

و زهکشی، برآورد نیاز آبی گیاهان، زمان بندی آبیاری و مطالعات زیست محیطی و طرح های آبخیزداری استفاده نمود.

**کلید واژه ها:** تبخیر و تعرق، تغییر اقلیم، ریزگردانی، دریاچه ارومیه

## برآورد میزان تبخیر و تعرق در ارتباط با تغییرات اقلیمی در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه

مسعود گودرزی<sup>۱</sup>، برومند صلاحی<sup>۲</sup>، سید اسعد حسینی<sup>۳</sup>  
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۲

### مقدمه

تبخیر و تعرق یکی از مؤلفه های اصلی بیلان آبی هر منطقه و همچنین یکی از عوامل کلیدی برای برنامه ریزی درست و مناسب آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی در هر منطقه می باشد [۹]. از طرف دیگر تبخیر و تعرق نقش قابل ملاحظه ای در اقلیم جهانی از طریق چرخه هیدرولوژی ایفا کرده و تخمین آن کاربردهای مهمی در پیش بینی رواناب، پیش بینی عملکرد محصول و طراحی کاربری اراضی، طراحی کانال های آبیاری و تقسیم آب داشته و همچنین بر روی بلایای طبیعی نظیر خشک سالی مؤثر است [۱۸]. عوامل اصلی که بر تبخیر و تعرق مؤثرند، به پارامترهای اقلیمی مانند دما، بارش، رطوبت، تابش خورشیدی و غیره بستگی دارد. لذا هر تغییری در پارامترهای اقلیمی بر میزان تبخیر و تعرق و آب مورد نیاز گیاه تأثیر خواهد گذاشت [۱۴]. مدل های مختلفی برای برآورد تبخیر و تعرق ارائه شده که تفاوت عمده آن ها در تعداد پارامترهای هواشناسی مورد نیاز می باشد و لازم است در هر منطقه با توجه به داده های هواشناسی بهترین روش غیرمستقیم جهت برآورد تبخیر و تعرق انتخاب گردد [۲۰]. دین پژوه [۶] مقدار تبخیر و تعرق در ایران را با استفاده از سه روش هارگریوز سامانی، لینیاکر و تورنت وایت اصلاح شده مورد مطالعه قرار داد و برای غرب و شمال غرب کشور روش هارگریوز سامانی را پیشنهاد کرد. ساوانو و همکاران [۲۴] با استفاده از روش پریستلی تیلور به تخمین تبخیر و تعرق در حوزه آبریز رودخانه مکنونگ در ژاپن پرداخت. نتایج حاصل نشان داد که روش پریستلی تیلور توانایی برآورد تبخیر و تعرق در وسعت های زیاد با ارتفاعات مختلف از پوشش جنگلی را دارد. لیانگ و همکاران [۱۷] نشان دادند که پارامترهای اقلیمی نظیر میانگین و حداکثر دمای هوا، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی از مهم ترین متغیرهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق بوده و با داشتن این متغیرها، تبخیر و تعرق برای دوره های آینده قابل محاسبه و پیش بینی خواهد بود. گودرزی و همکاران [۸] به بررسی تغییرات آب و هوایی با استفاده از روش ریزمقیاس گردانی آماری SDSM

### چکیده:

تبخیر و تعرق بعد از بارش اصلی ترین جزء چرخه هیدرولوژی است که مقدار هدر رفت آب را به صورت کمی بیان می کند. از آنجا که میزان تبخیر و تعرق مستقیماً با متغیرهای اقلیمی در ارتباط است و انتظار می رود با تغییر در پارامترهای اقلیمی به ویژه دمای هوا میزان آن نیز تغییر پیدا کند. لذا در این پژوهش اثرات احتمالی تغییرات اقلیمی بر تغییرات تبخیر و تعرق در حوزه آبریز دریاچه ارومیه به عنوان مرطوب ترین حوزه آبریز داخلی کشور که در چند دهه اخیر با خشک سالی و کاهش سطح آب دریاچه روبه رو بوده است تحت سناریوهای B1، A2، A1B، B2 با استفاده از مدل های ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG و SDSM و خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 در سه دوره زمانی آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از پارامترهای اقلیمی پیش بینی شده، میزان تبخیر و تعرق در سطح حوزه به صورت ماهانه و فصلی با استفاده از روش هارگریوز سامانی و همچنین پریستلی تیلور برای دوره های مختلف محاسبه گردید. نتایج حاصل نشان داد که به طور متوسط بلندمدت دمای حداکثر در سطح حوزه بین ۰/۲ تا ۳/۴ و دمای حداکثر بین ۰/۹ تا ۲/۹ در دوره های آتی نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) افزایش خواهد یافت؛ و میزان تبخیر و تعرق محاسبه شده در تمامی ماه ها و تمامی فصول و در دوره های آتی تحت تأثیر دما افزایش خواهد یافت؛ که این افزایش به صورت متوسط بلندمدت در سطح حوزه بین ۴/۲ تا ۱۵ درصد خواهد بود. از نتایج حاصل از این پژوهش می توان در مدیریت منابع آب های سطحی و زیرزمینی، طرح های آبیاری

۱- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ایران

۲- استاد اقلیم شناسی دانشگاه محقق اردبیلی

۳- نویسنده مسئول و دکتری اقلیم شناسی دانشگاه محقق اردبیلی پست الکترونیک: Hosseini.asad8@gmail.com

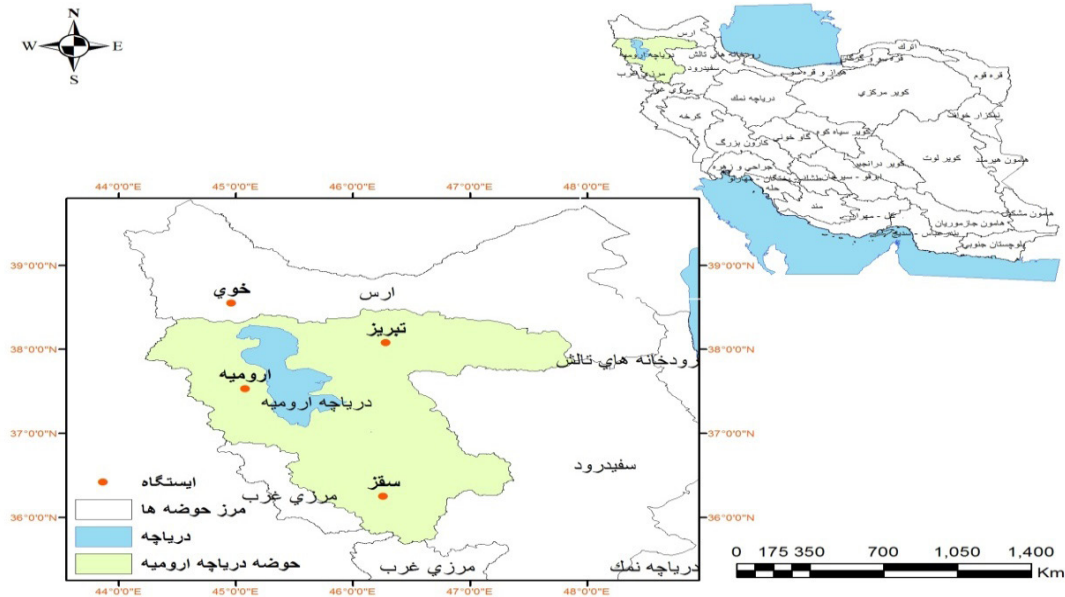
تحت دو سناریوی A2 و B2 در کرمانشاه پرداختند. مقایسه بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی نشان داد که ابزار SDSM قادر به نشان دادن بهتر شبیه‌سازی حداقل و حداکثر درجه حرارت است. جوو و همکاران [۱۰] به تأثیرات تغییرات اقلیمی بر اکوهیدرولوژی حوضه رودخانه جیوشو در کشور چین با استفاده از مدل HadCM3 و ریزمقیاس گردانی SDSM تحت دو سناریوی A2 و B2 در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه و تبخیر و تعرق پیش‌بینی‌شده در ۹۰ سال آینده دارای روند افزایشی است. کوچک‌زاده و نیک‌بخت [۱۵] به مقایسه تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از روش‌های هارگریوز سامانی، ماکینگ، تورک و پایاداکیس برای اقلیم‌های مختلف ایران بر اساس اقلیم‌نمای کوپن و مقایسه آن‌ها با روش استاندارد فائو پرداختند. نتایج آنان نشان داد که روش هارگریوز سامانی در اقلیم‌های خشک بیابانی، نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای و هم‌چنین در مقیاس ماهانه مناسب‌تر است. سیفی و همکاران [۲۵] به پیش‌بینی تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه سینوپتیک کرمان با استفاده از مدل ترکیبی رگرسیون چندگانه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی پرداختند و نشان دادند که متغیرهای شدت تابش، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، دمای حداقل و دمای حداکثر برای برآورد تبخیر و تعرق از اهمیت بیشتری نسبت به سایر متغیرها برخوردار است. علیزاده و همکاران [۲] به بررسی پتانسیل اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع و مصارف آب کشاورزی در حوضه آبریز کشف رود با استفاده از روش تبخیر و تعرق هارگریوز در سه دوره آتی تحت سناریوی A2 مدل HadCM3 و روش ریزمقیاس گردانی آماری ASD پرداختند نتایج حاکی از افزایش تبخیر و تعرق تحت تأثیر دما در تمامی ماه‌ها و تمامی دوره‌ها است. پوریزدان‌خواه و همکاران [۲۰] به تعیین روش‌های مناسب جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع در منطقه رشت در بین ۱۶ معادله تجربی پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که به ترتیب روش‌های هارگریوز، پرستلی‌تیلور و پنمن مناسب‌ترین روش‌ها می‌باشند. حسینی و ابراهیمی‌تبار [۱۳] به برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک سقر با استفاده از روش‌های تجربی پرداختند. نتایج حاصل بیانگر دقت روش‌های بلانی کرایدل، تورنت وایت و هارگریوز نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه است. بابائیان و کوهی [۴] به ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG و روش تبخیر و تعرق هارگریوز در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی در سه دوره آتی پرداختند. نتایج حاصل بیانگر افزایش تبخیر و تعرق در هر سه دوره آتی نسبت به دوره پایه است. کوهی و ثنائی‌نژاد [۱۶] با استفاده از دو روش ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG و SDSM تحت دو سناریوی A2 و B2 مدل HadCM3 به پیش‌بینی تبخیر و تعرق مرجع به روش فائو پنمن مانیتث در ایستگاه سینوپتیک ارومیه پرداختند. نتایج حاکی از افزایش ۳/۴ تا ۱۴/۹ درصدی تبخیر و تعرق در

دهه‌های آتی نسبت به دوره پایه است. آزاد طلاپه و همکاران [۳] به پیش‌بینی تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از سری‌های زمانی AR و ARMA در ایستگاه سینوپتیک ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد که مدل سری زمانی (AR (۱۱ دارای نتایج بهتری نسبت دیگر مدل‌ها دارد در پژوهشی مشابه بهممنش و همکاران [۵] به پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق به روش فائو پنمن مانیتث در ایستگاه سینوپتیک ارومیه با استفاده از سری‌های زمانی خطی و غیرخطی پرداختند. نتایج حاکی از توانایی بیشتر مدل غیرخطی نسبت به مدل خطی در مدل‌سازی و پیش‌بینی تبخیر و تعرق داشت. طائی و همکاران [۲۷] با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG و خروجی مدل HadCM3 تحت سه سناریوی تغییر اقلیم به پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی در سه دوره زمانی مختلف در حوضه بار نیشابور پرداختند. نتایج حاصل نشان داد تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه در دوره‌های آتی افزایش خواهد یافت. روش‌های ترکیبی برآورد تبخیر و تعرق مانند پنمن به پارامترهای هواشناسی زیادی احتیاج دارند. این روش‌ها به دلیل استفاده از تعداد زیادی پارامتر اقلیمی در محاسبه قابل قبول است، ولی به دلیل اینکه همه اطلاعات مورد نیاز محاسبه نمی‌گردند، نمی‌توانند تخمین مناسبی ارائه دهند و نیاز به داده‌هایی همانند تابش، دما، رطوبت و سرعت باد دارند و از آنجا که در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی، داده‌های دمایی ثبت می‌شود، بنابراین بررسی درجه دقت روش‌های تجربی که فقط به عامل دما نیازمند می‌باشد، ضرورت می‌یابد [۲۳]. کسب داده‌های دمایی بسیار راحت‌تر از داده‌های تابشی است و اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه تبخیر و تعرق از این روش قابل دسترس‌تر است از طرفی، دما یکی از کلیدی‌ترین پارامترهای مؤثر در تغییرات اقلیمی است [۱۹]. بنابراین از آنجا که میزان تبخیر و تعرق مستقیماً با متغیرهای اقلیمی در ارتباط است و انتظار می‌رود با تغییر در پارامترهای اقلیمی به‌ویژه دمای هوا و متغیرهای مرتبط با دما، میزان آن نیز تغییر پیدا کند [۱۶]. لذا در این بررسی به برآورد میزان تبخیر و تعرق در ارتباط با تغییرات اقلیمی در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس گردانی LARS-WG و SDSM و خروجی مدل جهانی HadCM3 و دو روش برآورد تبخیر و تعرق هارگریوز سامانی و پرستلی‌تیلور پرداخته شد که دلیل مشترک برای استفاده از این دو روش استفاده از پارامترهای دمایی و خروجی مدل‌های ریزگردانی است و هم‌چنین با توجه به بررسی پیشینه‌ی پژوهش، مشخص گردید روش‌هایی مانند هارگریوز و پرستلی‌تیلور و به‌ویژه هارگریوز که بر اساس پارامترهای دمایی است، توانایی بیشتری در پیش‌بینی مقادیر تبخیر و تعرق در سال‌های آتی را دارد.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز دریاچه ارومیه با مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 1. Geographical position of Urmia lake basin and stations study

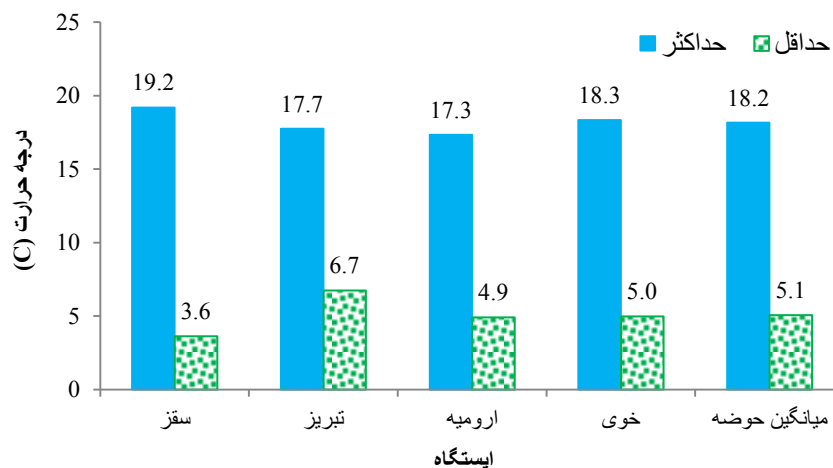
جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

Table 1. Geographical characteristics of meteorological stations study

ارتفاع از سطح دریا level sea from Height	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	نام ایستگاه Name Station
1522.8	36° 15''	46° 16''	سقز Saghez
1361	38° 5''	46° 17''	تبریز Tabriz
1328	37° 4''	45° 3''	ارومیه Urmia
1103	33° 38''	46° 58''	خوی Khoy

دریاچه در کشور و ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل (۱) و همچنین مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌ها در جدول (۱) آورده شده است. با توجه به آمار هواشناسی ایستگاه‌های مورد بررسی، حداقل و حداکثر روزانه درجه حرارت مشاهده شده در سطح حوضه در دوره مورد بررسی (۱۹۶۱-۱۹۹۰) برابر با ۳۶- و ۴۳+ درجه سلسیوس و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۱/۶ درجه سلسیوس است. میانگین حداقل و حداکثر دما در سطح حوضه به ترتیب برابر با ۵/۱ و ۱۸/۲ درجه سلسیوس است که کمترین و بیشترین میزان آن مربوط به ایستگاه سینوپتیک سقز با ۳/۶ و ۱۹/۲ درجه سلسیوس در دوره مورد بررسی است (شکل ۲). لازم به ذکر است پایین‌ترین و بالاترین دماهای روزانه ذکر شده نیز مربوط به همین ایستگاه می‌باشد.

تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی در شمال غرب ایران قرار گرفته است. وسعت حوزه آبخیز دریاچه ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع است که ۳/۱۵ درصد مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد [۷]. ۵۱ درصد حوضه آبریز دریاچه ارومیه در استان آذربایجان غربی، ۳۹ درصد در استان آذربایجان شرقی و ۱۰ درصد باقیمانده در استان کردستان واقع شده است [۷]. جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه از آمار هواشناسی چهار ایستگاه سینوپتیک منتخب در سطح حوضه در طول دوره آماری ۱۹۶۱-۱۹۹۰ استفاده گردید. ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب شامل سقز، تبریز، خوی و ارومیه و متغیرهای هواشناسی مورد مطالعه نیز شامل دمای حداقل، دمای حداکثر به صورت روزانه می‌باشد. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز



شکل ۲- متوسط بلندمدت دمای حداقل و حداکثر ایستگاه‌های سطح حوضه در دوره پایه  
Figure 2. The long-term average minimum and maximum temperatures in the basin

داده‌های روزانه ورودی به مدل شامل دمای حداقل و حداکثر، بارش و ساعات آفتابی ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در دوره پایه و تهیه فرمت مناسب ورودی به مدل، ابتدای یک سناریوی حالت پایه برای مدل تعریف و مدل برای دوره آماری پایه اجرا می‌گردد. سپس خروجی‌های حاصل با داده‌های مشاهداتی ایستگاهی با استفاده از آزمونهای کلموگروف-اسمیرنوف (K-S)، T-test و F-test به منظور صحت‌سنجی و اطمینان از توانمندی مدل مقایسه می‌شوند و پس از ارزیابی و اطمینان از توانایی مدل در منطقه مورد بررسی در نهایت تحت مدل جهانی HadCM3 و سناریوهای انتشار A2، A1B و B1 تغییرات پارامترهای اقلیمی مورد نظر برای سه دوره آینده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

روش تبخیر و تعرق هارگریوز-سامانی<sup>۱</sup> روشی که در آن فقط به داده‌های دمای هوا نیاز می‌باشد روشی است که به نام هارگریوز یا هارگریوز-سامانی معروف است. در این روش لازم است برای دوره مورد نیاز دمای متوسط هوا (T) و تفاوت متوسط حداکثر و حداقل دما (TR) را در دوره مورد نظر داشته باشیم. سپس با داشتن تابش خورشیدی (Ra)، مقدار تبخیر و تعرق به صورت زیر قابل محاسبه است [۱۱]:

$$ET_0 = 0.0023Ra (T + 17.8) (TR/0.5) \quad (1)$$

که TR تفاوت حداکثر و حداقل دما (TR=Tmax-Tmin) بر حسب سلسیوس است و ET<sub>0</sub> همان واحدی را خواهد داشت که برای Ra انتخاب خواهیم کرد؛ که می‌توان مقدار آن را بر حسب میلیمتر در روز از جداول ویژه به دست آورد که مقادیر آن برای منطقه مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است [۱].

### مدل ریزمقیاس گردانی SDSM

این مدل اولین بار توسط ویلی و همکاران [۲۹] تحت عنوان نسخه ۲/۱ جهت ریزمقیاس گردانی داده‌های دما و بارش با استفاده از روش‌های آماری ارائه شد. سپس در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۷، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ به ترتیب نسخه‌های دیگر آن یعنی ۲/۲، ۳/۲، ۴/۲، ۵/۱ و ۵/۲ ارائه شد که در این پژوهش از نسخه ۵/۱ آن جهت ریزمقیاس گردانی پارامترهای مورد بررسی استفاده گردید. اساس این مدل ترکیبی از مدل‌های رگرسیونی و مولد تصادفی داده‌های آب و هوایی است [۲۸]. در مطالعات تغییر اقلیم دوره (۱۹۹۰-۱۹۶۱) به عنوان دوره پایه یا شرایط اقلیمی حال حاضر استفاده می‌شود. به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل نیز از داده‌های مشاهداتی ایستگاهی و داده‌های مرکز ملی پیشبینی‌های محیطی (NCEP) استفاده خواهد شد و پس از اطمینان و ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در دوره پایه در حوضه مطالعاتی، به پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 پرداخته می‌شود. مدل گردش عمومی HadCM3 یک مدل جفت شده جوی اقیانوسی است که در مرکز تحقیقاتی HCCPR5 در انگلیس اجرا شده و دارای شبکه‌ای با ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است و سناریوهای آن نیز هر یک نشان‌دهنده ویژگی‌هایی از جمله مربوط به رشد اقتصاد جهان، جمعیت جهان و آگاهی‌های اجتماعی می‌باشد [۱۲].

### مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG

این مدل ابتدا توسط راسکو و همکاران [۲۲] ارائه شد. سپس توسط میخائیل سمونوف در مرکز تحقیقات لانگ اشتون بازنگری و توسعه داده شد. این مدل یک مدل تصادفی داده‌های آب و هوایی است که برای تولید پارامترهای آب و هوایی تحت شرایط آب و هوایی حال حاضر و آینده استفاده می‌شود [۲۶]. پس از جمع‌آوری

1- Hargreaves- Samani

جدول ۲- مقادیر تابش خورشیدی (Ra) بر حسب میلی متر در روز برای منطقه مورد مطالعه

Table 2. The amount of solar radiation (Ra) in mm/day for the study area

Ra	Month	ماه	Ra	Month	ماه
16.3	July	تیر	6	January	دی
14.8	August	مرداد	8.3	February	بهمن
12.2	September	شهریور	11	March	اسفند
9.3	October	مهر	13.9	April	فروردین
6.7	November	آبان	15.9	May	اردیبهشت
5.5	December	آذر	16.7	June	خرداد

روش تبخیر و تعرق پریستلی- تیلور ۱

این روش بر اساس روش پنمن، ساده سازی شده است و جزء آیرودینامیکی معادله پنمن با یک ضریب تجربی جایگزین می شود که به فرانسج پریستلی- تیلور معروف است و اساس آن بر پایه تشعشعات خورشیدی و درجه حرارت قرار دارد که از طریق رابطه زیر محاسبه می شود [۲۱]:

$$ET_o = 1.26 \frac{\Delta}{(\gamma + \Delta)} \frac{R_n - G}{(\lambda)} \quad (2)$$

که در آن:

Rn: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (MJm-2d-1)

G: شار گرما به داخل خاک (MJm-2d-1)

Δ: شیب منحنی فشار بخار آب (KPaC-1)

γ: ضریب رطوبتی (KPaC-1)

λ: گرمای نهان تبخیر (MJ Kg-1) می باشد که از طریق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3})T \quad (3)$$

از آنجا که تغییرات دمایی عامل اصلی تغییرات اقلیمی شناخته شده است، معادله هایی که بر پایه پارامترهای دمایی باشند، با توجه به پدیده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی قادر به پیش بینی میزان تبخیر و تعرق در دوره های آتی خواهد بود. لذا از روش هارگریوز که روش دمایی است به دلیل نیازمند بودن به داده های ورودی کمتر و پاسخ گو بودن به مسئله پدیده گرمایش جهانی و محدود بودن داده های ریزمقیاس شده در حوضه مورد مطالعه از این روش برای بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر تبخیر و تعرق استفاده گردید. هم چنین روش تبخیر و تعرق پریستلی تیلور نیز که حاصل خروجی مدل ریزگردانی LARS-WG است آورده شده است. روش کار بدین صورت است که ابتدا داده های اقلیمی با استفاده از مدل های ریزگردانی LARS-WG و SDSM برای دوره پایه شبیه سازی

1- Priestly- Taylor

گردید و پس از صحت سنجی مدل های مورد بررسی با استفاده از معیارهای عملکردی مختلف، داده های اقلیمی برای سه دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) با استفاده از خروجی کوچک مقیاس شده مدل جهانی HadCM3 تحت سناریوهای انتشار A2، B2 و A1B1 و B1 تولید خواهد شد و در مرحله بعد با استفاده از پارامترهای اقلیمی پیش بینی شده، میزان تبخیر و تعرق دوره های مذکور با استفاده از معادله هارگریوز- سامانی (رابطه ۱) محاسبه گردید.

### یافته های پژوهش

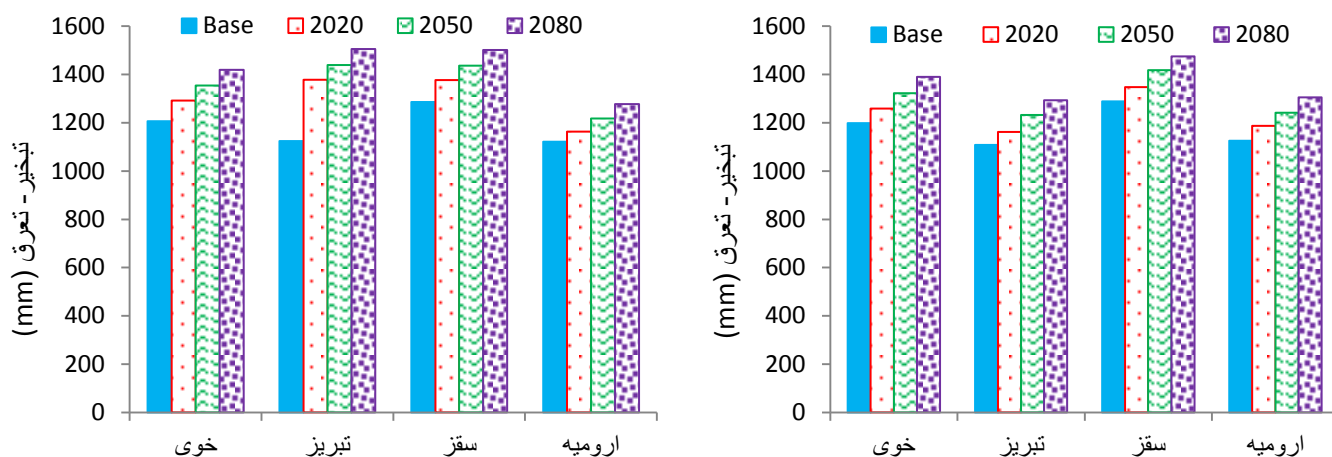
بر طبق نتایج حاصل از سناریوهای مورد بررسی در مدل LARS-WG در مجموع در هر سه دهه مورد بررسی در سطح حوضه مورد مطالعه میزان تبخیر و تعرق نسبت به دوره پایه افزایش پیدا خواهد کرد که به طور متوسط این افزایش در دهه ۲۰۲۰ بر اساس روش هارگریوز به میزان ۴/۷ درصد برابر با ۵۸/۷۲ میلی متر و بر اساس روش پریستلی تیلور به میزان ۸/۸ درصد برابر با ۱۱۷/۴ میلی متر نسبت به دوره پایه خواهد بود؛ این افزایش در دهه ۲۰۵۰ بر اساس روش هارگریوز به میزان ۹/۴ درصد برابر با ۱۲۲/۸ میلی متر و بر اساس روش پریستلی تیلور به میزان ۱۲/۸ درصد برابر با ۱۷۷ میلی متر نسبت به دوره پایه خواهد بود. هم چنین نتایج حاصل نشان می دهد در دهه ۲۰۸۰ نیز همانند دو دوره قبلی میزان تبخیر و تعرق افزایش پیدا خواهد کرد که بر اساس روش هارگریوز به طور متوسط در این دهه به میزان ۱۳/۶ درصد (۱۸۵/۳ میلی متر) و بر اساس روش پریستلی تیلور به میزان ۱۶/۷ درصد (۲۴۰/۷ میلی متر) نسبت به دوره پایه خواهد بود. خلاصه نتایج حاصل از بررسی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس هر دو روش هارگریوز و پریستلی تیلور و هم چنین هر سه سناریو و هر سه دوره مورد بررسی با استفاده از مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG و خروجی مدل جهانی HadCM3 نسبت به دوره پایه در جدول (۳) به تفکیک ایستگاه های مورد مطالعه در سطح حوضه آورده شده است.

جهت نمایش بهتر، متوسط بلندمدت میزان تبخیر و تعرق بر اساس هر دو روش هارگریوز و پریستلی تیلور برای دوره پایه و دوره های آتی در ایستگاه های مورد مطالعه در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه بر اساس ریزگردانی مدل LARS-WG در شکل (۳) آورده شده است. همان طور که ملاحظه می شود میزان تبخیر و تعرق بر اساس هر دو روش مذکور در هر سه دوره آتی و در همه ایستگاه های مطالعاتی نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است. مطابق شکل مذکور بیشترین میزان افزایش تبخیر و تعرق از نظر ایستگاهی در دهه ۲۰۲۰ مربوط به ایستگاه ارومیه با ۵/۱ درصد و در دو دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بر اساس هر دو روش برآورد تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه تبریز می باشد؛ که این میزان بر اساس روش هارگریوز برای ایستگاه مذکور به ترتیب دهه های مورد بررسی برابر با ۴/۶، ۱۰ و ۱۲/۶ درصد نسبت به دوره پایه می باشد.

جدول ۳- میزان تبخیر تعرق در دوره پایه و دهه‌های آتی بر اساس ریزگردانی مدل LARS-WG

Table 3. The basic and evapotranspiration during the next decade by Downscaling of LARS-WG

پریستلی- تیلور Priestly- Taylor				هارگریوز- سامانی Hargreaves- Samani				روش Method
خوی Khoy	ارومیه Urmia	تبریز Tabriz	سقز Saghez	خوی Khoy	ارومیه Urmia	تبریز Tabriz	سقز Saghez	ایستگاه Station
1207	1121.5	1123.7	1285.7	1198.1	1125.5	1108.1	1288.9	دوره پایه (Base)
1282.1	1154.9	1370.1	1374.1	1248	1180	1155.1	1344.1	A1B
1294.2	1164.8	1381.3	1381.3	1260.5	1188.2	1162.5	1349.4	A2
1297.2	1167.7	1382.8	1372.1	1266	1190	1167.2	1348.6	B1
1291.2	1162.5	1378.1	1375.8	1258.2	1186.1	1161.6	1347.4	متوسط دهه ۲۰۲۰ 2020s Average
1372.5	1231.8	1454.6	1450.7	1331.2	1251.3	1242.1	1430.7	A1B
1347.8	1213.5	1429.9	1426.2	1329.4	1243.8	1234	1418.2	A2
1341.3	1207.5	1431.2	1431.3	1304.5	1228.5	1219.7	1404.8	B1
1354.2	1217.6	1438.6	1436.1	1321.7	1241.2	1231.1	1417.9	متوسط دهه ۲۰۵۰ 2050s Average
1428.6	1285.4	1511.3	1507	1393.8	1310.6	1297.8	1480.8	A1B
1461.5	1317.5	1548.5	1547.4	1438.8	1347.1	1332.9	1548	A2
1366.8	1227	1452.9	1448.6	1335	1256.7	1248.3	1395.1	B1
1419	1276.6	1504.2	1501	1389.2	1304.8	1293	1474.6	متوسط دهه ۲۰۸۰ 2080s Average



شکل ۳- متوسط بلندمدت تبخیر و تعرق دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه با استفاده از دو روش هارگریوز (راست) و پریستلی تیلور (چپ)

Figure 3. The long-term average evapotranspiration future periods as compared to the base period using two methods

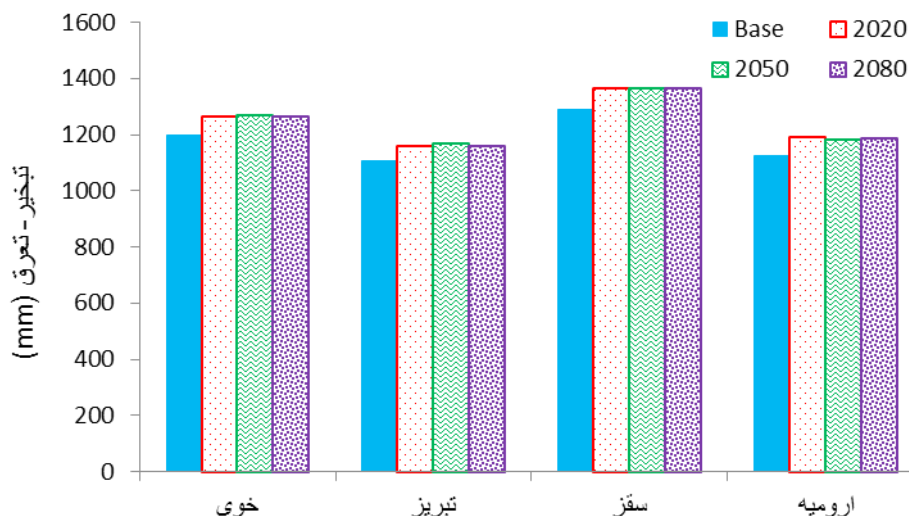
۵/۳ درصد (۶۶/۹ میلی‌متر) و ۵/۴ درصد (۶۷/۹ میلی‌متر) نسبت به دوره پایه خواهد بود. در طی دهه ۲۰۸۰ نیز میزان تبخیر و تعرق در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی افزایش خواهد یافت که این افزایش به‌طور میانگین در سطح حوضه برابر ۶۵/۱ میلی‌متر (۵/۲ درصد) نسبت به دوره پایه خواهد بود که این میزان در دهه ۲۰۸۰ نسبت به

بر طبق نتایج حاصل از سناریوهای مورد بررسی در مدل ریزمقیاس گردانی SDSM نیز همانند مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG در مجموع در دهه‌های آتی میزان تبخیر و تعرق در سطح حوضه مورد مطالعه نسبت به دوره پایه افزایش پیدا خواهد کرد که به‌طور متوسط سناریوهای مورد مطالعه برای دهه ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب به میزان

جدول ۴- میزان تبخیر و تعرق در دوره پایه و دهه های آتی بر اساس ریزگردانی مدل SDSM

Table 4. Evapotranspiration rate in the base period and e coming decades by SDSM Downscaling model

خوی Khoy	ارومیه Urmia	تبریز Tabriz	سقز Saghez	ایستگاه Station
1198.5	1125.7	1108.4	1289.2	دوره پایه (Base)
1271.5	1194	1158.7	1363.8	A2 دهه ۲۰۲۰
1261.4	1189.8	1166.3	1373.7	B2 2020s
1266.5	1191.9	1162.5	1368.7	متوسط دهه ۲۰۲۰ 2020s Average
1270.7	1186.4	1173	1369	A2 دهه ۲۰۵۰
1267.8	1185.6	1166	1368.1	B2 2050s
1269.3	1186	1169.5	1368.6	متوسط دهه ۲۰۵۰ 2050s Average
1267.4	1189.5	1164.7	1370	A2 دهه ۲۰۸۰
1266.1	1184.7	1161.9	1359.7	B2 2080s
1266.83	1187.1	1163.3	1364.9	متوسط دهه ۲۰۸۰ Average ۲۰۸۰s



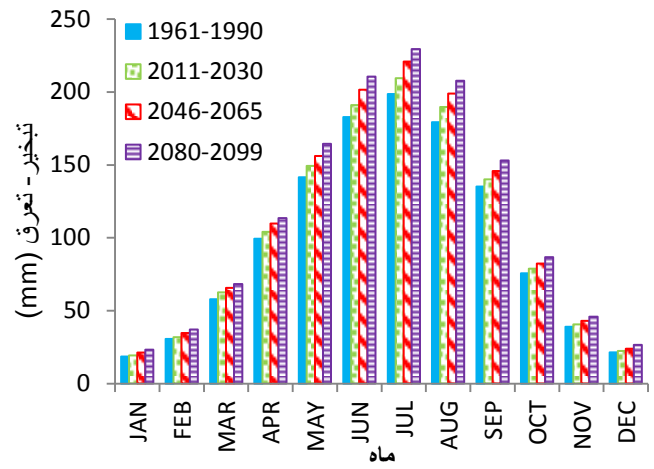
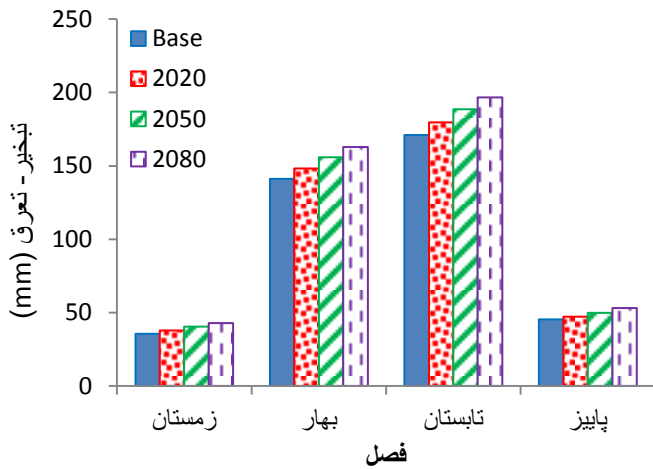
شکل ۴- متوسط بلندمدت تبخیر و تعرق دوره های آتی نسبت به دوره پایه با استفاده از ریزگردانی مدل SDSM

Figure 4. The long-term average evapotranspiration future periods compared to the baseline using the SDSM Downscaling

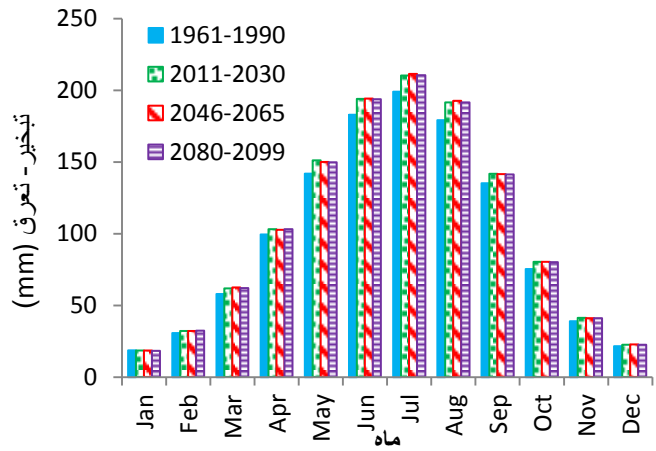
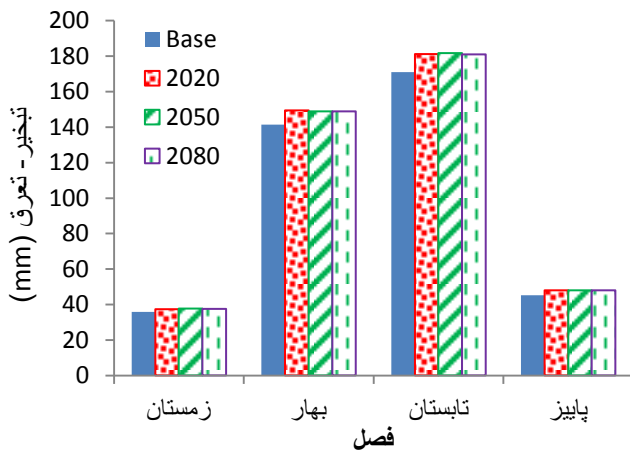
همه دوره های آتی نسبت به دور پایه افزایش پیدا خواهد کرد منتهی در انتهای دوره پیش بینی نسبت به دوره اول میزان تبخیر و تعرق کاهش جزئی را نشان داده است که ناشی از کاهش جزئی دمای حداکثر پیش بینی شده توسط مدل در این دوره می باشد. بر اساس مدل SDSM و روش هارگریوز نیز بیشترین میزان افزایش تبخیر و تعرق از نظر ایستگاهی در دهه ۲۰۲۰ مربوط به ایستگاه ارومیه و سقز هر به میزان مشابه ۵/۵ درصد نسبت به دوره پایه می باشد و در دو دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ مربوط به ایستگاه سقز می باشد (شکل ۴).

دو دهه قبلی کاهش جزئی را نشان داده است. خلاصه نتایج حاصل از مدل ریز گردانی SDSM برای پیش بینی میزان تبخیر و تعرق به روش هارگریوز در دوره های آتی نسبت به دوره پایه در جدول (۴) آورده شده است.

متوسط بلندمدت میزان تبخیر و تعرق بر اساس روش هارگریوز نیز برای دوره پایه و دوره های آتی در ایستگاه های مورد مطالعه در سطح حوضه بر اساس ریزگردانی مدل SDSM در شکل (۴) آورده شده است. همان طور که قبلاً نیز بیان گردید میزان تبخیر و تعرق در



شکل ۵- میانگین بلندمدت ماهانه و فصلی تبخیر و تعرق سطح حوضه بر اساس مدل ریزگردانی WG-LARS  
Figure 5. The long-term average monthly and seasonal evaporation in basin by LARS-WG Downscaling



شکل ۶- میانگین بلندمدت ماهانه و فصلی تبخیر و تعرق سطح حوضه بر اساس مدل ریزگردانی SDSM  
Figure 6. The long-term average monthly and seasonal evaporation in basin by SDSM Downscaling

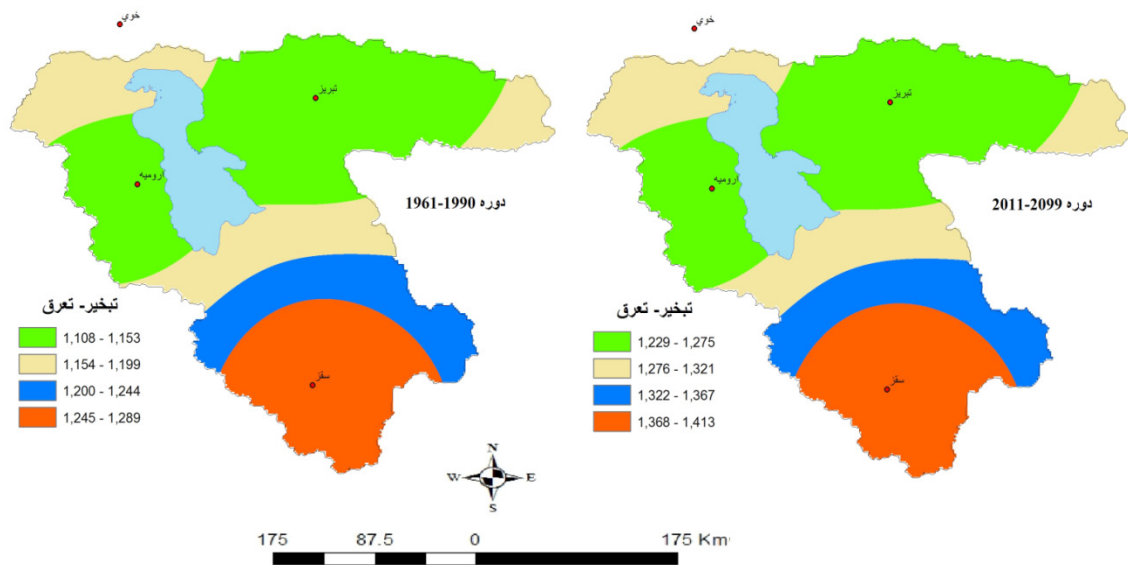
ریزگردانی مدل SDSM نیز نشان می‌دهد (شکل ۶) که به غیر از ماه ژانویه که میزان تبخیر و تعرق کاهش جزئی را نسبت به دوره پایه نشان داده است در سایر ماه‌های سال میزان تبخیر و تعرق افزایش قابل‌ملاحظه‌ای را پیدا کرده است. از نظر فصلی نیز در دوره‌های آبی در همه فصول نسبت به دوره پایه افزایش تبخیر و تعرق را انتظار خواهیم داشت که بیشترین افزایش ماهانه و فصلی این مدل نیز مربوط به ماه جولای و فصل تابستان در هر سه دوره مورد بررسی نسبت به دوره پایه می‌باشد (شکل ۶).

جهت نمایش بهتر وضعیت تغییرات تبخیر و تعرق در حوضه مورد بررسی، میزان تبخیر و تعرق محاسباتی در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره‌های آبی (۲۰۹۹-۲۰۱۱) به‌طور متوسط در سطح حوضه در محیط Arc GIS با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله (IDW) درون‌یابی گردید که نتایج حاصل در شکل (۷) نمایش داده

متوسط ماهانه و فصلی بلندمدت تبخیر و تعرق سطح حوضه در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه بر اساس روش هارگریوز و ریزگردانی مدل LARS-WG در شکل (۵) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان تبخیر و تعرق در تمامی ماه‌های سال و در هر دوره نسبت به دوره پایه و هم‌چنین نسبت به دوره ماقبل افزایش چشم‌گیری خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش ماهانه تبخیر و تعرق در سطح حوضه نیز در هر سه دهه مورد بررسی مربوط به ماه جولای نسبت به دوره پایه می‌باشد. متوسط فصلی تبخیر و تعرق نیز در دوره‌های آبی حاکی از افزایش میزان تبخیر و تعرق در هر سه دوره زمانی آینده نسبت به دوره پایه در همه فصول سال می‌باشد که بیشترین میزان افزایش آن نیز مربوط به فصل تابستان می‌باشد (شکل ۵).

متوسط ماهانه و فصلی بلندمدت تبخیر و تعرق بر اساس





شکل ۷- وضعیت تبخیر و تعرق در دوره پایه و دهه‌های آتی در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه  
Figure 7. Evapotranspiration Status in the base period and the future decades in the Urmia lake basin

شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقدار پارامترهای مورد بررسی در هر دهه نسبت به دهه قبل افزایش یافته است که این افزایش برای پارامترهای دمای حداقل و حداکثر به ترتیب به میزان  $3/4$  و  $2/9$  درجه سلسیوس به‌طور متوسط در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه می‌باشد. میزان تبخیر و تعرق نیز بر اساس هر دو روش هارگریوز و پرستلی‌تیلور نیز افزایش چشم‌گیری را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهند که این میزان افزایش به‌طور متوسط در دهه‌های آتی نسبت به دوره پایه بر اساس دو روش مذکور به ترتیب  $10/33$  و  $15$  درصد (برابر با  $122$  و  $178/2$  میلیمتر) خواهد بود (جدول ۵). بر طبق نتایج حاصل از مدل LARS-WG در مجموع در سطح حوضه مورد مطالعه میزان دما و به‌تبع آن میزان تبخیر و تعرق افزایش پیدا خواهد کرد. نتایج حاصل از بررسی پارامترهای مورد مطالعه به‌طور متوسط

شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان تبخیر و تعرق در دوره‌های آتی در همه پهنه‌های مورد نظر افزایش قابل‌ملاحظه‌ای را نسبت به دوره پایه خواهد داشت.

#### بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش از دو مدل ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG و SDSM و خروجی مدل جهانی HadCM3 جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیمی و به دنبال آن برآورد تبخیر و تعرق با توجه به تغییرات اقلیمی در حوزه‌ی آبخیز دریاچه ارومیه در سه دوره زمانی مختلف (۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) استفاده شد. نتایج حاصل از مدل ریزگردانی مدل LARS-WG بر اساس متوسط سناریوهای مورد بررسی و همچنین بر اساس متوسط پارامترهای اقلیمی در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه در طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۹۹ و سه دوره زمانی مورد بررسی در جدول (۵) آورده

جدول ۵- نتایج حاصل از مدل LARS-WG به‌طور متوسط سالانه بلندمدت در دهه‌های مختلف

Table 5. Annual average long-term results of LARS-WG in different decades

پریستلی-تیلور (میلیمتر) Priestly- Taylor(mm)	هارگریوز-سامانی (میلیمتر) Hargreaves- Samani(mm)	دمای حداکثر Tmax	دمای حداقل Tmin	پارامتر Parameter
1184.5	1180.2	18.2	5.1	متوسط دوره پایه Average of Base Period
1301.5	1238.3	19.6	6.6	دهه ۲۰۲۰ (2020s)
1361.5	1303	21	8.2	دهه ۲۰۵۰ (2050s)
1425.2	1365.4	22.6	10.7	دهه ۲۰۸۰ (2080s)
1362.7	1302.2	21.1	8.5	متوسط دهه‌های آتی Average of Future Period

جدول ۶- نتایج حاصل از مدل SDSM به طور متوسط سالانه بلندمدت در دهه‌های مختلف

Table 6. Annual average long-term results of SDSM in different decades

پارامتر Parameter	دمای حداقل Tmin	دمای حداکثر Tmax	هارگریوز- سامانی (میلیمتر) Hargreaves- Samani (mm)
متوسط دوره پایه Average of Base Period	5.1	18.2	1180.5
دهه ۲۰۲۰ (2020s)	5.32	19.5	1247.3
دهه ۲۰۵۰ (2050s)	5.37	19.3	1248.4
دهه ۲۰۸۰ (2080s)	5.4	19.25	1245.5
متوسط دهه‌های آتی Average of Future Period	5.3	19.1	1230.4

پایه افزایش خواهد یافت. نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعات لیانگ و همکاران [۱۷]، جوو و همکاران [۱۰]، علیزاده و همکاران [۲]، بابائیان و کوهی [۴]، کوهی و ثنائی نژاد [۱۶]، آزاد طلا تپه و همکاران [۳] مبنی بر افزایش تبخیر و تعرق در ایستگاه سینوپتیک ارومیه و مطالعات دین پژوه [۶]، ساوانو و همکاران [۲۴]، کوچک‌زاده و نیکبخت [۱۵] و پوریزدان‌خواه و همکاران [۲۰] مبنی بر کارایی و دقت مناسب روش‌های هارگریوز و پریستلی تیلور جهت برآورد تبخیر و تعرق مطابقت دارد. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در مطالعات مربوط به مدیریت منابع آب و حوضه‌های آبریز، برنامه‌ریزی‌های توسعه آبیاری، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری و زهکشی، زمان‌بندی آبیاری، طرح‌های آبخیزداری، ذخیره‌سازی آبهای سطحی و مطالعات کشاورزی و زیست‌محیطی استفاده نمود.

#### منابع

- Alizadeh, A. 2005, principles of applied hydrological, the twentieth edition, Mashhad: Astan Quds Razavi, 807 p. (In Persian)
- Alizadeh, A. Sayari, N. Hesami Kermani, M H. 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 and Soil, 24(4)815-835. (In Persian)
- Azad Talatapeh, N. Behmanesh, J. and Montaseri, M. 2013. Predicting Potential Evapotranspiration Using Time Series Models (Case Study: Urmia). Journal of Water and Soil, 27 (1): 213-223. (In Persian)

سالانه بلندمدت در سطح حوضه بر اساس مدل SDSM نیز نشان می‌دهد (جدول ۶)، که دمای حداقل در هر دهه نسبت به دهه قبل افزایش جزئی را نشان می‌دهد و به طور متوسط در دهه‌های آتی به میزان ۰/۲ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بررسی وضعیت دمای حداکثر نیز حاکی از افزایش ۰/۹ درجه سلسیوس به طور متوسط بلندمدت در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه می‌باشد. هرچند که میزان دمای حداکثر در دهه‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ نسبت به دهه ۲۰۲۰ کاهش جزئی را داشته است ولی در مجموع میزان دما نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. میزان تبخیر و تعرق نیز بر اساس وضعیت دمای پیش‌بینی شده حاکی از افزایش میزان تبخیر و تعرق در دهه‌های آتی نسبت به دوره پایه می‌باشد که این میزان به طور متوسط در دهه‌های آتی ۴/۲۳ درصد (حدود ۵۰ میلیمتر) خواهد بود. لازم به ذکر است که میزان تبخیر در دهه ۲۰۸۰ با توجه به کاهش جزئی دمای حداکثر نسبت به دوره‌ی ماقبل میزان آن نیز نسبت به دهه قبل کاهش جزئی را نشان داده است ولی در مجموع در انتهای قرن ۲۱ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت (جدول ۶).

روش‌های مختلفی جهت ریزمقیاس‌گردانی خروجی مدل‌های جهانی اقلیم وجود دارد. به دلیل تفاوت در چگونگی انجام این کار در روش‌های ذکر شده، خروجی حاصل از این روش‌ها یکسان نمی‌باشد؛ بنابراین استفاده از نتایج دو یا چند مدل می‌تواند راهکار مناسبی برای نتیجه‌گیری مناسب در یک منطقه باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که به طور متوسط بلندمدت میزان دمای حداقل بین ۰/۲ تا ۳/۴ و دمای حداکثر بین ۰/۹ تا ۲/۹ درجه سلسیوس در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. هم‌چنین میزان تبخیر و تعرق نیز بین ۴/۲ تا ۱۵ درصد در دوره‌های آتی نسبت به دوره به دوره

14. Houerou, H N.Le. and Le Houerou, H.N. 1993. Climatic changes and desertification. *Secheresse*. 4: 2. 95-111.
15. Kouchakzadeh, M. and Nikbakht, J. 2004. Comparison of Different Methods to Estimate Reference Evapotranspiration in Iran Different Climate with PMFAO Standard Method, *Agricultural Sciences*. 10(3): 43-57.
16. 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 Journal of Irrigation and Drainage*, 4(7): 559-574. (In Persian)
17. Liang, L. Lijuan L. and Qiang, L. 2010. Temporal variation of reference evapotranspiration during 1961-2005 in the Taoer river basin of Northeast China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150: 298-306.
18. Mobasheri, MR. Khavarian, H. Ziaei, P. Kamali, gh. 2005. Estimation of actual evapotranspiration using MODIS images and SEBAL algorithm, *Geomatics, national mapping agency, Tehran*, 12 p. (In Persian)
19. Ojwang, G. Agatsiva, J. and Situma, C. 2010. Analysis of climate change and variability risks in the smallholder sector. *Environment and Natural Resources Management working paper*. 70p.
20. Pouryazdankhah, H. Razavipour, T. Khaledian, M R. Rezaei, M. 2012. Determining proper methods to estimate the reference evapotranspiration in Rasht region, *Third National Conference on Integrated Water Resource Management, University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 11 p. (In Persian)
21. Priestley, C.H.B. and Taylor, R.J. 1972. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large- Scale Parameters. *Mon. Wea. Rev.* 100:81-92.
22. Racsco, P. Szeidl, L. and Semenov, M. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*, 57(1): 27-41.
23. Salarian, M. Najafi, M. Davari, K. Eslamiyan, S S. and Heidari, M. 2014. The most Appropriate Method to Estimate Potential Evapotranspiration in Meteorological Data Scarce Condition in the Warm and Cold Months of the Year (Case Study of Isfahan). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1(8):62-73. (In Persian)
24. Sawano, Sh. Hotta, N. Komatsu, H. Suzuki, M. and Babaeian, I. and Kouhi. M. 2012. Agroclimatic Indices Assessment over Some Selected Weather Stations of Khorasan Razavi Province Under Climate Change Scenarios. *Journal of Water and Soil*, 26(4) 953-967. (In Persian)
5. Behmanesh, J. Azad Talatapeh, N. Montaseri, M. and Besharat, S. 2014. Evaluation of linear and nonlinear time series models in forecasting reference crop evapotranspiration in Urmia synoptic stations. *Water Agricultural Research Journal*, 28 (1): 96-85. (In Persian)
6. Dinpashoh, Y. 2006. Study of Reference Crop Evapotranspiration in I.R. of Iran. *Agricultural Water Management* 84, 123-129. (In Persian)
7. Gelian, S. Abryshm Chy, A. Tajrishi, M. 2006. policy analysis and exploitation of resources in the basin using system dynamics. *Journal of water and sewage*, 63: 80-70. (In Persian)
8. Goodarzi, M. Jahanbakhsh, S. Rezaee, M. Ghafouri, A. and Mahdian, M H. 2011. Assessment of Climate Change Statistical Downscaling Methods in a Single Site in Kermanshah, Iran. *American-Eurasian Journal. Agric. & Environ. Sci*, 6 (5): 564-572.
9. Granger, R J. 1999. Satellite-derived estimation of evapotranspiration in Gedis basin. *Journal of Hydrology*, 229: 70-76.
10. Guo, B. Zhang, J. Gong, H. and Cheng, X. 2014. Future climate change impacts on the ecohydrology of Guishui River Basin China, *Ecohydrology & Hydrobiology*, 14(1): 55-67.
11. Hargreaves, G.H. and Samani, Z. 1985. Reference crop evapotranspiration from ambient air tempraturer. *Meeting American Society of Agricultural Engineers, Chicago*. 12p.
12. Hashemin nasab, F. Mousavi baygi, M. Bakhtiari, B. and Davari, K. 2013. Prediction the Rainfall Changes with Downscaling LARS-WG and HadCM3 models in Kerman during the next 20 years (2030-2011). *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 3(12): 43-58. (In Persian)
13. Hosseini, S A. and Ebrahimitabar, E. 2012. Estimation of potential evapotranspiration city turpentine using empirical methods, the first professional scientific conference on rural development and agriculture, with emphasis on national production, PNU Piranshar center, 12 p. (In Persian)

27. Tabei Semiromi, S. Moradi, H. and Khodaghohi, M. 2015. Predicted changes in some of climate variables using downscale model LARS-WG and output of HADCM3 model under different scenarios. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 7(2): 145-156 (In Persian)
28. Wilby, R.L. and Dawson, W.C. 2007. SDSM 4.2 A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2, Environment Agency of England and Wales: 94p.
29. Wilby, R.L. Dawson, C.W. and Barrow. E.M. 2002. SDSM a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, (17):147-159.
- Yayama, T. 2007. Forest Environments in the Mekong River Basin. Evaluation of Evapotranspiration in Forested Areas in the Mekong Basin Using GIS Data Analysis. 295 (36-44).
25. Seifi, A. Mirlatifi, S.M. and Riahi, H. 2011. Developing a Combined Model of Multiple Linear Regression-Principal Component and Factor Analysis (MLR-PCA) for Estimation of Reference Evapotranspiration (Case Study: Kerman Station). *Journal of Water and Soil*, 24(6): 1186-1196. (In Persian)
26. Semenov, M. and Barrow, E. 1997. Use Of A Stochastic Weather Generator In The Development Of Climate Change Scenarios *Climatic Change*, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 35: 397-414

*Abstract*

## Estimation of Evapotranspiration Rate Due to Climate Change in the Urmia Lake Basin

M. Goudarzi<sup>1</sup>, B.Salahi<sup>2</sup> and S.A. Hosseini<sup>3</sup>

Received:2015/04/19 Accepted : 2016/05/12

Evapotranspiration is a major component of the hydrological cycle which shows the amount of water loss. Since the amount of evapotranspiration is directly associated with climate variables and is related with the amount of changes in climate parameters, particularly, temperature plays a key role in this regard. Therefore, in this study, possible impacts of climate change on evapotranspiration rate are estimated in the Lake Urmia Basin as a wet basin in the country. The basin nowadays is faced with drought and reduction of water level. Predictions of the changes in the lake, were examined under scenarios A1B, A2, B1 and B2 using LARS-WG and SDSM Statistical Down-Scaling Models and HadCM3 general circulation model output in the next three periods ( 2011-2030, 2046-2065 and 2080-2099) . Using the predicted parameters of climate change, Evapotranspiration rates in the basin in monthly and seasonal periods, was calculated using Hargreaves Samani and Priestley Taylor methods. The results showed an increase in long-term average minimum temperature in the basin between 0.2 to 3.4 degrees and a maximum temperature increase of 0.9 to 2.9 degrees in future periods compared to the base period (1961-1990). The estimate of evaporation rate shows an increase in monthly and seasonal time series in future affected by the temperature. The increase would be 2.4 to 15 percent on long-term average in the basin. The results can be used in the management of groundwater and surface water resources, irrigation and drainage projects, estimating crop water requirements, irrigation scheduling and environmental studies and watershed plans.

**Keywords:** *Climate change, Downscaling, Evapotranspiration, Urmia Lake*

---

1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute SCWMRI, Tehran, Iran

2- Full Professor, Department of Physical Geography(Climatology), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3- PhD in Physical Geography (Climatology), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Corresponding author, Email: Hosseini.asad8@gmail.com