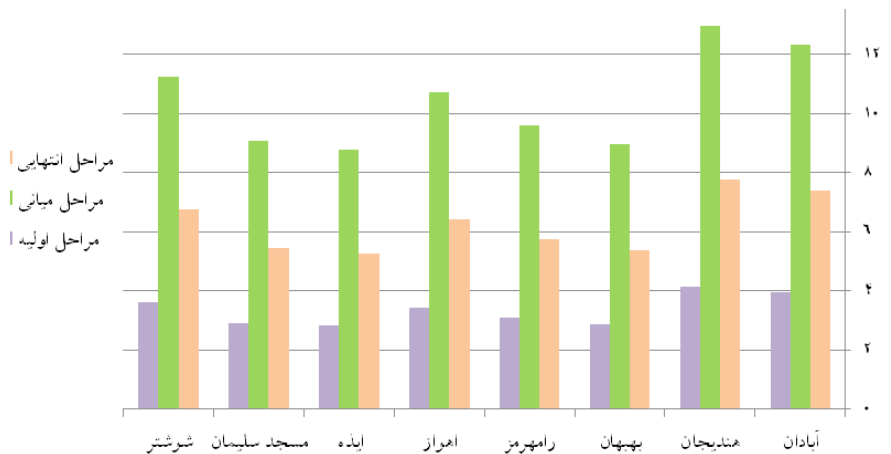
ضریب گیاهی از ضرب ضریب گونه گیاهی مورد نظر با تبخیر و تعرق گیاه مرجع بدست می‌آید. تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو پنمن مانیت بدست می‌آید که مقادیر آن، تحت تأثیر پارامترهای جوئی است. در حالی که علاوه بر پارامترهای جوئی، چهار عامل اصلی (ارتفاع گونه گیاهی زراعی، مقدار آلوده، مقاومت تاج پوشش گیاهی و

جدول ۲. میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع و گیاه نیشکر در مراحل رشد مختلف بر حسب میلی متر در میانگین بلند مدت ماه ژوئن

نام ایستگاه	میزان تابش میلی ژول بر متر مربع در روز	میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع	میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مراحل اولیه رشد	میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مرحله بلوغ	میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مرحله پایانی رشد	مجموع تبخیر و تعرق ماهانه گیاه نیشکر از ابتدا تا انتهای رشد
آبادان	۲۵/۹	۹/۸۵	۳/۹۴	۱۲/۳۱	۷/۳۹	۷۰۹/۲
هندیجان	۲۷/۳	۱۰/۳۶	۴/۱۴	۱۲/۹۵	۷/۷۷	۷۴۵/۹
بهبهان	۲۷/۴	۷/۱۸	۲/۸۷	۸/۹۸	۵/۳۹	۵۱۷
رامهرمز	۲۶/۹	۷/۶۸	۳/۰۷	۹/۶۰	۵/۷۶	۵۵۳
اهواز	۲۴/۴	۸/۵۸	۳/۴۳	۱۰/۷۳	۶/۴۴	۶۱۸
ایذه	۲۸/۳	۷/۰۳	۲/۸۱	۸/۷۹	۵/۲۷	۵۰۶
مسجد سلیمان	۲۵/۸	۷/۲۷	۲/۹۱	۹/۰۹	۵/۴۵	۵۲۳/۵
شوشتر	۲۷/۳	۸/۹۹	۳/۶۰	۱۱/۲۴	۶/۷۴	۶۴۷



نگاره ۱: موقعیت ایستگاه‌های
سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

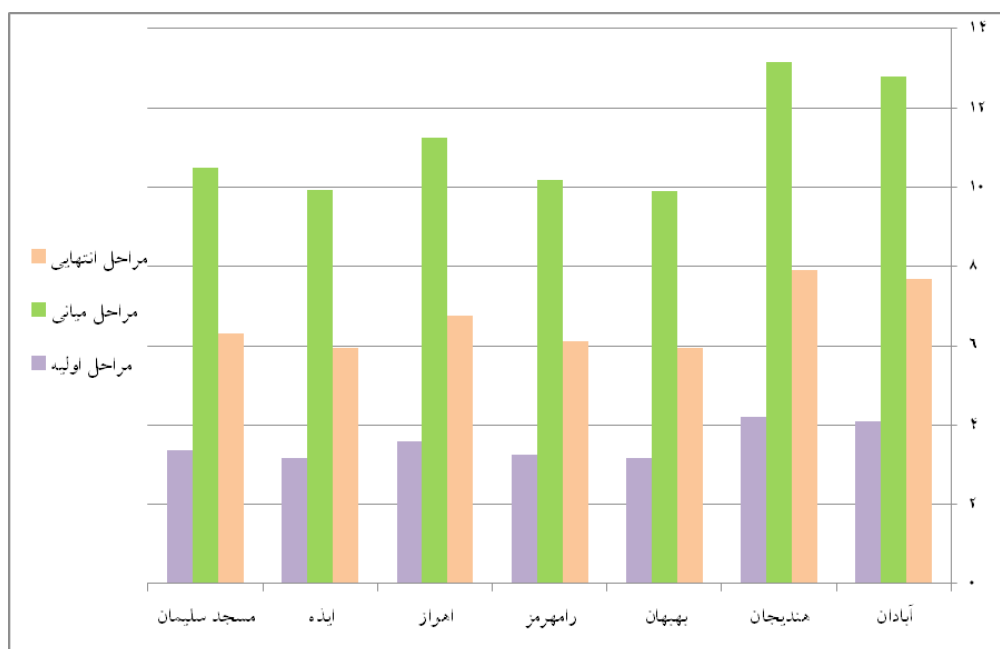


فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 برآورد میزان تبخیر و تعرق تابستانه گیاه نیشکر ... / ۱۴۷

همانطور که در جدول شماره (۲) و نگاره (۲) مشاهده می‌شود بیشترین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ماه ژوئن در ایستگاه هندیجان به میزان ۱۰/۳۶ و سپس ایستگاه آبادان به میزان ۹/۸۵ میلی‌متر برآورد شده است و کمترین میزان آن در ایستگاه ایذه با میزان ۷/۰۳ و سپس در ایستگاه بهبهان به میزان ۷/۱۸ میلی‌متر برآورد شده است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که کمترین میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در ماه ژوئن، در مراحل اولیه رشد (در این مرحله گونه‌های گیاهی تقریباً ۱۰ درصد سطح زمین را می‌پوشانند) مشاهده می‌شود. حداقل میزان تبخیر و تعرق

جدول ۳. میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع و گیاه نیشکر در مراحل رشد مختلف بر حسب میلی‌متر در میانگین بلند مدت ماه ژوئیه

نام ایستگاه	میزان تابش میلی ژول بر متر مربع در روز	میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع	میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مراحل اولیه رشد	میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مرحله بلوغ	میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مرحله پایانی رشد	مجموع تبخیر و تعرق ماهانه گیاه نیشکر از ابتدا تا انتهای رشد
آبادان	۲۵/۴	۱۰/۲۴	۴/۱	۱۲/۸	۷/۶۸	۷۶۱/۸
هنديجان	۲۶	۱۰/۵۳	۴/۲۱	۱۳/۱۶	۷/۹	۷۸۳/۴
بهبهان	۲۶	۷/۹۳	۳/۱۷	۹/۹۱	۵/۹۵	۵۹۰
رامهرمز	۲۶	۸/۱۵	۳/۲۶	۱۰/۱۹	۶/۱۱	۶۰۶/۴
اهواز	۲۶	۹	۳/۶	۱۱/۲۵	۶/۷۵	۶۶۹/۶
ایذه	۲۶/۸	۷/۹۴	۳/۱۸	۹/۹۳	۵/۹۶	۵۹۰/۷
مسجد سلیمان	۲۵/۴	۸/۴	۳/۳۶	۱۰/۵	۶/۳	۶۲۵
شوشتر	۲۶/۲	۹/۶۶	۳/۸۶	۱۲/۰۸	۷/۲۵	۷۱۸/۷



نگاره ۳. میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مراحل مختلف رشد (مراحل اولیه، میانی و پایانی) در میانگین بلند مدت ماه ژوئیه

مقادیر دما، نم نسبی و تابش آفتاب در بیشتر ایستگاه‌های استان خوزستان در فصل گرم سال از همگنی بالایی برخوردار است، می‌توان گفت تنها پارامتر تأثیرگذار در مقادیر تبخیر و تعرق در این استان سرعت باد می‌باشد. متوسط سرعت باد در ماه ژوئن در ایستگاه هندیجان ۵/۴ متر بر ثانیه، ایستگاه آبادان ۴/۸ متر بر ثانیه، ایستگاه ایذه ۲/۷ متر بر ثانیه و ایستگاه بهبهان ۲/۴ متر بر ثانیه بوده است. بنابراین می‌توان گفت که با کاهش میزان سرعت باد از میزان تبخیر و تعرق نیز به شدت کاسته می‌شود.

در حقیقت در بیشتر محصولات زراعی در مراحل اولیه و انتهایی رشد از میزان تبخیر و تعرق آن‌ها کاسته می‌شود زیرا در مراحل اولیه رشد، بیشترین هدررفت آب به دلیل سطوح بدون پوشش خاک از طریق تبخیر صورت می‌گیرد و میزان تعرق بسیار کم است و در مراحل انتهایی رشد نیز به دلیل پیری شاخ و برگ‌ها، قطع آبیاری و خشک شدن سطح خاک، از میزان تبخیر و تعرق کاسته می‌شود (semann et al, 1979: 224, 226).

با این وجود میزان تبخیر و تعرق در مرحله پایانی بیشتر از مرحله ابتدایی رشد است. بنابراین در مرحله میانی رشد سطوح برگ‌ها به بیشترین حد خود رسیده و تمامی سطح زمین را پوشانده و بیشترین میزان تبخیر و تعرق اتفاق می‌افتد. همانطور که در جدول شماره (۳) و نگاره (۳) مشاهده می‌شود بیشترین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاه هندیجان به میزان ۱۰/۵۳ میلیمتر و سپس در ایستگاه آبادان به میزان ۱۰/۲۴ میلیمتر برآورد شده است. در مقابل کمترین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در همین ماه در ایستگاه‌های بهبهان و ایذه به ترتیب با ۷/۹۳ و ۷/۹۴ میلیمتر برآورد شده است. همچنین در ماه ژوئیه مانند ماه ژوئن بیشینه تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مراحل اولیه رشد در ایستگاه هندیجان با ۴/۲۱ میلیمتر در روز (۱۳۰ میلیمتر در ماه) و سپس ایستگاه آبادان با ۴/۱۰ میلیمتر در روز (۱۲۷ میلیمتر در ماه) اتفاق می‌افتد. کمترین میزان تبخیر و تعرق در این مرحله از رشد در ایستگاه بهبهان با ۳/۱۷ میلیمتر در روز (۹۸/۳ میلیمتر در ماه) و سپس ایستگاه ایذه با ۳/۱۸ میلیمتر

طی این دوره در ایستگاه ایذه با ۲/۸ میلیمتر در روز (۸۴ میلیمتر در ماه) و حداکثر آن در ایستگاه هندیجان با ۴/۱ میلیمتر در روز (۱۲۴ میلیمتر در ماه) اتفاق می‌افتد. در مقابل بیشترین میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مرحله میانی رشد (پوشش کامل مؤثر گیاه بدست آمده و دوران بلوغ فرارسیده به طوری که اغلب با شروع زرد شدن یا پیری برگ‌ها و افتادن آنها یا رسیدن میوه‌ها همراه است) به وقوع می‌پیوندد. بیشترین میزان تبخیر و تعرق روزانه این گیاه در این مرحله از رشد، همچنان در ایستگاه هندیجان با ۱۲/۹۵ میلیمتر در روز (۳۸۹ میلیمتر در ماه) مشاهده می‌شود. میزان تبخیر و تعرق در مرحله میانی رشد گیاه نیشکر، کمی بیشتر از سه برابر تبخیر و تعرق در مراحل اولیه رشد است.

کمترین میزان تبخیر و تعرق در این مرحله از رشد متعلق به ایستگاه ایذه با ۸/۷۹ میلیمتر در روز (۲۶۴ میلی متر در ماه) مشاهده می‌شود.

در نهایت در مرحله پایانی رشد (از مرحله بلوغ تا برداشت محصول یا پیری کامل یا ریزش تمام برگ‌ها را شامل می‌شود) بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه هندیجان با ۷/۷ میلیمتر در روز (۲۳۳ میلی متر در ماه) و کمترین میزان آن مربوط به ایستگاه ایذه با ۵/۳ میلیمتر در روز (۱۵۸ میلی متر در ماه) مشاهده می‌شود. بعد از ایستگاه هندیجان، ایستگاه‌های آبادان، شوشتر و اهواز بیشترین میزان تبخیر و تعرق روزانه و ماهانه گیاه نیشکر را دارا می‌باشند. همچنین بیشینه تبخیر و تعرق ماهانه گیاه نیشکر از ابتدا تا انتهای رشد، به تبعیت از بیشینه تبخیر و تعرق روزانه، به ترتیب در ایستگاه‌های هندیجان با ۷۴۵/۹ میلیمتر؛ آبادان ۷۰۹/۲ میلیمتر و شوشتر با ۶۴۷ میلیمتر ماهانه برآورد شده است.

در مقابل کمینه تبخیر و تعرق ماهانه این گیاه از ابتدا تا انتهای رشد در ماه ژوئن به ترتیب در ایستگاه‌های ایذه با ۵۰۶ میلیمتر؛ بهبهان با ۵۱۷ میلیمتر و مسجد سلیمان با ۵۲۳/۵ میلیمتر ماهانه برآورد شده است. با توجه به اینکه

جدول ۴. میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع و گیاه نیشکر در مراحل رشد مختلف برحسب میلی متر در میانگین بلند مدت ماهوت

نام ایستگاه	میزان تابش میلی ژول بر متر مربع در روز	میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع	میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مراحل اولیه رشد	میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مرحله بلوغ	میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مرحله پایانی رشد	مجموع تبخیر و تعرق ماهانه گیاه نیشکر از ابتدا تا انتهای رشد
آبادان	۲۴/۲	۹/۹۵	۳/۹۸	۱۲/۴۴	۷/۴۶	۷۱۶/۴
هندیجان	۲۵/۱	۹/۹۹	۴	۱۲/۴۹	۷/۴۹	۷۱۹/۳
بهبهان	۲۴/۲	۷/۵۸	۳/۰۳	۹/۴۸	۵/۶۹	۵۴۵/۸
رامهرمز	۲۵/۲	۸/۳۱	۳/۳۲	۱۰/۳۹	۶/۲۳	۵۹۸/۳
اهواز	۲۴/۸	۸/۸۲	۳/۵۳	۱۱/۰۳	۶/۶۲	۶۳۵
ایذه	۲۵/۶	۸/۳	۳/۳۲	۱۰/۳۸	۶/۲۳	۵۹۷/۶
مسجد سلیمان	۲۴/۸	۸/۵۳	۳/۴۱	۱۰/۶۶	۶/۴	۶۱۴/۲
شوشتر	۲۵/۱	۹/۷۱	۳/۸۸	۱۲/۱۴	۷/۲۸	۶۹۹/۱



نگاره ۴: میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در مراحل مختلف رشد (مراحل اولیه، میانی و پایانی) در میانگین بلند مدت ماهوت

در روز (۹۸/۶ میلی متر در ماه) اتفاق می افتد. در این مرحله از رشد، بیشترین میزان تبخیر و تعرق گیاه به واسطه تبخیر از سطح خاک صورت می گیرد. به طوری که تقریباً ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق به صورت تبخیر از سطح خاک انجام می گیرد. (احسانی و همکاران، ۱۳۹۱) به همین دلیل کمترین میزان تبخیر و تعرق در این مرحله از رشد اتفاق می افتد.

در مراحل میانی رشد، ایستگاه هندیجان با ۱۳/۲۱ میلی متر در روز (۴۰۹ میلی متر در ماه) و بعد از آن ایستگاه آبادان با ۱۲/۸۰ میلی متر در روز (۳۹۷ میلی متر در ماه) بیشترین میزان تبخیر و تعرق این گونه زراعی را دارا می باشند. در مقابل ایستگاه بهبهان با ۹/۹۱ میلی متر در روز (۳۰۷ میلی متر در ماه) و سپس ایستگاه ایذه با ۹/۹۳ میلی متر در روز (۳۰۸ میلی متر

در ماه) کمترین میزان تبخیر و تعرق را دارا می باشند. در مرحله میانی، رشد و توسعه گیاه به حداکثر رسیده و تاج پوشش گیاهی کامل شده به طوری که تمامی سطح خاک را می پوشاند. در این مرحله، بیش از ۹۰ درصد هدر رفت آب، از طریق تعرق صورت می پذیرد (احسانی و همکاران، ۱۳۹۱). به همین دلیل بیشترین میزان تعرق در این مرحله از رشد به وقوع می پیوندد.

سرانجام در مرحله پایانی رشد هم مانند دو ماه گذشته ایستگاه هندیکان ۷/۹۰ میلیمتر تبخیر و تعرق روزانه (۲۴۵ میلیمتر در ماه) و سپس ایستگاه آبادان با ۷/۶۸ میلیمتر تبخیر و تعرق روزانه (۲۳۸ میلی متر در ماه) بیشترین میزان تبخیر و تعرق روزانه و ماهانه را در بین ایستگاه های منطقه مورد مطالعه داشته اند. در مقابل همچنان ایستگاه های بهبهان و ایذه به ترتیب با ۵/۹۵ و ۵/۹۶ میلیمتر تبخیر روزانه و ۱۸۴/۵ و ۱۸۴/۸ میلیمتر تبخیر ماهانه را دارا می باشند. همچنین بیشینه تبخیر و تعرق ماهانه گیاه نیشکر از ابتدا تا انتهای مرحله رشد به تبعیت از بیشینه تبخیر و تعرق روزانه به ترتیب در ایستگاه های هندیکان ۷۸۳/۴ میلیمتر؛ آبادان ۷۶۱/۸ و شوشتر ۷۱۸/۷ میلیمتر ماهانه برآورد شده است. در مقابل کمترین میزان تبخیر و تعرق ماهانه گیاه نیشکر از ابتدا تا انتهای رشد به ترتیب در ایستگاه های ایذه و بهبهان با ۵۹۰ میلیمتر؛ رامهرمز با ۶۰۶/۴ میلیمتر و مسجد سلیمان با ۶۲۵ میلیمتر ماهانه برآورد شده است.

در این مرحله از رشد کمترین میزان تبخیر و تعرق متعلق به ایستگاه بهبهان با ۹/۴۸ میلیمتر روزانه (۲۹۴ میلی- متر ماهانه) می باشد، در نهایت در مرحله پایانی رشد هم مانند ماه های گذشته، بیشترین میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر به ترتیب متعلق به ایستگاه های هندیکان، آبادان و اهواز با ۷/۴۷، ۷/۴۶ و ۶/۶۲ میلیمتر روزانه (۲۳۲/۲، ۲۳۱/۳ و ۲۰۵/۲ میلیمتر ماهانه) می باشد. همچنین بیشینه تبخیر و تعرق گیاه نیشکر از ابتدا تا انتهای رشد در این ماه به ترتیب در ایستگاه های هندیکان ۷۱۹/۲ میلیمتر؛ آبادان ۷۱۶ میلیمتر و شوشتر با ۶۹۹ میلیمتر ماهانه برآورد شده است.

در این مرحله از رشد کمترین میزان تبخیر و تعرق متعلق به ایستگاه بهبهان با ۹/۴۸ میلیمتر روزانه (۲۹۴ میلی- متر ماهانه) می باشد، در نهایت در مرحله پایانی رشد هم مانند ماه های گذشته، بیشترین میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر به ترتیب متعلق به ایستگاه های هندیکان، آبادان و اهواز با ۷/۴۷، ۷/۴۶ و ۶/۶۲ میلیمتر روزانه (۲۳۲/۲، ۲۳۱/۳ و ۲۰۵/۲ میلیمتر ماهانه) می باشد. همچنین بیشینه تبخیر و تعرق گیاه نیشکر از ابتدا تا انتهای رشد در این ماه به ترتیب در ایستگاه های هندیکان ۷۱۹/۲ میلیمتر؛ آبادان ۷۱۶ میلیمتر و شوشتر با ۶۹۹ میلیمتر ماهانه برآورد شده است. در مقابل کمینه تبخیر و تعرق ماهانه این گیاه در ماه اوت به ترتیب در ایستگاه های بهبهان ۵۴۵/۸ میلیمتر؛ ایذه ۵۹۷/۶ و رامهرمز ۵۹۸/۳ میلیمتر ماهانه برآورد شده است.

همچنان مانند ماه ژوئیه، در ماه اوت نیز متوسط سرعت باد در ایستگاه هندیکان ۴/۵ متر بر ثانیه، ایستگاه آبادان ۳/۹ متر بر ثانیه، ایستگاه ایذه ۲/۹ متر بر ثانیه و ایستگاه بهبهان ۱/۹ متر بر ثانیه بوده است. بنابراین می توان گفت که با کاهش میزان سرعت باد در ماه اوت نیز از میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع و گیاه نیشکر در ایستگاه های استان خوزستان به شدت کاسته شده است.

همچنان مانند ماه ژوئن، در ماه ژوئیه نیز متوسط سرعت باد در ایستگاه هندیکان ۵ متر بر ثانیه، ایستگاه آبادان ۴/۴ متر بر ثانیه، ایستگاه ایذه ۲/۹ متر بر ثانیه و ایستگاه بهبهان ۲/۳ متر بر ثانیه بوده است. بنابراین می توان گفت که با کاهش میزان سرعت باد در ماه ژوئیه نیز از میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع و گیاه نیشکر در ایستگاه های استان خوزستان به شدت کاسته شده است.

همانطور که در جدول شماره (۴) و نگاره (۴) مشاهده می شود بیشینه میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ماه اوت در ایستگاه هندیکان و سپس آبادان به ترتیب با ۹/۹۹ و

در مقابل کمترین میزان تبخیر و تعرق در ایستگاه های ایذه و بهبهان با ۵۹۰ میلیمتر؛ رامهرمز با ۶۰۶/۴ میلیمتر و مسجد سلیمان با ۶۲۵ میلیمتر ماهانه برآورد شده است.

در این مرحله از رشد کمترین میزان تبخیر و تعرق متعلق به ایستگاه بهبهان با ۹/۴۸ میلیمتر روزانه (۲۹۴ میلی- متر ماهانه) می باشد، در نهایت در مرحله پایانی رشد هم مانند ماه های گذشته، بیشترین میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر به ترتیب متعلق به ایستگاه های هندیکان، آبادان و اهواز با ۷/۴۷، ۷/۴۶ و ۶/۶۲ میلیمتر روزانه (۲۳۲/۲، ۲۳۱/۳ و ۲۰۵/۲ میلیمتر ماهانه) می باشد. همچنین بیشینه تبخیر و تعرق گیاه نیشکر از ابتدا تا انتهای رشد در این ماه به ترتیب در ایستگاه های هندیکان ۷۱۹/۲ میلیمتر؛ آبادان ۷۱۶ میلیمتر و شوشتر با ۶۹۹ میلیمتر ماهانه برآورد شده است.

نتیجه گیری

طول رشد در ماه اوت، به ترتیب در ایستگاه هندیجان با ۷۴۳ میلیمتر؛ آبادان ۷۴۰ میلیمتر و شوشتر ۷۲۲ میلیمتر بوده است. در مقابل کمینه ماهانه آن در ایستگاه‌های بهبهان به ۵۶۴ میلی متر و ایذه و رامهرمز ۶۱۸ میلیمتر برآورد شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین ارتباط تبخیر و تعرق با پارامترهای جوی در ایستگاه‌های استان خوزستان، با سرعت باد مشاهده شده است. با توجه به همگنی بالای عناصر جوی در فصل گرم سال از قبیل دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی در این استان، تنها سرعت متفاوت باد در ایستگاه‌های استان خوزستان باعث افزایش قابل توجه در مقادیر تبخیر و تعرق شده است.

منابع و مأخذ

۱. ابراهیمی و یزدانی؛ حسین و وحید (۱۳۹۲) محاسبه تبخیر و تعرق فضای سبز به روش سبال (مطالعه موردی: پارک ملت مشهد) نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیستم، شماره سوم، صص ۱۵۱ - ۱۳۳.
۲. احسانی، ارزانی، فرچپور، احمدی، اکبرزاده؛ علی، حسین، مهدی، حسن و مرتضی (۱۳۹۱) برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه (مرتع) و خاک به کمک برنامه نرم افزار Cropwat 8.0 (مطالعه موردی: منطقه استپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رود شور)، فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۹، شماره ۱، صص ۱۶ - ۱.
۳. اکبری نودهی، داود (۱۳۸۹) برآورد ضریب تشت تبخیر به منظور محاسبه تبخیر - تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک ساری) مجله پژوهش در علوم زراعی، سال دوم، شماره ۷، صص ۶۵ - ۷۴.
۴. اکبری، سیف، زارع ابیانه؛ مهدی، زهرا و حمید (۱۳۹۰) برآورد میزان تبخیر-تعرق واقعی و پتانسیل در شرایط اقلیمی مختلف با استفاده از سنجش از دور، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۴، صص ۸۴۴ - ۸۳۵.

بررسی میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در استان خوزستان در سه ماهه فصل گرم سال (ژوئن، ژوئیه و اوت) نشان می‌دهد که بیشینه تبخیر و تعرق گیاه مرجع در این استان مربوط به ایستگاه‌های هندیجان و آبادان است. در مقابل کمینه تبخیر و تعرق گیاه مرجع در سه ماه فصل گرم سال در ایستگاه‌های بهبهان و ایذه اتفاق می‌افتد.

بررسی مقادیر تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در استان خوزستان نشان می‌دهد که در حدود نیمی از تمام تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در این استان در مرحله میانی رشد اتفاق می‌افتد و بقیه آن در مراحل اولیه و انتهایی رشد این گونه زراعی صورت می‌گیرد. میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در تمامی ایستگاه‌ها در مراحل انتهایی رشد، بیشتر از مراحل اولیه رشد است. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، بیشترین میزان تبخیر و تعرق در تمامی مراحل رشد در سه ماهه ژوئن، ژوئیه و اوت متعلق به ایستگاه‌های هندیجان و آبادان و کمترین میزان مربوط به ایستگاه‌های ایذه و بهبهان می‌باشد. همچنین کمترین میزان نوسانات تبخیر و تعرق روزانه و ماهانه گیاه نیشکر در مراحل اولیه و انتهایی رشد اتفاق افتاده است و بر عکس بیشترین میزان نوسانات تبخیر و تعرق در مراحل میانی رشد رخ داده است. همچنین بیشینه تبخیر و تعرق ماهانه این گیاه زراعی از مرحله ابتدایی تا انتهای رشد در ماه ژوئن در ایستگاه‌های هندیجان با ۷۴۶ میلیمتر و آبادان با ۷۰۹ میلیمتر برآورده شده است. در مقابل کمترین میزان تبخیر و تعرق ماهانه این گیاه زراعی در ایستگاه‌های ایذه و بهبهان به ترتیب با ۵۰۶ و ۵۱۷ میلیمتر ماهانه رخ داده است. بیشینه تبخیر و تعرق ماهانه این گیاه زراعی در تمام طول رشد در ماه ژوئیه، در ایستگاه‌های هندیجان با ۷۸۳ میلیمتر؛ آبادان با ۷۶۲ میلیمتر و شوشتر با ۷۱۹ میلیمتر اتفاق افتاده است. در مقابل کمینه تبخیر و تعرق این گونه زراعی به ترتیب در ایستگاه‌های بهبهان و ایذه با ۵۹۰ میلیمتر و رامهرمز با ۶۰۶ میلیمتر برآورد شده است. سرانجام بیشینه تبخیر و تعرق گیاه نیشکر در تمام

۵. امیدوار، داوری، ارشد، موسوی بایگی، اکبری و فرید حسینی؛ جواد، کامران، صالح، محمد، مرتضی و علیرضا (۱۳۹۱) برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویرسنجنده استرومدل متریک، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال سوم، شماره نهم، صص ۴۹-۳۸.
۶. پیری، حلیمه (۱۳۹۱) ارزیابی روش‌های محاسباتی تبخیر و تعرق پتانسیل با داده‌های لایسی متر «مطالعه موردی: دشت سیستان» فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال سوم، شماره نهم، صص ۶۲-۵۰.
۷. جهانبخش اصل، موحد دانش، مولوی؛ سعید، علی اصغر و واحد (۱۳۸۰) تحلیل مدل‌های برآورد تبخیر - تعرق برای ایستگاه هواشناسی تبریز، مجله دانش کشاورزی، جلد ۱۱، شماره ۲، صص ۶۵-۵۱.
۸. روشن، خوش اخلاق، کریمپور؛ غلامرضا، فرامرز و مصطفی (۱۳۹۰) ارزیابی و اصلاح مدل مناسب تبخیر و تعرق بالقوه برای ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، صص ۶۸-۴۹.
۹. زارع ایبانه، بیات ورکشی، سبزی پرور، معروفی، قاسمی؛ حمید، مریم، علی اکبر، صفر و عادل (۱۳۸۹) ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و پهنه بندی آن در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، صص ۱۱۰-۹۵.
۱۰. سبزی پرور، تفضلی، زارع ایبانه، بانژاد، موسوی بایگی، غفوری، محسنی موحد، مریانجی؛ علی اکبر، فرضین، حمید، حسین، محمد، محمد، اسداله و زهره (۱۳۸۷) مقایسه چند مدل برآورد تبخیر - تعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه خشک، به منظور استفاده بهینه از مدل‌های تابش، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۲، شماره ۲، صص ۳۴۰-۳۲۷.
۱۱. سلطانی، میر لطفی، دهقانی سانجی؛ اسعد، سیدمجید و حسین (۱۳۹۱) برآورد تبخیر - تعرق مرجع با استفاده از داده‌های محدود هواشناسی در شرایط اقلیمی مختلف، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۶، شماره ۱، صص ۱۴۹-۱۳۹.
۱۲. شریفان، علیزاده؛ حسین و امین (۱۳۸۸) ارزیابی روش‌های دمایی و تشعشعی در برآورد حداکثر تبخیر-تعرق با احتمالات مختلف (مطالعه موردی: منطقه گرگان) نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۳، شماره ۳، صص ۹-۱.
۱۳. شریفان، قهرمان؛ حسین و بیژن (۱۳۸۵) بررسی و مقایسه تبخیر - تعرق برآورد شده از تشت تبخیر با مقادیر ET_0 روش استاندارد در منطقه گرگان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد سیزدهم، شماره پنجم، صص ۲۸-۱۸.
۱۴. علیزاده، امین (۱۳۸۳) اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ هفدهم، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
۱۵. فرهودی، شمسی پور؛ رحمت الله و علی اکبر (۱۳۷۹) برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه بلوچستان جنوبی، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۹، صص ۱۰۵-۱۱۴.
۱۶. مباشری، محمد رضا (۱۳۸۶) ارائه روشی جهت معتبر سازی داده‌های لندست ETM7+ برای برآورد تبخیر و تعرق پس از معیوب شدن تصحیح کننده خط اسکن (SLC) فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص ۹۵-۸۵.
۱۷. محمدیان، علیزاده، جوانمرد؛ آزاده، امین و سهیلا (۱۳۸۴) محاسبه میزان فرابراورد تبخیر - تعرق مرجع با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی غیر مرجع در ایران، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۶؛ شماره ۲۳؛ صص ۸۴-۶۷.
۱۸. مساعدی، قبائی سوق؛ ابوالفضل و محمد (۱۳۹۲) ارزیابی معادله‌های مختلف تجربی برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شرایط مختلف نبود پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری شده در چند ناحیه آب و هوایی ایران، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیستم، شماره سوم، صص ۵۰-۲۷.
۱۹. ناظم السادات، سید محمد جعفر (۱۳۹۲) مبانی هوا و اقلیم شناسی، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
۲۰. یآوری، امیدوار، داوری، فرید حسینی، اینانلو؛ مهدی،

Hydrometeorological 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.

30. Seemann., J. Chircov., Y. I.; Lomas. J.; Primault., B. (1979) agro meteorology, New York, Springer.

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

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

جواد، کامران، علیرضا و محمد (۱۳۹۳) ارزیابی روش‌های تجربی برآورد تبخیر و تعرق واقعی سالانه در مقیاس بزرگ به کمک تبخیر و تعرق برآوردی از روش سبال در دشت نیشابور، فصلنامه علمی - پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال پنجم، شماره هفدهم، صص ۴۴ - ۵۵.

21. Abtew., Wossenu; Assefa., MeLesse (2013) evaporation and evapotranspiration: measurement and estimations, New York and London, Springer.

22. Allen., Richard G; Pereira., Luis S; Raes., Dirk; Smith., Martin (1998) FAO Irrigation and Drainage Paper Crop Evapotranspiration «Rome, Italy.»

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

24. Kim., Jongyou; Hogue., Terri S (2008) Evaluation of a MODIS-Based Potential Evapotranspiration Product at the Point Scale, Journal of Hydrometeorology, V.9, p.444-460.

25. Kulkarni., Ankit K; Masuti., Ravichandra., 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.

26. 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.

27. McMahon., T. A.; Peel., M. C.; Lowe., L.; Srikanthan., R and McVicar., R. (2013) Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis, Hydrology and Earth System Sciences., 17, 1331-1363.

28. McVicar T.R; Van Niel, T. G; Li., L. T; Hutchinson., M.F; Mu., Xingmin; and Zhihong., Liu (2007) Spatially distributing monthly reference evapotranspiration and pan evaporation considering topographic influences Journal of Hydrology, 338, 196-220.

29. McVicar., T.R; Li., Ling Tao; Van Niel., T. G; Hutchinson., M.F; Mu., Xingmin and Liu., Zhihong (2005) Spatially Distributing 21 Years of Monthly

