

ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر برآورد تبخیر-تعرق مرجع و مقایسه آن با داده‌های لایسیمتری (مطالعه موردی: دشت بردسیر)

مرتضی رجبی^۱، نوید جلال کمالی^{۲*}، مهدی نقی زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۹

چکیده

تغییرات اقلیمی با تأثیر بر دما و بارش، نقش نسبتاً به سزائی در تغییرات نیازآبی گیاهان دارد. هدف از این تحقیق پیش‌بینی دما و بارش در دوره آینده نزدیک و ارزیابی اثر تغییرات اقلیمی بر تبخیر-تعرق و نیازآبی یونجه در منطقه بردسیر کرمان است. بهترین معادله برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی در منطقه، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط دستگاه لایسیمتر در یک دوره‌ی هفت ماهه جهت واسنجی، ارائه گردید. به این منظور شش معادله‌ی پرکاربرد به علاوه تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی تحت چهار سناریوی مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. بهترین معادله از میان معادلات ارائه شده، معادله بلانی کریدل با شاخص‌های نیکویی برازش ($R^2=0.884$) و ($RMSE=0.11$) و بهترین سناریوی شبکه عصبی مصنوعی، سناریوی دمای میانگین روزانه با شاخص نیکویی برازش ($R^2=0.802$) و ($RMSE=1.516$) به دست آمد. به این ترتیب معادله بلانی کریدل به عنوان مرجع جهت پیش‌بینی انتخاب شد. در ادامه با استفاده از مدل $GFDL-ESM2M$ جهت شبیه‌سازی بارش و دمای آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۰) استفاده گردید. از داده‌های مشاهداتی دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی منطقه برای دوره‌ی پایه ۱۹۸۷-۲۰۱۶ استفاده شد. توسط سه سناریوی خوش‌بینانه $RCP2.6$ ، حد وسط $RCP6$ و بدبینانه $RCP8.5$ ، روند تغییرات دما و بارش برای دوره‌ی آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۰) استخراج گردید. نتایج نشان داد که میانگین دما برای سه سناریوی یاد شده به ترتیب ۲، ۵، ۸ و ۳، ۱ درجه سلسیوس در سال ۲۰۵۰ افزایش می‌یابد و بارش، تقریباً بدون تغییر خواهد ماند. به این لحاظ انتظار می‌رود که نیاز آبی بخش کشاورزی منطقه در آینده‌ی نزدیک به ترتیب ۳، ۶۹ و ۵، ۲۵ میلی‌متر در سال افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: سناریوهای تغییرات اقلیمی RCP، شبکه عصبی مصنوعی، نیاز آبی مرجع

مقدمه

تبخیر از سطح آب و خاک و تبخیر-تعرق اشاره نمود IPCC (2001)، سازگاری با تغییر اقلیم یکی از اجزاء برنامه‌ریزی در توسعه‌ی زیربنایی و پذیرفته‌شده در تمام نهادهای بین‌المللی است. این سازگاری شامل پیش‌بینی دقیق از وضعیت آینده نیز خواهد بود. منابع آب کشور از جمله بخش‌هایی است که به‌طور جدی از تغییرات اقلیمی متأثر خواهد شد و حوزه‌های وسیعی از آن شامل منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، شبکه‌های آب و فاضلاب، شبکه‌های آبرسانی شهری و سازه‌های مرتبط با بخش آب با پیامدهای قابل ملاحظه‌ای روبه‌رو خواهند شد (شهسوری و همکاران، ۱۳۹۸). از این رو در سالیان اخیر در داخل و خارج کشور مطالعات مربوط به اثرات هیدرولوژیکی تغییرات اقلیم با استفاده از مدل‌های مختلف انجام شده‌است. از جمله این مطالعات در خارج کشور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

هارمسن و همکاران (۲۰۰۹). اثر تغییر اقلیم را بر مقدار تبخیر-تعرق، بارش، کمبود بارش و کاهش عملکرد نسبی محصول در سه منطقه از غرب پورتوریکو تحت سه سناریو بررسی نمودند. آن‌ها نشان دادند که در اثر تغییرات اقلیمی رطوبت فصل‌های بارانی بیشتر و فصل‌های خشک کمتر می‌گردد. بررسی میانگین ۲۰ ساله بارش طی

تغییرات اقلیمی و اثرات آن بر فرایندهای هیدرولوژیکی موضوعی است که در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است (Ashraf Vaghefi et al., 2014, Ouyang et al., 2015). شواهد داده‌های تاریخی هواشناسی و نیز پیش‌بینی‌های صورت گرفته از وضعیت اقلیم کشور، همانند دیگر نقاط دنیا، نشان دهنده‌ی وقوع پدیده‌ی تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر و ادامه‌ی این روند در آینده است (IPCC^۴, 2007). تغییر اقلیم با تأثیرگذاری بر چرخه‌ی آب در تشدید مخاطرات هیدرواقلیمی نقش دارد. پدیده‌ی تغییر اقلیم سبب تغییر در الگوی متغیرهای هواشناسی و میزان منابع آب هر منطقه می‌شود. از این تغییرات می‌توان به تغییر رژیم آبدی رودخانه‌ها، تغییر در میزان

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، مدیریت منابع آب، دانشگاه آزاد واحد کرمان

۲- استادیار گروه مهندسی عمران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

۳- استادیار گروه تولیدات گیاهی دانشکده کشاورزی بردسیر

(*)- نویسنده مسئول: (Email: njalalkamali@gmail.com)

4- Intergovernmental Panel on Climate Change

تغرق در تمامی ماه‌ها برای هر سه دوره مورد بررسی افزایش خواهد یافت (Alizadeh et al., 2010). سبحانی و همکاران (۲۰۱۵)، گودرزی و همکاران (۲۰۱۵)، پژوهش‌هایی برای بررسی دو مدل LARS-WG^۸ و SDSM^۹ در نقاط مختلف دنیا انجام دادند که همگی از مناسب بودن دقت این دو مدل در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در دوره‌های آینده خبر دادند (Goodarzi et al., 2015; Sobhani et al., 2015). سانیخانی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه‌ی ارومیه در دو حوضه آجی چای و مهاباد چای پرداختند. آن‌ها پس از تأثیر صحت مدل LARS-WG به ریز مقیاس‌نمایی آماری داده‌ها پرداختند و با استفاده از سناریوهای A2, B1, A1B کاهش دما و افزایش بارش را در سالیان آتی پیش‌بینی کردند و نهایتاً با استفاده از مدل GEP^{۱۰} به مدل‌سازی رواناب در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۴۳۳، ۱۴۶۸ پرداختند. نتایج نشان‌دهنده‌ی کاهش ۵۰ و ۵۵٫۹ درصدی دبی پیک در ایستگاه‌های آجی چای و مهاباد چای در سال ۱۴۶۸ می‌باشد (Sanikhani et al., 2017). در مطالعه‌ی اکبرزاده و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز صوفی چای پرداختند. بدین منظور داده‌های میانگین ماهانه بارش شش ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی موجود در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که در حوضه صوفی چای در ماه‌هایی که دارای بارش بیش‌تر هستند، عمق دسترسی به آبهای زیرزمینی کاهش یافته و سطح آب بالا آمده است و همچنین روند داده‌های بارش و دمای مراغه، کاهش بارش و افزایش دما در دهه‌های اخیر را نشان می‌دهد و همین امر باعث افزایش تبخیر-تعرق و کاهش بارش‌های برفی شده که خود تأثیر زیادی در کاهش آب زیرزمینی دارد (Akabarzadeh et al., 2013). دشت بردسیر قطب تولید علوفه استان کرمان و بیشترین سطح زیر کشت یونجه را در استان به خود اختصاص داده است. تولید این محصول نقش به‌سزایی در اشتغال و درآمدزایی مردم این منطقه دارد بنابراین هدف از این مطالعه ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تغییرات دما و بارش که منجر به تغییر نیاز آبی گیاه و در نتیجه عملکرد محصول خواهد شد می‌باشد. برای این منظور پس از برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از چند روش پرکاربرد و تعیین بهترین معادله برای منطقه مورد مطالعه، با استفاده از مدل GFDL-ESM2M^{۱۱} تحت سناریوهای RCP جهت شبیه‌سازی بارش و دما از بسته نرم‌افزاری تغییر اقلیم CCT^{۱۲} استفاده شد و روند تغییرات دما و بارش برای دوره-

ماه سپتامبر در تمامی مناطق تحت سناریوهای بررسی شده بین ۱۲۱ تا ۳۳۱ میلی‌متر افزایش و در ماه فوریه به مقدار ۲۷ تا ۷۷ میلی‌متر کاهش می‌یابد (Harmsen et al., 2009).

اویانگ و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از خروجی شش مدل گردش عمومی جو^۱ GCM تحت سه سناریوی RCP^۲ و مدل هیدرولوژیکی^۳ SWAT به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه گوانگجو در چین پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد که به احتمال زیاد در آینده جریان در این حوضه به علت افزایش تبخیر-تعرق کاهش می‌یابد (Ouyang et al., 2015). تان و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی اثرات هیدرولوژیکی تغییرات اقلیمی در حوضه رودخانه جوهور در مالزی با استفاده از گروهی متشکل از شش مدل گردش عمومی و سه سناریوی RCP در دوره‌ی آینده پرداختند. نتایج حاکی از افزایش دما و بارش سالانه و به تبع آن افزایش جریان در حوضه بوده است (Tan et al., 2017). در پژوهشی دیگر کیشیوا و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل‌های SWAT^۴ و WEAP^۵ به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب‌های سطحی در حوضه پانگانی پرداختند. نتایج نشان داد رواناب در دهه‌ی ۲۰۵۰ نسبت به دوره‌ی پایه ۱۰ درصد افزایش می‌یابد و دما حدود ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و همچنین آبیاری در آینده با کمبود شدید مواجه خواهد شد و استفاده از آب مستلزم برنامه‌ریزی در مصرف آب فعلی و آینده است (kishiwa et al., 2018). فراگا و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مصرف آب زراعی در کشور پرتغال با مدل STICS^۶ پرداختند. این مدل کاهش ۶۰ درصدی تولیدات زراعی بدون در نظر گرفتن سناریوهای مدیریتی برای افزایش عملکرد گیاهان را نشان داد (Fraga et al., 2018). سویلای و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی اثرات محتمل گرمایش جهانی بر نیازآبی بخش کشاورزی با استفاده از مدل Reg CM3^۷ در کشور ترکیه پرداختند نتایج آنها نشان داد که درجه‌ی حرارت سالیانه بین ۳٫۴ تا ۴٫۸ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارندگی در طول دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ کاهش خواهد یافت (Sevilay et al., 2008).

از جمله مطالعات انجام‌شده در داخل کشور می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد. علیزاده و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق حوضه آبریز کشف‌رود با ریز مقیاس نمودن خروجی مدل^۷ HadCM3 تحت سناریوی A2 و برای دوره‌ی ۳۰ ساله در آینده پرداختند. نتایج نشان داد که در اثر افزایش دما میزان تبخیر-

8- Hadley Coupled Atmosphere -Ocean General Circulation Model
9- Long -Ashton- Research Station Weather Generator
10- Statistical Downscaling Model Gene Expression Promgramming 7-
11- Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
12- Climate Change Toolkit

1- General Circulation Model
2- Representative Concentration Pathways
3- Soil and water Assessment Tool
4- Water Evaluation And Planning
5- Simulateur Multi disciplinaire pour les Cultures
6- tandard
7- Regional Climate Model

یک مزرعه یونجه تحت نظارت دانشکده‌ی کشاورزی بردسیر به مدت ۷ ماه در سال ۱۳۹۷ برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق روزانه گیاه مرجع از میکرو لایسیمتر، ساخت ایران تولید شرکت دانش بنیان آذر خاک آب ارومیه با حساسیت ۰,۰۸ میلی‌متر استفاده‌شد. پس از کشت یونجه در میکرو لایسیمتر و انجام آبیاری شبانه، در روز بعد و قبل از آبیاری مجدد، میزان زه‌آب جمع‌آوری‌شده و سپس وزن لایسیمتر توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری گردید. بدین ترتیب با کم کردن زه‌آب از عمق آب آبیاری، مقدار رطوبت موجود در خاک اندازه‌گیری شد، درصدی از این رطوبت در طی روز صرف تبخیر-تعرق از گیاه شده و مقدار آن با توجه به اختلاف وزنی که لایسیمتر نشان داد تعیین گردید. سپس تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از ۶ روش پرکاربرد برآورد و در نهایت با بهره‌گیری از نرم‌افزار MATLAB 2014b اقدام به شبیه سازی تبخیر-تعرق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی گردید و با اطلاعات لایسیمتر مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین روش برای منطقه انتخاب شد.

ی آینده نزدیک ۲۰۵۰-۲۰۲۰ پیش‌بینی گردید و تأثیر آن بر نیاز آبی بخش کشاورزی منطقه بدست آمد.

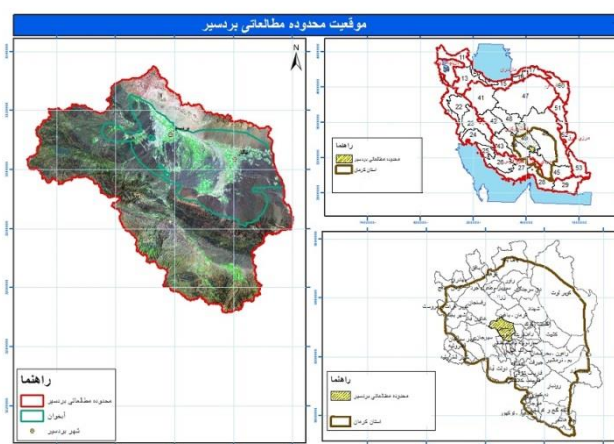
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه شکل ۱ در جنوب شرقی ایران، در محدوده‌ی جغرافیایی بین ۵۶° تا ۵۷° طول شرقی و ۲۹° تا ۳۰° عرض شمالی استان کرمان واقع شده و زیر حوضه‌ای از حوضه‌ی کویر در انجیر می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه‌ی دشت بردسیر حدود ۹۰ میلیمتر و متوسط درجه حرارت سالانه‌ی ۱۵ درجه سلسیوس و ارتفاع از سطح دریا ۲۰۹۸ متر می‌باشد. رطوبت نسبی ماهانه بین ۳۰ تا ۵۰ درصد متغیر است. تبخیر سالانه حدود دو متر و دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد.

جمع‌آوری اطلاعات

برای مطالعه‌ی حاضر و به منظور جمع‌آوری داده‌های میدانی از



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت بردسیر

بینانه، حد وسط و بد بینانه) انجام گرفت. پس از انجام ریز مقیاس‌نمایی با استفاده از شاخص آماری ضریب تعیین R^2 از درست بودن داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل اطمینان حاصل شد و با استفاده از مدل پیش‌بینی دما و بارش در دوره‌ی آینده نزدیک انجام شد.

داده‌های مورد استفاده

در پژوهش حاضر از داده‌های بارش، دمای بیشینه و کمینه، دو ایستگاه باران سنجی و تبخیر سنجی سنگ صیاد و جعفر آباد در دشت بردسیر استفاده شد. دوره‌ی پایه با توجه به آمار موجود از (۲۰۱۶-۱۹۸۷) به مدت ۳۰ سال در نظر گرفته شد. همچنین شبیه‌سازی برای دوره آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۰) تحت سه سناریوی RCP (خوش



شکل ۲- میکرو لایسیمتر مورد استفاده در مزرعه تحقیقاتی بردسیر (عکس توسط محققین تهیه شده است)

برحسب درجه سلسیوس و R_a تابش فرازمینی (بر حسب عمق آب تبخیر شده، میلی‌متر در روز)، ET_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع بر حسب میلی‌متر در روز می‌باشد.

روش آیرماک

آیرماک و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از روش رگرسیون گیری چند جمله‌ای و داده‌های متعلق به فلوریدا به استخراج معادله‌ای جهت برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع پرداختند (Irmak et al., 2003) که فرم آن به صورت معادله (۴) می‌باشد:

$$ET_0 = 0.611 + 0.149R_s + 0.079T \quad (۴)$$

ET_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع روزانه (میلی‌متر در روز)، R_s تابش خورشیدی (مگاژول بر متر مربع در روز)، T متوسط دمای روزانه (درجه سلسیوس) می‌باشد.

روش پریستلی-تیلور

در روش پیشنهادی پریستلی-تیلور (۱۹۷۲) تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از ضریب α به تبخیر-تعرق تعادلی ارتباط داده می‌شود. هنگامی که هوا در تماس با یک سطح مرطوب گسترده باشد، در صورت عدم وجود جریان افقی، ممکن است به حالت اشباع رسیده باشد و قدرت تبخیری هوا از بین برود. در این حالت معادله پنمن حد پایینی برای مقدار تبخیر-تعرق از سطح مرطوب را به دست می‌دهد که تبخیر-تعرق تعادلی نامیده می‌شود (Priestley et al., 1972) و به صورت معادله (۵) محاسبه می‌گردد

$$Ee = \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \frac{R_n}{\lambda} \quad (۵)$$

E_e تبخیر-تعرق تعادلی (میلی‌متر در روز)، R_n تابش خالص (مگاژول بر مترمربع در روز)، λ گرمای ویژه آب (مگاژول بر کیلوگرم)، γ ضریب ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) است. پریستلی و تیلور مفهوم تبخیر-تعرق تعادلی را به عنوان پایه‌ای برای ایجاد معادله‌ای تجربی که تبخیر از یک سطح مرطوب تحت شرایط حداقل ادوکسیون را به دست می‌دهد، استفاده کردند. در این روش تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از ضریب α مستقیماً از تبخیر تعادلی به دست می‌آید که ET_0 تبخیر-تعرق گیاه

معادلات پرکاربرد برای برآورد تبخیر-تعرق

روش بلانی-کریدل

مدل ارائه شده توسط بلانی-کریدل برای تخمین ET_0 در سال ۱۹۵۰ در مناطق غربی ایالات متحده و همچنین در سایر نقاط به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. معادله‌ی (۱) فرم معمول معادله بلانی-کریدل را نشان می‌دهد.

$$ET_0 = a + b[p(0.46T + 8.13)] \quad (۱)$$

که در آن ET_0 تبخیر-تعرق روزانه گیاه مرجع (میلی‌متر در روز)، P درصد کل ساعات آفتابی به کل ساعات آفتابی سال، T دمای هوای روزانه (درجه سلسیوس) a ، b ضرایب اقلیمی می‌باشند.

روش پنمن-مانتیت-فائو ۵۶

در سال ۱۹۹۸ میلادی، سازمان خوار و بار و کشاورزی (فائو) رابطه پنمن-مانتیت-فائو اصلاح شده (Allen et al., 1998) ارائه داد که به صورت رابطه (۲) می‌باشد.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۲)$$

که در آن ET_0 تبخیر-تعرق پتانسیل (میلی‌متر در روز)، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه (مگاژول بر متر مربع بر روز)، G شار گرمایی خاک (مگاژول بر متر مربع بر روز)، T میانگین روزانه دمای هوا (درجه سلسیوس)، U_2 سرعت باد روزانه در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e_a فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)، e_s فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) و γ ضریب ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) می‌باشد.

روش هارگریوز-سامانی

معادله‌ی هارگریوز-سامانی (۱۹۸۵) برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع براساس مقادیر اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر وزنی در دیویس کالیفرنیا ارائه شده است (Hargreaves et al., 1985) و فرم آن به صورت معادله (۳) می‌باشد.

$$ET_0 = 0.0023R_a (T_{mean} + 17.8) \sqrt{(T_{max} - T_{min})} \quad (۳)$$

T_{mean} و T_{min} دمای حداکثر، حداقل و متوسط روزانه

چهار سناریوی مختلف تعریف گردید و خروجی آن داده‌های تبخیر-تعرق اندازه گیری شده توسط لایسیمتر است. مراحل ساخت مدل شامل سه مرحله آموزش، صحت سنجی و تست می‌باشد. در این پژوهش ۷۰ درصد داده‌ها جهت آموزش، ۱۵ درصد برای صحت سنجی و ۱۵ درصد برای آزمون اختصاص یافت. مدل شبکه عصبی مصنوعی با یک لایه میانی، به عنوان بهترین ترکیب لایه‌ها به دست آمد.

شاخص‌های نیکویی برازش

برای ارزیابی روش‌های مختلف و تعیین بهترین روش جهت برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع از تحلیل‌های آماری (نیکویی برازش) و شاخص‌هایی همچون ضریب تعیین R^2 و جذر میانگین مربعات خطا $RMSE$ استفاده گردید. برای محاسبه میزان خطا می‌توان از معادلات زیر استفاده کرد. معادله (۹) متوسط ریشه مجذور خطاها را بیان می‌کند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(ET_O m)_i - (ET_O s)_i]^2} \quad (9)$$

n : تعداد مشاهدات، $ET_O m$: مقدار محاسبه شده تبخیر-تعرق از روش لایسیمتری، $ET_O s$: مقدار تخمینی از شبکه عصبی مصنوعی است. شاخص ضریب تعیین از معادله (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - P_{av})(O_i - O_{av})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - P_{av})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - O_{av})^2} \quad (10)$$

که در آن n تعداد مشاهدات، O_i مقدار ET_O مشاهداتی از لایسیمتر، P_i مقدار ET_O برآورده شده با سناریوهای مورد بررسی در این تحقیق، O_{av} میانگین داده‌های مشاهداتی از لایسیمتر و P_{av} میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده می‌باشد. در این تحقیق به منظور تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع تعداد ۴ سناریوی مختلف به شبکه عصبی مصنوعی معرفی گردید. این سناریوها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- سناریوهای مختلف تبخیر-تعرق معرفی شده به شبکه عصبی مصنوعی

سناریو	متغیرهای ورودی
S1	دمای میانگین روزانه
S2	دمای میانگین روزانه، رطوبت نسبی
S3	دمای میانگین روزانه، رطوبت نسبی، سرعت باد
S4	دمای میانگین روزانه، رطوبت نسبی، سرعت باد، حداکثر دما، حداقل دما

برای تحلیل وقایع حدی مانند خشک‌سالی و سیل نیز استفاده می‌شود. این بسته نرم‌افزاری به پنج پایگاه داده جهانی از $ISI-MIP^1$ متصل

مرجع (میلی‌متر در روز)، E_e تبخیر-تعرق تعادلی (میلی‌متر در روز)، α ضریب تجربی است که پریستلی و تیلور مقادیر آن را بین ۱/۰۸ و ۱/۳۴ با مقدار متوسط ۱/۲۵ به دست آوردند. در این تحقیق مقدار متوسط ۱/۲۴ برای α استفاده شده است.

$$ET_O = \alpha E_e \quad (6)$$

روش تورک

تورک (۱۹۶۱) تحت شرایط اقلیمی اروپای غربی معادلات زیر را برای تبخیر-تعرق گیاه مرجع ارائه کرد (Turc, 1961)

رطوبت نسبی بیشتر از ۵۰ درصد

$$ET_O = 0.31 \frac{T}{T-15} (R_s + 2.09) \quad (7)$$

رطوبت نسبی کمتر از ۵۰ درصد

$$ET_O = 0.31 \frac{T}{T+15} (R_s + 2.09) (1 + \frac{50 - RH}{70}) \quad (8)$$

ET_O تبخیر-تعرق گیاه مرجع روزانه (میلی‌متر در روز)، R_s تابش خورشیدی (مگاژول بر متر مربع در روز)، T دمای هوای روزانه (درجه سلسیوس) و RH رطوبت نسبی متوسط روزانه (درصد) می‌باشد.

روش شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی یک سامانه پردازش داده‌ها است که از مغز انسان ایده گرفته و پردازش داده‌ها را به عهده پردازنده‌های کوچکی به نام نرون سپرده که به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته و موازی با یکدیگر رفتار می‌کنند تا یک مسئله را حل نمایند. شبکه عصبی مصنوعی از سه لایه به نام لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی تشکیل شده است که در هر لایه یک یا چند عنصر پردازشگر وجود دارد که با تمام نرون‌های لایه بعدی مرتبط می‌باشند (منهاج، ۱۳۸۱). جهت کار با شبکه‌های عصبی مصنوعی، نرم‌افزارهای متعددی وجود دارد، برای این پژوهش از نرم‌افزار MATLAB 2014b استفاده شد. داده‌های ورودی مدل شامل دمای بیشینه، دمای کمینه، رطوبت نسبی و سرعت باد می‌باشد که ترکیب آنها به صورت

معرفی بسته نرم‌افزاری تغییر اقلیم CCT

بسته نرم‌افزاری تغییر اقلیم CCT ابزاری است که می‌توان برای استخراج، درون‌یابی و تصحیح انحرافات داده‌های به دست آمده از مدل‌های اقلیمی جهانی استفاده کرد. همچنین از این بسته نرم‌افزاری

1- Inter- Sectoral Impact Model Inter-Comparison Project

ایستگاه‌های مشاهداتی را به صورت دستی وارد پایگاه داده (PositionDB) نماید.

۲. مدیریت داده‌های اقلیمی جهانی^۵ (GCDM): این قسمت از دو بخش ۱. محاسبات ماهانه یا میانگین سالانه ۲. محاسبات درازمدت، تشکیل شده است.

۳. تصحیح انحرافات با استفاده از ریزمقیاس نمایی^۶ (BCSD): این عملگر برای کوچک‌مقیاس کردن و تصحیح انحرافات داده‌ها در هر منطقه دلخواه استفاده می‌شود. در این بخش انحرافات داده‌های آتی (GCM-future data) با استفاده از داده‌های جهانی قبل (Historic-CRU) یا داده‌های مشاهداتی که توسط کاربر به مدل وارد شده‌اند، اصلاح می‌شود. همچنین انحرافات خود از داده‌ها داده‌های جهانی قبل (Historic-CRU) نیز می‌تواند با استفاده از داده‌های مشاهداتی که توسط خود کاربر به مدل وارد شده‌اند، اصلاح شود (Vaghefi et al., 2017).

۴. درون‌یابی داده‌های اقلیمی^۷ (SIDC): با این عملگر می‌توان داده‌ها با شبکه‌بندی ۰/۵ درجه جغرافیای (یا هر شبکه‌بندی دیگر) را به شبکه‌بندی ۰/۲۵ یا ۰/۱۲۵ درجه، با استفاده از درون‌یابی به روش معکوس وزنی فاصله^۸ تبدیل کرد.

۵. تحلیل روزانه و پیوسته وقایع حدی یا بحرانی^۹ (CCDA): در این عملگر کاربر شرایط بحرانی بارش، دما و رطوبت خاک را برای شناسایی فراوانی وقوع هم‌زمان این شرایط در یک دوره زمانی مشخص و تعیین می‌کند. همچنین این عملگر برای شناسایی وقایع حدی هیدرولوژیک از تعداد روزهای خشک و تر استفاده می‌کند. و همچنین نیز با استفاده از شرایط سیل‌خیزی دوره‌های گذشته به عنوان حد بحرانی، این عملگر می‌تواند از این شرایط برای شناسایی فراوانی و تکرار سیل‌خیزی برای آینده استفاده کند.

نتایج و بحث

جدول‌های (۳) و (۴) شاخص‌های آماری مربوط به برآزش روش‌های پرکاربرد تبخیر-تعرق و شبکه عصبی مصنوعی نسبت به داده‌های لایسیمیتری را نشان می‌دهند با برآورد شش روش استاندارد و پرکاربرد و به منظور مقایسه آنها برای تعیین بهترین روش که با منطقه مورد مطالعه تطابق بیشتری داشته باشد. از شاخص‌های آماری R^2 و RMSE استفاده گردید و همچنین با بررسی سناریوهای مختلف

است. و از چهار سناریو RCP نیز استفاده می‌شود. در جدول ۲ اسامی پایگاه داده‌های جهانی و سناریوهای انتشار در مدل CCT آورده شده است و از تارنمای www.2w2e.com قابل دریافت می‌باشد. در تحقیقات اخیر استفاده از چند مدل GCM برای کاهش عدم قطعیت راهی مرسوم بوده است (Ashraf Vaghefi et al., 2017). لوپس و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی نشان دادند که استفاده از چند مدل GCM برای کاهش عدم قطعیت راهکار مناسبی نیست. آن‌ها از ۳۸ مدل GCM استفاده کردند و در نهایت گزارش دادند که مقدار میانگین و انحراف معیار این مدل‌ها بعد از حذف مدل‌های نامناسب با روش (Ensemble) تغییر محسوسی در نتایج ایجاد نکرده است (Leiss et al., 2018). در این پژوهش از مدل GFDL-ESM2M و تحت سه سناریو با عنوان سناریوی‌های خوش‌بینانه (RCP2.6)، حدواسط (RCP6) و بدبینانه (RCP8.5) جهت پیش‌بینی بارش و دماهای بیشینه و کمینه استفاده گردید. علت انتخاب مدل GFDL-ESM2M این است که این مدل به تازگی برای درک بهتر چرخه بیوشیمیایی زمین شامل اقدامات انسانی و اندک‌ش آن با سیستم اقلیمی توسط^۲ (NOAA) و (GGDL) توسعه یافته است. همچنین در این مدل از مدل زمین^۳ (LM 3.0) که شامل هیدرولوژی، فیزیک و اجزای بوم‌شناسی زمینی می‌باشد، استفاده شده است. جزء پویایی/ فیزیکی اقیانوس در سری قبلی این مدل با مدل جدید ESM2M جایگزین شده است (Dunne et al., 2012). با توجه به خروجی استخراج شده از مدل نتیجه سناریوی حدواسط RCP6 به عنوان نمونه در نتایج آورده شد. همچنین علت انتخاب سناریو RCP6 این است که با توجه به بررسی روند تغییرات اقلیمی در ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان بردسیر، این تغییرات همخوانی بیشتری با سناریوی RCP6 دارند. بررسی روند تغییرات از طریق محاسبه شیب سنس و آزمون منکندال صورت گرفت.

پنج عملگر بسته نرم‌افزاری تغییر اقلیم CCT

این بسته نرم‌افزاری شامل ۵ مرحله آنالیز می‌باشد که عبارت‌اند از ۱. استخراج داده ۲. مدیریت داده‌های اقلیمی جهانی ۳. تصحیح انحرافات با استفاده از ریزمقیاس نمایی ۴. درون‌یابی داده‌های اقلیمی ۵. تحلیل روزانه و پیوسته وقایع حدی یا بحرانی. در ادامه به توضیح این مراحل پرداخته شده است.

۱. استخراج داده: این عملگر برای استخراج مجموعه مختصات فایل‌های دانلود شده از داده‌های جهانی می‌باشد که در بالا به آن‌ها اشاره شد. در این مرحله همچنین کاربر می‌تواند مختصات

5- Global Climate Data Management

6- Bias Correction using Statistical Downscaling

7- Spatial Interpolation of Climate Data

8- IDW (Inverse Distance Weight)

9- Critical Consecutive Day Analyzer

1- Geophysical Fluid Dynamics Laboratory

2- National Oceanic and Atmospheric Administration

3- Land Model

4- Data Extraction

برای شبکه‌ی *MLP* به‌منظور انتخاب بهترین سناریو و مقایسه آنها، از شاخص‌های آماری ذکر شده استفاده شد. با توجه به جدول ۳ روش بلانی-کریدل دارای بیشترین ضریب تعیین (۰/۸۸۴) و کمترین متوسط ریشه مجذور خطا (۰/۱۱) در بین شش روش بوده و نتایج بهتر و دقیق‌تری نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌دهد. نهایتاً در بین این روش‌ها بهترین معادله برای منطقه می‌باشد.

جدول ۲- اسامی پایگاه داده‌های جهانی و سناریوهای انتشار در مدل CCT

نام پایگاه داده در CCT	مدل ISI-MIP	نام سناریوها در CCT	نام سناریوها در ISI-MIP
GCM1	GFDL-ESM2M	scenario1	RCP 2.6
GCM2	HadGEM2-ES	scenario2	RCP 4.5
GCM3	IPSL-CM5A-LR	scenario3	RCP 6
GCM4	MIROC	scenario4	RCP 8.5
GCM5	NoerESM1-M		

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های آماری برای روش‌های کلاسیک

ردیف	نام روش	RMSE	R ²
۱	بلانی-کریدل	۰/۱۱۰	۰/۸۸۴
۲	ایرماک	۰/۵۰۴	۰/۶۴۹
۳	تورک	۰/۵۳۰	۰/۶۰۳
۴	پریستلی-تیلور	۰/۴۰۶	۰/۵۴۹
۵	فائو پن من مانیتث	۰/۲۵۹	۰/۴۹۲
۶	هارگریوز سامانی	۰/۳۹۸	۰/۳۸۹

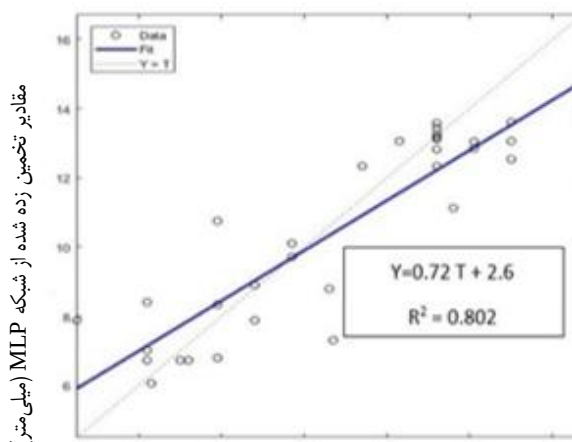
جدول ۴- مقادیر شاخص‌های آماری برای شبکه MLP

	آموزش		صحت‌سنجی		آزمون	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
سناریو S1	۰/۷۰۷	۱/۷۳۸	۰/۷۰۲	۱/۸۱۴	۰/۸۰۲	۱/۵۱۶
سناریو S2	۰/۷۱۲	۱/۷۱۶	۰/۷۰۴	۲/۰۷۴	۰/۷۷۵	۱/۴۱۵
سناریو S3	۰/۷۶۹	۱/۴۶۷	۰/۵۹۵	۲/۰۲۱	۰/۷۹۰	۱/۶۹۴
سناریو S4	۰/۷۷۰	۱/۵۳۵	۰/۸۶۴	۱/۳۶۳	۰/۵۴۱	۲/۲۱۵

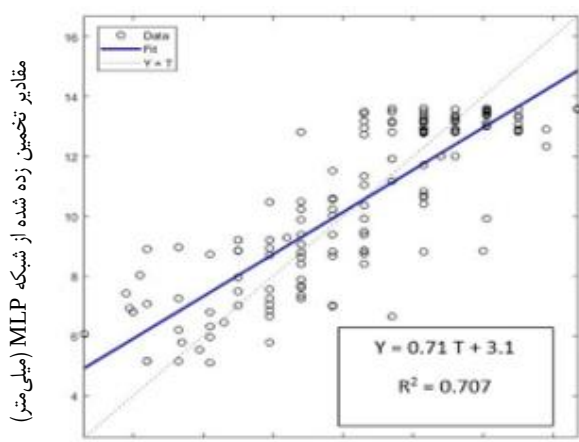
نتایج در دوره‌ی پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۶) و دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۰) تحت سه سناریو (خوش‌بینانه *RCP2.6*، حدوسط *RCP6*، بدبینانه *RCP8.5*) مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج سه سناریوی ذکر شده برای دما و سناریوی حد واسط برای بارش به دلیل عدم تغییر نه‌چندان زیاد در اشکال زیر آمده است. همانگونه که در شکل ۴ مشخص است نمودار دما برای دوره‌های آتی و تحت هر سه سناریو نسبت به دوره پایه به سمت بالاتر منتقل شده‌اند که نشان دهنده افزایش دما برای دوره آینده نزدیک می‌باشد. این نتایج نشان دادند که میانگین دما در تمامی سناریو افزایش یافته است. این مقدار افزایش برای سناریوی خوش بینانه ۲/۵ سناریوی حد واسط ۲/۸ و سناریوی بدبینانه ۳/۱ درجه سلسیوس می‌باشد. ولی مطابق شکل ۵ بارش تغییر چندانی نداشته است. لذا انتظار می‌رود این موضوع به ترتیب برای سناریوهای مختلف باعث افزایش تبخیر-تعرق به مقدار ۳/۶۴، ۴/۶۹ و ۵/۲۵ میلی‌متر در سال در دهه ۲۰۵۰ گردد.

از طرفی با توجه به جدول ۴ در شبکه *MLP* سناریوهای *S1* دارای کمترین مقدار متوسط ریشه مجذور خطاها (۱/۵۱۶) و بیشترین ضریب تعیین (۰/۸۰۲) می‌باشد. بررسی این سناریوها حاکی از کاهش دقت مدل با لحاظ نمودن پارامترهای دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و حداکثر و حداقل دما در مدل *MLP* است. با توجه به جداول مشاهده می‌گردد که برای مدل *MLP* سناریو *S1* از دقت بالاتری نسبت به سایر سناریوها برخوردار است. نمودار سناریوی *S1* در شکل زیر آمده است. از طرفی با مقایسه R^2 و *RMSE* بین دو روش بلانی-کریدل و روش شبکه عصبی مصنوعی، معادله بلانی-کریدل مناسب‌تر ارزیابی می‌گردد. لذا توصیه می‌شود از روش بلانی-کریدل برای برآورد تبخیر-تعرق منطقه استفاده شود. با توجه به نتایج ذکرشده در خصوص تأثیر پارامتر دما بر تبخیر-تعرق با استفاده از بسته نرم افزاری تغییر اقلیم *CCT* نسبت به بررسی روند تغییرات بارش و دمای کمینه و بیشینه در آینده پرداخته شد.

نمودار سناریوی S1 برای داده‌های تست



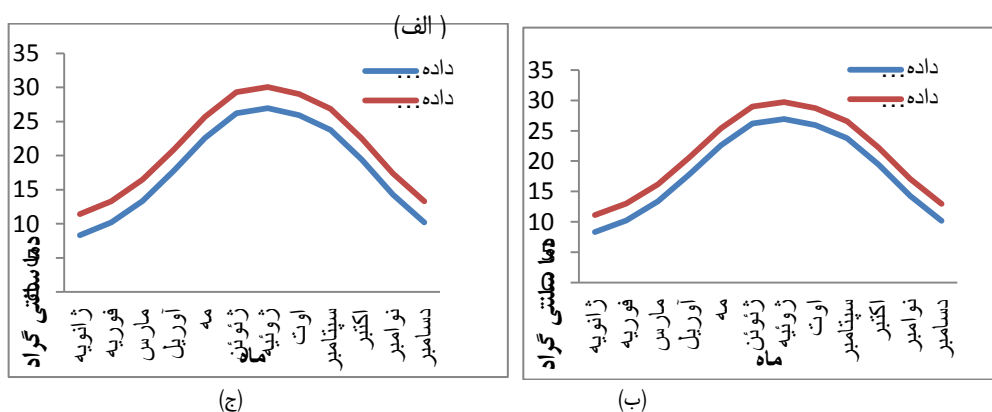
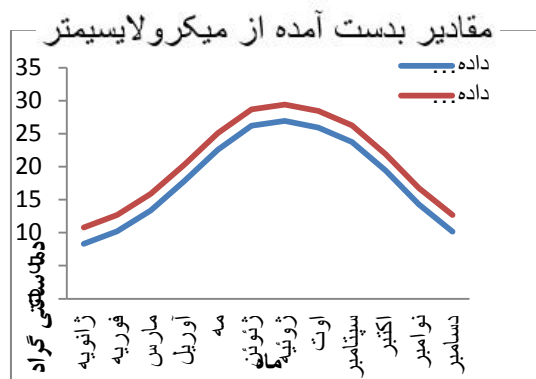
نمودار سناریوی S1 برای داده‌های آزمون



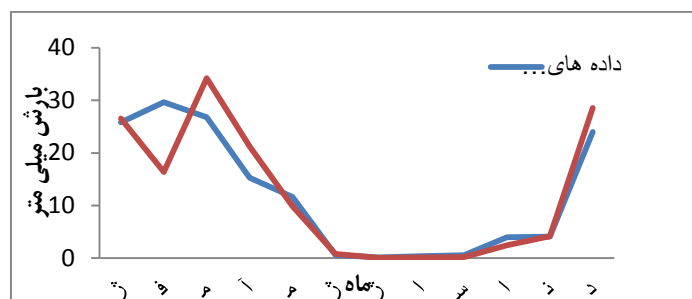
تبخیر- تعرق مرجع اندازه‌گیری شده (میلی متر)

تبخیر- تعرق مرجع اندازه‌گیری شده (میلی متر)

شکل ۳- نمودارهای خروجی از شبکه عصبی مصنوعی MLP



شکل ۴- نمودارهای خروجی از مدل تغییر اقلیم، برای دما در دوره پایه و شبیه سازی شده، تحت سناریو RCP در سه حالت (الف) خوش بینانه (ب) حد واسط (ج) بدبینانه



شکل ۵- نمودارهای خروجی از مدل تغییر اقلیم، برای بارش در دوره پایه و شبیه سازی شده، تحت سناریوی حد واسط RCP

نتیجه گیری

بیشترین آب شیرین در کشور ما در بخش کشاورزی مصرف می‌شود از آنجائی که امنیت غذایی کشور به بخش کشاورزی وابسته است. بنابراین اثر تغییرات اقلیمی در میزان آب مصرفی کشاورزی بسیار مهم می‌باشد. در این پژوهش تبخیر-تعرق گیاه مرجع بصورت روزانه در دشت بردسیر با استفاده از میکرو لایسمتر از فروردین لغایت آخر مهرماه ۱۳۹۷ به مدت ۷ ماه در مزرعه یونجه اندازه‌گیری شد. سپس تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از ۶ روش پرکاربرد برآورد و نهایتاً با بهره‌گیری از نرم‌افزار *MATLAB 2014b* اقدام به شبیه سازی تبخیر-تعرق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی گردید و با اطلاعات لایسمتر مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین روش برای منطقه تعیین شد. در بین این معادلات، بهترین روش بلانی کریدل دارای بیشترین ضریب تعیین ($R^2=0/884$) و کمترین متوسط ریشه مجذور خط ($RMSE=0/11$) انتخاب شد. سپس با استفاده از مدل *MLP* شبکه عصبی مصنوعی، اعداد اندازه‌گیری شده مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور سناریوهای $S1$ ، $S2$ ، $S3$ ، $S4$ و با پارامترهای ورودی متفاوت به شبکه معرفی و مقدار تبخیر-تعرق روزانه تخمین زده شد. نتایج نشان داد که با استفاده از پارامتر دمای میانگین روزانه (سناریو $S1$) می‌توان با دقت قابل قبولی تبخیر-تعرق روزانه را برآورد کرد. میزان خطا ($RMSE$) در این سناریو برای شبکه *MLP* برابر $0/516$ و ضریب تعیین ($R^2=0/802$) به دست آمد که نسبت به سایر سناریوهای شبکه عصبی بهترین گزینه می‌باشد. از بین روش‌های استاندارد و پرکاربرد و شبکه عصبی مصنوعی روش بلانی کریدل به عنوان مرجع انتخاب گردید. در نهایت با استفاده از مدل نرم‌افزاری تغییر اقلیم *CCT* تحت سه سناریو به بررسی پیش‌بینی تغییرات دما و بارش برای آینده‌ی نزدیک پرداخته‌شد، نتایج نشان داد میانگین دما در دهه ۲۰۵۰، برای سه سناریو (خوش بینانه، حد واسط و بد بینانه) به ترتیب $2/5$ ، $2/8$ ، $3/1$ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد و برای بارش تقریباً بدون تغییر خواهد ماند. در نتیجه افزایش دما نامطلوب‌ترین اثر تغییر اقلیم را که افزایش تبخیر-تعرق است را

به‌همراه خواهد داشت. لذا انتظار می‌رود که نیاز آبی در بخش کشاورزی در دهه ۲۰۵۰ در دشت بردسیر برای سه سناریو به ترتیب $3/64$ ، $4/69$ ، $5/25$ میلی‌متر در سال افزایش یابد.

منابع

- شهواری، ن.، خلیلیان، ص.، موسوی، س.، و مرتضوی، س. ۱۳۹۸. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع حوضه دشت ورامین با استفاده از مدل SWAT. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۲، جلد ۱۳، خرداد-تیر ۱۳۹۸، ص ۳۶۶-۳۵۴.
- منه‌اج، م.ب. ۱۳۸۱. مبانی شبکه‌های عصبی و هوش محاسباتی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، جلد اول ص ۷۱۶.
- Akbarzadeh, Y., Eslahi, M., Sadegh. Sh, and Babai, M. 2013. Investigating the effects of climate Change on groundwater resources (Case Study: Soofi Chay Basin). Second Regional Conference on Climate Change and Earth warming. [In Persian].
- Alizadeh, A., Sayari, N., HesamiKermani, M.R., Bannayan, M., and Farid Hossaini, A. 2010. Assessment of climate change potential impacts on agricultural water use and water resources of Kashaf rood basin. Journal of Water Soil. 24. 4: 815-835. [In Persian]
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raesand, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration (Guidelines for computing crop water requirements). FAO irrigation and drainage Paper No.56. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 300p.
- Ashraf Vaghefi, S., Abbaspour, N., Kamali, B. and Abbaspour, K.C. 2017. A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions-case study: California-baja California peninsula. Environmental Modeling & Software. 96: 181-198.
- Ashraf Vaghafi, S., Mousavi, S.J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, R, and Yang, H. 2014. Analyses of the impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh River Basin in Iran. Hydrological

- Kishiwa, P., Nobert, J., Kongo, V. and Ndomba, P. 2018. Assessment of impacts of climate change on surface water availability using coupled SWAT and WEAP models: case of upper Pangani River Basin, Tanzania. *Proceedings of the International Association of Hydrological Science*. 378:23-27.
- Leiss, S., Snyder, P.K., Kumar, A., and Kumar, V. 2018. A cautionary note on decadal sea level pressure predictions from GCMs. *Advances in Climate Change Research*. 9.1: 43-56.
- Ouyang, F., Zhu, Y., Fu, G., Lu, H., Zhang, A., Yu, Z. and Chen, X. 2015. Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on stream flow in the Huangnizhuang catchment. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 29.7: 1781-1795.
- Priestley, C.H.B. and Taylor, R.J. 1972. On the assessment of surface heat and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*. 100: 81-92.
- Tan, M.L., Ibrahim, A.L., Yusop, Z., Chua, V.P. and Chan, N.W. 2017. Climate change impact under CMIP5 RCP scenario on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia. *Atmospheric Research*. 189: 1-10.
- Turc, L. 1961. Estimation of irrigation water requirement, potential evapotranspiration: simple climatic formula evolved up to date. *Annals of Agronomy*. 12:13-49.
- Sanikhani, H., Kisi, O., and Amirataee, B. 2017. Impact of climate change on runoff in Lake Urmia basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 35.13:101-112.
- Sevilay, T., Burak, S., Filippo, G., Xunqiang, BI. Galip, K. Tayfun, D. 2008. Impact of climate change on agricultural water use in the Mediterranean region. 13th IWRA World Water Congress.
- Sobhani, B., Eslahi, M. and Babaeian, I. 2015. Performance of statistical downscaling models of SDSM and LARSWG in the simulation of meteorological parameters in the basin of Lake Urmia. *Physical Geography Research Quarterly*. 47.4:499-516.
- processes. 28.4:2018-2032.
- Dunne, J.P., John, J.G., Adcroft, A.J, Griffies, S.M., Hallberg, R. W., Shevliakova, E. and Zadeh, N. 2012. GFDLs ESM2 global coupled climate-carbon earth system models. Part I: physical Formulation and Baseline Simulation Characteristics. *Journal of Climate*. 25: 6646-6665.
- Fraga. G., Ataurib J.A. 2018. Viticultural irrigation demands under climate change scenarios in Portugal. *Agricultural Water Management*. 196.31: 66-74.
- Goodarzi, E., Dastorani, M.T., Massah Bavani, A. and Talebi, A. 2015. Evaluation of the change-factor and LARSWG methods of downscaling for simulation of climatic variables in the future (Case study: Herat Azam Watershed, Yazd-Iran), *ECOPERSIA*. 3.1: 833-846.
- Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A. 1985. Reference Crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering Agricultural*. 1.2:96-99.
- Harmesen, E., Miller, N.L., Schlegel, N.J. and Gonzalez, J.E. 2009. Seasonal climate change impacts evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. *Agricultural Water Management*. 96: 1085-1095.
- IPCC. Climate Change. Summary for Policy makers, Manning, Z., Chen, M., Marquis, K.B, Averyt, M., Tignor, H.L. 2007. The physical science basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change Cambridge university press. Cambridge.1-18.
- IPCC. Technical Summary. In: Climate change: Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses, eds. Watson, R.T., Zinyowera, M.C. and Moss, R.H. 2001. Contribution of working group to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge university press, Cambridge. 1-53.
- Irmak, S., Irmak, A., Allen, R.G. and Jones, J.W. 2003. Solar and net radiation based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 129: 336-347.

Evaluation of Climate Change Effect on Estimation of Reference Evapotranspiration and Comparison with Lysimetric Data (Case study: Bardsir plain)

M. Rajabi¹, N. Jalalkamali^{*2}, M. Naghizadeh³
Recived: Oct.20, 2019 Accepted: Jan.09, 2020

Abstract

Climate change has relatively great effects on water demand of plants by changing temperature and precipitation pattern. This investigation aims was to predict temperature and precipitation in the new future and to evaluate their effects on evapo-transpiration and water demand of alfalfa plant in Bardsir region in Kerman province. The best equation for estimating real evaporation-transpiration in the region was derived by using measured data obtained by a lysimetric device in during 7 months. For this purpose, 6 common equations were studied in addition to artificial neural network techniques under different scenarios. The best equation among the presented ones was Blaney-Criddle with $R^2 = 0.884$, $RMSE = 0.11$ and the best artificial neural network scenario was mean daily temperature scenario with $R^2 = 0.802$, $RMSE = 1.516$. Therefore, the Blaney-Criddle equation was selected as a reference for prediction. Then, the GFDL-ESM2M model was used to simulate precipitation and temperature for the near future 2020-2050. Observed Temperature and precipitation data. Which were obtained from a weather station in the region, were used for the reference period of 1987-2016. Temperature and precipitation changes trends were by extracted three scenarios; under optimistic RCP2.6, medium RCP6 and pessimistic RCP8.5 scenarios, during 2020-2050. The results showed that the mean temperature for mentioned three scenarios increased by 2.5, 2.8 and 3.1 Celsius degree in the 2050 respectively, and precipitation remained virtually unchanged. In this regard, it is expected that agricultural water demand will increase 3.64, 4.69 and 5.25 mm per year, respectively compared with the reference period.

Key words: Climate change Scenarios RCP, Artificial Neural Network, Reference water demand

1- Ph.D. Candidate Faculty of Civil Engineering, Water Resources Management, Islamic Azad University, Kerman Branch

2- Assistant Professor, Water Science Engineering Department, Islamic Azad University, Kerman Branch

3- Assistant Professor, Plant Production Department, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman

(* - Corresponding Author Email: njalalkamali@gmail.com)