

## اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات تبخیر-تعرق در طی دوره رشد گیاهان مزارع آبی و

### دیم با استفاده از مدل‌های AOGCM

مصطفی یعقوب زاده<sup>۱\*</sup>، محسن احمدی، سعید برومندنسب و سید ابوالقاسم حقایقی مقدم

استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند.

[M.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir](mailto:M.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir)

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه شهیدچمران اهواز.

[m.ahmadee@ymail.com](mailto:m.ahmadee@ymail.com)

استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.

[boroomand@scu.ac.ir](mailto:boroomand@scu.ac.ir)

استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، مشهد، ایران.

[sahm51@yahoo.com](mailto:sahm51@yahoo.com)

### چکیده

تغییر اقلیم پدیده‌ای تأثیرگذار بر بسیاری از فرایندهای طبیعی از جمله چرخه‌ی هیدرولوژی است. تبخیر-تعرق نیز به عنوان یکی از بخش‌های چرخه‌ی هیدرولوژی، دستخوش این تغییرات خواهد بود. به دلیل اهمیت تبخیر-تعرق در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی کشاورزی، تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر تغییر اقلیم بر این فرآیند در دشت نیشابور انجام شد. بدین منظور با استفاده از مدل SWAP و اطلاعات هواشناسی و زراعی، تبخیر-تعرق برای پنج مزرعه در دشت نیشابور محاسبه شد. به منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق واقعی گیاهان در مزارع تحت آبیاری، از مدل‌های اقلیمی HADCM3، ECHAM5OM و CGCM3T47 تحت سناریوهای انتشار حدی (A2 و B1) و توازی (A1B) و در مزارع دیم از مدل HADCM3 و سناریوهای انتشار حدی (A2 و B1) در دو دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که تبخیر-تعرق مرجع روزانه در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ تحت سناریوی A2 بیشترین تفاوت را نسبت به تبخیر و تعرق دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) خواهد داشت. همچنین در هر سه سناریوی انتشار، مقادیر تبخیر-تعرق روزانه در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ افزایش بیشتری خواهد یافت. در بین محصولات مورد تحقیق، گندم با حدود ۱۲ درصد تغییر نسبت به ذرت با ۳ درصد تغییر، بیشترین تغییر تبخیر-تعرق را در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه در طی رشد نشان خواهد داد. ولی، میانگین کل تبخیر و تعرق دوره رشد ذرت (حدود ۱۲ میلی متر بر روز) نسبت به محصولات دیگر بیشتر خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: مدل SWAP، سناریو انتشار، گندم، ذرت، دشت نیشابور.

۱- آدرس نویسنده مسئول: خراسان جنوبی، بیرجند، کیلومتر ۵ جاده کرمان، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه دانشکده کشاورزی.

\* - دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۵ و پذیرش: شهریور ۱۳۹۵

افزایش میانگین دمای سطح زمین بر اثر تولید گازهای گلخانه‌ای سبب ایجاد پدیده‌ای به نام تغییر اقلیم شده است. درک عمومی از تغییر اقلیم این است که این پدیده سبب خشکسالی و تشدید بیابان‌زایی در آینده می‌شود (گویال، ۲۰۰۴) در صورتی که نتایج برخی تحقیقات خلاف این موضوع را نشان داده است (اندریدیز و لئنمایر، ۲۰۰۶). با این وجود، تغییر اقلیم سبب ایجاد تغییراتی در چرخه‌ی هیدرولوژی شده به طوری که این تغییرات در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوس‌تر هستند (گان، ۲۰۰۰؛ ما و همکاران، ۲۰۰۴).

تبخیر-تعرق بخشی از چرخه هیدرولوژی محسوب شده و عاملی مهم در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی جهت تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌رود (گائو و همکاران، ۲۰۰۸؛ هو و همکاران، ۲۰۱۳). مطالعه‌ی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق کمک شایانی در خصوص برنامه‌ریزی و مدیریت منابع و نیاز آبی محصولات کشاورزی می‌کند (سبزی پرور و طبری، ۲۰۱۰؛ هو و همکاران، ۲۰۱۳). به همین دلیل تاکنون مطالعات متعددی در خصوص اثر تغییر اقلیم بر روند تبخیر-تعرق انجام شده است؛ ولی اکثر این تحقیقات، تبخیر تعرق مرجع را مورد بررسی قرار داده‌اند. به عنوان مثال توماس (۲۰۰۰) با استفاده از سری زمانی، برای داده‌های دوره ۱۹۹۳-۱۹۵۴، نشان داد که تبخیر-تعرق مرجع در اکثر مناطق کشور چین در سال‌های آبی کاهش خواهد یافت. همین روند برای حوضه‌های رودخانه‌های یانگ‌تسه کیانگ، رودخانه هوانگهو و فلا تبت نیز گزارش شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ سانگ و همکاران، ۲۰۱۰). بندپادای و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی روی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق مرجع نشان دادند که در آینده کاهش محسوسی در میزان این پارامتر در کشور هندوستان ایجاد خواهد شد. ایرماک و همکاران (۲۰۱۲) نیز با بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق مرجع نشان

دادند که این پدیده در آمریکا کاهش خواهد یافت. سبزی‌پرور و طبری (۲۰۱۰) با استفاده از معادلات پریستلی-تیلور، ماک‌کینگ و هارگریوز (و مقایسه نتایج این معادلات با فائو-پنمن-مانتیث) میزان تبخیر-تعرق مرجع را در دوره‌های پایه و آبی به دست آوردند و با بررسی اثر تغییر اقلیم بر تغییرات این پارامتر نشان دادند که میزان تبخیر-تعرق مرجع در سال‌های آبی در مناطق خشک و نیمه خشک ایران افزایش می‌یابد. طبری و معروفی (۲۰۱۰) با بررسی دوازده منطقه از استان همدان به بررسی اثر تغییر اقلیم بر دمای تبخیر-تعرق مرجع پرداختند. نتایج این محققان نشان داد که در بیست و دو سال آینده میزان تبخیر-تعرق مرجع در این مناطق افزایش خواهد یافت. جهان‌بانی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق مرجع در رشت نشان دادند که میانگین تبخیر-تعرق مرجع در سال‌های بین ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ افزایش خواهد یافت. این نیز محققان از معادله‌ی هارگریوز و سامانی به منظور تعیین تبخیر-تعرق مرجع استفاده کردند.

مدل SWAP یک مدل یک بعدی است که به منظور برآورد بیلان آب در خاک و تعیین تبخیر-تعرق گیاهان می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (وندم و همکاران، ۱۹۹۷). با توجه به قابلیت و دقت بالای این مدل، تاکنون مطالعات متعددی در خصوص تعیین بیلان آب و برآورد تبخیر-تعرق گیاهان با استفاده از این نرم‌افزار انجام شده است (سینگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ وظیفه‌دوست و همکاران، ۲۰۰۸؛ مانداره و همکاران، ۲۰۰۸؛ بینگ ما و همکاران، ۲۰۱۱). قریشی و همکاران (۲۰۰۲) بیلان رطوبتی آب در خاک را با استفاده از مدل SWAP برای محصول نیشکر ارزیابی کردند. این محققان نشان دادند که نتایج شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده مطابقت داشت. اوتست و همکاران (۲۰۰۴) به مقایسه‌ی تبخیر-تعرق به دست آمده با روش‌های پنمن-مانتیث و پریستلی تیلور و مقادیر به

انجام شد (شکل ۱). این منطقه با وسعت ۷۲۹۳ کیلومتر مربع جزیبی از حوضه آبریز کویر مرکزی بوده که ۴۱۰۰ کیلومتر مربع آن را دشت (۵۶ درصد) و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. اقلیم منطقه نیمه خشک و خشک بوده و متوسط درجه حرارت و بارندگی این دشت به ترتیب ۱۲ درجه سانتی‌گراد و ۲۹۲ میلی‌متر می‌باشد. میزان تبخیر به‌علت بالا بودن درجه حرارت هوا زیاد بوده به طوری که متوسط این پارامتر برای کل حوضه ۲۳۳۵ میلی‌متر در سال است.

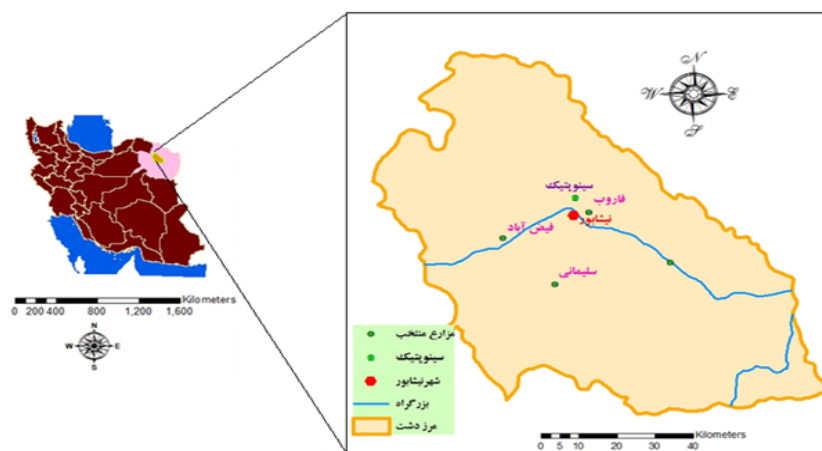
در این تحقیق از داده‌های ایستگاه سینوپتیک نیشابور (به دلیل داشتن داده‌های هواشناسی مورد نیاز) برای مزارع آبی و دیم استفاده شد. در مزارع دیم علاوه بر ایستگاه سینوپتیک از داده‌های ایستگاه فدیشه (واقع در جنوب دشت) استفاده شد. براساس نظر کارشناسان خبره محلی و نتایج منتشر شده محققان پیشین، داده‌های مورد نیاز از پنج مزرعه واقع در دشت نیشابور، به عنوان نماینده کل سطح دشت، بدست آمد. این داده‌ها شامل داده‌های زراعی، خاک و آبیاری محصولات مختلف بود. موقعیت این مزارع در شکل ۱ و مشخصات آن‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

دست آمده توسط مدل SWAP پرداختند و نشان دادند که این مدل قادر است که با استفاده از داده‌های ورودی صحیح، به خوبی مقادیر تبخیر-تعرق را پیش‌بینی کند. تحقیق دیگری توسط اترینگر و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از مدل SWAP انجام شد و مشاهده گردید که نتایج مدل SWAP با نتایج لایسمتری مطابقت دارد. در تحقیق دیگر، دهقان و همکاران (۱۳۹۰) نیز با استفاده از مدل SWAP، تبخیر-تعرق گیاه را برای محصول گندم تعیین کردند. براساس مرور منابع، ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق گیاهان امری ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی مدل SWAP ابزار مفیدی جهت تعیین تبخیر-تعرق گیاهان به نظر می‌رسد. بنابراین، با توجه به کمبود مطالعات در این خصوص، این تحقیق با هدف بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق گیاهان با استفاده از مدل SWAP و در دشت نیشابور انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در دشت نیشابور واقع در استان خراسان رضوی با طول جغرافیایی ۵۸° ۱۳' تا ۵۹° ۳۰' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵° ۴۰' تا ۳۶° ۳۹' شمالی



شکل ۱- موقعیت منطقه و مزارع مورد مطالعه

جدول ۱- محصولات مورد تحقیق در مزارع منتخب دشت نیشابور

محصول	مزرعه	تاریخ کاشت		تاریخ برداشت	
		تاریخ شمسی	روز ژولایوسی	تاریخ شمسی	روز ژولایوسی
گندم	فاروب	۱۳۸۷/۷/۱۰	۲۷۵	۱۳۸۸/۴/۹	۱۸۱
گندم	سلیمانی	۱۳۸۷/۷/۲۴	۲۸۹	۱۳۸۸/۷/۱۹	۱۹۱
جو	فیض آباد	۱۳۸۷/۷/۲۸	۲۹۳	۱۳۸۸/۳/۲۰	۱۶۱
ذرت	فاروب	۱۳۸۷/۴/۸	۱۸۰	۱۳۸۷/۷/۲۴	۲۸۹
گندم دیم	فاروب	۱۳۸۷/۷/۱۰	۲۷۵	۱۳۸۸/۴/۹	۱۸۱

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک مزارع

نام مزرعه	عمق (cm)	پژمردگی دائم (PWP, %w)	ظرفیت زراعی (FC, %w)	جرم مخصوص ظاهری (g.cm <sup>-3</sup> )	بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	pH	EC (dS.m <sup>-1</sup> )
فاروب	۰-۳۰	۷/۳	۲۰/۱	۱/۵۱	سیلت لوم	۱۸	۵۲	۳۰	۸	۱/۰۶
	۳۰-۶۰	۶	۱۷/۱	۱/۵۷	لوم	۲۲	۴۴	۳۴	۸	۰/۶۸
	۶۰-۹۰	۷/۲	۱۹/۷	۱/۷۸	لوم	۲۰	۴۶	۳۴	۷/۶	۰/۸
فیض آباد	۰-۳۰	۲۳/۹	۳۷/۵	۱/۴۱	سیلت لوم	۲۲	۷۲	۶	۷/۶	۱۰/۰۳
	۳۰-۶۰	۲۱/۷	۳۱/۳	۱/۵۲	لوم	۱۶	۶۸	۱۶	۷/۶	۶/۴۳
	۶۰-۹۰	۲۵/۵	۳۹/۴	۱/۵۴	سیلت لوم	۱۶	۵۸	۲۶	۷/۶	۷/۴۳
سلیمانی	۰-۳۰	۱۰/۱	۱۷	۱/۷۲	سیلت لوم	۱۷	۵۵	۲۸	۷/۸	۶/۹۶
	۳۰-۶۰	۱۲/۴	۲۳	۱/۷۰	سیلت لوم	۱۶	۶۲	۲۲	۸/۲	۷/۵
	۶۰-۹۰	۱۰/۷	۱۸/۲	۱/۷۱	سیلت لوم	۱۶	۶۰	۲۴	۸/۳	۸/۲

### مدل SWAP

به منظور تعیین تبخیر-تعرق برای محصولات مورد نظر، از مدل SWAP 3.0.3 استفاده شد. در مدل SWAP، شرایط مرزی لایه سطحی خاک با استفاده از تبخیر-تعرق، میزان آب آبیاری و بارش تعیین می‌شود. در این مدل، حرکت آب در خاک را براساس معادله ریچاردز (رابطه ۱) صورت می‌گیرد و برای حل این معادله از روش تفاضلات محدود استفاده می‌شود (شهیدی و احمدی، ۱۳۹۳):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta) \left( \frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) - S(h) \right] \quad (1)$$

که در آن:

$\theta$  رطوبت حجمی خاک (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)، زمان t (hr)، z افزایش عمق نسبت به سطح زمین (cm)،  $K(\theta)$  هدایت هیدرولیکی (cm/h) و h بار هیدرولیکی (cm) می‌باشد. برخی خصوصیات فیزیکی خاک با استفاده از نمونه برداری از مزارع تعیین شد (جدول ۲). برای تعیین سایر پارامترهای هیدرولیکی خاک از مدل RETC استفاده شد.

بدین منظور، مشخصات هر لایه خاک از جمله بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری ( $\rho_b$  (g.cm<sup>-3</sup>) و درصد رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی (FC) به عنوان ورودی وارد مدل شد. سپس پارامترهای معادله ون‌گنوختان شامل رطوبت باقی‌مانده  $\theta_{res}$ ، درصد رطوبت اشباع  $\theta_{sat}$ ، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ( $K_{sat}$  (cm.d<sup>-1</sup>) و ثابت‌های ( $\alpha$  (-) و  $n$  (-) به عنوان خروجی به دست آمد (ون‌گنوختان و همکاران، ۱۹۹۱). داده‌های رطوبت در این مزارع در طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۸۷ (۲۰۰۸-۲۰۰۹) و ۱۳۹۲-۱۳۹۳ (۲۰۱۳-۲۰۱۴) به ترتیب برای مزارع آبی و دیم برداشت شده بود. در این تحقیق، داده‌های رطوبت خاک به صورت تصادفی به دو دسته تقسیم شدند. دسته اول، شامل ۷۰ درصد داده‌ها، به منظور واسنجی پارامترهای ون‌گنوختان مورد استفاده قرار گرفتند. سپس از داده‌های دسته دوم، شامل ۳۰ درصد داده‌ها، به منظور صحت‌سنجی نتایج استفاده شد. پس از تأیید دقت مدل

(راسکو و همکاران، ۱۹۹۱؛ سمنوف و همکاران، ۱۹۹۷). بدین ترتیب، ابتدا مدل‌های اقلیمی مورد استفاده با کاربرد داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تشعشع خورشیدی در یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۱-۱۹۹۲) واسنجی شدند. سپس ارزیابی مدل‌های اقلیمی با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (KS-test) با فرض سطح معنی‌داری پنج درصد ( $P\text{-value} \leq 0.05$ ) انجام شد (کاستوف و همکاران، ۲۰۰۱). در مرحله سوم نیز داده‌های مورد نیاز در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ شبیه‌سازی شد.

#### ارزیابی مدل‌ها

به منظور ارزیابی و دقت روش‌ها در این تحقیق، چهار معیار جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق، تفاضل مطلق، و ضریب تعیین به منظور مقایسه نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مورد استفاده قرار گرفت. این معیارها به ترتیب در روابط ۱ تا ۴ نشان داده شده‌اند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۱)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (۲)$$

$$AD = |P_i - O_i| \quad (۳)$$

$$R^2 = \frac{(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (۴)$$

که در آن:

$P_i$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $O_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده،  $n$  تعداد نمونه‌های بکار رفته،  $\bar{P}$  میانگین مقادیر پیش‌بینی شده،  $\bar{O}$  میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق و تفاضل مطلق در حالت بهینه یا حالتی که مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند؛ برابر صفر و

SWAP، تبخیر-تعرق برای دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) و دو دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) در مزارع آبی و دیم تعیین گردید. میناکاپیلی و همکاران (۲۰۱۰) برای ارزیابی داده‌های تبخیر و تعرق حاصل از مدل‌های سنجش از دور TSEB و SEBAL از مدل SWAP استفاده نمودند.

#### سناریوهای تغییر اقلیم

در این پژوهش، به منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق گیاهان در مزارع تحت آبیاری، از مدل‌های اقلیمی CGCM3T47 و ECHOAM.HADCM3 تحت سناریوهای انتشار حدی (A2 و B1) و توازنی (A1B) استفاده شد. در مزارع دیم نیز از مدل HADCM3 و سناریوهای انتشار حدی (A2 و B1) استفاده گردید (راندا و همکاران، ۲۰۰۷). این سناریوها زیرمجموعه سری چهارم سناریوهای انتشار با نام SRES ارائه شده است. سناریوهای SRES در برگیرنده طیف وسیعی از تغییرات رشد جمعیت انسان در آینده، عوامل اقتصادی و تکنولوژیکی مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق می‌باشد. به عنوان مثال سناریو A1B موازنه منابع انرژی را نشان می‌دهد. سناریو B1 ابزاری بسیار مناسب با محیط زیست با تعداد مشابه با سناریوی A1 در مقیاس جهانی ولی با تغییرات سریع در ساختارهای اقتصادی به سمت اقتصاد اطلاعات و خدمات را ارائه می‌دهد. سناریو A2 مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای را در آینده‌ای بسیار ناهمگون با رشد سریع جمعیت، توسعه اقتصادی بسیار پراکنده و آهسته‌تر و تغییرات تکنولوژیکی را ارائه می‌کند (دلقدی، ۱۳۹۱). چون برای پیش‌بینی پیامدهای تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و نقطه‌ای نمی‌توان به صورت مستقیم از نتایج مدل‌های مذکور استفاده کرد؛ بایستی به لحاظ رفتار اقلیمی ایستگاه مورد مطالعه، برون‌داد هر مدل ریزمقیاس شود (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲). جهت ریزمقیاس نمایی از مدل LARS-WG5 طی سه مرحله واسنجی، ارزیابی و شبیه‌سازی استفاده شد

ضریب تعیین در این حالت برابر یک می‌باشد (دهقان و همکاران، ۱۳۸۹).

### نتایج و بحث

به منظور استفاده از مدل SWP، ابتدا تحلیل حساسیت این مدل نسبت به پارامترهای ورودی انجام شد. نتایج نشان داد که مدل SWAP در مزارع آبی نسبت به پارامترهای  $\alpha$  و  $n$  و در مزرعه دیم نسبت به رطوبت باقیمانده خاک ( $\theta_{res}$ ) و رطوبت اشباع ( $\theta_{sat}$ ) حساسیت متوسط و برای سایر پارامترها حساسیت کمی داشت. این نتایج با مشاهدات دهقان و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت

داشت. این محققان نیز گزارش کردند که مدل SWAP نسبت به پارامترهای  $\alpha$ ،  $n$  و رطوبت اشباع ( $\theta_{sat}$ ) حساسیت متوسطی داشت. مقادیر نهایی تعیین شده برای این پارامترها در جدول ۳ نشان داده شده است. همچنین ارزیابی نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP نسبت به نتایج اندازه‌گیری شده برای مزارع دیم و آبی نشان داد که این مدل کارایی مناسبی برای شبیه‌سازی رطوبت در مزارع مورد مطالعه داشت (جدول ۴). داده‌های رطوبت بیشتر در زمان قبل از آبیاری و با دستگاه TDR مستقر در مزارع اندازه‌گیری شده‌اند.

جدول ۳- خصوصیات هیدرولیکی لایه‌های مختلف خاک بعد از واسنجی

نوع کشت	$n$ (-)	$\alpha$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$K_{sat}$ ( $\text{cm.d}^{-1}$ )	$\theta_{sat}$ ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ )	$\theta_{res}$ ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ )
آبی	۱/۷۲۹	۰/۰۰۲۱	۱۴/۶	۰/۴۱۸	۰/۰۶۱
دیم	۱/۳۵۵	۰/۰۳۵۵	۸/۳۱	۰/۳۰۳۵	۰/۰۱۵

جدول ۴- ارزیابی مقادیر رطوبت خاک شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مزرعه سلیمانی

نوع کشت	AD (%)	MAE (%)	RMSE (%)	$R^2$
آبی	۰/۶۴۲	۰/۰۳	۱/۲	۰/۸۸
دیم	۰/۳۶	۰/۰۳	۰/۶۷	۰/۸۲

از طرفی، نتایج تولید پارامترهای هواشناسی در سال‌های آبی نشان داد که پارامتر دما در همه ماه‌ها و تحت هر سه سناریوی انتشار ( $A1B$  و  $A2$  و  $B1$ ) افزایش یافت. همچنین افزایش دما در فصول بهار و تابستان بیشتر از فصول پاییز و زمستان بود. نتایج مشابه نیز توسط اشرف و همکاران (۱۳۹۰) برای منطقه تربت جام گزارش شده است. براساس نتایج به دست آمده، در دشت نیشابور، مقادیر بارش در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ حدود دو برابر افزایش خواهد یافت. البته مقایسه دو دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ و ۲۰۲۰-۲۰۳۹ بیانگر این بود که بارش در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در هر سه سناریو ( $A1B$  و  $A2$  و  $B1$ ) اندکی افزایش خواهد یافت. این نتایج با مشاهدات آبابایی و همکاران (۱۳۸۹) در منطقه رودشت اصفهان،

اشرف و همکاران (۱۳۹۰) در منطقه تربت جام و بهمنش و همکاران (۱۳۹۴) در دشت ارومیه مطابقت داشت. بیشترین اختلاف تبخیر-تعرق مرجع در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه در سناریوی  $A2$  بود. همچنین ماه‌های جولای (۱۰ تیر-۹ مرداد) و سپتامبر (۱۰ شهریور-۸ مهر) بیشترین افزایش تبخیر-تعرق را نسبت به دوره پایه داشتند. در هر سه سناریوی مورد استفاده ( $A2$ ،  $A1B$  و  $B1$ ) میزان تبخیر-تعرق مرجع روزانه در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ افزایش داشت که احتمالاً به دلیل افزایش دما در این دوره است (گویال، ۲۰۰۴). نتایج مشابه نیز توسط لی همکاران (۲۰۱۲) در کشور چین گزارش شده است. این محققان افزایش هفت درصدی تبخیر-تعرق مرجع را تا سال ۲۰۴۱ و افزایش ۱۲ درصدی آن را تا سال ۲۰۷۰ پیش‌بینی کردند. یکتا جباری

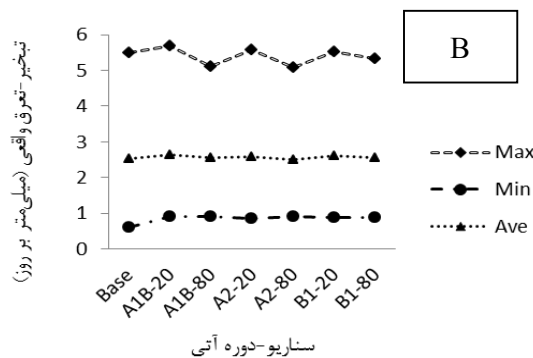
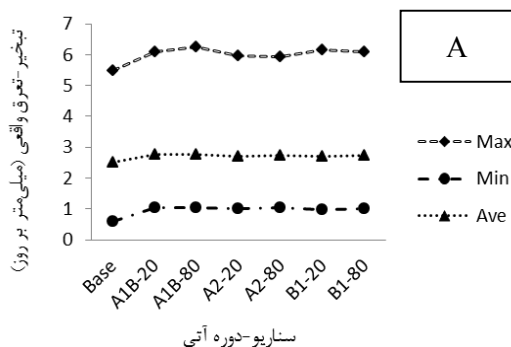
درصد افزایش خواهد یافت (جدول ۵). این افزایش در مورد گندم بخصوص گندم مزرعه سلیمانی با درصد تغییرات حدود ۱۳ تا ۱۵ برای دوره آبی دور (۲۰۹۹-۲۰۸۰) نسبت به دو محصول دیگر بیشتر است. همچنین درصد تغییرات تبخیر و تعرق در دوره آبی دور نسبت به نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۲۰) بیشتر است. با این وجود شکل ۲ نشان می دهد میزان تبخیر و تعرق در ذرت (با متوسط تبخیر و تعرق ۱۲ میلی متر در روز) به دلایل قرار گرفتن فصل رشد در تابستان نسبت به دو محصول دیگر (متوسط تبخیر و تعرق سه میلی متر در روز) بیشتر خواهد بود (شکل ۲). اعداد ۲۰ و ۸۰ که روی محور در کنار سناریو نمایش داده شده است به ترتیب معرف دوره آبی ۲۰۳۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ می باشد.

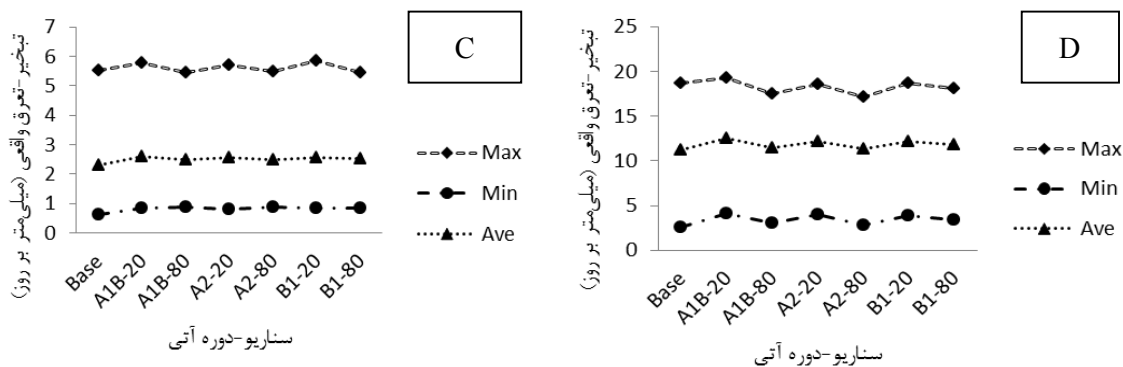
و ذهبیون (۱۳۹۰) نیز افزایش تبخیر-تعرق را در سالهای آبی برای حوضه باخرز گزارش کردند.

نتایج ارزیابی ریزمقیاس نمایی پارامترهای هواشناسی توسط مدل LARS-WG5، با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، نشان داد که بین مقادیر شبیه سازی و مشاهده شده برای پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تشعشع خورشیدی اختلاف معنی داری وجود نداشت. بنابراین می توان به نتایج حاصل از مدل LARS-WG5 نیز اعتماد نمود. پس از ریزمقیاس نمایی، تبخیر-تعرق برای سالهای آبی توسط مدل SWAP تعیین شد. نتایج نشان داد که میانگین تبخیر-تعرق روزانه برای دوره های آبی (۲۰۹۹-۲۰۸۰ و ۲۰۳۹-۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) برای محصولات زراعی آبی و گندم دیم از دو تا بیشتر از ۱۵

جدول ۵- درصد تغییرات میانگین تبخیر و تعرق در طی دوره رشد محصولات در دوره های آبی نسبت به پایه

دوره آماری	سناریو انتشار	ذرت	گندم مزرعه فاروب	گندم مزرعه سلیمانی	جو	گندم دیم
-	A1B	۳/۳۵	۹/۶۰	۱۱/۳۵	۷/۴۹	-
۲۰۲۰-۲۰۳۹	A2	۳/۰۰	۷/۴۵	۹/۲۶	۶/۹۸	۷/۲۷
	B1	۲/۲۹	۷/۱۸	۱۰/۸۳	۹/۰۴	۷/۷۰
-	A1B	۳/۳۷	۱۰/۲۷	۱۵/۲۲	۱۲/۶۰	-
۲۰۸۰-۲۰۹۹	A2	۳/۰۶	۸/۵۲	۱۲/۹۶	۹/۶۹	۱۴/۶۶
	B1	۳/۷۷	۸/۸۰	۱۳/۰۱	۱۰/۷۰	۱۳/۲۵

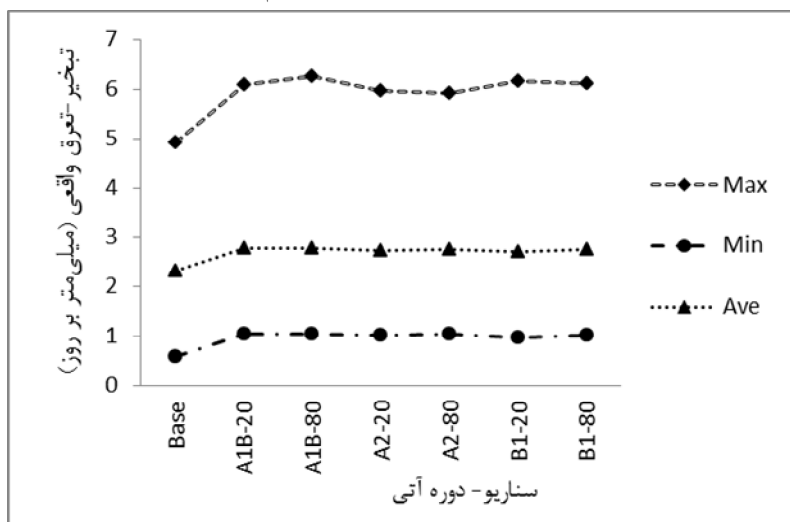




شکل ۲- میانگین، حداقل و حداکثر تبخیر-تعرق برای گندم فاروب (A)، گندم سلیمانی (B)، جو (C) و ذرت (D) دوره‌های پایه و آبی

محصولات نسبت به ذرت تابستانه کمتر بود. از طرفی میانگین دوره ۲۰ ساله (در دوره‌های پایه و آبی) تبخیر-تعرق در مزارع گندم دیم از آبی کمتر بود (شکل ۳). پایین بودن تبخیر-تعرق در مزارع دیم نسبت به مزارع آبی به دلیل شرایط متفاوت تعرق گیاه در این دو مزرعه است. بارگهی و موسوی (۱۳۸۵) نیز تغییر شرایط کشت از آبی به دیم را سبب کاهش معنی‌دار میزان تبخیر-تعرق بیان کردند. این محققان گزارش دادند که در اراضی آبی علاوه بر تعرق آب از گیاه، تبخیر از سطح خاک نیز نسبت به اراضی دیم بیشتر است.

از طرفی افزایش تبخیر-تعرق در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ شدت بیشتری خواهد داشت. علت آن نیز گرم شدن هوا در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و دوره پایه می‌باشد. نتایج مشابه نیز توسط سیاری و همکاران (۱۳۹۰) گزارش شده است. این محققان نشان دادند که تبخیر-تعرق شبیه‌سازی شده با مدل HadCM3 (با هر دو سناریوی A2 و B1) برای تمامی دوره‌ها، افزایش یافت. همچنین به دلیل کشت گندم و جو در فصل پاییز، مقادیر پارامترهای حداقل، حداکثر و میانگین مقدار تبخیر-تعرق برای این



شکل ۳- میانگین، حداقل و حداکثر تبخیر-تعرق گندم دیم برای دوره پایه و آبی

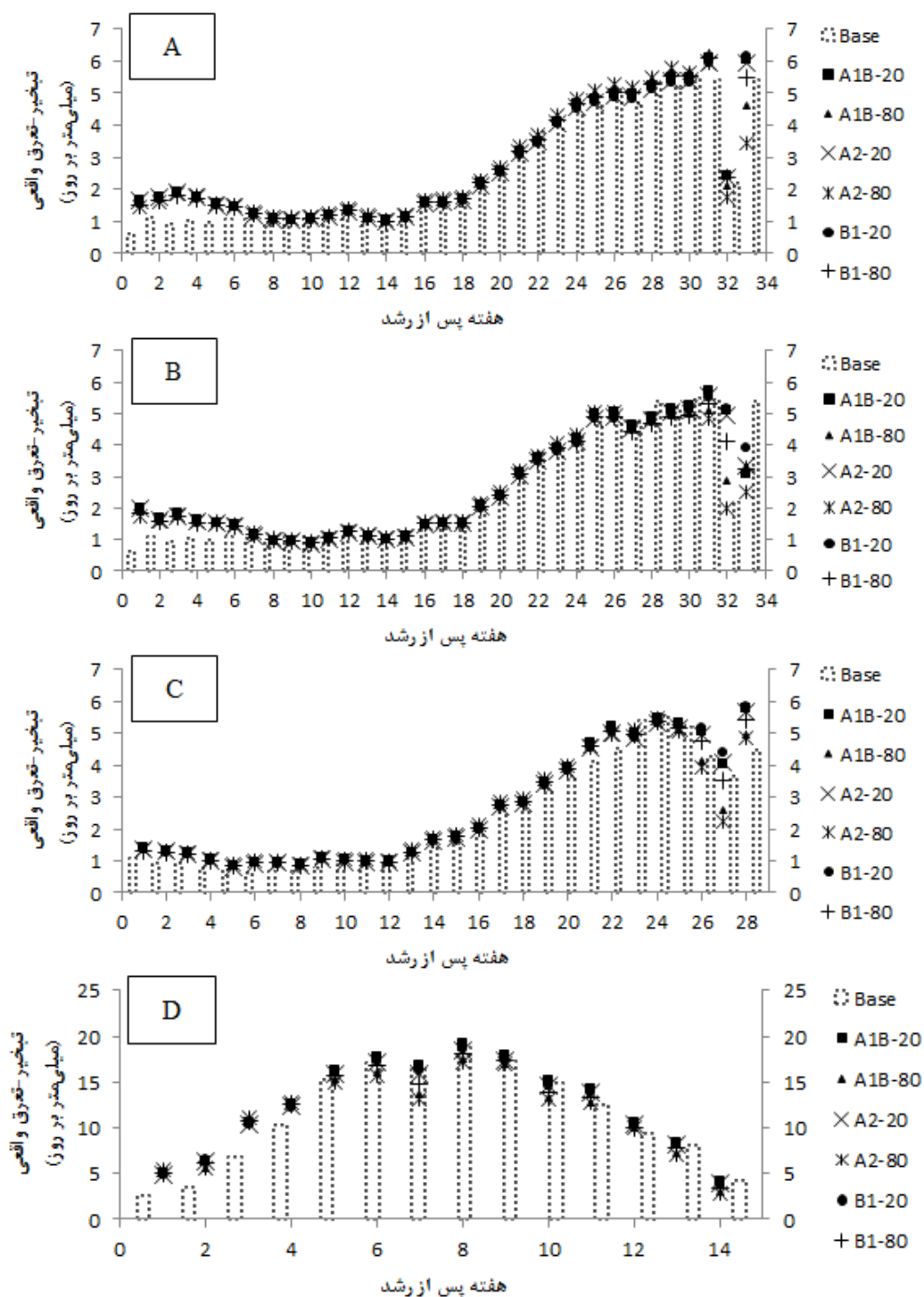
طی فصل رشد، تبخیر-تعرق در هفته‌های اول پس از رشد در دوره پایه نسبت به دوره‌های آبی کمتر خواهد بود. این اختلاف برای محصول ذرت نسبت به سایر محصولات

شکل (۴) تغییرات تبخیر-تعرق را در هفته‌های پس از رشد محصولات زراعی آبی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. براساس این نتایج، برای همه محصولات در



محصولات جو، گندم فاروب و گندم سلیمانی به ترتیب ۲/۲، ۲/۱ و ۲/۳ برابر افزایش نشان داد.

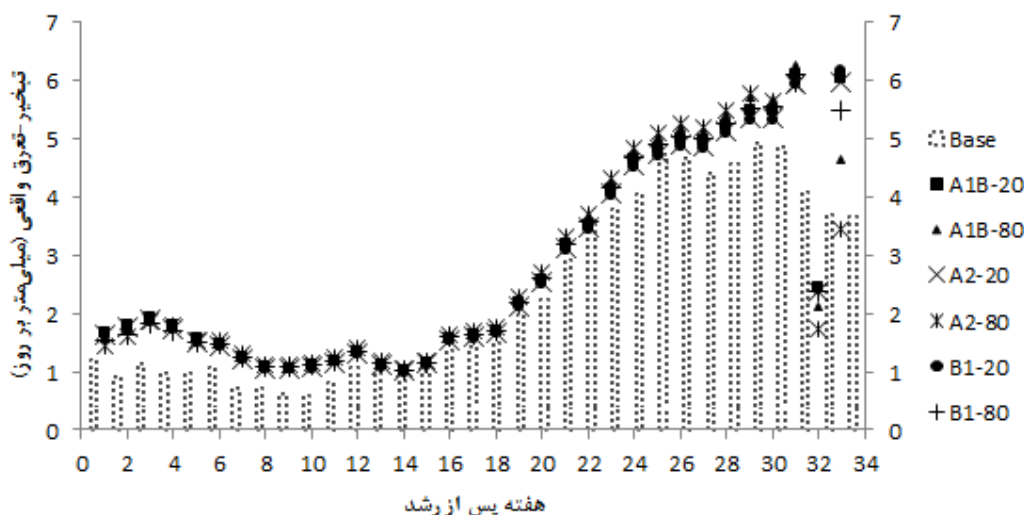
بیشتر بود. همچنین به دلیل کاشت ذرت در فصل تابستان، تبخیر-تعرق برای این محصول در اواسط دوره رشد، حدود ۱۹ میلی‌متر در روز تخمین زده شد که نسبت



شکل ۴- تبخیر-تعرق در طول دوره رشد برای گندم فاروب (A)، گندم سلیمانی (B)، جو (C) و ذرت (D) دوره‌های پایه و آبی

بود. همچنین سناریو A2 نسبت به سناریو B1 مقادیر تبخیر-تعرق بیشتری را برآورد کرد. کمتر بودن مقادیر تبخیر-تعرق در گندم دیم نسبت به گندم مزارع آبی، در طی مراحل رشد گیاه، به دلیل تفاوت تبخیر-تعرق محصولات آبی و دیم است. حداکثر میزان تبخیر-تعرق گندم دیم در مرحله توسعه ۴/۵ میلی متر در روز تعیین شد در حالی که تبخیر-تعرق گندم مزارع آبی حدود شش میلی متر در روز برآورد شد.

نتایج شبیه‌سازی تبخیر-تعرق در طی فصل رشد گندم و جو نیز نشان داد که در دو دوره آبی تبخیر-تعرق، به دلیل افزایش دما، بیشتر از دوره پایه خواهد شد. این اختلاف در هفته‌های آخر رشد بیشتر خواهد بود. مقادیر تبخیر-تعرق در طی فصل رشد گندم دیم نیز نشان داد که در دوره های آبی به دلیل افزایش دما، تبخیر و تعرق بیشتر از دوره پایه خواهد شد (شکل ۵). تفاوت تبخیر-تعرق در دوره پایه با دوره‌های آبی نیز در هفته‌های آخر رشد که گیاه گندم به مرحله توسعه می‌رسد، بیشتر



شکل ۵- تبخیر-تعرق در طول دوره رشد برای گندم دیم

۲۰۲۰-۲۰۳۹ افزایش بیشتری خواهد یافت. با توجه به اینکه دما در دوره‌های آبی در فصول گرم افزایش خواهد یافت، تبخیر-تعرق در محصولات با کشت تابستانه مانند ذرت، افزایش بیشتری (با حدود ۱۲ میلی‌متر در روز) نسبت به محصولات پاییزه مانند گندم و جو (با تبخیر-تعرق سه میلی‌متر در روز) خواهند داشت. همچنین برای همه محصولات در طی رشد، تبخیر-تعرق در هفته‌های اول پس از رشد در دوره پایه نسبت به مقادیر دوره‌های آبی کمتر خواهد بود و این تفاوت برای ذرت نسبت به دو محصول دیگر بیشتر بود. افزایش میزان تبخیر و تعرق برای محصولات در هفته‌های اول پس از رشد را نیز می‌توان به افزایش دما در دوره‌های آبی مربوط کرد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که میزان تبخیر و تعرق در

#### نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر تغییر اقلیم و گرم شدن هوا را بر تبخیر و تعرق در طی هفته‌های پس از رشد سه محصول مختلف بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین تبخیر-تعرق روزانه برای دوره‌های ۲۰۹۹-۲۰۸۰ و ۲۰۳۹-۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد که علت آن را می‌توان تخمین دمای بیشتر در دوره‌های آبی برای محصولات آبی و دیم بیان نمود. در بین محصولات، گندم با درصد تغییر حدود ۱۲ نسبت به ذرت با درصد تغییر سه درصد بیشترین تغییر تبخیر-تعرق را در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه در طی رشد محصولات خواهد داشت. همچنین در هر سه سناریو انتشار، مقادیر تبخیر-تعرق روزانه در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره

مزارع دیم از آبی کمتر خواهد بود. معمولاً هرچه سطح برگ گیاه بیشتر باشد، تعرق بیشتر از گیاه صورت می‌گیرد که این امر در مزارع آبی به دلیل تراکم بوته گیاه به مراتب بیشتر از مزارع دیم می‌باشد.

#### فهرست منابع

۱. اشرف، ب.، موسوی بایگی، م.، کمالی، غ.، و ک. داوری، ک. ۱۳۹۰. پیش‌بینی نیاز آبی چغندرقلند در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از داده‌های آب و هوای شبیه‌سازی شده توسط مدل ریزمقیاس کننده LARS-WG5 (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۵): ۱۱۸۴-۱۱۹۷.
۲. آبابایی، ب.، سهرابی، ت.، میرزایی، ف.، رضوردی‌نژاد، و ب. کریمی. ۱۳۸۹. اثر تغییر آب و هوا بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه رودشت اصفهان). مجله دانش آب و خاک، ۲۰(۳): ۱۳۵-۱۵۰.
۳. بارگاهی، خ. و س.ع.ا. موسوی. ۱۳۸۵. تاثیر سطوح ایستابی کم عمق و شوری آب زیرزمینی بر کمک آب زیرزمینی به تبخیر و تعرق گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) در گلخانه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۰(۳): ۶۹-۵۹.
۴. بهمنش، ج.، آزاد طلا تپه، ن.، منتصری، م.، رضایی، ح.، و ک. خلیلی. ۱۳۹۴. اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار هوا در ارومیه، دانش آب و خاک، ۲۵(۲): ۹۱-۷۹.
۵. دلقتدی، م.، ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات ریسک تغییر اقلیم بر عملکرد گندم و ارائه راهکارهای سازگاری با آن (مطالعه موردی: جنوب دشت خوزستان). رساله دکتری تخصصی آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهیدچمران اهواز.
۶. دهقان، ه.، علیزاده، ا. و س.ا. حقایقی مقدم. ۱۳۸۹. تخمین اجزای بیلان آب در مقیاس مزرعه با استفاده از مدل شبیه سازی SWAP (مطالعه موردی: منطقه نیشابور). مجله آب و خاک. ۲۴(۶): ۱۲۷۵-۱۲۶۵.
۷. دهقان، ه.، علیزاده، ا.، انصاری، ح.، و س.ا. حقایقی مقدم. ۱۳۹۰. بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب در مزارع تحت آبیاری گندم (مطالعه موردی: دشت نیشابور)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۵): ۲۷۵-۲۶۳.
۸. سیاری، ن.، علیزاده، ا.، بنایان اول، م.، فریدحسینی، ع.ل. و م.ر. حسامی کرمانی. ۱۳۹۰. مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3, CGCM2) در پیش بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه کشف رود). مجله آب و خاک. ۲۵: ۹۲۵-۹۱۲.
۹. شهیدی، ع. و م. احمدی. ۱۳۹۳. آموزش تصویری مدل SWAP، انتشارات کلک زرین، ۱۶۸ صفحه.
۱۰. یکتا جباری، ا. و ب. ذهبیون. ۱۳۹۰. ارزیابی تبخیر و تعرق مرجع ناشی از اثرات تغییر اقلیم در حوضه شاخرز. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران.
11. Andreadis, K.M., and D.P. Lettenmaier. 2006. Trends in 20th century drought over the continental United States. *Geophys. Res. Lett.* 33 (10), L10403. <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL025711>.
12. Bandyopadhyay, B., Bhadra, A., Raghunwshi, N.S., and R. Singh. 2009. Temporal trends in estimates of reference evapotranspiration over India. *J. Hydrol. Eng.* 14(5): 508-515.
13. Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., Zalud, Z., and M. Dubrovsky. 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modelling*, 171(3): 223-246.

14. Gan, T.Y. 2000. Reducing vulnerability of water resources of Canadian Prairies to potential droughts and possible climate warming. *Water Resour. Manage.* 14 (2):111–135.
15. Gao, Y., Long, D., and Z. Li. 2008. Estimation of daily evapotranspiration from remotely sensed data under complex terrain over the upper Chao river basin in north China. *International Journal of Remote Sensing*, 29(11):3295-3315.
16. Goyal, R.K. 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agric. Water Manage.* 69: 1–11.
17. Huo, Z., Dai, X., Feng, Sh., Kang, Sh., and G. Huang. 2013. Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China, *Journal of Hydrology*, 492: 24-34.
18. Irmak, S., Kabenge, I., Skaggs, K.E., and D. Mutiibwa. 2012. Trend and magnitude of changes in climate variables and reference evapotranspiration over 116-yr period in the Platte River Basin, central Nebraska–USA. *J. Hydrol.* 420–421: 228–244.
19. Jahanbani, H., Shui, L.T., Bavani, A.M., and A.H. Ghazali. 2011. Uncertainty of climate change and its impact on reference evapotranspiration in Rasht City, Iran. *J. Water Clim. Change* 2(1):72–83.
20. Kaustuv, R., Jablonski, D., and J.W. Valentine. 2001, Climate change, species range limits and body size in marine bivalves, *Ecology Letters*, 4(4): 366-370.
21. Li, Zh., Zheng, F.L. and W.Zh. Liub. 2012. Spatiotemporal characteristics of reference evapotranspiration during 1961–2009 and its projected changes during 2011–2099 on the Loess Plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology*. 154– 155: 147– 155.
22. Ma, Z., Li, D., and Y. Hu. 2004. The extreme dry/wet events in northern China during recent 100 years. *J. Geogr. Sci.* 14(3): 275–281.
23. Mandare, A.B., Ambast, S.K., Tyagi, N.K., and J. Singh. 2008. On-farm water management in saline groundwater area under scarce canal water supply condition in the Northwest India. *Agricultural Water Management*, 95: 516-526.
24. Minacapilli, M., Agnese, C., Blanda, F., Cammalleri, C., Ciraolo, G., D’Urso, G., Iovino, M., Pumo, D., Provenzano, G. and G. Rallo. 2009. Estimation of actual evapotranspiration of Mediterranean perennial crops by means of remote-sensing based surface energy balance Models. *Hydrology and Earth System Sciences*. 13: 1061-1074. Qureshi, S.A., Madramootoo C.A. and G.T. Dodds. 2002. Evaluation of irrigation schemes for sugarcane in sindh, Pakistan, using SWAP93. *Agricultural Water Management*, 1(54):37-48.
25. Racsko P., Szeidl L., and M. Semenov. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*, 57: 27-41.
26. Randall, D. A., Wood, R. A., Bony, S., Colman, R., Fichet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., Stouffer, R. J., Sumi A., and K.E. Taylor. 2007. Climate Models and Their Evaluation. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
27. Sabziparvar, A.A., and H. Tabari. 2010. Regional estimation of reference evapotranspiration in arid and semi-arid regions. *J. Irrig. Drain. Eng.* 136 (10): 724–731.

28. Semenov M.A., Brooks R.J., Barrow E.M., and C.W. Richardson. 1997. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*, 10: 95-107.
29. Semenov, M. A., and E.M. Barrow. 2002. LARS-WG: a stochastic weathergenerator for use in climate impact studies (Version 3.0). User Manual.
30. Singh, U.K., Ren, L. and S. Kang. 2010. Simulation of soil water in space and time using an agro hydrological model and remote sensing techniques. *Agricultural Water Management*. 97(8):1210-1220.
31. Song, Z.W., Zhang, H.L., Snyder, R.L., Anderson, F.E., and F. Chen. 2010. Distribution and trends in reference evapotranspiration in the north China plain. *J. Irrig. Drain. Eng.* 136 (4): 240–247.
32. Tabari, H., and S. Marofi. 2010. Changes of pan evaporation in the west of Iran. *Water Resour. Manage.* <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-010-9689-6>.
33. Thomas, A. 2000. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China. *Int. J. Climatol.* 20: 381–396.
34. Utset, A., Farre, L., Martinez-Cob, A., and J. Caverro. 2004. Comparing Penman-Monteith and Priestley-Taylor approaches as reference-evapotranspiration inputs for modeling maize water- use under Protection Agency, 85 p.
35. Van Dam, J.C., Huygen, J., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., Kabat, P., VanWalsum, P.E.V., Groenendijk, P., and C.A. Van Diepen. 1997. Theory of SWAP version 2.0. Technical Document 45. Wageningen Agricultural University and DLO Winand Staring Center.
36. Van Genuchten, M., and S.R. Yates. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. US Environmental Protection Agency, 85 p.
37. Vazifedoust, M., Van Dam, J.C., Feddes, R.A. and M. Feizi. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agricultural Water Management*, 95: 89-102.
38. Wang, Y., Jiang, T., Bothe, O., and K. Fraedrich. 2007. Changes of pan evaporation and reference evapotranspiration in the Yangtze River basin. *Theor. Appl. Climatol.* 90, 13–23.
39. Ying Ma, Y., Feng, S., Huo, Z. and X. Song. 2011. Application of the SWAP model to simulate the field water cycle under deficit irrigation in Beijing, China. *Journal of Mathematical and Computer Modeling*, 54: 1044-1052.
40. Zhang, X., Kang, S., Zhang, L., and J. Liu. 2010. Spatial variation of climatology monthly crop reference evapotranspiration and sensitivity coefficients in Shiyang river basin of northwest China. *Agric. Water Manage.* 97, 1506–1516.
41. Zhang, Y., Liu, C., Tang, Y., and Y. Yang. 2007. Trends in pan evaporation and reference and actual evapotranspiration across the Tibetan Plateau. *J. Geophys. Res.* 112, D12110, doi: 10.1029/2006JD008161.