

ارزیابی برآوردهای تبخیرتعرق مدل جهانی GLEAM در شمال حوضه آبریز کرخه

امین عبدی دزفولی^۱، نوذر قهرمان^{۲*}، مهدی قمقامی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲

چکیده

برآورد منطقه‌ای تبخیرتعرق در مدیریت آبیاری، اصلاح الگوی کشت و پیش‌بینی عملکرد حائز اهمیت است. مسئله بنیادی در این پژوهش امکان‌سنجی کاربرد داده‌های حاصل از مدل GLEAM جهت برآورد تبخیرتعرق واقعی در حوضه کرخه می‌باشد. مدل جهانی تبخیرتعرق سطح خشکی آمستردام (GLEAM) اجزای مختلف تبخیرتعرق (شامل تعرق، برگاب، تبخیر از سطح خاک خشک، تصعید برف و تبخیر از سطح آزاد آب) را بر اساس مشاهدات ماهواره‌ای، تخمین می‌زند. در این پژوهش، خروجی مدل GLEAM با روش بیلان آب (با فرض حوضه آب‌بند که در آن اختلاف جریان‌های ورودی و خروجی حوضه ناچیز است)، در ایستگاه‌های منتخب حوضه کرخه مقایسه شده و ضریب همبستگی آن‌ها بدست آمد. شاخص‌های آماری R^2 ، MAE، RMSE و RD مابین مقادیر تبخیرتعرق اخذ شده از پایگاه داده‌های GLEAM و روش بیلان برای ایستگاه‌های، آران‌غرب، پیرسلمان، نظرآباد، پل‌چهر، پای‌پل، پل‌دختر، تنگ‌سازین و پل کشکان تعیین شد. شاخص آماری R^2 برای ایستگاه‌های مذکور، به ترتیب، ۰/۶۶، ۰/۶۲، ۰/۷۷، ۰/۸۴، ۰/۵۹، ۰/۳۹، ۰/۵۶ و ۰/۶۶ تعیین شد که بهترین همبستگی مربوط به پل‌چهر است. به همین ترتیب شاخص آماری ریشه مربعات مجذور خطا (RMSE)، به ترتیب ۰/۷، ۰/۶۲، ۰/۷۴، ۰/۲۵، ۰/۴۵، ۰/۹۷، ۰/۷۳ و ۰/۵۱ به دست آمد. متناظراً مقادیر شاخص آماری MAE نیز، ۰/۴۳، ۰/۵۸، ۰/۱۸، ۰/۳۰، ۰/۷۱، ۰/۵۳ و ۰/۳۶ محاسبه شد. همچنین شاخص انحراف نسبی (RD) مقادیر حاصل از روش بیلان آب و داده‌های مدل GLEAM به ترتیب: ۲۱-، ۳۷/۳-، ۴۹/۶-، ۱۹/۶۱-، ۲/۳۹-، ۳/۶۴-، ۲۵/۱۸- می‌باشد. در تمامی شاخص‌های آماری فوق، بهترین تطابق، مربوط به زیرحوضه پل‌چهر می‌باشد. یافته‌های این پژوهش مؤید آن است که خروجی‌های مدل GLEAM که عمدتاً مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای است، برای حوضه کرخه قابل استفاده بوده و می‌تواند در صورت فقدان یا کمبود داده‌های مشاهده‌ای جایگزین برآوردهای حاصل از روش‌های تجربی و مرسوم گردد.

واژه‌های کلیدی: ایران، بیلان آب، برآوردهای ماهواره‌ای مدل GLEAM، تبخیرتعرق

مقدمه

محاسبه بیلان آبی یک حوضه بوده و معرف بخشی از تلفات بارندگی است. مقدار این پارامتر به میزان آب موجود در خاک و گیاه، عناصر اقلیمی، نوع خاک و گیاه بستگی دارد که به صورت پیچیده بریکدیگر اثر دارند. اگر در مجموعه خاک و گیاه، محدودیت آب وجود نداشته باشد، عناصر اقلیمی و نوع پوشش گیاهی تعیین‌کننده میزان تبخیرتعرق اند؛ ولی در صورت محدود بودن آب در این چرخه، مقدار تبخیرتعرق بسته به خصوصیات خاک و میزان آب موجود در آن است (Allen et al., 1998). مطالعات زیادی درخصوص برآورد تبخیرتعرق و معادلات تجربی مناسب در ایران انجام شده است (Bakhtiari, Ghahreman and Sameti 2014, et.al., 2011).

حوضه کرخه با توپوگرافی و پوشش گیاهی متنوع و نقش مهم آن در منابع آب سطحی کشور موضوع تحقیقات بسیاری در زمینه برآوردهای تبخیر، تبخیرتعرق بوده است. سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از داده‌های هواشناسی ۲۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه آبریز کرخه و نواحی اطراف آن، تبخیرتعرق پتانسیل را با

به دلیل کمبود ریزش‌های جوی و نامناسب بودن پراکنش زمانی و مکانی، ایران جزء کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد (محمودی، ۱۳۸۷). پس باید از منابع آبی به نحو مطلوب استفاده کرد. تحقق این امر در گرو شناخت هر چه دقیق‌تر و علمی‌تر اجزای بیلان آب یعنی بارش، آب‌های سطحی، زیرزمینی و به خصوص تبخیرتعرق است. از میان این اجزاء، تبخیرتعرق واقعی^۴ (ET_a) از عوامل مهم

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳- دانش‌آموخته دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
(* نویسنده مسئول: Email: nghahreman@ut.ac.ir)

4- Actual evapotranspiration

عصبی با استفاده از ترکیب پارامترهای مختلف هواشناسی با مقادیر بدست آمده از بیلان آبی مقایسه کردند و نشان دادند که پارامترهای دمای بیشینه و کمینه هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد، حداقل داده‌های هواشناسی مورد نیاز برای برآورد تبخیر تعرق هستند. میانگین جذر مربعات خطاها (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) بین مقادیر به‌دست آمده از مدل شبکه عصبی با ورودی‌های فوق و مقادیر واقعی به ترتیب ۰/۱۷ میلی‌متر در روز و ۰/۹۵ تعیین شد. با ترسیم مقادیر برآورد شده و واقعی نشان دادند، خطای ۸۲ درصد از داده‌ها کمتر از ۱۵ درصد است. کاظمی (۱۳۹۶)، میانگین‌گیری مدل بیزی جهت ادغام هشت مدل تجربی برآورد تبخیر تعرق شامل بلانی-کریدل، مکینک، پنمن، فائو-پنمن-مانیتث، پرستلی-تیلور تورنسویت، تورک و ونگ با هدف بهبود برآوردهای این مدل براساس یک شاخص ساده‌سازی شده بیلان طی فصل گرم در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ در چهار ایستگاه همدیدی، گرگان، علی‌آباد، کلاله و گنبد کاووس، در استان گلستان و در دو ایستگاه هیدرومتری در حوضه گرگان رود قره‌سو مورد استفاده قرار داد. در ایستگاه‌های مطالعاتی کارایی تمام ترکیب‌های ممکن از هشت مدل، مورد ارزیابی قرار گرفت و ترکیب دارای بهترین کارایی، تعیین شد. نتایج این پژوهش، برتری روش BMA-Best را براساس شاخص کلینگ گویا و RMSE نشان داد. مدل جهانی تبخیر تعرق سطح زمین آمستردام (GLEAM)^۳ یک الگوریتم است که اجزای مختلف تبخیر تعرق شامل تعرق، برگاب، تبخیر از سطح خاک خشک، تصعید برف و تبخیر از سطح آزاد آب را بر اساس دیدبانی‌های ماهواره‌ای، تخمین می‌زند. خروجی‌های مدل شامل تبخیر تعرق پتانسیل، رطوبت خاک ناحیه ریشه، رطوبت سطح خاک و تنش تبخیری است. منطق این روش، به حداکثر رساندن اطلاعات مربوط به تبخیر، در مجموعه داده‌های موجود از مشاهدات اقلیمی و محیطی از فضا هست (Miralles et al., 2011). از مدل GLEAM معمولاً برای ارزیابی مقادیر دقیق، در مقیاس بزرگ و با وضوح بالا استفاده می‌شود. برای اطمینان از صحت مقادیر اندازه‌گیری شده توسط حساسه‌های راه‌دور^۴ تبخیر تعرق و همچنین برای افزایش کارایی مختلف آن‌ها، اعتبارسنجی زمینی در مقیاس بزرگ لازم است. میرالس و همکاران با استفاده از داده‌های مدل GLEAM تبخیر تعرق واقعی روزانه با تفکیک یک درجه بر روی سطح زمین جهان بدست آوردند. نتایج آن‌ها نشان داد که برگاب نقش مهمی را در تقسیم بارش به تبخیر تعرق و آب به‌صورت رواناب در مقیاس قاره‌ای ایفا می‌کند. آن‌ها رهیافت‌های جدیدی در مورد اهمیت نسبی بارش و تشعشع خالص در تبخیر تعرق ارائه دادند و اینکه تاثیر فصلی این کنترل‌کننده‌ها در مناطق مختلف جهان تغییر می‌کند.

روش‌های فائو ۵۶ و هارگریوز-سامانی به کمک نرم‌افزار Ref ET محاسبه کردند و آن را با روش‌های مختلف درون‌یابی، برآزش دادند. نتایج آن‌ها دقت بیشتر روش کریجینگ معمولی برای ماه‌های فصل رشد (آوریل تا سپتامبر) در این حوضه را نشان داد. سپس با استفاده از روش مناسب درون‌یابی، پهنه مکانی ETo دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز-سامانی در محیط نرم‌افزار ArcMap برای ماه‌های فصل رشد ترسیم و بازه‌بندی کردند. سپس مساحت اختصاص یافته به هر بازه از نقشه‌های تولیدی بدست آمده و در هر ماه، دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز-سامانی در مقیاس پهنه‌ای با یکدیگر مقایسه شدند. تفاوت بین پهنه مکانی دو روش فائو ۵۶ و هارگریوز-سامانی در مناطق شمالی حوضه بیشتر از سایر نواحی بود. نوروز و لاشدی (۱۳۹۶) روند تغییرات مکانی ضریب تشت تبخیر حوضه آبریز کرخه در دو دوره اقلیمی درازمدت را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد نتایج نشان داد ضریب تشت تبخیر در نواحی شمالی حوضه روند افزایشی داشته و بلعکس در نواحی جنوبی حوضه کاهش یافته است.

روش‌هایی که برای تخمین تبخیر تعرق استفاده می‌شود، در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از: روش‌های مستقیم و روش‌های محاسباتی (علیزاده، ۱۳۸۵). معادله بیلان آب یکی از بهترین روش‌ها برای تعیین تبخیر تعرق واقعی در حوضه‌های آبریز است و نتایج آن را می‌توان به‌عنوان داده‌های مشاهده شده برای تدوین مدل‌ها و ارزیابی آن‌ها استفاده کرد (رحیمی خوب و محمودی، ۱۳۹۰).

کرانگو و شارما (۱۹۹۷)، تبخیر و تعرق واقعی ماهانه برای چهار حوضه مرطوب در کنیا، شرق آفریقا را با استفاده از مدل‌های مورتون^۱ و گریندلی^۲ ارزیابی کردند. مساحت هر حوضه کم‌تر از ۱۰۰ کیلومتر مربع بود و همه حوضه‌های آبخیز در اطراف خط استوا قرار داشتند. سه حوضه از این حوضه‌ها دارای پوشش گیاهی علفی، یکساله و چندساله بودند، در حالی که یکی از آن‌ها عمدتاً تحت پوشش جنگل قرار داشت. نتایج حاصل از مدل‌های مذکور را با نتایج حاصل از بیلان آب مقایسه کردند. نتایج نشان داد که هر دو مدل در رابطه با مقادیر مبتنی بر بیلان آب، بیش برآورد داشتند. مدل گریندلی تخمین زد که برآوردها یا مساوی یا نزدیک به مقادیر تبخیر تعرق پتانسیل در تمام حوضه‌های آبخیز هستند. اگرچه مدل مورتون نسبت به نتایج بیلان آب کمی بیشتر بود، اما عملکرد بهتری داشت (Karongo and Sharma., 1997). رحیمی خوب و همکاران (۱۳۹۰)، حداقل داده‌های هواشناسی لازم برای برآورد تبخیر تعرق واقعی در حوضه‌ی امامه، در دامنه جنوبی منطقه البرز مرکزی را با استفاده از مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی، بررسی کردند. چهارنوع مدل شبکه

3- Global Land Evaporation Amsterdam Model
4- Remote sensors

1- Morton
2- Grindly

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

حوضه کرخه در غرب کشور، در مناطق میانی و جنوبی زاگرس قرار دارد و دارای مساحتی بالغ بر ۵۰۷۶۸ کیلومتر مربع است که حدود ۳۳۶۷۴ کیلومتر مربع آن در مناطق کوهستانی و مرتفع و حدود ۱۷۰۹۴ کیلومتر مربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهند. از نظر مختصات جغرافیایی بین ۴۶°۰۶' و ۴۹°۱۰' طول شرقی و ۳۳°۱۵' و ۳۳°۳۳' عرض شمالی قرار گرفته است (جاماب، ۱۳۷۴). این حوضه از شمال به حوضه رودخانه‌های سیروان، سفیدرود و قره‌چای، از مغرب به حوضه رودخانه‌های مرزی ایران و عراق، از شرق به حوضه رودخانه دز و از جنوب به قسمتی از مرز غربی کشور محدود می‌گردد (مصباح زاده و همکاران، ۱۳۹۷).

این حوضه در بردارنده‌ی استان‌های لرستان و کرمانشاه و بخش‌هایی از استان‌های کردستان، همدان، ایلام و خوزستان است که در شکل ۱ موقعیت آن بر روی استان‌ها نشان داده شده است. آبراهه‌ی اصلی حوضه، رود کرخه است که از تلاقی رودهای سیمره و کشکان در نزدیکی دره‌شهر تشکیل شده و رود سیمره نیز از پیوستن رودهای گاماسیاب و قره‌سو به‌وجود آمده است. رود گاماسیاب از دامنه‌های جنوبی الوند و قره‌سو از شمال کرمانشاه سرچشمه می‌گیرند. این دو رود در جنوب هرسین به یکدیگر می‌پیوندند و از آنجا به بعد سیمره نامیده می‌شود که جداکننده‌ی استان‌های لرستان و ایلام است. رود کشکان نیز از ارتفاعات شرق و شمال خرم‌آباد سرچشمه می‌گیرد و وارد رود سیمره می‌گردد که از آن پس، کرخه نامیده می‌شود. رود کرخه در غرب سوسنگرد به هورالعظیم می‌ریزد و سپس وارد عراق می‌شود (افشین، ۱۳۷۳). حوضه‌ی آبریز کرخه مانند یک لایسیمتر بزرگ حجمی است و تبخیرتقرق آن را می‌توان با استفاده از معادله بیلان آب بدست آورد. مؤلفه‌های اصلی معادله بیلان آب، بارش، تبخیرتقرق واقعی، رواناب و تغییر ذخیره آب خاک است. با توجه به اینکه میزان جریان ورودی و خروجی آب زیرزمینی به نسبت آب‌های سطحی بسیار ناچیز بوده، می‌توان تغییر ذخیره آب خاک را صفر در نظر گرفت. به این حوضه‌ها اصطلاحاً آب‌بند^۲ می‌گویند (رحیمی‌خوب و محمودی، ۱۳۹۰). موقعیت ایستگاه هیدرومتری و موقعیت این رودخانه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

تقسیم حوضه کرخه به چند زیرحوضه

تقسیم حوضه به چند زیرحوضه بر اساس آبراهه اصلی رودخانه انجام شد؛ به طوری که قسمت خروجی هر زیرحوضه دارای نقطه تمرکز است و در نزدیکی آن ایستگاه هیدرومتری با دوره‌ی آماری

بارندگی به عنوان یک عامل مهم در تبخیر از تشت، نه تنها در مناطقی که قابلیت دسترسی به آب خاک را محدود کرده‌اند، بلکه در مناطق پر باران ربایی و انرژی قابل‌دسترس کم شناخته شده است (Miralles et al., 2011). یانگ و همکاران تبخیرتقرق روزانه مدل GLEAM در مقیاس ۰/۲۵ درجه را با داده‌های تبخیرتقرق بدست آمده از روش ادی‌کوارینانس^۱ که به‌عنوان معیار انتخاب شده بود را در ۸ منطقه از شبکه جریان‌های مشاهداتی و تحقیقاتی چین انجام شد. آن‌ها تبخیرتقرق را در سراسر چین در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه و با چند نوع پوشش گیاهی مزرعه، چمن‌زار، درختچه، مراتع تنک و جنگل‌ها محاسبه کردند و نتیجه گرفتند که داده‌های مدل GLEAM در مقیاس زمانی مختلف می‌تواند تبخیرتقرق واقعی را با دقت قابل قبول برآورد کنند. درحالت کلی داده‌های حاصله از مدل GLEAM در سه منطقه مرتعی نسبت به چهارمنطقه‌ی جنگلی و یا زراعی به داده‌های حاصل روش ادی‌کوارینانس نزدیک‌تر بود (Yang et al., 2017). مارتینس و همکاران به تحلیل مشاهدات ماهواره‌ای رطوبت خاک و شوری اقیانوس در مدل تبخیرتقرق GLEAM که برای شبیه‌سازی تبخیرتقرق بر روی قاره استرالیا برای دوره سپتامبر ۲۰۱۰ - دسامبر ۲۰۱۳ پرداختند. مشاهدات رطوبت خاک با استفاده از الگوریتم نودینگ نیوتنی در یک سری آزمایش‌ها بررسی شدند. برآورده‌ی مدل رطوبت و تبخیر خاک سطحی به ترتیب بر روی اندازه‌گیری رطوبت خاک و اندازه‌گیری ادی‌کوارینانس ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که بجای رطوبت خاک مدل‌سازی شده از GLEAM، می‌تواند ارزیابی رطوبت خاک اصلاح شده را ارتقا ببخشد. متوسط ضریب همبستگی بین اندازه‌گیری و رطوبت خاک مدل‌سازی شده در نمونه کامل ایستگاه‌ها از ۰/۶۸ به ۰/۷۱ افزایش یافته و افزایش آماری معنی‌دار در همبستگی‌ها برای ۱۷ از ۲۵ هر ایستگاه، حاصل شده است (Martens et al., 2016). مرور منابع نشان داد که تاکنون مطالعه مستندی در خصوص ارزیابی داده‌های مدل GLEAM در ایران به ویژه در حوضه کرخه با تنوع پوشش گیاهی و توپوگرافی خاص آن انجام نشده است. بعلاوه کاربست رهیافت بیلان آب در مقیاس حوضه‌ای که محور تعدادی از مطالعات پیشین در این منطقه و سایر حوضه‌ها بوده است بعنوان شاخص ارزیابی معدلات تبخیرتقرق رایج در کنار داده‌های مدل GLEAM مورد بررسی گسترده نبوده است، با این رویکرد، موضوع پژوهش حاضر انتخاب و اجرا شد. هدف از این پژوهش، ارزیابی داده‌های مدل GLEAM در براساس معیار معادله بیلان آب (با فرض آب‌بند بودن) در حوضه کرخه می‌باشد.

2- watertight

1- Eddy covariance

دوره با مشخصات فوق تعیین شد و طبق معادله (۳) مقادیر تبخیر تعرق واقعی برای هر دوره به دست آمد سپس با تقسیم مقدار به دست آمده به تعداد روزهای دوره، میانگین تبخیر تعرق واقعی روزانه برای هر فصل به دست آمد.

تحلیل‌های آماری

برای ارزیابی مدل از شاخص‌های زیر استفاده شد.
 R^2 : ضریب تبیین ضریب همبستگی؛ همبستگی یا عدم همبستگی داده‌ها را به ترتیب در بازه (۱ و ۰) نشان می‌دهد.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})(p_i - \bar{p})]^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 \times \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} \quad (۴)$$

RMSE: میانگین خطای استاندارد یا جذر میانگین مربعات خطا که بیانگر میانگین تفاوت بین داده‌های مدل GLEAM و داده‌های خروجی معادله بیلان آب بوده که در واقع میزان خطای مطلق را نشان می‌دهد. عدد RMSE بیانگر میانگینی از خطاهای موجود است و هنگامی که هدف ارزیابی دقت کل داده‌ها باشد، می‌توان از این عدد به عنوان یک شاخص مهم استفاده نمود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}} \quad (۵)$$

MAE: میانگین خطای مطلق، اندازه‌گیری تفاوت بین دو متغیر مشاهداتی و محاسباتی مدل است.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |p_i - o_i|}{n} \quad (۶)$$

RD: انحراف نسبی، مقدار اندازه‌گیری را از مقدار محاسبه شده کم کرده و بر مقدار مقادیر اندازه‌گیری شده تقسیم می‌شود که هرچه این مقدار به ۰ نزدیک‌تر باشد، مقدار محاسبه شده مدل به مقدار اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر است و اگر این مقدار مثبت باشد، نشان از بیش برآورد مدل دارد:

$$RD = \frac{p_i - o_i}{o_i} \times 100 \quad (۷)$$

در روابط فوق؛ o_i مقادیر اندازه‌گیری شده، p_i مقادیر محاسبه شده مدل، n تعداد مشاهدات، \bar{o} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و \bar{p} میانگین مقادیر محاسبه شده است.

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از دو دسته داده به شرح زیر استفاده شد.

داده‌های هیدرومتری و هواشناسی: داده‌های هیدرومتری از سازمان آب‌وبرق خوزستان برای دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰ برای ایستگاه‌های مذکور دریافت شد. داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های همدیدی حوضه کرخه از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰ از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شد. این داده‌ها شامل: میانگین دما، دمای حداقل،

کافی وجود دارد. همچنین به منظور به حداقل رساندن خطای محاسباتی، زیرحوضه‌ها کوچک‌ترین حالت ممکن انتخاب شدند. تقسیمات زیرحوضه بر اساس شکل ۳ انجام شده و نام هر زیرحوضه براساس نام ایستگاه هیدرومتری در آن حوضه می‌باشد. در تقسیم حوضه به این نکته توجه شد که در هر زیرحوضه حداقل یک ایستگاه هیدرومتری و یک ایستگاه همدیدی^۱ وجود داشته باشد. علاوه بر این در هر یک از زیرحوضه‌ها، تغییرات ویژگی‌های فیزیکی از جمله شیب، پوشش گیاهی، نوع خاک به گونه‌ای است که بر دبی ابتدا و انتهای زیرحوضه تأثیر چشم‌گیری نمی‌گذارند.

برقراری معادله بیلان آب

اساس این معادله قانون بقای جرم است تغییرات مقدار آب در نیم‌رخ مشخصی از خاک صرفاً به علت ورود و یا خروج آب از آن است که معادله آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\Delta S = (P + I + U) - (R + D + E + T) \quad (۱)$$

که در آن:

ΔS تغییرات آب در خاک، P مقدار بارندگی، I مقدار آب آبیاری، U مقدار تغذیه آب زیرزمینی، R مقدار رواناب، D مقدار نفوذ عمقی، E مقدار تبخیر از سطح خاک و T مقدار تعرق است.

این معادله برای یک دوره زمانی معین Δt مجموع جبری آب‌های ورودی و خروجی و تغییرات ذخیره آب در حوضه مساوی صفر بوده و بر این اساس تبخیر تعرق را با استفاده از معادله زیر بدست می‌آید:

$$ET_a = P - R \pm \Delta S \quad (۲)$$

در این معادله P ، R ، ET_a و ΔS به ترتیب، بارندگی، رواناب، تبخیر تعرق واقعی و تغییرات آب در خاک در دوره Δt هستند. تمامی این پارامترها برحسب میلی‌متر می‌باشند. اندازه‌گیری مستقیم ΔS برای حوضه‌های آبریز مشکل است ولی دوره‌های زمانی خاصی در حوضه‌های آب وجود دارد که مقدار ΔS صفر می‌شود. این دوره‌ها بر روی شاخه‌های نزولی هیدروگراف خروجی حوضه به صورتی انتخاب می‌شود که دبی خروجی در ابتدا و انتهای هر دوره زمانی مساوی هم باشند (رحیمی خوب و محمودی، ۱۳۹۰). معادله (۲) به شکل زیر ساده‌سازی می‌شود:

$$ET_a = P - R \quad (۳)$$

در این تحقیق هیدروگراف‌های فصلی ایستگاه‌های هیدرومتری کرخه برای شش ماه گرم سال (فروردین_شهریور معادل ماه مارس_سپتامبر میلادی) در دوره آماری (۱۳۸۹-۱۳۶۶ معادل ۲۰۱۰-۱۹۸۷) این تحقیق ترسیم و در هر هیدروگراف حداقل یک

سال). شروع آن‌ها از ۱ ژانویه و مرکز آن‌ها در عرض جغرافیایی ۸۹/۸۷۵ و طول جغرافیایی ۱۷۹/۸۷۵- قرار دارد. داده‌های پایگاه اطلاعاتی GLEAM در دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰ میلادی معادل ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹ شمسی که از نوع NetCDF هستند در نرم‌افزار Arc GIS فراخوانی شده و به صورت فایل نوشتاری درآمدند. سپس در نرم‌افزار اکسل از داده‌های روزانه در یک فصل میانگین گرفته شد. این فرمت نیز از طریق کد نویسی در نرم‌افزار Matlab نیز قابل استفاده است.

نتایج و بحث

خروجی‌های مدل GLEAM

خروجی‌های مدل GLEAM به صورت میانگین روزانه برای هر فصل محاسبه شد و نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است. شاخص آماری R^2 بین تبخیرتغرق بیلان آبی و داده‌های GLEAM برای ایستگاه‌های مختلف مقایسه گردید که در جدول ۳ نشان داده شده است. بالاترین R^2 و کمترین RMSE و MAE، مربوط به ایستگاه پل‌چهر و کمترین R^2 و بالاترین RMSE و MAE، مربوط به ایستگاه پل دختر می‌باشد. چون ایستگاه پل دختر در نزدیکی سد کرخه قرار دارد لذا تبخیرتغرق ناشی از بیلان آب با تبخیرتغرق پایگاه GLEAM تفاوتشان زیاد می‌شود. چون علاوه بر بارندگی، باز و بسته شدن دریاچه‌های سد برای مدیریت منابع آبی نیز بر میزان رواناب مؤثر است. در شکل ۵، نقشه کاربری اراضی منطقه نشان می‌دهد که در مناطق جنگلی، مانند زیرحوضه پای‌پل و پل‌دختر، داده‌های مدل GLEAM، دقت لازم را در محاسبه تبخیرتغرق ندارد. علت آن می‌تواند وجود عوامل مختلف و تأثیرگذار بر تبخیرتغرق واقعی باشد. از جمله آن می‌توان به برگاب، پوشش گیاهی و ضرایب گیاهی اشاره نمود که مجموعه خطاها در هر متغیر، کاهش دقت در برآورد تبخیرتغرق به دنبال خواهد داشت. نقشه کاربری اراضی در شکل ۵ نشان داده شده است. شاخص RD نیز در کرخه برآورد قابل قبول مدل را در حوضه کرخه نشان می‌دهد. بهترین برآورد مدل در زیرحوضه‌ی پل‌چهر است زیرا کمترین مقدار را دارد. منفی بودن اعداد این شاخص نشان می‌دهد که مدل در هیچ زیرحوضه‌ای بیش برآورد نداشته است. نتایج شاخص RD نیز در جدول ۴ نشان داده شده است. تبخیرتغرق حاصل از معادله بیلان آب و داده‌های فوق برای هر ایستگاه مقایسه شد و نمودار مقایسه آن‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است.

بالاترین R^2 و کمترین RMSE و MAE، مربوط به ایستگاه پل‌چهر و کمترین R^2 و بالاترین RMSE و MAE، مربوط به ایستگاه پل دختر می‌باشد.

دمای حداکثر، رطوبت نسبی، بارندگی، سرعت باد و مجموع ساعت آفتابی می‌باشند. مشخصات ایستگاه هیدرومتری در جدول ۱ نشان داده شده است. خلاصه‌های آماری نیز با روش میانگین وزنی اصلاح گردید (رضازاده جودی و ستاری، ۱۳۹۵).

داده‌های مدل GLEAM

خروجی مدل GLEAM شامل تبخیرتغرق واقعی، تبخیر پتانسیل، برگاب، تبخیر از خاک بایر، تصعید برف، تفرق، تبخیر از سطح آب‌های آزاد، عامل تنش تبخیری^۱، رطوبت ناحیه ریشه، رطوبت سطح خاک از ۱۰-۰ سانتی‌متر می‌باشد. در دو نسخه ارائه شده‌ی پایگاه اطلاعات داده‌ی GLEAM، منابع مختلفی استفاده شده است. با اعمال تنش تبخیری، تبخیرتغرق پتانسیل به تبخیر واقعی تبدیل می‌شود. فاکتور تنش تبخیری (S)، بر اساس دیدبانی‌های امواج ماکروویو عمق نوری گیاه^۲، که معرف درصد رطوبت گیاه استفاده می‌شود و همچنین شبیه‌ساز رطوبت خاک در ناحیه ریشه است. رطوبت خاک ناحیه ریشه، با استفاده از شبیه‌سازی چرخه‌ی آب در چندلایه که توصیف نفوذ باران از طریق مشاهده نیمرخ عمودی خاک هست، محاسبه شده است. برای تصحیح خطای تصادفی، از مشاهدات رطوبت سطح خاک با استفاده از امواج ماکروویو، رطوبت پروفیل عمودی خاک، ارزیابی می‌شود. تخمین تبخیر واقعی برای منطقه پوشیده شده از برف و یا یخ از معادله پریستلی تیلور که با یخ و آب فراسرد سازگار شده، به دست می‌آید. طول و عرض جغرافیایی به شبکه‌های ۲۵/۰ × ۲۵/۰ درجه تقسیم‌بندی شده‌اند و داده‌ها به صورت روزانه هستند. موقعیت شبکه‌بندی مدل GLEAM در سطح حوضه کرخه در شکل ۴ نشان داده شده است.

دو مجموعه داده در مرکز پایگاه داده قرار دارد که تفاوت آن‌ها، در زمان و نوع داده‌های ورودی مجموعه است:

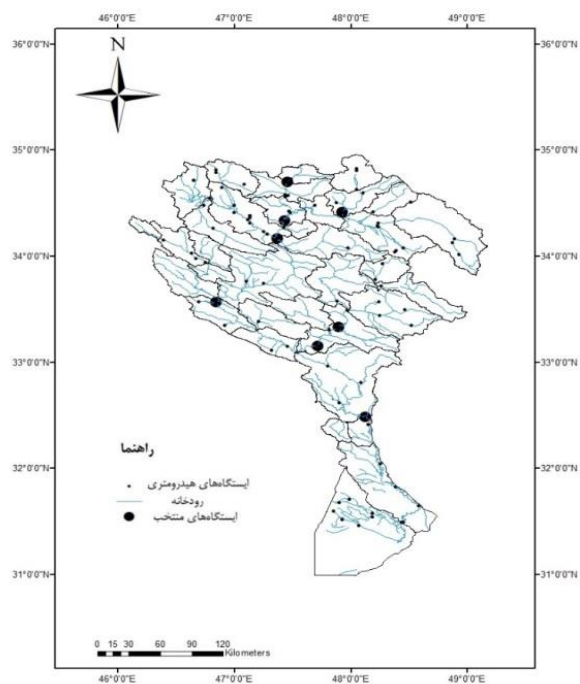
GLEAM v 3.2a

دوره‌ی آماری داده‌ها ۳۸ ساله (۲۰۱۷-۱۹۸۰) هستند. جهت محاسبه تبخیرتغرق از منابع مختلف استفاده شد. داده‌های تابش خورشیدی و دما براساس اندازه‌گیری زمینی می‌باشند و داده‌های بارندگی و عمق نوری گیاه به صورت ماهواره‌ای هستند.

GLEAM v 3.2b

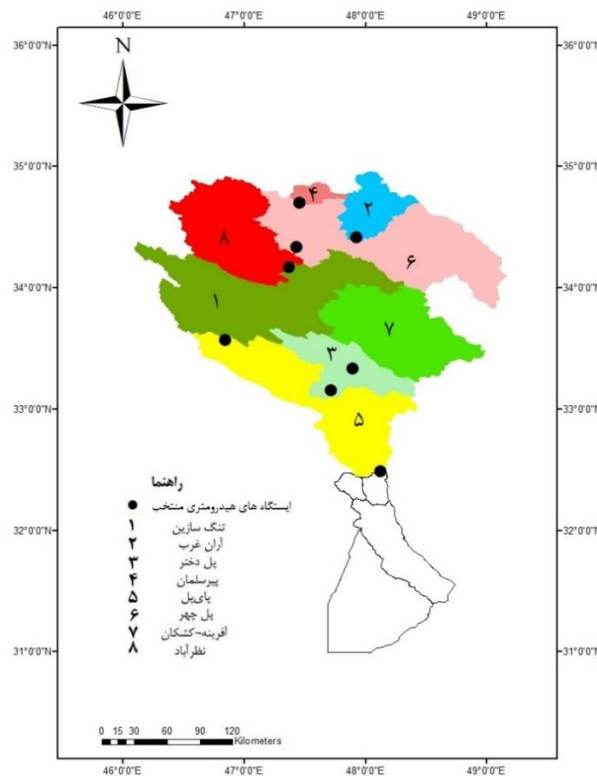
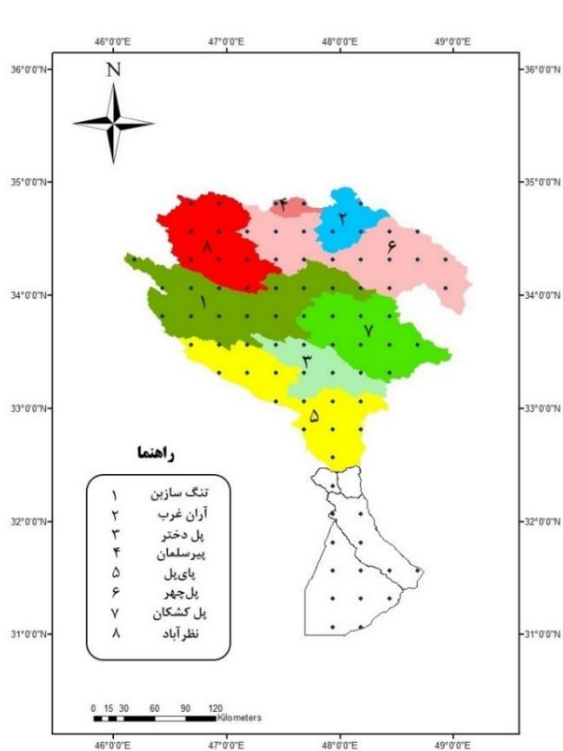
داده‌ها از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ هستند که همه پارامترهای آن ماهواره‌ای به دست می‌آیند. داده‌ها به صورت فایل NetCDF تهیه شده‌اند. که هر فایل مربوط به سال و یک پارامتر است. این فایل به صورت ۳ بعدی است $NDay \times ۱۴۴۰ \times ۷۲۰$ (روزهای مربوط به

- 1- Evaporation stress factor (S)
- 2- Vegetation Optical Depth



شکل ۲- نقشه توزیع جغرافیایی ایستگاههای هیدرومتری

شکل ۱- نقشه‌ی موقعیت کرخه بر روی استان‌ها



شکل ۴- موقعیت شبکه‌بندی مدل GLEAM در سطح حوضه کرخه

شکل ۳- زیر حوضه‌های منتخب در این مطالعه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	نام ایستگاه	نام رودخانه
۱۴۴۰	۴۷/۹۲	۳۴/۴۱	آران غرب	خرم رود
۷۰۰	۴۶/۸۴	۳۳/۵۷	تنگ سازین	سیمره
۷۰۰	۴۷/۷۲	۳۳/۱۶	پل دختر	کشکان
۹۰	۴۸/۱۵	۳۲/۴۲	پای پل	کرخه
۱۵۳۰	۴۷/۴۶	۳۴/۷۰	پیر سلمان	جامیشان
۵۵۰	۴۷/۴۳	۳۴/۱۸	نظرآباد	سیمره
۱۲۸۰	۴۷/۴۳	۳۴/۳۴	پل چهر	گاماسیاب
۹۶۰	۴۷/۹۷	۴۹/۳۳	آفرینه-کشکان	کشکان

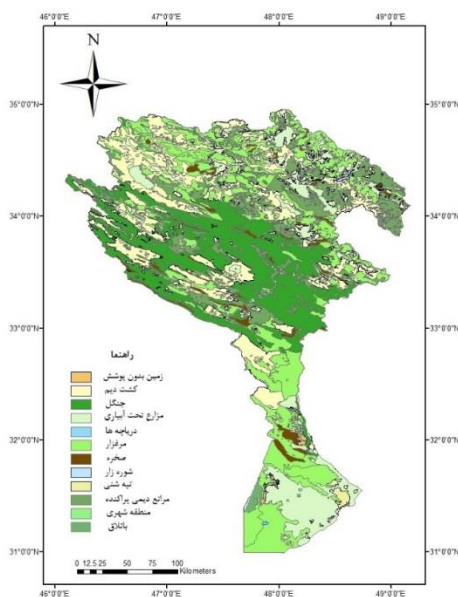
جدول ۲- جدول خروجی تبخیر تعرق واقعی مدل GLEAM برای زیرحوضه‌های انتخابی (میلی متر بر روز)

زیرحوضه								فصل	سال
آران غرب	پیرسلمان	نظرآباد	پل چهر	پای پل	پل دختر	تنگ سازین	پل کشکان		
۱/۶۰۹	۱/۳۳۷	۱/۳۴۳	۱/۰۳۲	۱/۰۳۲	۱/۴۱۶	۱/۶۶۵	۱/۵۳۴	بهار	۱۹۸۷
-۰/۱۱۴	-۰/۱۲۶	-۰/۱۱۷	-۰/۰۸۵	-۰/۰۸۵	-۰/۱۱۶	-۰/۱۸۱	-۰/۱۶۹	تابستان	
۱/۷۸۱	۱/۶۱۸	۱/۹۷۹	۱/۳۱۷	۱/۳۱۷	۱/۵۹۵	۱/۷۷۴	۱/۷۳۷	بهار	۱۹۸۸
-۰/۲۰۵	-۰/۱۲۲	-۰/۱۲۸	-۰/۰۹۵	-۰/۰۹۵	-۰/۰۹۷	-۰/۱۷۰	-۰/۱۴۸	تابستان	
۱/۳۳۱	۱/۳۳۱	۱/۳۴۰	۱/۰۳۹	۱/۰۳۹	۱/۴۷۸	۱/۵۲۰	۱/۵۰۹	بهار	۱۹۸۹
-۰/۰۹۳	-۰/۱۳۰	-۰/۱۵۵	-۰/۱۰۵	-۰/۱۰۵	-۰/۱۲۷	-۰/۱۳۲	-۰/۱۵۶	تابستان	
۱/۳۵۱	۱/۳۸۵	۱/۳۴۷	۱/۱۴۰	۱/۱۴۰	۱/۵۱۵	۱/۶۰۸	۱/۵۶۱	بهار	۱۹۹۰
-۰/۰۹۹	-۰/۰۹۸	-۰/۰۷۹	-۰/۰۸۲	-۰/۰۸۲	-۰/۰۹۷	-۰/۱۳۱	-۰/۱۱۶	تابستان	
۱/۱۷۱	۱/۰۳۴	-۰/۰۳۸	-۰/۹۴۶	-۰/۹۴۶	۱/۳۲۵	۱/۶۷۸	۱/۲۷۱	بهار	۱۹۹۱
/۰۴۵	-۰/۰۷۹	-۰/۰۷۹	-۰/۰۵۶	-۰/۰۵۶	-۰/۰۸۱	-۰/۱۲۹	-۰/۰۷۳	تابستان	
۲/۰۰۱	۱/۷۸۹	۱/۹۲۲	۱/۵۱۶	۱/۵۱۶	۱/۸۸۲	۱/۹۴۶	۱/۹۵۰	بهار	۱۹۹۲
-۰/۴۶۹	-۰/۲۵۵	-۰/۳۱۳	-۰/۱۴۸	-۰/۱۴۸	-۰/۲۲۰	-۰/۳۱۷	-۰/۳۸۴	تابستان	
۱/۷۶۱	۱/۹۸۰	۲/۲۹۷	۱/۶۱۸	۱/۶۱۸	۲/۰۶۹	۲/۱۳۵	۲/۱۴۱	بهار	۱۹۹۳
-۰/۱۵۱	-۰/۲۶۸	-۰/۴۱۸	-۰/۱۶۳	-۰/۱۶۳	-۰/۲۶۲	-۰/۲۹۹	-۰/۳	تابستان	
۱/۸۱۶	۱/۶۶۳	۱/۹۹۰	-۰/۹۸۰	-۰/۹۸۰	۱/۵۷۷	۱/۷۸۱	۲/۱۴۱	بهار	۱۹۹۴
-۰/۱۵۸	-۰/۱۰۳	-۰/۲۲۵	-۰/۰۶۶	-۰/۰۶۶	-۰/۱۰۸	-۰/۱۵۱	-۰/۳۰۱	تابستان	
۲/۲۵۲	۲/۳۰۷	۲/۴۳۳	۱/۵۲۲	۱/۵۲۲	۲/۰۷۴	۲/۲۴۳	۱/۸۶۱	بهار	۱۹۹۵
-۰/۳۵۳	-۰/۳۳۸	-۰/۴۸۴	-۰/۱۴۱	-۰/۱۴۱	-۰/۲۵۰	-۰/۳۶۰	-۰/۲۰۶	تابستان	
۱/۷۶۴	۱/۱۴۶	۲/۰۳۱	۱/۴۱۸	۱/۴۱۸	۱/۸۱۷	۱/۹۲۳	۱/۶۵۸	بهار	۱۹۹۶
-۰/۱۶۵	-۰/۱۱۸	-۰/۲۹۱	-۰/۱۱۸	-۰/۱۱۸	-۰/۱۶۵	-۰/۲۳۴	-۰/۱۵۲	تابستان	
۱/۵۲۶	۱/۳۱۸	۱/۸۴۵	۱/۱۵۸	۱/۱۵۸	۱/۶۷۴	۱/۶۷۸	۱/۷۷۲	بهار	۱۹۹۷
-۰/۱۰۳	-۰/۰۵۰	-۰/۱۸۷	-۰/۰۵۶	-۰/۰۵۶	-۰/۱۰۹	-۰/۱۲۹	-۰/۱۶۶	تابستان	
۱/۸۶۴	۱/۶۲۴	۲/۱۷۴	۱/۲۳۹	۱/۲۳۹	۱/۶۴۹	۱/۹۹۰	-۰/۹۷۱	بهار	۱۹۹۸
-۰/۲۲۴	-۰/۱۵۰	-۰/۳۰۵	-۰/۰۹۸	-۰/۰۹۸	-۰/۱۲۵	-۰/۲۱۴	-۰/۰۵۱	تابستان	
-۰/۷۷۹	۱/۰۳۷	۱/۵۱۱	-۰/۶۲۰	-۰/۶۲۰	-۰/۸۶۸	۱/۱۸۹	۱/۰۵۳	بهار	۱۹۹۹
-۰/۱۳۲	-۰/۲۱۷	-۰/۱۵۸	-۰/۰۵۱	-۰/۰۵۱	-۰/۰۲۹	-۰/۱۱	-۰/۰۴۹	تابستان	
۱/۰۸۹	-۰/۹۱۶	۱/۶۱۸	-۰/۶۵۴	-۰/۶۵۴	۱/۰۳۴	۱/۱۴۲	۱/۵۵۸	بهار	۲۰۰۰
-۰/۰۵۶	-۰/۰۷۷	-۰/۱۵۴	-۰/۰۳۴	-۰/۰۳۴	-۰/۰۵۳	-۰/۰۷	-۰/۱۱۰	تابستان	

۱/۳۰۹	۱/۳۵۰	۱/۷۲۳	۱/۰۳۵	۱/۰۳۵	۱/۶۱۷	۱/۵۶۲	۱/۴۹۶	بهار	۲۰۰۱
-/۰۸۳	-/۰۹۹	-/۱۶۱	-/۰۷۳	-/۰۷۳	-/۱۳۵	-/۱۱۶	-/۱۰	تابستان	
۱/۵۹۳	۱/۷۰۲	۱/۹۳۱	۱/۳۵۹	۱/۳۵۹	۱/۶۶۳	۱/۷۸۱	۱/۶۳۷	بهار	۲۰۰۲
-/۱۰۵	-/۱۱۹	-/۲۲۵	-/۱۱۰	-/۱۱۰	-/۱۱۹	-/۱۹۴	-/۱۱۸	تابستان	
۱/۵۸۶	۱/۷۵۷	۱/۹۱۱	۱/۰۶۳	۱/۰۶۳	۱/۴۲۸	۱/۶۶۵	۱/۴۷۳	بهار	۲۰۰۳
-/۱۱۰	-/۱۳۰	-/۲۰۹	-/۰۴۹	-/۰۴۹	-/۰۶۷	-/۱۴۴	-/۰۸۰	تابستان	
۱/۷۸۵	۱/۸۹۲	۲/۱۱۷	۱/۲۹۰	۱/۲۹۰	۱/۶۵۰	۱/۹۰۱	۱/۷۶۶	بهار	۲۰۰۴
-/۱۹۴	-/۲۳۶	-/۳۵۱	-/۰۹۴	-/۰۹۴	-/۱۱۲	-/۲۲۵	-/۱۷۸	تابستان	
۱/۴۸۰	۱/۵۹۴	۱/۸۱۲	۱/۰۵۴	۱/۰۵۴	۱/۵۲۴	۱/۶۱۸	۱/۵۷۴	بهار	۲۰۰۵
-/۱۱۲	-/۱۶۵	-/۱۷۸	-/۰۶۷	-/۰۶۷	-/۰۶۹	-/۱۲۸	-/۱۲۲	تابستان	
۱/۳۱۱	۱/۷۴۳	۲/۰۵۲	۱/۲۱۶	۱/۲۱۶	۱/۵۸۱	۱/۸۴۷	۱/۶۶۹	بهار	۲۰۰۶
-/۰۵۶	-/۱۱۶	-/۲۶۴	-/۰۹۰	-/۰۹۰	-/۱	-/۱۸۵	-/۱۴۲	تابستان	
۱/۸۳۹	۲/۰۱۳	۲/۲۳۵	۱/۳۸۸	۱/۳۸۸	۱/۹۱۶	۱/۹۸۴	۲/۰۱۶	بهار	۲۰۰۷
-/۱۸۳	-/۱۹۹	-/۳۵۱	-/۱۰۴	-/۱۰۴	-/۱۷۷	-/۲۱۷	-/۲۳۴	تابستان	
-/۸۲۱	-/۹۴۳	-/۹۵۵	-/۴۴۰	-/۴۴۰	-/۶۴۰	-/۷۷۱	-/۷۹۳	بهار	۲۰۰۸
-/۰۶۷	-/۰۸۶	-/۱۰۸	-/۰۷۳	-/۰۷۳	-/۰۷۵	-/۱۰۵	-/۰۸۲	تابستان	
۱/۳۴۷	۱/۴۱۵	۱/۷۸۴	-/۸۲۴	۱/۸۲۴	۱/۱۲۱	۱/۳۷۳	۱/۲۲۴	بهار	۲۰۰۹
-/۱۲۵	-/۱۲۴	-/۲۶۶	-/۰۸۳	-/۰۸۳	-/۰۸۰	-/۱۵۹	-/۱۰۵	تابستان	
۱/۹۱۶	۱/۸۷۱	۲/۲۰۸	۱/۳۹۸	۱/۳۹۸	۱/۸۴۲	۲/۰۱۲	۱/۷۰۳	بهار	۲۰۱۰
-/۱۸۴	-/۱۴۳	-/۳۳۱	-/۰۸۰	-/۰۸۰	-/۱۵۳	-/۲۱۷	-/۱۲۴	تابستان	

جدول ۳- شاخص R^2 ، RMSE و MAE بین تبخیر تعرق بیلان آبی و داده‌های GLEAM

شاخص آماری	بیل کشکان	تنگ سازبن	پلدختر	پای پل	بیل چهر	نظرآباد	پیرسلیمان	آران غرب
RMSE (mm/d)	-/۵۱	-/۷۳	-/۹۷	-/۴۵	-/۲۵	-/۷۴	-/۶۲	-/۷۰
MAE (mm/d)	-/۳۶	-/۵۳	-/۷۱	-/۳	-/۱۸	-/۵۸	-/۴۳	-/۵۲
R^2	-/۶۶	-/۵۶	-/۳۹	-/۵۹	-/۸۴	-/۷۷	-/۶۲	-/۶۶

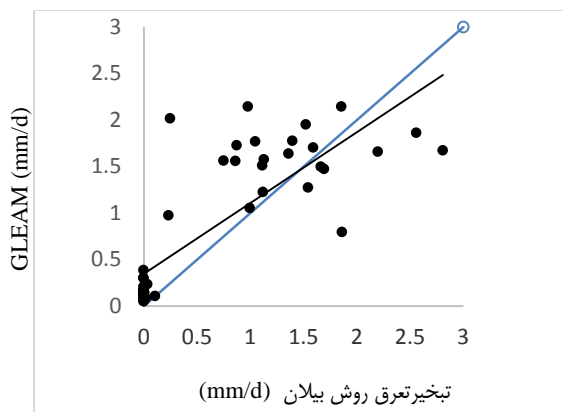


شکل ۵- نقشه کاربری اراضی

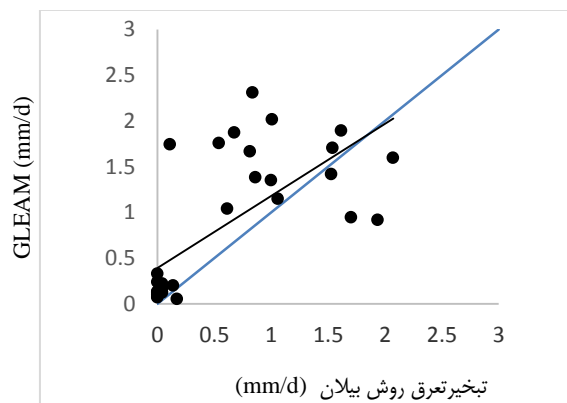
جدول ۴- شاخص آماری RD بین تبخیر تعرق بیلان آبی و داده‌های GLEAM برای زیرحوضه‌های مختلف

زیرحوضه									
سال	فصل	پل کشکان	تنگ سازین	پل چپر	پل دختر	پای پل	نظرآباد	پیرسلیمان	آران غرب
۱۹۸۷	بهار	-۰/۸۱۰	-۳/۶۱۶	-۰/۱۸۸	-۷/۵۸۳	-۱/۴۲۶	-	-	-۲/۳۶۵
	تابستان	-	-	-۰/۰۶۰	-	-	-	-	-۳/۸۳۰
۱۹۸۸	بهار	-۱/۱۰۵	-۱۲/۹۵۸	-۰/۱۵۳	-۵/۰۴۶	-۲/۴۹۶	-۰/۸۸۸	-	-۰/۹۹۳
	تابستان	-	-	-۸/۴۹۲	-	-	-۲۹/۸۲۴	-	-۲۷/۳۰۷
۱۹۸۹	بهار	-۰/۳۴۰	-۰/۸۶۱	-۰/۶۰۱	-۲۳۱/۳۲۳	-۲/۰۳۹	-۲/۵۲۰	-	-۷/۳۳۴
	تابستان	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۹۰	بهار	-۱/۳۲۹	-۵/۶۰۳	-۱/۲۴۴	-۱۲/۲۶۲	-۲/۰۹۶	-۱/۶۳۴	-	-۲/۶۵۸
	تابستان	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۹۱	بهار	۰/۷۲۱	۰/۶۹۴	-۲/۴۴۴	-۵/۲۶۸	۰/۲۰۵	-۰/۰۷۴۷	-	-۵/۸۷۹
	تابستان	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۹۲	بهار	۰/۲۴۲	-۱/۱۷۵	-۰/۵۴۷	-۵/۵۹۶	۰/۲۳۷	۰/۰۰۵	-	-۰/۷۱۱
	تابستان	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۹۳	بهار	-۱/۲۰۴	-۶/۵۹۲	۰/۹۲۹	-۸/۴۱۹	-۴/۵۳۴	-۱/۴۳۳	-	-۰/۰۰۳
	تابستان	-	-	-	-	-۶۵/۴۲۷	-	-	-
۱۹۹۴	بهار	۰/۷۰۵	-۰/۱۲۰	-۰/۵۰۳	-۶/۶۶۰	-۱/۲۲۴	-۰/۳۶۲	-۱/۲۳۰	-۲/۶۶۲
	تابستان	-	-	-	-	-	-۱۰/۶۵۳	-	-۲۴۱/۷۰۴
۱۹۹۵	بهار	۱/۸۳۴	-۰/۷۱۸	-۰/۳۸۹	-۴/۴۹۳	-۰/۰۳۶	-۱/۷۶۸	-۱/۹۲۶	-۰/۹۶۳
	تابستان	-	-۲۹/۱۹۵	-	-	-	-	-	-۳۳۸/۲۰۵
۱۹۹۶	بهار	۱/۴۴۸	-۰/۲۵۲	۱/۰۳۸	-۳/۰۵۹	۰/۱۹۰	-۰/۵۶۸	-۰/۰۲۲	-۱/۸۰۹
	تابستان	-	-	-	-	-	-۱۵/۸۷۶	-	-۷/۷۰۵
۱۹۹۷	بهار	۰/۱۲۷	-۱/۵۴۲	-۰/۰۱۹	-۴/۰۴۲	-۰/۹۸۶	-۲/۱۹۸	-۰/۷۴۰	-۳/۶۹۹
	تابستان	-	-	-۵/۴۷۲	-	-	-۳/۶۸۶	-۰/۱۲۰	-
۱۹۹۸	بهار	-۳/۹۲۱	-۱۱/۲۵۳	۱/۱۹۴	-۲۱/۸۲۶	-۹/۷۴۲	-۳/۰۷۸	-	-۲/۴۵۱
	تابستان	-۴۱/۲۷۶	-۷/۷۱۱	-۶/۲۴۴	-	-	-۱۰/۵۹۱	-	-۳/۷۴۴
۱۹۹۹	بهار	۰/۰۶۰	-۲/۳۳۸	۰/۲۳۱	-۰/۵۴۳	-۱/۸۳۱	-۰/۶۷۷	-۱/۰۷۴	-۲/۷۹۳
	تابستان	-	-	-۰/۴۳۰	-	-	-۲/۰۷۱	-۴/۸۸۱	-۰/۶۳۶
۲۰۰۰	بهار	-۰/۹۴۶	-۰/۶۸۸	-۰/۴۹۹	-۶/۰۱۳	-۰/۵۳۰	-۳/۴۰۵	۱/۴۶۳	-۱۰/۵۳۳
	تابستان	-۶۷۹/۳۱۳	-	-۰/۸۹۹	-	-	-۲۰/۴۷۸	-	-۲/۶۵۸
۲۰۰۱	بهار	۰/۷۶۷	-۰/۹۹۴	-۰/۳۹۹	-۲۰/۵۵۹	-۰/۰۳۵	-۰/۸۷۹	-۰/۳۵۲	-۳/۴۵۴
	تابستان	-	-	-۲/۱۵۱	-	-	-۶/۴۷۸	-	-۱/۳۵۴
۲۰۰۲	بهار	۰/۱۵۷	-۱/۷۴۴	۰/۳۰۲	-۱۱/۶۱۱	-۱/۳۴۵	-۰/۸۷۰	۰/۴۳۴	۰/۱۰۳
	تابستان	-	-	-۱۱/۱۲۱	-	-	-	-۲/۷۹۰	-
۲۰۰۳	بهار	۰/۸۲۶	-۰/۹۰۵	-۰/۱۰۹	-۵/۹۵۰	-۰/۷۵۵	-۱/۳۵۸	-۲/۷۰۱	-۴/۷۵۷
	تابستان	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۰۰۴	بهار	-۰/۶۲۵	۱/۰۸۸	۰/۸۵۷	-۶۱/۸۴۵	-۱/۸۷۶	۰/۵۷۶	۰/۴۴۵	-۰/۰۲۰
	تابستان	-	-	-۲۴/۹۳۷	-	-	-۱۸/۸۸۸	-	-۱/۴۸۶
۲۰۰۵	بهار	-۰/۲۶۳	-۰/۷۱۹	-۰/۷۲۱	-۱۰/۰۴۰	-۰/۷۴۶	-۶/۴۳۸	۱/۳۰۴	-۱/۸۵۶
	تابستان	-	-	-۱۵/۵۱۹	-	-	-۲/۴۴۵	-۳/۷۵۱	-۷۹/۱۸۱
۲۰۰۶	بهار	۲/۲۱۴	-۱/۹۰۹	-۰/۳۴۹	-۵/۰۷۶	-۱/۵۷۶	-۰/۵۲۰	-۱۵/۵۹۵	-۲/۸۰۶
	تابستان	-۱۶/۶۴۰	-	-۴/۱۰۸	-	-	-	-۴/۴۶۱	-
۲۰۰۷	بهار	-۷/۸۱۸	-۶/۷۶۰	۱/۱	-۲۲/۷۹۷	-۸/۶۲۰	-۰/۴۸۰	-۰/۹۹۲	-۰/۱۳۵

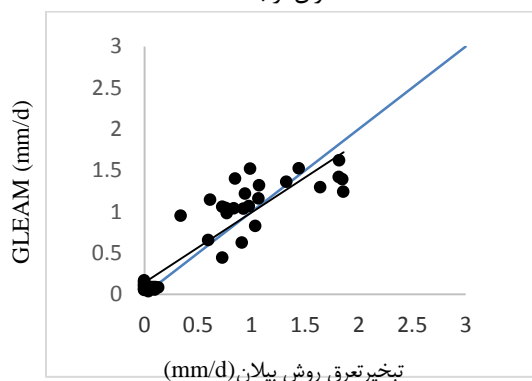
-۱۸/۹۴۷	-۱/۲۸۵	-۷/۴۳۵	-۱/۴۷۲	-۳/۶۳۷	-	-۱/۳۷۴	-۶/۲۹۵	تابستان	
-۲/۵۳۰	۱/۱۴۹	۰/۴۳۷	۰/۷۸۳	-۱/۰۳۷	۰/۱۲۳	۰/۷۵۱	۱/۴۳۹	بهار	۲۰۰۸
-۱/۶۸۳	-۳۹/۹۶۹	-۸/۳۷۴	-	-	-۷/۲۶۳	-۵/۳۴۳	-۳/۷۷۸	تابستان	
-۲/۶۹۷	۰/۶۰۴	-۱/۹۸۷	-۰/۵۷۹	-۳۲/۵۴۴	۰/۲۴۴	-۰/۵۵۱	۰/۰۲۷	بهار	۲۰۰۹
-۱/۴۴۱	-	-۷/۴۱۷	-۴/۴۱۹	-۴/۰۷۲	-۰/۷۳۷	-۳/۲۲۷	-۰/۸۹۶	تابستان	
-۲۳/۲۶۳	-۲/۰۹۱	-۱/۵۵۴	-۰/۷۴۸	-۸/۸۸۶	-۰/۸۰۳	۰/۰۳۴	۰/۵۲۴	بهار	۲۰۱۰
-۳/۳۰۹	-۱۰/۹۲۳	-	-	-	-۰/۴۷۹	-	-	تابستان	
-۲۱/۰۰۴	-۳/۷۲۹	-۴/۹۶۲	-۴/۱۹۰	-۱۹/۶۱۰	-۲/۳۹۷	-۳/۶۴۸	-۲۵/۱۸۲	میانگین	



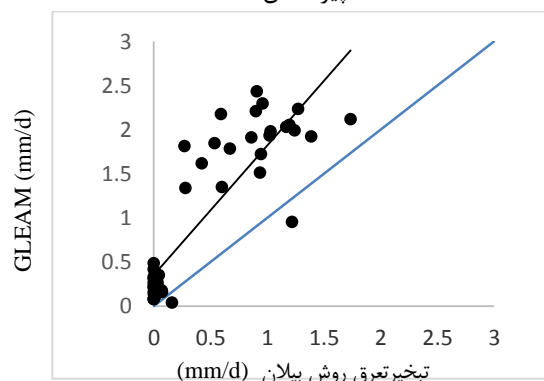
آران غرب



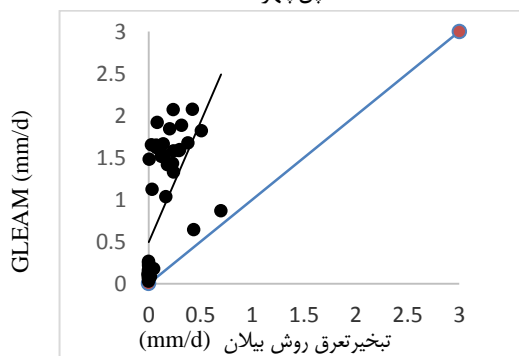
پیرسلیمان



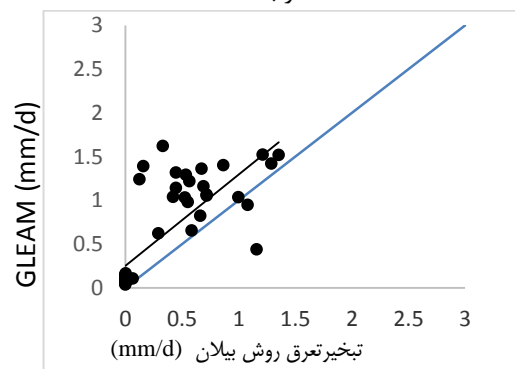
پل چهر



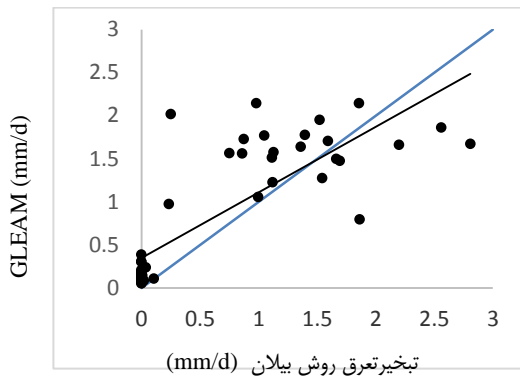
نظرآباد



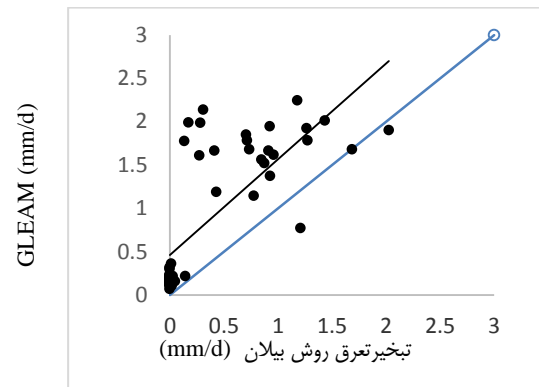
پل دختر



پای پل



پل کشکان



تنگ سازبن

شکل ۶- مقایسه مقادیر تبخیر تعرق روش بیلان و حاصله از مدل GLEAM برای ایستگاه

منابع

افشین، ی. ۱۳۷۳. رودهای ایران (جلد ۱). وزارت نیرو - مهندسين مشاور جاماب.

رحیمی خوب، ع. و محمودی، ع. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر تعرق واقعی از سطح حوضه آبریز با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی و حداقل داده های هواشناسی - مطالعه موردی حوضه معرف امامه. تحقیقات منابع آب ایران، ۶۱-۵۱.

رضازاده جودی، ع. و ستاری، ت. ۱۳۹۵. ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف در بازسازی داده های بارش ماهانه. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۶(۴۲)، ۱۷۶-۱۵۵.

سبزی پرور، ع. ا.، سقائی، ص. و نوذری، ح. ۱۳۹۲. مقایسه تبخیر تعرق مرجع دو روش هارگریوز-سامانی و استاندارد فائو ۵۶ در مقیاس پهنه ای در حوضه کرخه بزرگ، نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱(۲)، ۴۶.

علیزاده، ا. ۱۳۸۵. طراحی سیستم‌های آبیاری، جلد اول، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۴۶۰.

کاظمی، آ. ۱۳۹۶. تحلیل عدم قطعیت و انتخاب بهترین ترکیب مدل‌های برآورد تبخیر تعرق بر اساس روش بیلان آب و میانگین گیری بیزی (مطالعه موردی: حوضه گرگان رود-قره‌سو). پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

محمودی، ب. و سرلک، م. ۱۳۸۷. برآورد عوامل موثر بر عرضه و تقاضای آب و جایگاه ایران در منطقه، اولین کنفرانس بین المللی بحران آب، زابل، دانشگاه زابل، پژوهشکده تالاب بین المللی هامون.

مصباح زاده، ط.، سلیمانی ساردو، ف. ۱۳۹۷. بررسی روند زمانی

نتیجه گیری

برآورد تبخیر تعرق در مقیاس منطقه‌ای جهت بهبود مدیریت منابع آب و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی، پیش‌بینی های اقلیمی و پایش خشکسالی خشکسالی بسیار حائز اهمیت است. در این مطالعه داده‌های تبخیر تعرق واقعی سطح زمین مدل GLEAM با داده‌های تبخیر تعرق معادله بیلان آب در حوضه کرخه مقایسه و ارزیابی شد. نتایج نشان داد که این مدل تقریباً برای تمامی ایستگاه‌ها از دقت قابل قبولی برخوردار است. نمایه R^2 برای تمامی ایستگاه‌ها مطالعاتی تعیین شد که بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه پل چهر و پایین‌ترین آن در پل دختر به ترتیب $0/84$ و $0/38$ به دست آمد. یافته‌های این پژوهش مؤید آن است که خروجی‌های مدل GLEAM که عمدتاً مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای است، برای حوضه کرخه قابل استفاده است و می‌تواند در صورت فقدان یا کمبود داده‌های مشاهده‌ای جایگزین مناسبی برای روش‌های تجربی و مرسوم باشد. هرچند واسنجی و نیز راستی آزمایی‌های بیشتر این این داده‌ها در حوضه کرخه و سایر مناطق ضروری است. به‌طور مشابه یانگ و همکاران نیز تبخیر تعرق روزانه داده‌های مدل GLEAM را با داده‌های تبخیر تعرق بدست آمده از روش اددی کواریانس را در ۸ منطقه در چین انجام دادند و نتیجه گرفتند که داده‌های مدل GLEAM در مقیاس زمانی مختلف می‌تواند تبخیر تعرق واقعی را برای آن منطقه، با دقت قابل قبول برآورد کنند؛ به جز در مناطق جنگلی که در هر مقیاس زمانی بطور قابل ملاحظه‌ای اختلاف اساسی دارد. لذا نتایج آن‌ها، نتایج این پژوهش را نیز تصدیق می‌کند. وجود اختلاف در اعداد حاصل از دو روش تبخیر تعرق محاسبه شده از بیلان آب و تبخیر تعرق خروجی مدل GLEAM می‌تواند به علت تفاوت در دقت متغیرهای مشاهده‌ای/برآوردی ورودی و همچنین مقادیر ضرایب گیاهی، به‌خصوص در مناطق جنگلی باشد.

- Karongo, S.K., & Sharma, T.C. 1997. An evaluation of actual evapotranspiration in tropical east Africa. *Hydrological Processes*, 11(5), 501-510.
- Martens, B., Miralles, D., Lievens, H., Fernández-Prieto, D., & Verhoest, N. E. 2016. Improving terrestrial evaporation estimates over continental Australia through assimilation of SMOS soil moisture. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 48, 146-162.
- Miralles, D., De Jeu, R., Gash, J., Holmes, T & Dolman, A. 2011. Magnitude and variability of land evaporation and its components. *Hydrology and Earth System Sciences*, 967-981.
- Miralles, D.G., Holmes, T.R.H., De Jeu, R.A.M., Gash, J.H.C., Meesters, A.G.C.A., & Dolman, A.J. 2011. Global land-surface evaporation estimated from satellite-based observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 453-469.
- Yang, X., Yong, B., Ren, L., Zhang, Y., & Long, D. 2017. Multi-scale validation of GLEAM evapotranspiration products over China via ChinaFLUX ET measurements. *International Journal of Remote Sensing*, 38(20), 5688-5709.
- خشکسالی هیدرولوژیک و هواشناسی در حوضه آبریز کرخه . مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران ۱۱۵-۱۰۵.
- نوروز ولاشدی، ر. ۱۳۹۶. تغییرات مکانی ضریب تشت تبخیر حوضه آبریز کرخه در دو دوره اقلیمی درازمدت. دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Bakhtiari, B., Ghahreman, N., Liaghat. A., Hoogenboom, G. 2011. Evaluation of reference evapotranspiration models for a semiarid environment using lysimeter measurements. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13(2), 223-237.
- Ghahreman, N. and Sameti, M. 2014. Comparison of M5 model tree and artificial neural network for estimating potential evapotranspiration in semi-arid climates. *DESERT*, 19(1), 75-81 10.22059/jdesert.2014.51056.

Evaluation of Evapotranspiration Estimations of GLEAM Model in Northern Part of Karkheh River Basin

A. Abdi Dezfuli¹, N. Ghahreman^{2*}, M. Ghamghami³

Received: Jan.05, 2020

Accepted: Jan.22, 2020

Abstract

Regional estimation of evapotranspiration (ET) is crucial in agricultural water management, cropping pattern and crop yield forecasting. The main purpose of this study is evaluation of ET estimations of Global Land Evaporation Amsterdam (GLEAM) model in Karkheh River Basin (KRB), southwest of Iran. GLEAM outputs include different set of RS-based estimations, i.e. transpiration, interception, bare soil evaporation, open water evaporation and snow sublimation. In current research, the GLEAM estimation of actual evapotranspiration was compared by water balance approach (assuming a watertight basin) using coefficient of determination (R^2). The corresponding values of R^2 for the each study stations across the in Karkheh River Basin (KRB) namely Aran-e-Gharb, Pirsalman, Nazarabad, Polchehr, Paypol, Poldokhtar, Tangsazbon, Pole-e-kashkan were 0.66, 0.62, 0.77, 0.84, 0.59, 0.49, 0.56 and 0.66. Similarly, the RMSE values were 0.7, 0.62, 0.74, 0.25, 0.45, 0.87, 0.73 and 0.51. The MAE of same comparisons were found to be 0.52, 0.43, 0.58, 0.18, 0.3, 0.71, 0.53 and 0.36. Besides the relative deviation of GLEAM dataset estimations and those obtained from water balance method were calculated as -21, -3.73, -4.96, -4.19, -19.61, -2.39, -3.64, -25.18. The best agreement by all statistical indices was observed in Polchehr sub-basin. The results of this study indicated that RS-based estimations of GLEAM model can be used in Karkhe basin, especially in regions with lack of sufficient observed data. Further studies in the same basin and other climatic regions of the country are recommended.

Keywords: Water Balance, Iran, Evapotranspiration, Satellite Estimations, GLEAM model

1- M.Sc. Graduate, University of Tehran

2- Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran

3- Ph.D. Graduate, University of Tehran

(*- Corresponding Author Email: nghahreman@ut.ac.ir)