

ارزیابی برآوردهای تبخیرتغرق 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 تبخیرتغرق 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 تبخیرتغرق واقعی در حوضه کرخه می‌باشد. مدل جهانی تبخیرتغرق سطح خشکی آمستردام (GLEAM) اجزای مختلف تبخیرتغرق (شامل ترق، 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 ، RMSE، MAE و RD مابین مقادیر تبخیرتغرق اخذ شده از پایگاه داده‌های GLEAM و روش بیلان برای ایستگاه‌های، آران‌غرب، پیرسلیمان، 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، ۰/۵۲، 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-، ۴۷/۹-، ۱۹/۶-، ۲۷/۳-، ۳۷/۴- و 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، تبخیرتغرق

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 تبخیرتغرق اند؛ ولی در صورت محدود بودن آب در این چرخه، مقدار تبخیرتغرق بسته به خصوصیات خاک و میزان آب موجود در آن است (Allen et al., 1998). مطالعات زیادی درخصوص برآورد تبخیرتغرق و معادلات تجربی مناسب در ایران انجام شده است (Bakhtiari, 2011, et.al., Ghahreman and Sameti 2014).

حوضه کرخه با توپوگرافی و پوشش گیاهی متنوع و نقش مهم آن در منابع آب سطحی کشور موضوع تحقیقات بسیاری در زمینه برآوردهای تبخیر، تبخیرتغرق بوده است. سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از داده‌های هواشناسی ۲۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه آبریز کرخه و نواحی اطراف آن، تبخیرتغرق 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 تبخیرتغرق است. از میان این اجزاء، تبخیرتغرق 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 به‌ترتیب 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-مانتیث، پریستلی-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 درونیایی، 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 درونیایی، 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 ولاشیدی (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 ادی‌کواریانس^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 ادی‌کواریانس 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 نوپینگ نیوتنی در یک سری آزمایش‌ها بررسی شدند. برآورده‌ی مدل رطوبت و تبخیر خاک سطحی به ترتیب بر روی اندازه‌گیری رطوبت خاک و اندازه‌گیری ادی‌کواریانس 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.

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 درواقع 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 آب و برق 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 درهریک 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 (رجیمی 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 ۱۹۸۷-۲۰۱۰) 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 تبخیرتقرق 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 تبخیرتقرق ناشی از بیلان آب با تبخیرتقرق پایگاه GLEAM تفاوتشان زیاد می‌شود. چون علاوه بر بارندگی، باز و بسته شدن دریچه‌های 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 تبخیرتقرق ندارد. علت آن می‌تواند وجود عوامل مختلف و تأثیرگذار بر تبخیرتقرق واقعی باشد. ازجمله آن می‌توان به برگاب، پوشش گیاهی و ضرایب گیاهی اشاره نمود که مجموعه خطاها در هر متغیر، کاهش دقت در برآورد تبخیرتقرق به‌دنبال 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. تبخیرتقرق 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. خلاصه‌ای آماری نیز با روش میانگین وزنی اصلاح گردید (رضازاده جودی و ستاری، ۱۳۹۵).

داده‌های مدل GLEAM

خروجی مدل GLEAM شامل تبخیرتقرق 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، تبخیرتقرق 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:

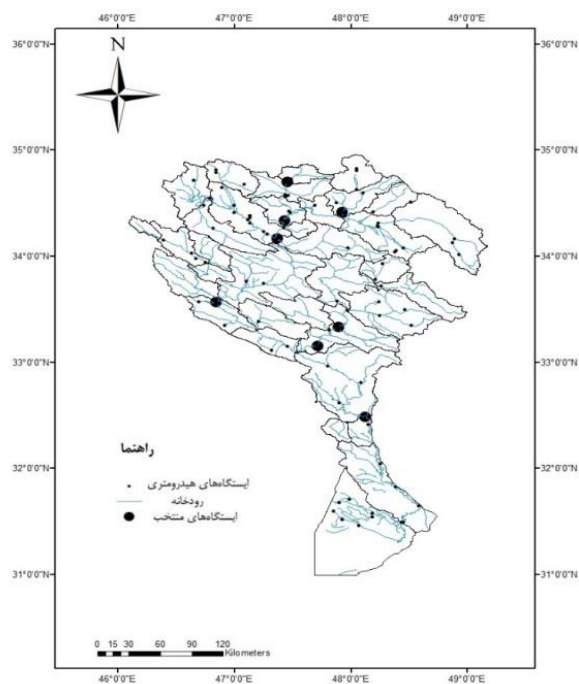
GLEAM v 3.2a

دوره‌ی آماری داده‌ها ۳۸ ساله (۲۰۱۷-۱۹۸۰) هستند. جهت محاسبه تبخیرتقرق 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

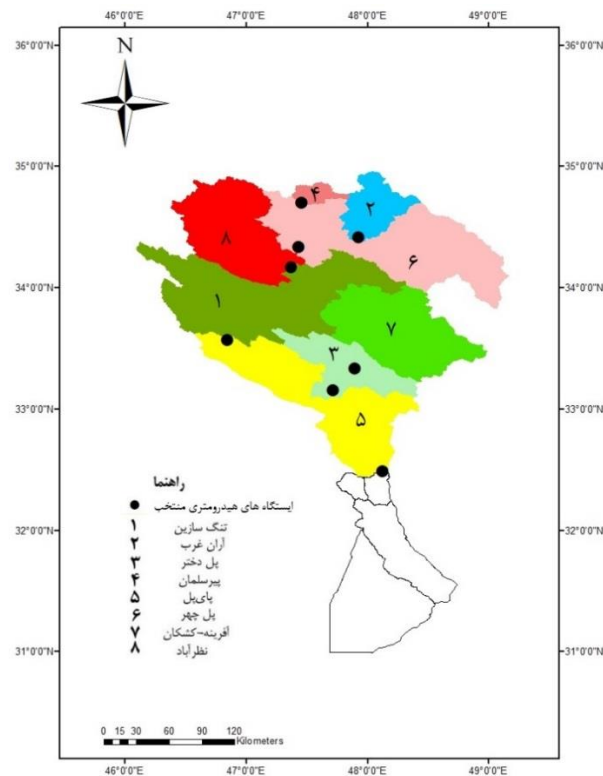
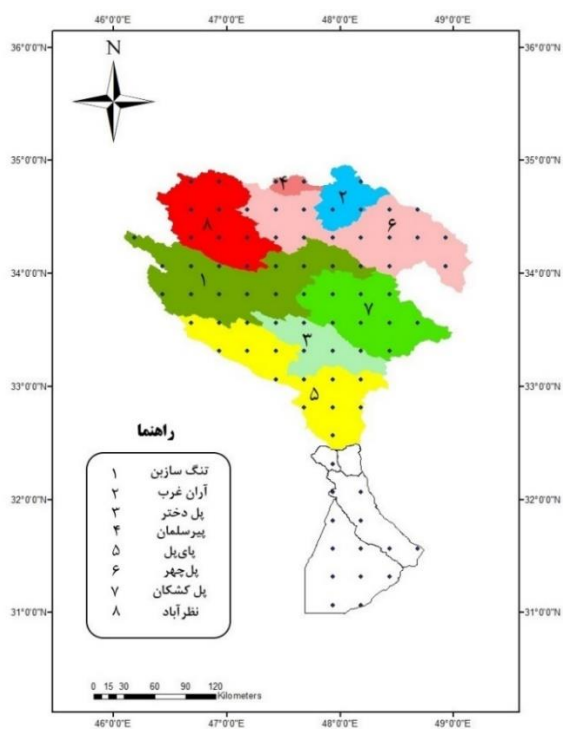
داده‌ها از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ هستند که همه پارامترهای آن ماهواره‌ای به دست می‌آیند. داده‌ها به صورت فایل NetCDF تهیه شده‌اند. که هر فایل مربوط به سال و یک پارامتر است. این فایل به صورت ۳ بعدی است $۷۲۰ \times ۱۴۴۰ \times \text{NDay}$ (روزهای مربوط به

- 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

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

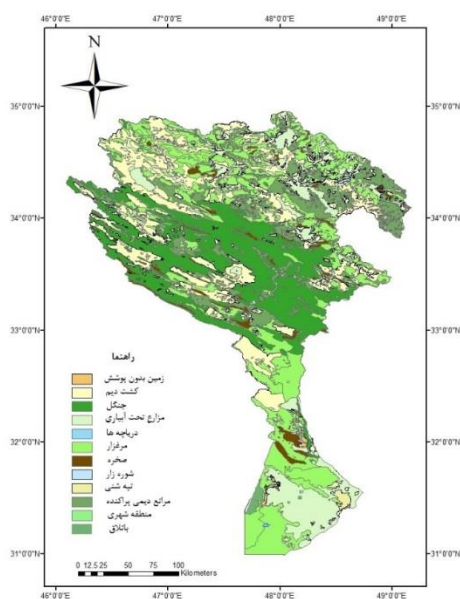
جدول ۲- جدول خروجی تبخیر تعرق واقعی مدل GLEAM برای زیرحوضه‌های انتخابی (میلی متر بر روز)

زیرحوضه								فصل	سال
پل کشکان	تنگ سازین	پل دختر	پای پل	پل چهر	نظرآباد	پیرسلمان	آران غرب		
۱/۵۳۴	۱/۶۶۵	۱/۴۱۶	۱/۰۳۲	۱/۰۳۲	۱/۳۴۳	۱/۳۳۷	۱/۶۰۹	بهار	۱۹۸۷
۰/۱۶۹	۰/۱۸۱	۰/۱۱۶	۰/۰۸۵	۰/۰۸۵	۰/۱۱۷	۰/۱۲۶	۰/۱۱۴	تابستان	
۱/۷۳۷	۱/۷۷۴	۱/۵۹۵	۱/۳۱۷	۱/۳۱۷	۱/۹۷۹	۱/۶۱۸	۱/۷۸۱	بهار	۱۹۸۸
۰/۱۴۸	۰/۱۷۰	۰/۰۹۷	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۱۲۸	۰/۱۲۲	۰/۲۰۵	تابستان	
۱/۵۰۹	۱/۵۲۰	۱/۴۷۸	۱/۰۳۹	۱/۰۳۹	۱/۳۴۰	۱/۳۲۱	۱/۳۳۱	بهار	۱۹۸۹
۰/۱۵۶	۰/۱۳۲	۰/۱۲۷	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۵۵	۰/۱۳۰	۰/۰۹۳	تابستان	
۱/۵۶۱	۱/۶۰۸	۱/۵۱۵	۱/۱۴۰	۱/۱۴۰	۱/۳۴۷	۱/۳۸۵	۱/۳۵۱	بهار	۱۹۹۰
۰/۱۱۶	۰/۱۳۱	۰/۰۹۷	۰/۰۸۲	۰/۰۸۲	۰/۰۷۹	۰/۰۹۸	۰/۰۹۹	تابستان	
۱/۲۷۱	۱/۶۷۸	۱/۳۲۵	۰/۹۴۶	۰/۹۴۶	۰/۰۳۸	۱/۰۳۴	۱/۱۷۱	بهار	۱۹۹۱
۰/۰۷۳	۰/۱۲۹	۰/۰۸۱	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۰۷۹	۰/۰۷۹	۰/۰۴۵	تابستان	
۱/۹۵۰	۱/۹۴۶	۱/۸۸۲	۱/۵۱۶	۱/۵۱۶	۱/۹۲۲	۱/۷۸۹	۲/۰۰۱	بهار	۱۹۹۲
۰/۳۸۴	۰/۳۱۷	۰/۲۲۰	۰/۱۴۸	۰/۱۴۸	۰/۳۱۳	۰/۲۵۵	۰/۴۶۹	تابستان	
۲/۱۴۱	۲/۱۳۵	۲/۰۶۹	۱/۶۱۸	۱/۶۱۸	۲/۲۹۷	۱/۹۸۰	۱/۷۶۱	بهار	۱۹۹۳
۰/۳	۰/۲۹۹	۰/۲۶۲	۰/۱۶۳	۰/۱۶۳	۰/۴۱۸	۰/۲۶۸	۰/۱۵۱	تابستان	
۲/۱۴۱	۱/۷۸۱	۱/۵۷۷	۰/۹۸۰	۰/۹۸۰	۱/۹۹۰	۱/۶۶۳	۱/۸۱۶	بهار	۱۹۹۴
۰/۳۰۱	۰/۱۵۱	۰/۱۰۸	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۲۲۵	۰/۱۰۳	۰/۱۵۸	تابستان	
۱/۸۶۱	۲/۲۴۳	۲/۰۷۴	۱/۵۲۲	۱/۵۲۲	۲/۴۳۳	۲/۳۰۷	۲/۲۵۲	بهار	۱۹۹۵
۰/۲۰۶	۰/۳۶۰	۰/۲۵۰	۰/۱۴۱	۰/۱۴۱	۰/۴۸۴	۰/۳۲۸	۰/۳۵۳	تابستان	
۱/۶۵۸	۱/۹۲۳	۱/۸۱۷	۱/۴۱۸	۱/۴۱۸	۲/۰۳۱	۱/۱۴۶	۱/۷۶۴	بهار	۱۹۹۶
۰/۱۵۲	۰/۲۳۴	۰/۱۶۵	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۲۹۱	۰/۱۱۸	۰/۱۶۵	تابستان	
۱/۷۷۲	۱/۶۷۸	۱/۶۷۴	۱/۱۵۸	۱/۱۵۸	۱/۸۴۵	۱/۳۱۸	۱/۵۲۶	بهار	۱۹۹۷
۰/۱۶۶	۰/۱۲۹	۰/۱۰۹	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۱۸۷	۰/۰۵۰	۰/۱۰۳	تابستان	
۰/۹۷۱	۱/۹۹۰	۱/۶۴۹	۱/۲۳۹	۱/۲۳۹	۲/۱۷۴	۱/۶۲۴	۱/۸۶۴	بهار	۱۹۹۸
۰/۰۵۱	۰/۲۱۴	۰/۱۲۵	۰/۰۹۸	۰/۰۹۸	۰/۳۰۵	۰/۱۵۰	۰/۲۲۴	تابستان	
۱/۰۵۳	۱/۱۸۹	۰/۸۶۸	۰/۶۲۰	۰/۶۲۰	۱/۵۱۱	۱/۰۳۷	۰/۷۷۹	بهار	۱۹۹۹
۰/۰۴۹	۰/۱۱	۰/۰۲۹	۰/۰۵۱	۰/۰۵۱	۰/۱۵۸	۰/۲۱۷	۰/۱۳۲	تابستان	
۱/۵۵۸	۱/۱۴۲	۱/۰۳۴	۰/۶۵۴	۰/۶۵۴	۱/۶۱۸	۰/۹۱۶	۱/۰۸۹	بهار	۲۰۰۰
۰/۱۱۰	۰/۰۷	۰/۰۵۳	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۱۵۴	۰/۰۷۷	۰/۰۵۶	تابستان	

۱/۳۰۹	۱/۳۵۰	۱/۷۲۳	۱/۰۳۵	۱/۰۳۵	۱/۶۱۷	۱/۵۶۲	۱/۴۹۶	بهار	۲۰۰۱
۰/۰۸۳	۰/۰۹۹	۰/۱۶۱	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۱۳۵	۰/۱۱۶	۰/۱۰	تابستان	
۱/۵۹۳	۱/۷۰۲	۱/۹۳۱	۱/۳۵۹	۱/۳۵۹	۱/۶۶۳	۱/۷۸۱	۱/۶۳۷	بهار	۲۰۰۲
۰/۱۰۵	۰/۱۱۹	۰/۲۲۵	۰/۱۱۰	۰/۱۱۰	۰/۱۱۹	۰/۱۹۴	۰/۱۱۸	تابستان	
۱/۵۸۶	۱/۷۵۷	۱/۹۱۱	۱/۰۶۳	۱/۰۶۳	۱/۴۲۸	۱/۶۶۵	۱/۴۷۳	بهار	۲۰۰۳
۰/۱۱۰	۰/۱۳۰	۰/۲۰۹	۰/۰۴۹	۰/۰۴۹	۰/۰۶۷	۰/۱۴۴	۰/۰۸۰	تابستان	
۱/۷۸۵	۱/۸۹۲	۲/۱۱۷	۱/۲۹۰	۱/۲۹۰	۱/۶۵۰	۱/۹۰۱	۱/۷۶۶	بهار	۲۰۰۴
۰/۱۹۴	۰/۲۳۶	۰/۳۵۱	۰/۰۹۴	۰/۰۹۴	۰/۱۱۲	۰/۲۲۵	۰/۱۷۸	تابستان	
۱/۴۸۰	۱/۵۹۴	۱/۸۱۲	۱/۰۵۴	۱/۰۵۴	۱/۵۲۴	۱/۶۱۸	۱/۵۷۴	بهار	۲۰۰۵
۰/۱۱۲	۰/۱۶۵	۰/۱۷۸	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۶۹	۰/۱۲۸	۰/۱۲۲	تابستان	
۱/۳۱۱	۱/۷۴۳	۲/۰۵۲	۱/۲۱۶	۱/۲۱۶	۱/۵۸۱	۱/۸۴۷	۱/۶۶۹	بهار	۲۰۰۶
۰/۰۵۶	۰/۱۱۶	۰/۲۶۴	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۰/۱	۰/۱۸۵	۰/۱۴۲	تابستان	
۱/۸۳۹	۲/۰۱۳	۲/۲۳۵	۱/۳۸۸	۱/۳۸۸	۱/۹۱۶	۱/۹۸۴	۲/۰۱۶	بهار	۲۰۰۷
۰/۱۸۳	۰/۱۹۹	۰/۳۵۱	۰/۱۰۴	۰/۱۰۴	۰/۱۷۷	۰/۲۱۷	۰/۲۳۴	تابستان	
۰/۸۲۱	۰/۹۴۳	۰/۹۵۵	۰/۴۴۰	۰/۴۴۰	۰/۶۴۰	۰/۷۷۱	۰/۷۹۳	بهار	۲۰۰۸
۰/۰۶۷	۰/۰۸۶	۰/۱۰۸	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۵	۰/۱۰۵	۰/۰۸۲	تابستان	
۱/۳۴۷	۱/۴۱۵	۱/۷۸۴	۰/۸۲۴	۱/۸۲۴	۱/۱۲۱	۱/۳۷۳	۱/۲۲۴	بهار	۲۰۰۹
۰/۱۲۵	۰/۱۲۴	۰/۲۶۶	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۰	۰/۱۵۹	۰/۱۰۵	تابستان	
۱/۹۱۶	۱/۸۷۱	۲/۲۰۸	۱/۳۹۸	۱/۳۹۸	۱/۸۴۲	۲/۰۱۲	۱/۷۰۳	بهار	۲۰۱۰
۰/۱۸۴	۰/۱۴۳	۰/۳۳۱	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۱۵۳	۰/۲۱۷	۰/۱۲۴	تابستان	

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

شاخص آماری	پل کشکان	تنگ سازبن	پلدختر	پای پل	پل چهر	نظرآباد	پیرسلیمان	آران غرب
RMSE (mm/d)	۰/۵۱	۰/۷۳	۰/۹۷	۰/۴۵	۰/۲۵	۰/۷۴	۰/۶۲	۰/۷۰
MAE (mm/d)	۰/۳۶	۰/۵۳	۰/۷۱	۰/۳	۰/۱۸	۰/۵۸	۰/۴۳	۰/۵۲
R^2	۰/۶۶	۰/۵۶	۰/۳۹	۰/۵۹	۰/۸۴	۰/۷۷	۰/۶۲	۰/۶۶

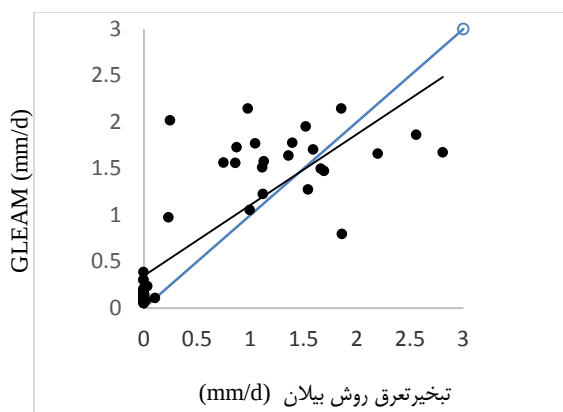


شکل ۵- نقشه کاربری اراضی

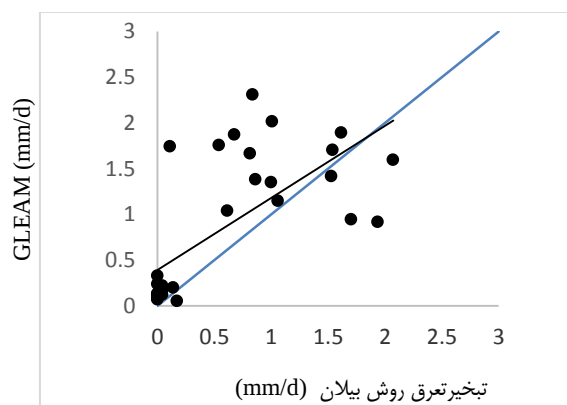
جدول ۴- شاخص آماری RD بین تبخیر تعرق بیلان آبی و داده‌های GLEAM برای زیرحوضه‌های مختلف

زیرحوضه									
سال	فصل	پل کشکان	تنگ سازین	پل چهر	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	-	-	-۲۹/۸۳۴	-	-۲۷/۳۰۷
۱۹۸۹	بهار	-۰/۳۴۰	-۰/۸۶۱	-۰/۶۰۱	-۲۳۱/۳۲۳	-۲/۰۳۹	-۴/۵۲۰	-	-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	-۲/۸۹۸	-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	-۲۳/۷۹۷	-۸/۶۲۰	-۰/۴۸۰	-۰/۹۹۲	-۰/۱۳۵

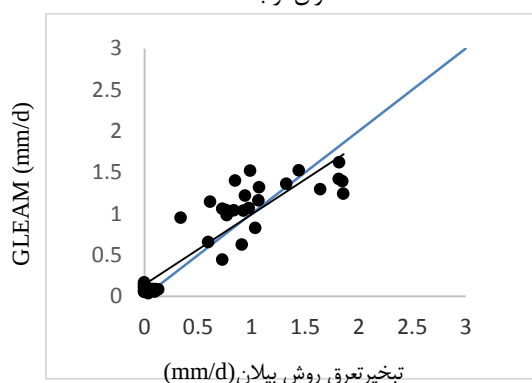
-۱۸/۹۴۷	-۱/۲۸۵	-۷/۴۳۵	-۱/۴۷۲	-۳/۶۳۷	-	-۱/۳۷۴	-۶/۳۹۵	تابستان	
-۲/۵۳۰	۱/۱۴۹	۰/۴۳۷	۰/۷۸۳	-۱/۰۳۷	۰/۱۲۳	۰/۷۵۱	۱/۴۳۹	بهار	۲۰۰۸
-۱/۶۸۳	-۳۹/۹۶۹	-۸/۳۷۴	-	-	-۷/۲۶۳	-۵/۳۴۳	-۳/۷۷۸	تابستان	
-۲/۶۹۷	۰/۶۰۴	-۱/۹۸۷	-۰/۵۷۹	-۳۲/۵۴۴	۰/۲۴۴	-۰/۵۵۱	۰/۰۳۷	بهار	۲۰۰۹
-۱/۴۴۱	-	-۷/۴۱۷	-۴/۴۱۹	-۴/۰۷۲	-۰/۷۳۷	-۳/۲۲۷	-۰/۸۹۶	تابستان	
-۲۳/۲۶۳	-۲/۰۹۱	-۱/۵۵۴	-۰/۷۴۸	-۸/۸۸۶	-۰/۸۰۳	۰/۰۳۴	۰/۵۳۴	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	



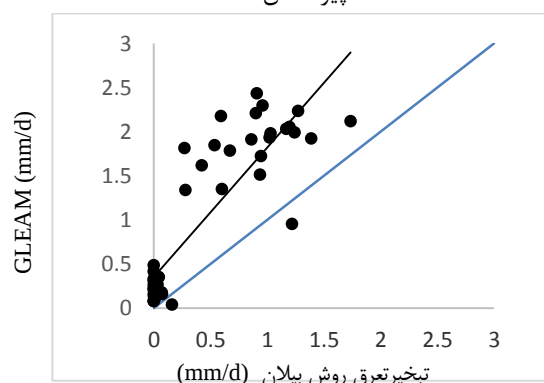
آران غرب



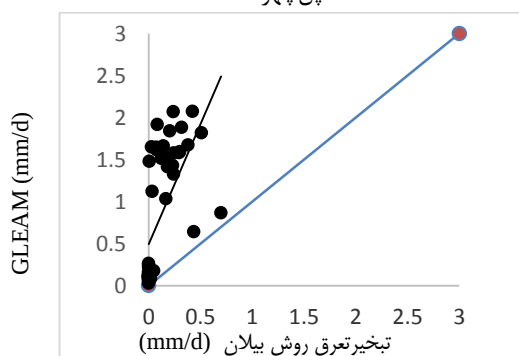
پیرسلمان



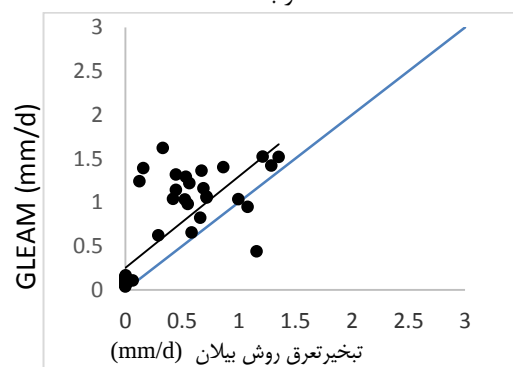
پل چهر



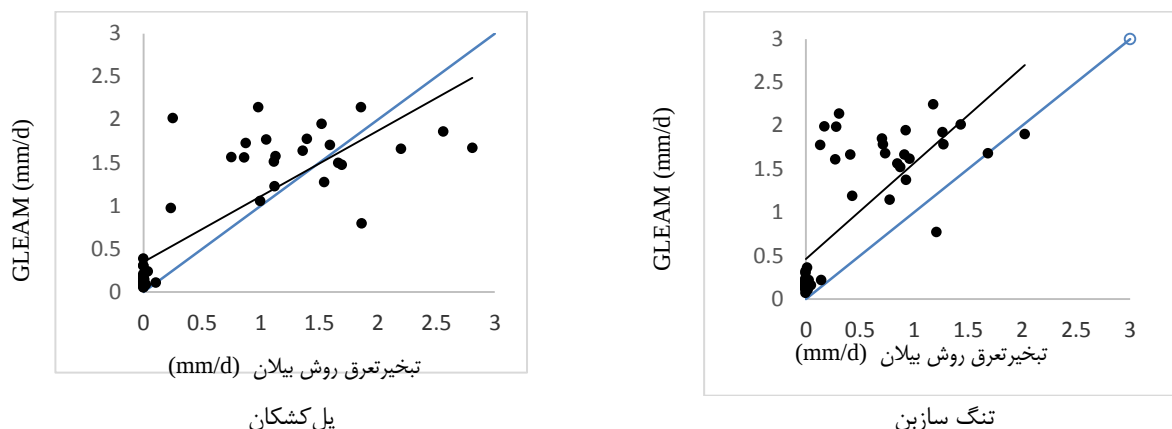
نظرآباد



پل دختر



پای پل



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

نتیجه گیری

برآورد تبخیر تعرق در مقیاس منطقه‌ای جهت بهبود مدیریت منابع آب و ارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی، پیش‌بینی‌های 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 پل‌چهر و پایین‌ترین آن در پل‌دختر 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 راستی‌آزمایی‌های بیشتر 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.

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 داده‌های 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 داده‌های بارش ماهانه. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۶(۴۲)، ۱۷۶-۱۵۵.
- سبزی‌پرور، ع. ا.، سقائی، ص. و نوذری، ح. ۱۳۹۲. مقایسه تبخیر تعرق مرجع دو روش هارگریز-سامانی و استاندارد فائو ۵۶ در مقیاس پهنه‌ای 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 براساس روش بیلان آب و میانگین‌گیری بیزی (مطالعه موردی: حوضه گرگان‌رود-قره‌سو). پایان‌نامه 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

- 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 ولاشیدی، 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

Recived: 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)