



پیش‌بینی و تحلیل عدم قطعیت تبخیر - تعرق گیاه مرجع در شرایط تغییر اقلیم در شیراز

علی شبستانی^۱، * عبدالله درزی نفت‌چالی^۲ و فاطمه کاراندیش^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، استادیار گروه مهندسی آب،

^۲ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۴

چکیده

سابقه و هدف: افزایش جهانی گازهای گلخانه‌ای به دلیل متأثر ساختن متغیرهای مهم هواشناسی و هیدرولوژیکی همانند تبخیر-تعرق پتانسیل، می‌تواند تهدیدی جدی برای کشاورزی پایدار در شرایط وقوع تغییر اقلیم محسوب شود. تبخیر-تعرق پتانسیل یکی از عوامل کلیدی مؤثر بر تولید محصولات کشاورزی است و ناداشتن درک مناسب از مقدار آن می‌تواند امنیت آب و غذا را به مخاطره بیندازد. به همین دلیل در این پژوهش، مقدار این متغیر مهم تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوهای مختلف انتشار در مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) برآورد شد.

مواد و روش‌ها: بر اساس خروجی‌های به دست آمده از ۱۵ GCM تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1، تأثیر گرمایش جهانی بر میزان تبخیر-تعرق پتانسیل و عدم قطعیت‌های حاکم در پیش‌بینی آن در شهرستان شیراز تحلیل شد. داده‌های بزرگ مقیاس مدل‌های GCM با مدل آماری LARS-WG در ایستگاه شیراز در سه بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ (دوره ابتدایی)، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ (دوره میانی) و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ (دوره انتهایی) ریزمقیاس شدند. بدین منظور، ابتدا مدل با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) واسنجی و صحت‌سنجی شد و سپس برای ریزمقیاس‌سازی استفاده شد. توانایی مدل‌های تجربی، رگرسیون خطی و روش‌های هوش مصنوعی شامل سیستم استنتاج عصبی فازی و ماشین‌های بردار پشتیبان در برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در مقایسه با روش فائو پنمن-مانتیت ارزیابی شد. سپس میزان تبخیر-تعرق پتانسیل در آینده با استفاده از مدل منتخب برآورد شد. در نهایت، دامنه عدم قطعیت برای مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق پتانسیل تحت مدل‌های مختلف GCM در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج آزمون t و مقدار آماره‌های ارزیابی نشان داد مدل ریزمقیاس‌ساز منتخب، توانایی قابل‌قبولی در تخمین مؤلفه‌های بارش و دماهای آستانه تا سال ۲۱۰۰ دارد. روش ماشین‌های بردار پشتیبان بر اساس معیارهای جذر میانگین مربعات خطا (0/42 mm) و ضریب کارایی مدل (0/97)، کم‌ترین خطا را در تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل داشت که نشان‌دهنده تناسب این روش برای برآورد این پارامتر در اقلیم آینده شیراز می‌باشد. در حد فاصل سال‌های ۲۰۱۱-۲۱۰۰، مقایسه میانگین نتایج ۳۵ ترکیب از مدل‌های منتخب (۱۵ مدل GCM تحت سه سناریوی انتشار) و

* مسئول مکاتبه: abdullahdarzi@yahoo.com

همچنین میانه‌های توابع توزیع احتمال در سه سناریوی A1B، A2 و B1 با مقدار آن‌ها در دوره پایه، بیانگر افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه بود. بیش‌ترین افزایش در میزان تبخیر- تعرق پتانسیل در مقیاسه با دوره پایه در دوره‌های میانی و انتهایی قرن ۲۱ ام (۱۵/۶-۱۰/۳ درصد)، فصل‌های پربارش (۳۱/۹-۵/۴ درصد) و ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه (۴۵-۸/۵ درصد) رخ خواهد داد. بررسی توابع توزیع تجمعی احتمال نشان داد که دامنه عدم قطعیت در تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل در مقیاس‌های سالانه، فصلی و ماهانه به ترتیب در محدوده‌های ۱۸۰-۲۵۰، ۱۳۲/۷-۴۷/۱ و ۱۹/۶-۵۶/۴ میلی‌متر قرار دارد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد افزایش تقاضای اتمسفری در ماه‌های پربارش می‌تواند با کاهش ذخیره رطوبتی خاک برای کشت‌های بهاره و افزایش کمبود آب سبز در کشت‌های پاییزه، کشاورزی را در هر دو بخش دیم و آبی به مخاطره بیندازد که این امر مستلزم برنامه‌ریزی برای مواجهه با این چالش جهانی است. با این وجود، باید در نظر داشت که ریسک‌پذیری برنامه‌ریزی‌های بلندمدت به دلیل عدم قطعیت‌های بیش‌تر در تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل بیش‌تر از مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق، گرمایش جهانی، ماشین‌های بردار پشتیبان، مدل‌های GCM

مقدمه

تبخیر- تعرق پتانسیل یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های هیدرولوژیکی بوده و تخمین مناسب مقدار آن، در پروژه‌های بسیاری هم‌چون پژوهش‌های بیلان آب در بخش هیدرولوژی، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری و زهکشی، مدل‌های شبیه‌ساز محصول، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و بهبود مصرف آب و کنترل تلفات آن در بخش کشاورزی کاربرد دارد (۱۸). انتشار گازهای گلخانه‌ای به دلیل فعالیت‌های بدون مدیریت بشر در دهه‌های اخیر، بسیاری از عوامل اقلیمی مؤثر بر تبخیر- تعرق پتانسیل را در سطح جهان تغییر داد. این دخالت نابجای بشر تا حدی بوده که بنا به گزارش هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، حتی اگر انتشار این گازها در حال حاضر متوقف شود، تغییر در متغیرهای مهمی هم‌چون بارش و دماهای کاردینال متوقف نخواهد شد (۱۷). اثرات منفی تغییر اقلیم بر میزان تبخیر- تعرق پتانسیل در برخی مناطق کشور ایران تحت برخی مدل‌های گردش عمومی جو در برخی پژوهش‌های پیشین

گزارش شده است. عزیزاده و همکاران (۳) افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل تا سال ۲۱۰۰ در تمام ماه‌های سال در حوضه آبخیز کشف‌رود را گزارش نمودند. نتایج خروجی مدل‌های HadCM3 و CGCM3 تحت سناریوی A2 بیانگر افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل و نیاز آبی گندم زمستانه تا سال ۲۱۰۰ بود (۳۳). افزایش ۱/۶-۳/۶ درصد در میزان تبخیر- تعرق پتانسیل تحت مدل HadCM3 در دو سناریوی A2 و B2 در حوضه گرگانرود نیز در دوره زمانی ۲۱۰۰-۲۰۷۱ (۵) و تحت شرایطی مشابه در ارومیه تا سال ۲۱۰۰ گزارش شده است (۲۲). نتایج یک پژوهش جامع در کشورهای واقع در خاورمیانه و نواحی شمال قاره آفریقا نیز بیانگر افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه در کشور ایران می‌باشد (۳۷). به این ترتیب، بقای بشر در اواخر قرن ۲۱ ام نیازمند تحلیل مهم‌ترین مخاطرات محیطی در نتیجه وقوع گرمایش جهانی هم‌چون تغییر میزان تبخیر- تعرق پتانسیل و آرایه راهکارهای سازگاری خواهد بود.

از انرژی خورشیدی، شبیه‌سازی منطقه‌ای تغییر اقلیم، روش ریزمقیاس‌سازی و روش محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل باشد (۲۵). در برخی پژوهش‌های پیشین، از میان این عوامل، عدم قطعیت ناشی از سناریوهای انتشار و مدل‌های گردش عمومی جو، مهم‌تر از سایر عوامل شناخته شده است (۲۹). برخی پژوهشگران بر این باورند که این منبع از عدم قطعیت حتی از عدم قطعیت‌های ناشی از به‌کارگیری مدل‌های شبیه‌سازی بیلان آب و محصول (۱۵) و مدل‌های هیدرولوژیکی (۲۹) در بررسی شرایط حاکم تحت گرمایش جهانی نیز مهم‌تر می‌باشد. با این وجود، تأثیر عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو در پیش‌بینی مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل چندان مورد توجه قرار نگرفته است (۲۳).

مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که تاکنون تأثیر ترکیبی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو و روش نوین ماشین بردار پشتیبان در تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل با تأکید بر عدم قطعیت‌های موجود بررسی نشده است. به همین دلیل در پژوهش حاضر، پس از ارزیابی مدل‌های متعدد تجربی، رگرسیون خطی و هوش مصنوعی در تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل در مقایسه با روش فائو-پنمن-مانتیت، عدم قطعیت‌های ناشی از کاربرد ۱۵ مدل گردش عمومی جو در برآورد این متغیر اقلیمی در ایستگاه شیراز تا سال ۲۱۰۰ بررسی شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعه: شهرستان شیراز در استان فارس در جنوب غربی ایران قرار دارد و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن دارای اقلیم غالب نیمه‌خشک می‌باشد. این استان یکی از مهم‌ترین مراکز تامین تولیدات کشاورزی در کشور ایران بوده و بر اساس آمار سازمان جهاد کشاورزی در سال ۲۰۱۰، سهمی بیش‌تر

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌هایی که در تحلیل تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل در اقلیم آینده جهان وجود دارد، روش برآورد این متغیر مهم اقلیمی می‌باشد. اگرچه استفاده از روش فائو پنمن-مانتیت (۲) غالباً کارآیی مناسبی در برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در بسیاری از مناطق اقلیمی جهان داشته است، ولی محدودیت برخی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی آماری همچون مدل کارآمد LARS-WG در برآورد متغیرهای هواشناسی مورد نیاز، کاربرد این معادله را به شکل کامل و بدون ساده‌سازی در آینده محدود می‌سازد. در چنین شرایطی می‌توان از روش‌های داده‌محدود دیگری استفاده نمود. دقت قابل قبول روش‌هایی همچون معادلات تجربی (۳۲، ۳۴) و روش‌های هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی مصنوعی (۳۵) و سیستم استنتاج-فازی (۱۹، ۳۶) در مقایسه با روش فائو-پنمن-مانتیت در برخی پژوهش‌های پیشین به اثبات رسیده است. ولی استفاده از روش‌های جدیدتر هوش مصنوعی همچون ماشین‌های بردار پشتیبان، علی‌رغم اثبات قابلیت بالای آن در پژوهش‌های مرتبط با فرآیندهای هیدرولوژیکی در دهه‌های گذشته (۸، ۱۰، ۳۹)، کم‌تر در برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل مورد توجه قرار گرفت.

علاوه بر روش تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل، بررسی احتمال وقوع مقادیر پیش‌بینی شده در اقلیم آینده هر منطقه، دارای اهمیت بسیار می‌باشد زیرا افزایش اطمینان‌پذیری در سیاست‌های خرد و کلانی که در راستای سازگاری با تغییر اقلیم اتخاذ می‌شود، مستلزم تحلیل عدم قطعیت‌ها در پیش‌بینی‌های صورت گرفته با مدل‌های مختلف گردش عمومی جو خواهد بود. این عدم قطعیت‌ها می‌تواند ناشی از نوع سناریوی انتشار، تبدیل غلظت گازهای گلخانه‌ای به غلظت‌های اتمسفری و انرژی خورشیدی، میزان حساسیت مدل‌های گردش عمومی جو به مقدار معینی

واسنجی، صحت‌سنجی و شبیه‌سازی می‌باشد. برای انجام دو مرحله اول، آمار ۳۰ ساله تابش، دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش در ایستگاه شیراز وارد مدل شده و با مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بر اساس معیارهای ارزیابی، صحت مدل مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، با آزمون تی، معنی‌دار بودن اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در سطح احتمال پنج درصد بررسی شد. بعد از آن، با استفاده از ۱۵ مدل گردش عمومی جو به شرح جدول ۱ و تحت سناریوهای A1B، A2 و B1، شبیه‌سازی مؤلفه‌های اقلیمی دما و بارش طی سه دوره سی‌ساله ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ انجام شد.

از ۱۰ درصد در تولید این محصولات داشت. به‌منظور بررسی تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل در شهرستان شیراز و عدم قطعیت‌های ناشی از استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو تا سال ۲۱۰۰، آمار ۳۰ ساله داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شیراز در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) جمع‌آوری شد. پس از بررسی همگنی و نرمال‌بودن، از این داده‌ها برای تولید متغیرهای اقلیمی در سه دوره ابتدایی (۲۰۴۰-۲۰۱۱)، میانی (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و انتهایی (۲۱۰۰-۲۰۷۱) از قرن ۲۱ ام استفاده شد. ریزمقیاس‌نمایی آماری: به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بزرگ مقیاس در خروجی مدل‌های گردش عمومی جو از مدل LARS-WG استفاده شد. فرآیند تولید داده‌ها در مدل مذکور شامل سه بخش

جدول ۱- مدل‌های انتخابی برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی.

Table 1. Selected models for forecasting climatic variables.

سناریوها Scenarios			مدل Models
A1B	A2	B1	
✓		✓	BCM2
✓			CGMR
✓	✓		CNCM3
✓		✓	CSMK3
✓		✓	FGOALS
✓	✓	✓	GFCM21
✓		✓	GIAOM
✓	✓	✓	HadCM3
✓	✓		HadGEM
✓	✓	✓	INCM3
✓	✓	✓	IPCM4
✓		✓	MIHR
✓	✓	✓	MPEH5
✓	✓	✓	NCCCSM
✓	✓		NCPCM

حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد. همانند روش ANFIS، در این روش نیز بهترین ترکیب ورودی بر اساس معیارهای ارزیابی برای تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل انتخاب شد. شرح کامل‌تری از روش‌های ANFIS و SVM را می‌توان در پژوهش‌های پیشین (۳۵) یافت.

تحلیل تاریخی و برآورد عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو: برای بررسی روند تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل در دوره پایه، ابتدا شیب خط روند بر اساس تخمین‌گر شیب سن محاسبه شد و سپس وضعیت معنی‌دار بودن این شیب، بر اساس آزمون من- کندال تحلیل شد (۳۵). به‌منظور نشان دادن عدم قطعیت، ابتدا توابع تجربی احتمال به مقادیر برآوردی تبخیر- تعرق پتانسیل در دوره‌های آینده با مدل‌های مختلف گردش عمومی جو تحت سناریوهای مختلف برازش داده شد. سپس عدم‌قطعیت به‌صورت اختلاف بین میانگین تبخیر- تعرق پتانسیل برآوردی با روش‌های مختلف گردش عمومی جو تحت یک سناریوی خاص در یک دوره زمانی مشخص با مقدار آن در دوره پایه به‌دست آمد. این اختلاف به‌صورت یک بازه ارایه شد که این بازه، حداقل بین محدوده‌های احتمالاتی پنج تا ۹۵ درصد توابع توزیع احتمال تجمعی (CDF) می‌باشد. این توابع تئوری به اختلاف بین مقادیر برآوردی در آینده با دوره پایه تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 در مقیاس‌های سالانه، فصلی و ماهانه برازش داده شد. برای تعیین بهترین CDF، از آزمون نکویی برازش کولموگروف- اسمیرنوف^۱ استفاده شد. آماره D در این آزمون با استفاده از رابطه ۱ و بر اساس بیش‌ترین اختلاف در راستای عمودی بین تابع تجمعی توزیع احتمال تئوری و تجربی بدست آمد. هرچه این اختلاف کم‌تر باشد، تابع منتخب بهتر خواهد بود.

برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل: یکی از محدودیت‌های مدل LARS-WG، عدم برآورد تمام مؤلفه‌های هواشناسی در اقلیم آینده است. به همین دلیل، بر اساس داده‌های ۳۰ ساله موجود در دوره پایه، مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل با استفاده از روش فائو پنمن- مانیتث (۲) برآورد شد. سپس، با مبنا قرار دادن این روش، قابلیت مدل‌های تجربی شامل بلانی- کریدل، هارگریوز- سامانی، تورک، پرستلی- تیلور و ترنت- وایت (۳۴) و روش‌های هوش مصنوعی شامل سیستم استنتاج عصبی- فازی (ANFIS) و ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در دوره پایه بررسی شد. امکان انتخاب هشت تابع عضویت مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسی ساده، گوسی دوطرفه مرکب، زنگی شکل، سیگموئیدی، سیگموئیدی تفاضلی و پی شکل در ANFIS وجود دارد که از این میان، بر حسب بالاتر بودن دقت و کم‌تر بودن خطا، باید بهترین تابع عضویت انتخاب گردد. از این‌رو، پس از انجام آنالیز حساسیت، بهترین ترکیب از ورودی‌ها از میان مؤلفه‌های مختلف اقلیمی برای تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل با روش ANFIS انتخاب شده و سپس بهترین تابع عضویت بدان برازش داده شد. آنالیز حساسیت به روش کمی انجام شد. بدین شرح که تأثیر یک درصد تغییر در مؤلفه ورودی موردنظر بر تغییر میزان تبخیر- تعرق پتانسیل خروجی از مدل پنمن- مانیتث به‌دست آمد. در نهایت، پارامترهای دارای ضریب حساسیت بالاتر به‌عنوان پارامترهای حساس و اثرگذار در روش‌های هوش مصنوعی انتخاب شدند.

ماشین‌های بردار پشتیبان (SVMs) یکی از روش‌های نوین هوش مصنوعی است که انتظار می‌رود کارایی مناسبی در مقایسه با برخی روش‌های قدیمی‌تر همچون شبکه‌های عصبی پرسپترون در حل مسایل داشته باشد. این روش با دسته‌بندی خطی داده‌های ورودی، تلاش به انتخاب خطی می‌کند که

1- Kolmogorov-Smirnov

نتایج و بحث

ارزیابی مدل LARS-WG: مدل مقدار بارش را بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد کرد (شکل ۱). بیش‌ترین اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بارش و دماهای کاردینال در حد فاصل ماه‌های مارس تا می مشاهده شد که در این ماه‌ها، این مؤلفه‌ها اقلیمی از بیش‌ترین تغییرپذیری برخوردار هستند. همچنین مقادیر برآوردشده بارش در فصل تابستان کم‌ترین انحراف را از مقادیر مشاهده‌ای داشت. این نتایج با یافته‌های برخی پژوهش‌های گذشته (۱، ۴، ۷، ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۶، ۲۰، ۲۳، ۲۷، ۳۱) مطابقت دارد. همانند یافته‌های این پژوهشگران نتایج شبیه‌سازی دما بهتر از نتایج به‌دست آمده برای شبیه‌سازی بارش بود. مقادیر NRMSE برابر ۱۶/۹۳ و ۲/۰۱ و ۱/۴۴ به‌ترتیب برای بارش، دمای حداقل و حداکثر و کارایی مدل برابر مقادیر نزدیک به یک برای تمامی متغیرها در مرحله صحت‌سنجی نشان می‌دهد که مدل از توانایی مناسبی در شبیه‌سازی مؤلفه‌های اقلیمی منتخب در منطقه برخوردار است. براساس نتایج به‌دست آمده از آزمون t ، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده این مؤلفه‌ها در سطح معنی‌داری پنج درصد مشاهده نشد که این نتیجه با یافته‌های دیگر پژوهشگران مطابقت دارد (۱۲، ۱۶، ۳۸).

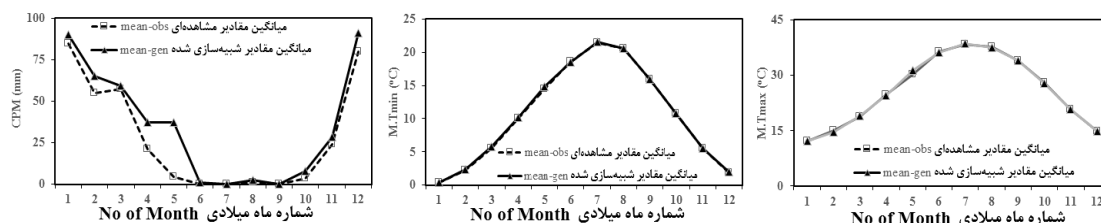
$$D = \max_{1 \leq i \leq n} \left[F(x_i) - \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n} - F(x_i) \right] \quad (1)$$

معیارهای ارزیابی: طرح کارایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و قابلیت معادلات تجربی و سیستم استنتاج عصبی- فازی در تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل بر اساس آماره‌های راندمان مدل (EF) (۲۶)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) (۲۸) ارزیابی شد. مقادیر EF و RMSE با استفاده از روابط ذیل محاسبه شد:

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (3)$$

که در آن‌ها، O_i و P_i به‌ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردشده پارامتر مورد نظر، \bar{O}_i میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار NRMSE نیز از تقسیم RMSE بر میانگین داده‌های مشاهده‌ای به‌دست آمد. مقادیر کم‌تر RMSE و NRMSE و مقادیر نزدیک به یک برای EF نشان‌دهنده برتری مدل خواهد بود.



شکل ۱- تغییرات ماهانه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مجموع ماهانه بارش (CMP)، میانگین ماهانه دمای حداقل (M.Tmin) و دمای حداکثر (M.Tmax) با مدل LARS-WG.

Figure 1. Monthly variation of observed and LARS-WG-simulated cumulative monthly precipitation (CMP), monthly average minimum temperature (M.Tmin) and monthly average maximum temperature (M.Tmax).

ولی، مقایسه نتایج روش ANFIS با پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که این روش علی‌رغم داشتن کارایی بالا در تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل، مقادیر این مؤلفه اقلیمی در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۰ را در برخی نواحی اقلیمی کشور خارج از مقادیر قابل انتظار پیش‌بینی می‌کند (۱۹، ۳۶). به همین دلیل از روش SVM در تعیین آثار محتمل تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق پتانسیل استفاده شد.

مدل‌های برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل: بر اساس آماره‌های مندرج در جدول ۲، روش SVM علاوه بر داشتن خطایی اندک در مقایسه با روش فائو پنمن-مانتیث، نتایج قابل قبولی برای تخمین تبخیر- تعرق در اقلیم آینده ایران خواهد داشت و روش‌های رگرسیون خطی در رتبه بعدی قرار داشتند. این در حالی است که روش‌های تجربی اغلب نتایج نامطلوبی را به همراه داشتند. ANFIS نیز دقت بالایی در شبیه‌سازی داشت

جدول ۲- ارزیابی مدل‌های تجربی و روش‌های هوش مصنوعی در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل.

Table 2. Evaluating empirical and artificial intelligence models for estimating potential evapotranspiration.

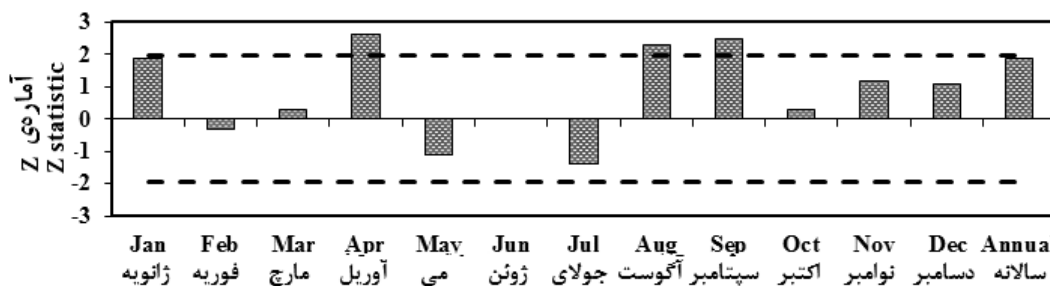
معیارهای ارزیابی Criteria indices		روش Method
ضریب کارایی مدل EF	جذر میانگین مربعات خطا (mm) RMSE (mm)	
0.02	3.09	بلانی کریدل Blaney-Criddle
0.85	5.94	هارگریوز- سامانی Hargreaves-Samani
-5.1	7.75	تورک Turc
0.68	1.97	پرستلی- تیلور Priestley-Taylor
-1.52	5.04	ترنت وایت Thornthwaite
0.95	0.66	رگرسیون با دمای حداقل Regression with Tmin
0.92	0.80	رگرسیون با دمای حداکثر Regression with Tmax
0.93	0.72	رگرسیون با دمای میانگین Regression with Tmean
0.80	1.45	شبکه تطبیقی عصبی - فازی ANFIS
0.97	0.42	ماشین‌های بردار پشتیبان SVM

من- کندال نشان می‌دهد. مقادیر تبخیر- تعرق ماهانه غالباً دارای روند افزایشی بوده و این روند در ماه‌های آوریل، آگوست و سپتامبر در سطح پنج درصد

تحلیل روند تاریخی تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل: شکل ۲ وضعیت معنی‌داری تغییرات ماهانه و سالانه تبخیر- تعرق پتانسیل در دوره پایه را براساس آزمون

تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه، تا حدی کم‌تر از آستانه معنی‌داری ۱/۹۶ در سطح احتمال ۹۵ درصد می‌باشد. نیاز آبی پتانسیل غالباً در طول فصل کشت‌های آبی و نوبت دوم دارای روند افزایشی بوده که این نتیجه می‌تواند تهدیدی جدی برای کشاورزی و تامین نیاز آبی در دیگر بخش‌های هیدرولوژیکی محسوب شود. این مسأله توأم با ذکر این نکته که علی‌رغم کاهش تبخیر- تعرق پتانسیل در برخی ماه‌ها، میزان این مؤلفه در مقیاس سالانه همواره روندی افزایشی داشته است، می‌تواند ضرورت بررسی تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل در اقلیم آینده را مشهود سازد.

معنی‌دار بود ولی روند کاهشی غیرمعنی‌دار در ماه‌های فوریه، می و جولای مشاهده شد. بر اساس مقادیر شیب به‌دست آمده از آزمون تخمین‌گر شیب سن، تبخیر- تعرق پتانسیل فصلی در حد فاصل سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ برای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به‌ترتیب به‌میزان ۰/۵۴، ۰/۴۴، ۰/۳۰ و ۰/۹۲ میلی‌متر در یک فصل افزایش یافت و این افزایش در مقیاس سالانه برابر با ۲/۲۱ میلی‌متر در سال بود. مقدار آماره Z، که در آزمون من‌کندال برای تعیین وضعیت معنی‌داری محاسبه می‌شود، در مقیاس سالانه برابر ۱/۹ بود که این مقدار علی‌رغم تاکید بر افزایش



شکل ۲- مقدار آماره Z بر اساس آزمون من- کندال برای تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه.

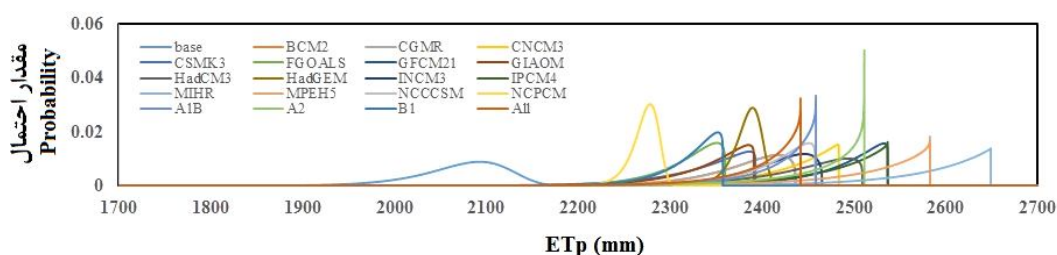
Figure 2. Mann-Kendal Z statistic for monthly, seasonal and annual variations of potential evapotranspiration.

مختلف (GCM) در برآورد این مؤلفه وجود دارد. همچنین، انطباق نزدیک بین توابع توزیع احتمال در مدل‌ها و سناریوهای مختلف با مقدار آن‌ها در دوره پایه برای بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ مشاهده شد که در حقیقت بیانگر تغییرپذیری یکسان سالانه می‌باشد. اما این انطباق در دوره‌های بعدی کم‌تر بود. دلیل این امر را می‌توان به مقادیر بالاتر تبخیر- تعرق پتانسیل در دهه‌های آخر قرن ۲۱ در مقایسه با دوره پایه نسبت داد. اختلاف بین توابع توزیع احتمال برای سناریوهای مختلف به‌خوبی عدم قطعیت در برآورد این مؤلفه را در اقلیم آینده شیراز نشان می‌دهد. دلیل این رفتار را می‌توان به اختلاف بین دقت مکانی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو نسبت داد. در حقیقت افزایش

تحلیل تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل در اقلیم آینده شیراز: با استفاده از توابع توزیع احتمال، مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه پیش‌بینی شده برای ۱۵ مدل GCM، تحت سناریوی A1B و برای میانگین تمام مدل‌ها تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره ۲۰۴۱ تا ۲۰۷۰ به‌عنوان نمونه در شکل ۳ نشان داده شد. احتمال وقوع تبخیر- تعرق پتانسیل کم‌تر از یک مقدار مشخص برابر با سطح زیر منحنی تابع توزیع احتمال در سمت چپ آن مقدار بوده و کل سطح زیر منحنی یک تابع توزیع احتمال برابر با واحد است. شکل ۳ نشان می‌دهد که هم تغییرپذیری سالانه (تغییرات یک تابع توزیع احتمال) و هم عدم قطعیت (اختلاف بین توابع توزیع احتمال مربوط به مدل‌های

مؤلفه‌های اقلیمی می‌تواند به متغیرهایی که در نحوه توصیف ابرها و ذخایر رطوبتی و غیره در این مدل‌ها در نظر گرفته می‌شود نیز مربوط باشد (۳۰). همچنین اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی‌شده در سناریوهای مختلف انتشار می‌تواند به دلیل اختلاف بین فرضیه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در نظر گرفته شده در این سناریوها باشد.

دقت مکانی، باعث افزایش دقت شبیه‌سازی وسعت یخ روی دریاها، دمای سطح دریاها، دمای پوشش زمین، فرآیند انتقال گرما در سطح اقیانوس‌ها و جریان ممنتوم به‌وسیله یک مدل گردش عمومی جو می‌شود که تمام این موارد روی فرآیندهای تغییر اقلیم و مقادیر پیش‌بینی‌شده مؤلفه‌های اقلیمی تحت این مدل‌ها اثرگذار خواهد بود (۶). علاوه بر این موارد، اختلاف بین مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در پیش‌بینی

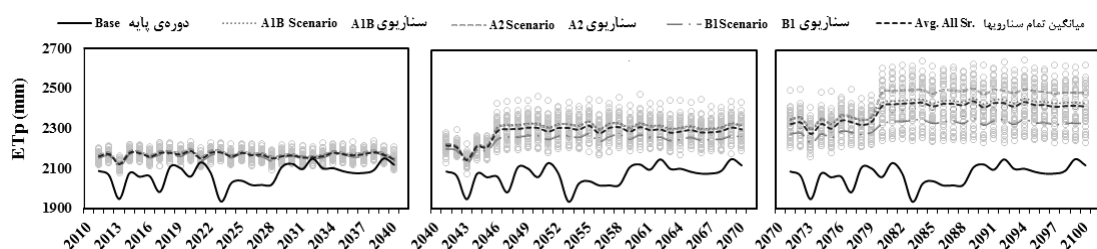


شکل ۳- توابع توزیع احتمال تجربی برای تبخیر- تعرق سالانه تحت مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در سناریوی A1B و برای میانگین تمام مدل‌ها تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 و میانگین کل سناریوها در بازه زمانی ۲۰۷۰-۲۰۴۱. در این شکل، دوره پایه، A1B، A2 و B1 نام سناریوها و باقی نام مدل‌های GCM می‌باشد.

Figure 3. Probability distribution functions for annual potential evapotranspiration under different GCM for A1B and for the average of all models under A1B, A2 and B1 and the average of all scenarios during 2041-2070. i.e. in this figure, "base" denotes the base periods, A1B, A2 and B1 are the name of scenarios and the other words are the name of GCM models.

برای جذب در شرایط فراهم بودن آب کافی را نشان می‌دهد. افزایش این نیاز می‌تواند منتج به احتمال افزایش نیاز آبی گیاهان شده که این مسأله، تهدیدی برای توسعه پایدار در بخش کشاورزی محسوب شود. علاوه بر تاکید بر افزایش تقاضا برای آب تحت مقادیر بالاتر تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه، افزایش این متغیر، شدت گرفتن میزان آب مصرفی از یک پوشش گیاهی را نیز نشان می‌دهد که این مسأله، کاهش میزان تغذیه منابع آب زیرزمینی و همچنین میزان آب ورودی به منابع آب سطحی در نتیجه وقوع رواناب در یک منطقه را به همراه خواهد داشت. نتایج یک پژوهش جامع در کشورهای واقع در خاورمیانه و نواحی شمال قاره آفریقا نیز بیانگر افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه در کشور ایران می‌باشد (۳۷).

نتایج ۳۵ گروه منتخب (پیش‌بینی‌های مربوط به ۱۵ مدل گردش عمومی جو تحت سه سناریوهای A1B، A2 و B1) در شکل ۴ نشان می‌دهد که اغلب این گروه‌ها باعث افزایش میانگین سالانه تبخیر- تعرق پتانسیل در سطح منطقه خواهند شد. علاوه بر آن، تابع توزیع احتمال مربوط به میانگین این ۳۵ گروه و همچنین مقایسه میانه‌های توابع توزیع احتمال در سه سناریوی A1B، A2 و B1 با مقدار آن‌ها در دوره پایه، بیانگر افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه منطقه مطالعه می‌باشد (شکل‌های ۳ و ۴). شکل ۵ نشان می‌دهد که برای تمام مدل‌ها، کم‌ترین و بیش‌ترین افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل به ترتیب در حدفاصل سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ رخ می‌دهد. تبخیر- تعرق پتانسیل یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های هیدرولوژیکی بوده و در حقیقت نیاز واقعی اتمسفر

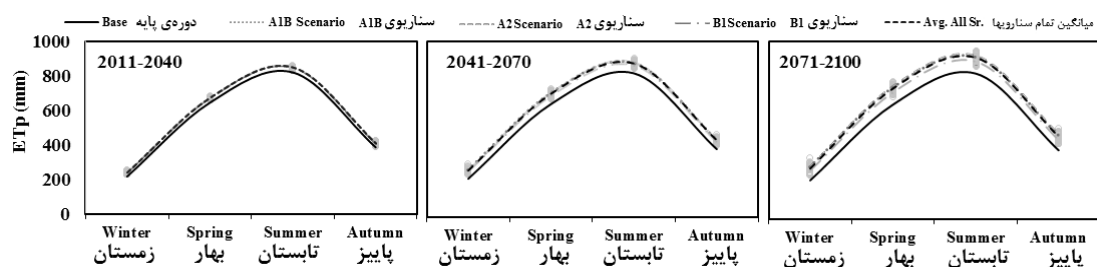


شکل ۴- تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه تحت مدل‌های مختلف گردش عمومی جو با سه سناریوی A1B، A2 و B1 در ایستگاه شیراز.

Figure 4. Annual variations of potential evapotranspiration under different GCM with three scenarios of A1B, A2 and B1 in Shiraz station.

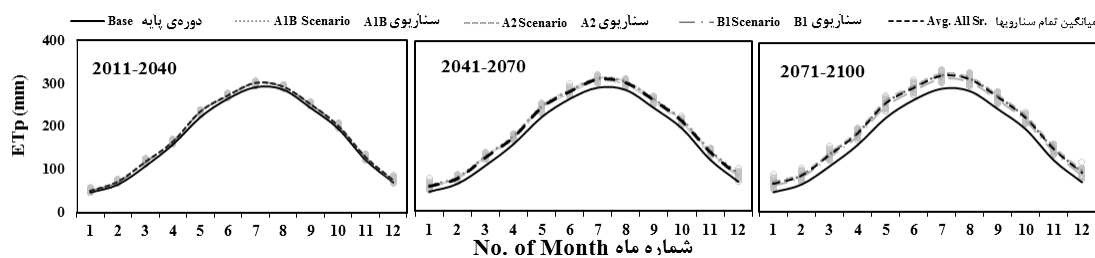
سناریوی منتخب به صورت میانگین ۱۵ مدل گردش عمومی جو در شکل ۶ ارائه شد. در مقیاس ماهانه، مقادیر تبخیر- تعرق پتانسیل در تمام ماه‌ها روند افزایشی خواهد داشت. بیش‌ترین افزایش در مقادیر تبخیر- تعرق پتانسیل ماهانه مربوط به ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه است و ماه‌های ژوئن، ژولای و اگوست دارای کم‌ترین تغییر در میزان تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه می‌باشند. به عبارت دیگر، ماه‌های بارش بیش‌ترین حساسیت را نسبت به تغییر اقلیم خواهند داشت که این مسأله به دلیل کاهش ذخیره بارش مؤثر برای فصول کشت بعدی و افزایش نیاز به آب آبی (منابع آب سطحی و زیرزمینی)، تهدیدی برای کشاورزی دیم و آبی در منطقه مطالعه محسوب می‌شود.

الگوی تغییرات فصلی تبخیر- تعرق پتانسیل نیز غیریکنواختی زمانی تغییرات این مؤلفه را در شرایط وقوع تغییر اقلیم نشان می‌دهد (شکل ۵). افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل در تمام دوره‌های زمانی در فصول پاییز و زمستان (فصل‌های مرطوب) بیش‌تر از افزایش آن در فصول بهار و تابستان (فصل‌های خشک) بود. این نتیجه بیانگر این مهم است که کمبود آب سبز (بارش مؤثر) در فصولی که کشت دیم در آن‌ها صورت می‌گیرد روند افزایشی خواهد داشت. با این وجود، ارزیابی ماهانه تبخیر- تعرق پتانسیل می‌تواند معیار مهم‌تری در بررسی موجودیت آب در یک منطقه در شرایط وقوع تغییر اقلیم باشد. روند تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل ماهانه در ایستگاه شیراز در طول دوره‌های پایه و آینده تحت سه



شکل ۵- تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل فصلی تحت مدل‌های مختلف گردش عمومی جو با سه سناریوی A1B، A2 و B1 در ایستگاه شیراز.

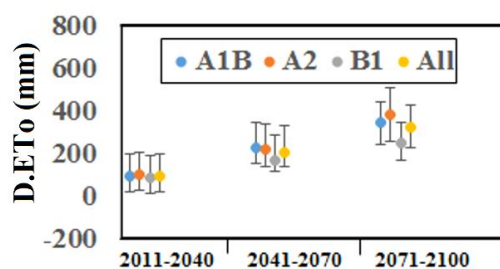
Figure 5. Seasonal variations of potential evapotranspiration under different GCM with three scenarios of A1B, A2 and B1 in Shiraz station.



شکل ۶- تغییرات تبخیر- تفرق پتانسیل ماهانه تحت مدل‌های مختلف گردش عمومی جو با سه سناریوی A1B، A2 و B1 در ایستگاه شیراز.
Figure 6. Monthly variations of potential evapotranspiration under different GCM with three scenarios of A1B, A2 and B1 in Shiraz station.

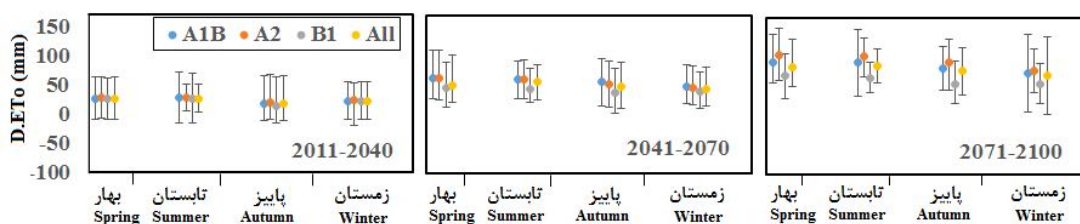
نیز نتایجی مشابه با مقیاس سالانه مشاهده شد. افزایش عدم قطعیت با زمان می‌تواند به دلیل عدم قطعیت‌هایی که در حساسیت‌های اقلیم و چرخه کربن وجود دارد باشد (۲۱). نتایج مشابه‌ای تحت مدل‌های گردش عمومی جو گزارش شد (۲۴). در تمام دوره‌های زمانی، فصل تابستان همواره کم‌ترین عدم قطعیت را به همراه داشت، ولی بیش‌ترین عدم قطعیت در تخمین تبخیر- تفرق پتانسیل سالانه در بازه‌های زمانی اولیه، میانی و انتهایی به ترتیب در فصل‌های پاییز، بهار و زمستان مشاهده شد. افزایش عدم قطعیت در فصل‌های مرطوب با یافته‌های یک پژوهش (۱) مطابقت دارد. همچنین استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو در مقیاس ماهانه، در ماه ژانویه در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰ و ۲۰۷۱-۲۰۴۱ و در ماه اکتبر در حد فاصل سال‌های ۲۱۰۰-۲۰۷۱ کم‌ترین و در ماه‌های مارچ، سپتامبر و ژانویه به ترتیب در سه دوره زمانی مذکور بیش‌ترین عدم قطعیت را در تخمین تبخیر- تفرق پتانسیل سالانه به همراه خواهد داشت. به‌طور کلی، مقایسه شکل‌های ۷ تا ۹ نشان می‌دهد که دامنه عدم قطعیت در بازه‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه به ترتیب در محدوده‌های ۲۵۰-۱۸۰، ۱۳۲/۷-۴۷/۱ و ۵۶/۴-۱۹/۶ میلی‌متر متغیر بود. به این ترتیب می‌توان بیان داشت که ریسک‌پذیری برنامه‌ریزی‌های بلندمدت به دلیل عدم قطعیت‌های بیش‌تر در تخمین تبخیر- تفرق پتانسیل بیش‌تر از مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت خواهد بود.

تحلیل عدم قطعیت در پیش‌بینی تبخیر- تفرق پتانسیل: برای ارزیابی محدوده احتمالاتی تغییرات تبخیر- تفرق پتانسیل، دامنه عدم قطعیت که نشأت گرفته از وجود مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای مختلف انتشار می‌باشد از روی توابع توزیع احتمال تجمعی در حدفاصل احتمال‌های ۵-۹۵ درصد محاسبه شد. توابع توزیع احتمال تجمعی در حقیقت تغییر در مقدار تبخیر- تفرق پتانسیل در دوره‌های آینده در مقایسه با دوره پایه را نشان می‌دهد. نتایج این محاسبات در مقیاس‌های سالانه، فصلی و ماهانه به ترتیب در شکل‌های ۷ تا ۹ ارائه شد. این شکل‌ها عدم یکنواختی محدوده‌های عدم قطعیت تحت سناریوهای مختلف انتشار را به‌ویژه در مقیاس‌های سالانه و فصلی نشان می‌دهد. در حقیقت، ماهیت مدل‌های گردش عمومی جو به نوعی است که نمی‌توان از یک مدل معین، رفتار مشخصی را در پیش‌بینی مؤلفه‌های اقلیمی در مناطق مختلف و یا حتی در یک مکان مشخص، رفتار یکسانی را از مدل‌های مختلف انتظار داشت (۱۳). با این وجود، ناساگاری عدم قطعیت‌های حاصله از نتایج سناریوهای مختلف انتشار در مقیاس ماهانه کم‌تر از مقیاس‌های سالانه و فصلی بود. بر اساس شکل ۷، میزان عدم قطعیت در بازه‌های میانی و انتهایی قرن ۲۱ در مقایسه با دوره ابتدایی تا حدی افزایش می‌یابد. برای تمام فصل‌ها و ماه‌ها به استثنای ماه‌های جولای و اکتبر



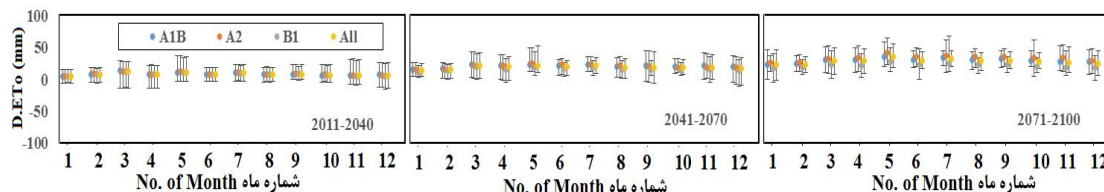
شکل ۷- عدم قطعیت سناریوهای مختلف SRES در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل (D.ETo) سالانه.

Figure 7. Uncertainty related to different SRES scenarios for estimating annual potential evapotranspiration (D.ETo).



شکل ۸- عدم قطعیت سناریوهای مختلف اقلیمی در برآورد تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل (D.ETo) فصلی.

Figure 8. Uncertainty related to different SRES scenarios for estimating seasonal potential evapotranspiration (D.ETo).



شکل ۹- عدم قطعیت سناریوهای مختلف اقلیمی در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل (D.ETo) ماهانه.

Figure 9. Uncertainty related to different SRES scenarios for estimating monthly potential evapotranspiration (D.ETo).

به همراه خواهد داشت که این مسأله می‌تواند به اطمینان‌پذیری راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم بیفزاید. از آنجایی که شیراز در اقلیم نیمه‌خشک ایران قرار دارد و عهده‌دار تامین بخش مهمی از تولیدات کشاورزی در هر دو بخش دیم و آبی می‌باشد، کمبود آب سبز در شرایط وقوع تغییر اقلیم خطری جدی برای این شهرستان محسوب شده و نیل به کشاورزی پایدار در آینده آن، نیازمند سیاست‌گذاری‌های مدون در بهره‌برداری بهینه از منابع آب موجود در آینده در بخش کشاورزی خواهد بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد روش ماشین‌های بردار پشتیبان به دلیل داشتن خطای اندک و دقت قابل قبول در مقایسه با روش فائو پنمن-مانتیت، روش مناسبی برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل شهرستان شیراز در قرن ۲۱ ام بود. از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش، امکان افزایش تبخیر- تعرق پتانسیل منطقه مطالعه در هر سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه بود. همچنین، استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو در تخمین تقاضای اتمسفری برای جذب آب در بازه‌های زمانی ماهانه، عدم قطعیت کم‌تری را

منابع

1. Agarwal, A., Babel, M.S., and Maskey, Sh. 2014. Analysis of future precipitation in the Koshi river basin, Nepal. *J. Hydrol.* 513: 422-434.
2. 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.* 56: 301.
3. Alizadeh, A., Sayari, N., Hesami-Kermani, M.R., Bannayan-Aval, M., and Farid-Hossaini, A. 2010. Assessment of Climate Change Potential Impacts on Agricultural Water Use and Water Resources of Kashaf rood basin. *J. Water Soil.* 24: 4. 815-835.
4. Almasi, P., and Soltani, S. 2016. Assessment of the climate change impacts on flood frequency (Case study: Bazoft Basin, Iran). *Stoch Environ. Res. Risk Assess.* DOI 10.1007/s00477-016-1263-1.
5. Azari, M., Moradi, H.R., Saghafian, B., and Faramarzi, M. 2013. Assessment of Hydrological Effects of Climate Change in Gorganroud River Basin. *J. Water Soil.* 27: 3. 537-547. (In Persian)
6. CCSP. 2008. Climate Models: An Assessment of Strengths and Limitations. In: A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research, Washington, D.C., USA, 124p.
7. Chen, H., Gue, J., Zhang, Z., and Xu, Ch.Y. 2013. Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future. *Theor. Appl. Climatol.* 113: 363-375.
8. Dai, X., Huo, Z., and Wang, H. 2011. Simulation for response of crop yield to soil moisture and salinity with artificial neural network. *Field Crops Res.* 121: 441-449.
9. Dastorani, M.T., and Poormohammadi, S. 2012. Evaluation of the effects of climate change on temperature, precipitation and evapotranspiration in Iran. *International Conference on Applied Life Sciences, Turkey, September 10-12, Pp: 73-79.*
10. Deng, J., Chen, X., Du, Z., and Zhang, Y. 2011. Soil water simulation and predication using stochastic models based on LS-SVM for red soil region of China. *Water Resour. Manage.* 25: 2823-2836.
11. Etemadi, H., Samadi, S., and Sharifikia, M. 2014. Uncertainty analysis of statistical downscaling models using general circulation model over an international wetland. *Clim. Dyn.* 42: 2899-2920.
12. Etemadi, H., Samadi, S.Z., and Sharifikia, M. 2012. Statistical downscaling of climatic variables in Shadegan Wetland Iran. *Earth Sci. Clim. Change.* 1: 508. doi:10.4172/scientificreports.508.
13. Girvetz, E.H., Zganjar, C., Raber, G.T., Mauer, E.P., Kareiva, P., and Lawler, J.J. 2009. Applied climate-change analysis: the climate wizard tool. *PLOS ONE*, 4, e8320.
14. Goodarzi, E., Dastorani, M., Massah Bavani, A., and Talebi, A. 2015. Evaluation of the Change-Factor and LARS-WG Methods of Downscaling for Simulation of Climatic Variables in the Future (Case study: Herat Azam Watershed, Yazd - Iran). *Ecopersia.* 3: 1. 833-846.
15. Harmsen, E.W., Miller, N.L., Schlegel, N.J., and Gonzalez, J.E. 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. *Agr. Water Manag.* 96: 7. 1085-1095.
16. Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y., and Melville, B.W. 2011. Comparison of SDSM and LARS-WG for Simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 25: 475-484.
17. IPCC. 2007. Summary for policymakers. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 23p.
18. Jahanbani, H., Shui, L.T., Massah-Bavani, A., and Ghazali, A.H. 2011. Uncertainty of climate change and its impact on reference evapotranspiration in Rasht City, Iran. *Water and Climate Change.* 2: 1. 72-83.

19. Karimaldini, F., Shuib, L.T., Mohamed, T.A., Abdollahi, M., and Khalili, N. 2011. Daily evapotranspiration modeling from limited weather data using neuro-fuzzy computing technique. *J. Irrig. Drain Engin.* 138: 1. 21-34.
20. Kazemi-Rad, L., and Mohammadi, H. 2015. Climate change assessment in Gilan Province, Iran. *Int. J. Agric. Crop. Sci.* 8: 2. 86-93.
21. Knutti, R., Stocker, T.F., Joos, F., and Plattner, G.K. 2003. Probabilistic climate change projections using neural networks. *Clim. Dyn.* 21: 257-272.
22. Kouhi, M., and Sanaei Nejad, H. 2014. Evaluation of Climate Change Scenarios based on Two Statistical Downscaling Methods for Reference Evapotranspiration in Urmia Region. *Iranian J. Irrig. Drain.* 4: 7. 559-574.
23. Luo, Q. 2016. Necessity for post-processing dynamically downscaled climate projections for impact and adaptation studies. *Stoch Environ Res Risk Assess.* DOI 10.1007/s00477-016-1233-7.
24. Minville, M., Brissette, F., and Leconte, R. 2008. Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a Nordic watershed. *J. Hydrol.* 358: 1-2. 70-83.
25. Morid, S., and Massah Bavani, A.R. 2010. Exploration of potential adaptation strategies to climate change in the Zayandeh Rud irrigation system, Iran. *Irrig. Drain.* 59: 2. 226-238. (In Persian)
26. Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part 1: a discussion of principles. *J. Hydrol.* 10: 2082-2090.
27. Osman, Y., Al-Ansari, N., Abdellatif, M., Aljawad, S.B., and Knutsson, S. 2014. Expected Future Precipitation in Central Iraq Using LARS-WG Stochastic Weather Generator. *Engineering.* 6: 948-959.
28. Parchami Araghi, F., Mirlatifi, S.M., Ghorbani Dashtaki, S., and Mahdian, M.H. 2013. Point estimation of soil water infiltration process using Artificial Neural Networks for some calcareous soils. *J. Hydrol.* 481: 35-47.
29. Prudhomme, C., and Davies, H. 2009. Assessing uncertainties in climate change impact analyses on the river flow regimes in the UK. Part 1: baseline climate. *Climatic Change.* 93: 1. 177-195.
30. Randall, D.A., Wood, R.A., Bony, S., Colman, R., Fichefet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., Stouffer, R.J., Sumi, A., and Taylor, K.E. 2007. Climate models and their evaluation. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the ARIV of IPCC.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
31. Reddy, K.S., Kumar, M., Maruthi, V., Umeha, B., Vijayalaxmi, V., and Nageswar Rao, C.V.K. 2014. Climate change analysis in southern Telangana region, Andhra Pradesh using LARS-WG model. *CURRENT SCIENCE.* 107: 1. 54-62.
32. Sabziparvar, A.A., and Tabari, H. 2010. Regional Estimation of Reference Evapotranspiration in arid and Semiarid Regions. *J. Irrig. Drain Engin.* Pp: 724-731.
33. Soleimani-Nanadagani, M., Parsinejad, M., Araghinejad, Sh., and MasahBovani, A. 2012. Investigating climate change effects on the cultivation calendar, the growth duration and water requirement of winter wheat (Case study: Behshahr). *Water research of Iran.* 6: 10. 11-20. (In Persian)
34. Tabari, H. 2010. Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates. *Water Resour. Manage.* 24: 2311-2337.
35. Tabari, H., Kisi, O., Ezani, A., and Hosseinzadeh Talae, P. 2012. SVM, ANFIS, regression and climate based models for reference evapotranspiration modeling using limited climate data in a semi-arid highland environment. *J. Hydrol.* 444-445: 78-89.
36. Tabari, H., Martinez, C., Ezani, A., and Hosseinzadeh Talae, P. 2013. Applicability of support vector machines and adaptive neuro-fuzzy inference system for modeling potato crop evapotranspiration. *Irrig. Sci.* 31: 4. 575-588.

37. Terink, W., Immerzeel, W.W., and Droogers, P. 2013. Climate change projections of precipitation and reference evapotranspiration for the Middle East and Northern Africa until 2050. *Inter. J. Climatol.* DOI: 10.1002/joc.3650.
38. Zhang, X., Xu, Y.P., and Fu, G. 2014. Uncertainties in SWAT extreme flow simulation under climate change. *J. Hydrol.* 515: 205-222.
39. Zou, P., Yang, J., Fu, J., Liu, G., and Li, D. 2010. Artificial neural network and time series models for predicting soil salt and water content. *Agric. Water Manage.* 97: 2009-2019.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(5), 2017
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Estimating and uncertainty analysis of potential evapotranspiration under climate change in Shiraz

A. Shabestani¹, *A. Darzi-Naftchali² and F. Karandish³

¹M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, ²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, ³Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Zabol

Received: 02/07/2016; Accepted: 07/25/2016

Abstract

Background and Objectives: Global greenhouse gases increase could be a threat for the sustainable agriculture under climate change due to affecting important meteorological and hydrological variables. Potential evapotranspiration is an effective key factor influences on the production of agricultural crops and lacking an appropriate understanding of its values could endanger food and water securities. Therefore, in this research, the amount of this important variable was estimated under various emission scenarios in general circulation models of the atmosphere (GCM) up to 2100.

Materials and Methods: The projected effects of global warming on the values of potential evapotranspiration and the related estimation uncertainties were analyzed in Shiraz city based on the outputs of 15 GCM under three scenarios of A1B, A2 and B1. The large scale data of GCM were downscaled using the statistical method of LARS-WG in Shiraz station in three periods of 2011-2040 (initial period), 2041-2070 (middle period) and 2071-2100 (late period). To do so, the model was first calibrated and validated based on daily weather data during base period (1981-2010) and then was applied for downscaling process. For estimating potential evapotranspiration, the capability of empirical models, linear regressions and artificial intelligence methods including adaptive neuro fuzzy inference systems and support vector machines was compared with FAO-Penman-Maonteith method. Then, the amount of potential evapotranspiration in future was estimated using the selected model. Finally, the range of uncertainty for the estimated values of potential evapotranspiration under different GCM was determined for annual, seasonal and monthly time scales.

Results: Results of t-test and the amount of criteria indices showed that the selected downscaling model is capable enough for estimating precipitation and cardinal temperatures up to 2100. Support vector machines model had the lowest error for estimating potential evapotranspiration based on the values of root mean square error (0.42 mm) and model efficiency coefficient (0.97) indicating its suitability for estimating the parameter in the future climate of Shiraz. Comparing the average results of 35 ensembles of the selected models (15 GCM under three emission scenarios) as well as the median values for PDFs under the three scenarios of A1B, A2 and B1 for 2011-2100 period with those of the base period indicted an increase in potential evapotranspiration for annual, seasonal and monthly time scales. The highest increase in potential evapotranspiration compared to the base period will happen in middle and late periods of 21st century (10.3-15.6%), high rainy seasons (5.4-31.9%) and December, January and February (8.5-45%). Analyzing the cumulative probability distribution functions showed that the ranges of uncertainty for estimating annual, seasonal and monthly potential evapotranspiration were, respectively, 180-250, 47.1-132.7 and 19.6-56.4 mm.

Conclusion: The finding of this research demonstrated that the increase in atmospheric demand in rainy months could threaten both rainfed and irrigated agriculture through decreasing soil moisture content for spring cultivation and increasing the green water deficit in autumn cultivations. The issue requires planning for coping with this global challenge. Nevertheless, it should be considered that long-term planning will be more risky than short ones due to having higher uncertainties for estimating potential evapotranspiration.

Keywords: Evapotranspiration, GCM, Global warming, Support vector machines

* Corresponding Author; Email: abdullahdarzi@yahoo.com