

## استفاده از روش‌های همادی برای بهبود صحت تبخیر- تعرق واقعی حاصل از سنجش ازدور پایگاه‌های جهانی (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد کرخه)

جلال یاراحمدی<sup>۱</sup>، علی شمس‌الدینی<sup>۲\*</sup>، سید مجید میرلطیفی<sup>۳</sup>، مجید دلاور<sup>۴</sup>

۱) دانشجوی دکترا گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲\*) استادیار گروه سنجش ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳) دانشیار گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۴) استادیار گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

\*نویسنده مسئول مکاتبات: ali.shamsoddini@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۴

### چکیده:

تبخیر- تعرق واقعی به عنوان یکی از مؤلفه‌های مؤثر در چرخه هیدرولوژی محسوب می‌گردد. از اینرو برآورد دقیق این مولفه در مقیاس حوضه آبریز می‌تواند نقش مهمی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در دسترس دارد. در این مطالعه صحت مقادیر محصول تبخیر-تعرق واقعی پنج پایگاه جهانی شامل MOD16, MYD16, S5EOP, GLEAM, GLDAS با استفاده از مقادیر تبخیر- تعرق بدست آمده از شبیه‌سازی مدل SWAT در حوضه آبریز سدکرخه در مقیاس ماهانه، برای سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ که به ترتیب به‌عنوان سال‌های کم بارش، پربارش و نرمال انتخاب شده‌اند، مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس امکان بهبود صحت مقادیر تبخیر-تعرق از طریق استفاده از روش‌های همادی ترکیب داده‌ها شامل میانگین‌گیری ساده و مدل‌های M5 و SVR در هشت سناریو مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد، محصولات تبخیر-تعرق واقعی پایگاه‌های جهانی علی‌رغم شناخت تغییرات مقادیر تبخیر-تعرق واقعی حوضه آبریز، در سطح معناداری ۵ درصد دارای اختلاف معنادار با مقادیر خروجی مدل SWAT به عنوان مقادیر مشاهداتی هستند. نتایج این تحقیق نشان داد که اگرچه استفاده از روش میانگین‌گیری ساده تأثیر چندانی در بهبود صحت داده‌های پایگاه‌های جهانی ندارد، استفاده از دو روش همادی M5 و SVR با افزایش ضریب تبیین تا ۰/۸ باعث بهبود تخمین مقادیر تبخیر-تعرق واقعی حاصل از SWAT در سطح حوضه آبریز مورد مطالعه می‌شود. همچنین در سناریو برتر ترکیب داده‌ها، مدل حاصل از SVR میزان خطای مربوط به تخمین داده‌ها را به میزان ۴۴ درصد نسبت به آنچه که از مدل GLEAM بدست می‌آید، کاهش داد.

کلید واژه‌ها: پایگاه جهانی، تبخیر-تعرق، GLEAM، SVR، SWAT

### ۱- مقدمه

هیدرولوژی باز می‌گردد (Rodell et al., 2015). این نکته از آن منظر حائز اهمیت بیشتری است، که در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، ۹۲ درصد از کل آب‌های قابل دسترس در بخش کشاورزی به صورت تبخیر-تعرق مصرف می‌گردد (FAO, 2008). بنابراین با توجه به اینکه سهم زیادی از آب‌های سطحی و زیرزمینی به صورت

تبخیر-تعرق واقعی به عنوان یکی از مؤلفه‌های مؤثر در چرخه هیدرولوژی، نقش قابل ملاحظه‌ای در اقلیم منطقه‌ای و جهانی دارد، به طوری که حدود ۶۲ درصد از نزولات جوی در سطح خشکی‌های کره زمین از طریق تبخیر-تعرق از دسترس خارج می‌شود و به چرخه

تبخیر-تعرق واقعی از دسترس خارج می‌گردد، برآورد دقیق این مولفه در مقیاس حوضه آبریز، نقش مهمی در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب در دسترس دارد. روش‌های متداول اندازه‌گیری زمینی تبخیر-تعرق مانند لایسیمتر وزنی<sup>۱</sup>، دستگاه نسبت باون<sup>۲</sup>، تکنیک ادی-کواریانس<sup>۳</sup> و سنتیلومتر<sup>۴</sup> بر اساس انواع روابط و اندازه‌گیری‌های پیچیده قادر به ارائه برآوردهای دقیق از تبخیر-تعرق در یک محدوده همگن در مقیاس محلی می‌باشند. با این وجود، ابزار و روش‌های اندازه‌گیری زمینی، به‌طور خاص مستعد خطاهای مهم در ارتباط با نصب و کالیبراسیون هستند (Allen et al., 2013)؛ به‌نحوی که مطالعات گذشته نشان داده است، نتایج اندازه‌گیری تبخیر-تعرق به وسیله ابزارهای اندازه‌گیری زمینی در مقیاس وسیع می‌تواند عدم قطعیتی بین ۱۰ تا ۳۰ درصد را به همراه داشته باشد (Liu et al., 2013; Mu et al., 2011). علاوه بر این، روش‌های زمینی با توجه به اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای قادر به ارائه توزیع مکانی-زمانی تبخیر-تعرق در سطح وسیع نیستند. بنابراین برآورد دقیق تبخیر-تعرق در مقیاس بزرگ، به دلیل پیچیدگی فرآیندهای حاکم بر تبخیر-تعرق و ناهمگونی در عوامل کنترل‌کننده آن، همچنان یک چالش است (Liu et al., 2018). برای غلبه بر محدودیت‌های برآورد تبخیر-تعرق در مقیاس وسیع مانند حوضه‌های آبریز، معمولاً از مدل‌های هیدرولوژیک مبتنی بر معادله بیلان آب و الگوریتم‌های سنجش از دور استفاده می‌شود (Long et al., 2014).

در بین روش‌های مختلف سنجش از دور، روش‌های مبتنی بر بیلان انرژی که به دو دسته مدل‌های تک منبعی و دو منبعی تقسیم می‌شود، در پژوهش‌های گذشته بیشتر استفاده شده است (Anderson et al., 2007; Diak et al., 2008). در سال‌های اخیر نیز تعدادی از مراکز پژوهشی جهان با کمک اطلاعات به دست آمده از فناوری سنجش از دور، الگوریتم‌های مختلفی را توسعه و اقدام به ارائه اطلاعات در مورد تبخیر-تعرق در سراسر جهان به صورت شبکه‌ای با تفکیک مکانی نسبتاً مناسب نموده‌اند. در این راستا نتایج مطالعات گذشته در ارزیابی محصولات پایگاه‌های جهانی نشان داده، که هر یک از این محصولات دارای مزایا و معایبی است و میزان صحت و دقت آنها در برآورد تبخیر-تعرق واقعی حوضه آبریز نسبتاً مناسب و غالباً کم برآورد می‌باشد (Aguilar et al., 2018; Arruda Souza et al., 2019; Abiodun et al., 2018; López et al., 2016; Reitz et al., 2017). با توجه به اینکه هر یک از این پایگاه‌های جهانی از معادلات و پارامترهای مختلفی با رویکردهای متفاوت به منظور تولید این محصولات استفاده می‌کنند، بنابراین مشاهده عملکردی متفاوت از این داده‌ها، در شرایط مختلف از نظر اقلیمی، کاربری و پوشش سطح زمین و نیز شرایط متفاوت فیزیوگرافی از این محصولات دور از انتظار نیست. به‌طوری‌که می‌توان بیان کرد تا به امروز هیچ محصول تبخیر-تعرق پایگاه جهانی وجود ندارد، که بدون نیاز به تغییر یا بهبود الگوریتم و داده‌های مورد استفاده و در نظر گرفتن تغییرات ویژگی‌های سطحی زمین و شرایط آب و هوایی، بتوان از آن برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی در سراسر جهان با اطمینان استفاده نمود (Sharma et al., 2018; Jongjina et al., 2019; Paca et al., 2019). نتایج گزارش شده در پژوهش‌های گذشته نشان دهنده بهبود عملکرد دیگر داده‌های پایگاه‌های جهانی مانند بارش از طریق ترکیب محصول پایگاه‌های جهانی مختلف با استفاده از روش‌های همادی<sup>۵</sup> ترکیب داده‌ها بوده است (Hain et al., 2011; Parinussa et al., 2014; Funk et al., 2014). از اینرو برخی پژوهشگران با بکارگیری روش‌های همادی در ترکیب محصول تبخیر-

تبخیر-تعرق واقعی از دسترس خارج می‌گردد، برآورد دقیق این مولفه در مقیاس حوضه آبریز، نقش مهمی در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب در دسترس دارد. روش‌های متداول اندازه‌گیری زمینی تبخیر-تعرق مانند لایسیمتر وزنی<sup>۱</sup>، دستگاه نسبت باون<sup>۲</sup>، تکنیک ادی-کواریانس<sup>۳</sup> و سنتیلومتر<sup>۴</sup> بر اساس انواع روابط و اندازه‌گیری‌های پیچیده قادر به ارائه برآوردهای دقیق از تبخیر-تعرق در یک محدوده همگن در مقیاس محلی می‌باشند. با این وجود، ابزار و روش‌های اندازه‌گیری زمینی، به‌طور خاص مستعد خطاهای مهم در ارتباط با نصب و کالیبراسیون هستند (Allen et al., 2013)؛ به‌نحوی که مطالعات گذشته نشان داده است، نتایج اندازه‌گیری تبخیر-تعرق به وسیله ابزارهای اندازه‌گیری زمینی در مقیاس وسیع می‌تواند عدم قطعیتی بین ۱۰ تا ۳۰ درصد را به همراه داشته باشد (Liu et al., 2013; Mu et al., 2011). علاوه بر این، روش‌های زمینی با توجه به اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای قادر به ارائه توزیع مکانی-زمانی تبخیر-تعرق در سطح وسیع نیستند. بنابراین برآورد دقیق تبخیر-تعرق در مقیاس بزرگ، به دلیل پیچیدگی فرآیندهای حاکم بر تبخیر-تعرق و ناهمگونی در عوامل کنترل‌کننده آن، همچنان یک چالش است (Liu et al., 2018). برای غلبه بر محدودیت‌های برآورد تبخیر-تعرق در مقیاس وسیع مانند حوضه‌های آبریز، معمولاً از مدل‌های هیدرولوژیک مبتنی بر معادله بیلان آب و الگوریتم‌های سنجش از دور استفاده می‌شود (Long et al., 2014).

در بین روش‌های مختلف سنجش از دور، روش‌های مبتنی بر بیلان انرژی که به دو دسته مدل‌های تک منبعی و دو منبعی تقسیم می‌شود، در پژوهش‌های گذشته بیشتر استفاده شده است (Anderson et al., 2007; Diak et al., 2008).

<sup>1</sup> Weighing Lysimeter

<sup>2</sup> Bowen ratio

<sup>3</sup> Eddy Covariance

<sup>4</sup> Scintillometer

<sup>5</sup> Ensemble Methods

ذخیره آب صورت گرفته است، ولی ارزیابی محصول تبخیر-تعرق واقعی پایگاه‌های جهانی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. فرجی و همکاران (۲۰۱۸) به منظور ارزیابی نتایج بدست آمده از محصول تبخیر-تعرق مدل GLDAS نتایج را با داده‌های مشاهداتی بدست آمده از یک لایسیمتر وزنی مقایسه کرده و بیان کردند، که داده‌های این پایگاه جهانی در سطح استان قزوین با مقدار ضریب همبستگی ( $R$ ) ۰/۹۵ و ریشه میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ ) ۰/۶۸ میلی‌متر در روز دارای صحت مناسبی می‌باشند. با توجه به اینکه تا کنون در ایران پژوهشی جامع به منظور ارزیابی صحت محصول تبخیر-تعرق واقعی پایگاه‌های جهانی در سطح حوضه‌های آبریز، صورت نگرفته است، بنابراین در مطالعه حاضر ضمن ارزیابی و مقایسه صحت این محصولات (شامل  $GLEAM$ ,  $GLDAS$ ,  $MOD16$ ,  $MYD16$ ,  $SSEBop$ ) در مقیاس ماهانه در سطح حوضه آبریز سدکرخه؛ اثر بکارگیری روش‌های همادی برای ترکیب این محصولات با داده‌های زمینی بر میزان بهبود صحت نتایج برآورد تبخیر-تعرق واقعی حوضه‌های آبریز بررسی گردیده است. با توجه به توانایی دو مدل رگرسیون درختی ( $M5$ ) و رگرسیون بردار پشتیبان ( $SVR$ ) در مدل‌سازی فرآیندهای پیچیده غیر خطی، در مطالعه حاضر از این دو مدل برای ترکیب همادی داده‌ها بهره گرفته شد و نتایج آن‌ها با مقادیر تبخیر-تعرق واقعی شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل هیدرولوژیکی  $SWAT^3$  به عنوان داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز سد کرخه در غرب کشور و در مناطق میانی و جنوب غربی رشته کوه‌های زاگرس قرار دارد. این حوضه از نظر مختصات جغرافیایی بین طول‌های

تعرق پایگاه‌های جهانی مختلف سعی در بهبود صحت این محصولات و افزایش دقت آن‌ها نموده‌اند.

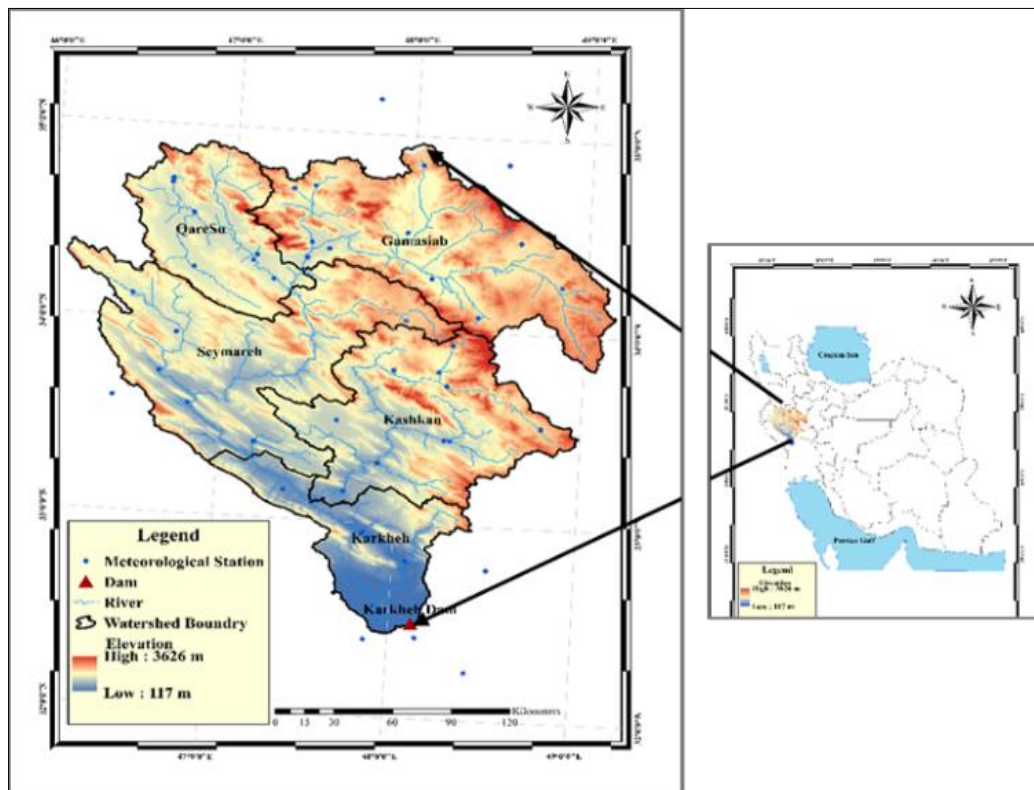
پاکا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای برای به دست آوردن یک محصول تبخیر-تعرق جدید، مقادیر تبخیر-تعرق بدست آمده از شش پایگاه جهانی ( $GLEAM$ ,  $SEBS$ ,  $ALEXI$ ,  $CMRSET$ ,  $MOD16$ ,  $SSEBop$ ) را با استفاده از روش همادی میانگین‌گیری حسابی ادغام و نتایج مقادیر تبخیر-تعرق بدست آمده از محصول جدید را نام‌گذاری کردند. آنها نتایج را با مقادیر متناظر بدست آمده از اندازه‌گیری‌های زمینی به وسیله سیستم ادی‌کواریانس در مقیاس ماهانه مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد در محدوده مورد مطالعه مدل همادی  $ET-Amazon$  صحت بالاتری را نسبت به هر یک از شش محصول تبخیر-تعرق پایگاه‌های جهانی ارائه می‌کند. همچنین هی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به منظور بهبود نتایج مقادیر تبخیر-تعرق بدست آمده از ده منبع داده‌های تبخیر-تعرق شامل مدل‌های آماری یا تجربی، سنجش از دور و مدل‌های سطح زمین در سطح ایالات متحده آمریکا را با استفاده از روش ترکیب همادی مدل بیزین ( $BTCH$ ) و روش ترکیبی میانگین‌گیری ( $EM$ ) ادغام نمودند. آنها نتایج بدست آمده را با استفاده از داده‌های مشاهداتی بدست آمده از سیستم ادی‌کواریانس ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، که مدل ترکیبی  $BTCH$  در تشخیص تغییرات فصلی تبخیر-تعرق عملکرد بهتری نسبت به روش ترکیبی  $EM$  و تمام محصولات اولیه دارد. همچنین برآوردهای تبخیر-تعرق یکپارچه مدل  $BTCH$  دارای میانگین مربعات خطای ۱۴/۵۴ میلی‌متر در ماه است که ۲۴/۰۷ درصد کمتر از میانگین مربعات خطای ۱۹/۱۵ میلی‌متر در ماه مدل  $EM$  است.

در ایران مطالعات زیادی بر روی ارزیابی محصولات داده‌های پایگاه‌های جهانی مانند بارندگی و تغییرات

<sup>1</sup> Paca

<sup>2</sup> He

<sup>3</sup> Soil and Water Assessment Tools



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

#### مدل SSEBop<sup>۱</sup>

این مدل توسط سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) به عنوان جزئی از پروژه ارزیابی شرایط زیست‌محیطی بر اساس الگوریتم عملیاتی تعادل انرژی سطحی ساده شده توسعه یافته است. الگوریتم این مدل برای تعیین تبخیر-تعرق واقعی از تلفیق داده‌های به دست آمده از داده‌های سنجنش از دور (ماهواره‌های NOAA Aqua, Terra و Landsat) برای لحاظ کردن تبخیر از سطح خاک در تبخیر-تعرق به دست آمده از معادله پنمن-مانتیت<sup>۲</sup> استفاده می‌کند. قدرت تفکیک مکانی این داده‌ها یک کیلومتر مربع است و با دوره‌های زمانی ۱۰ روزه و ماهانه از تارنمای سازمان زمین‌شناسی آمریکا<sup>۳</sup> TIF، در دسترس کاربران سرار جهان قرار دارد (Hofste, 2014).

جغرافیایی ۴۶ تا ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی قرار گرفته است. مساحت این حوضه حدود ۴۲۵۹۴ کیلومتر مربع است که حدود ۵۵ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۴۵ درصد آن را دشت‌ها و کوه‌پایه‌ها تشکیل می‌دهند. این حوضه شامل مناطقی از استان‌های لرستان، همدان، کرمانشاه، ایلام و خوزستان می‌باشد. اقلیم حوضه نیمه خشک و زیرحوضه‌های اصلی آن قره‌سو، گاماسیاب، سیمره، کشکان و کرخه است. میانگین تبخیر از تشت تبخیر حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر و میانگین بارش از ۳۰۰ میلی‌متر در نواحی جنوبی تا ۸۰۰ میلی‌متر در نواحی شمال شرقی حوضه در سال متغیر است (دلاور و همکاران، ۱۳۹۶). شکل (۱) نمایی از محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

#### ۲-۲- داده‌های تبخیر-تعرق واقعی پایگاه‌های جهانی

<sup>۱</sup> operational Simplified Surface Energy Balanc

<sup>۲</sup> Penman-Monteith

<sup>۳</sup> <http://: Eaerly warning.usgs.gov>

## مدل MOD16 / MYD16

در الگوریتم توسعه داده شده برای تولید داده‌های تبخیر-تعرق مدل MOD16، تبخیر از سطح زمین از سه منبع شامل تعرق از گیاه، تبخیر از سطح مرطوب گیاه و تبخیر از سطح خاک در نظر گرفته شده است. در محاسبه این سه جزء از معادله اصلاح شده پنمن-مانتیش، از داده‌های سنجنده مادیس که بر روی ماهواره Terra قرار دارد، استفاده شده است. قدرت تفکیک مکانی این مدل یک کیلومترمربع و اطلاعات آن در بازه‌های زمانی هشت روزه و سالانه با فرمت HDF از طریق تارنمای سازمان ملی هوا و فضای آمریکا<sup>۱</sup> (NASA) در دسترس کاربران قرار دارد (Mue et al., 2011). الگوریتم و رویکرد تولید مدل MYD16 مشابه مدل MOD16 بوده با این تفاوت که در تولید این مدل از داده‌های سنجنده مادیس که بر روی ماهواره Aqua قرار دارد، استفاده شده است.

مدل GLEAM<sup>۲</sup>

مدل جهانی تبخیر زمین آمستردام (GLEAM)، یکی از مدل‌های جهانی تبخیر است، که بر اساس داده‌های سنجش از دور طراحی شده است. مدل GLEAM اجزای مختلف تبخیر، شامل تعرق، تبخیر از خاک لخت، تبخیر از آب‌های آزاد، تلفات نگهداشت سطحی و تصعید را بصورت جداگانه استخراج می‌کند. این مدل از رابطه پریستلی-تیلور برای محاسبه تبخیر-تعرق استفاده می‌کند. نسخه سوم مدل GLEAM برای تولید مجموعه داده جدید تبخیر زمینی و رطوبت خاک ناحیه ریشه در این مطالعه استفاده شده است، که با عنوان GLEAM v3 مشخص می‌شوند. قدرت تفکیک مکانی این داده‌ها، ۰/۲۵ درجه (۲۷/۷۵ کیلومترمربع) و قدرت تفکیک زمانی آنها ماهانه بوده و با فرمت NC4 از تارنمای GLEAM در دسترس عموم قرار دارد (Miralles et al., 2011).

مدل GLDAS<sup>۳</sup>

این مدل توسط دانشمندان مرکز هوا فضای گودارد ناسا (GSFC<sup>۴</sup>) و مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی NOAA<sup>۵</sup> توسعه یافته است. محصولات GLDAS-2.1 دارای قدرت تفکیک زمانی ساعتی، روزانه و ماهانه و قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه است. محصولات ماهانه از طریق میانگین زمانی محصولات ۳ ساعته تولید می‌شوند. فرمت داده‌های GLDAS-2.1 بصورت NetCDF است. این داده‌ها در تارنمای مربوط به GLDAS به منظور استفاده کاربران در دسترس می‌باشد (Rodell et al., 2015). مشخصات پایگاه‌های جهانی مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است.

## ۲-۳- تبخیر-تعرق واقعی حوضه آبریز

برای ارزیابی میزان صحت و دقت محصولات تبخیر-تعرق واقعی پایگاه‌های جهانی و نتایج حاصل از مدل‌های ترکیب همادی، از نتایج مطالعه مدلسازی سیستم منابع آب و کشاورزی حوضه آبریز کرخه که توسط دلاور و همکاران (۱۳۹۶) بوسیله مدل هیدرولوژیک SWAT صورت گرفته بود، استفاده گردید. شبیه‌سازی رشد گیاهان غالب در هر محدوده مطالعاتی و تهیه اطلاعات مدیریتی مربوطه، بحث کلیدی در مدلسازی هیدرولوژیک حوضه است و استفاده از این رویکرد امکان برآورد مصارف واقعی در بخش کشاورزی و نقش آن در برداشت، آب برگشتی، تغذیه آبخوان و جریان رودخانه را در شرایط موجود و شرایط تغییر اقلیم فراهم می‌سازد. بدین منظور با تفکیک کاربری کشاورزی (زراعت دیم و آبی، باغات دیم و آبی) به الگوی کشت غالب هر منطقه، مدیریت هر کشت اعم از تاریخ کاشت و برداشت، برنامه‌ریزی و راندمان آبیاری و کوددهی، منبع تأمین آب و تناوب زراعی به تفکیک محدوده‌های مختلف به مدل SWAT

<sup>3</sup> Global Land Data Assimilation System<sup>4</sup> Goddard Space Flight Center<sup>5</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration<sup>1</sup> <https://terra.nasa.gov/data/modis-data><sup>2</sup> Global Land Evaporation Amsterdam Model

جدول ۱. مشخصات محصول تبخیر-تعرق واقعی پایگاههای جهانی

ردیف	پایگاه جهانی	دوره آماری	تفکیک مکانی	تفکیک زمانی	درگاه دریافت داده ها
۱	MOD16	۲۰۰۰-۲۰۲۰	۱ کیلومتر مربع	هشت روزه و ماهانه	<a href="https://lpdaac.usgs.gov">https://lpdaac.usgs.gov</a>
۲	MYD16	۲۰۰۰-۲۰۲۰	۱ کیلومتر مربع	هشت روزه و ماهانه	<a href="https://lpdaac.usgs.gov">https://lpdaac.usgs.gov</a>
۳	SSEB <sub>OP</sub>	۲۰۰۲-۲۰۲۰	۱ کیلومتر مربع	ده روزه و ماهانه	<a href="https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac">https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac</a>
۴	GLEAM	۱۹۴۸-۲۰۲۰	۲۵*۲۵ درجه	سه ساعته، روزانه و ماهانه	<a href="https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas/">https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas/</a>
۵	GLDAS	۱۹۸۰-۲۰۲۰	۲۵*۲۵ درجه	روزانه و ماهانه	<a href="http://www.Gleam.eu">www.Gleam.eu</a>

al., 2008; Mianabadi et al., 2016; Abiodun et al., 2018). بر این اساس در پژوهش حاضر داده‌های تبخیر-تعرق واقعی سنجش ازدور مبنای پایگاه‌های جهانی و مقادیر برآوردی حاصل از روش همادی در مقایسه با استفاده از مقادیر تبخیر-تعرق واقعی برآورد شده به وسیله مدل SWAT برای سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ به ترتیب به عنوان سال‌های پر بارش، کم بارش و نرمال (در مجموع ۵۵۰۸ داده)، مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل (۲) نشان دهنده مقادیر بارندگی سالانه برای حوضه مورد مطالعه در دوره آماری است.

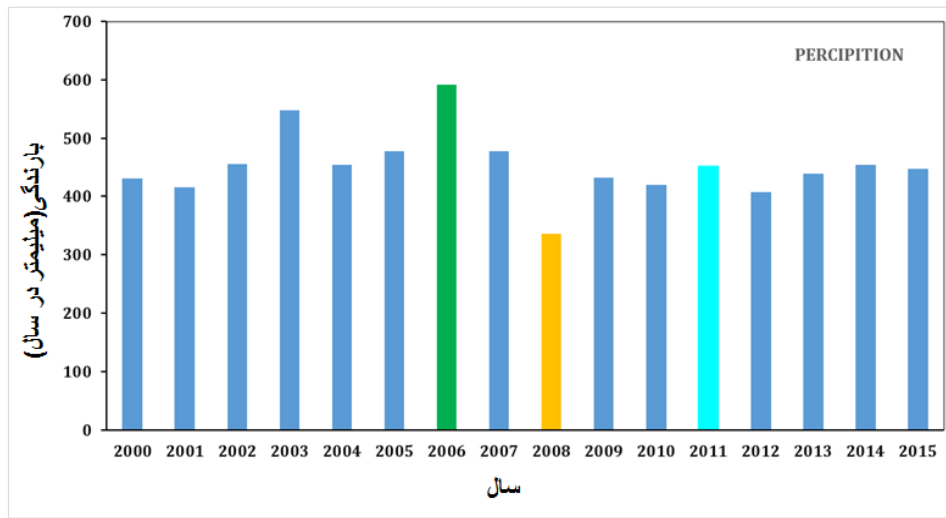
## ۲-۴- روش‌های ترکیب همادی

### مدل رگرسیون درختی M5

مدل درختی M5 مبتنی بر روش طبقه‌بندی درختی است، که برای ایجاد رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته، توسط کوینلان<sup>۱</sup> (۱۹۸۶) ارائه شد. مدل درختی یک درخت تصمیم دودویی است، که در هر گره پایانی (برگ) روابط رگرسیونی خطی دارد، که می‌تواند مقادیر عددی را با توجه به رابطه منطقی بین داده‌ها پیش‌بینی کند. در مدل درختی M5 محدود داده‌ها به زیر ناحیه‌هایی که اصطلاحاً برگ نامیده می‌شوند، تقسیم شده و بر خلاف مدل رگرسیون درختی که به هر یک از برگها یک برچسب عددی نسبت می‌دهد، این مدل معادله رگرسیونی خطی را جایگزین برچسب عددی در گره‌ها می‌کند و به این طریق می‌توان متغیرهای عددی پیوسته را نیز پیش‌بینی یا برآورد کرد. هر درخت تصمیم‌گیری

تدوین شده برای حوضه معرفی شد. کشت‌های آبی غالب حوضه شامل سیب (۱/۱ درصد)، گوجه فرنگی (۱۰/۲ درصد)، یونجه (۸/۱ درصد)، گندم و جو (۵۳/۴ درصد)، چغندر قند (۴/۷ درصد)، ذرت (۱۲/۴ درصد) و کشت‌های دیم در سطح حوضه شامل عدس (۲۷/۷ درصد)، گندم (۷۲/۳ درصد) بود (دلاور و همکاران، ۱۳۹۶). در مطالعه مذکور کل حوضه آبریز کرخه به ۱۵۳ زیر حوضه کوچک تحت عنوان واحدهای همگن هیدرولوژیک تقسیم گردیده و مدل برای دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ با دقت مناسب واسنجی و اعتبارسنجی شده است؛ به نحوی که شاخص نش ساتکلایف (NS) برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی سری زمانی دبی مشاهداتی، دبی پایه و تغییرات تراز آب زیرزمینی در مقایسه با مقادیر شبیه‌سازی شده به طور متوسط به ترتیب ۰/۶، ۰/۸ و ۰/۵۵ گزارش شده است (دلاور و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به نتایج سایر تحقیقات انجام‌شده (Onuşluel Gül et al., 2010; Moriasi et al., 2007; Jain et al., 2010) در خصوص معیارهای مناسب برای ارزیابی دقت واسنجی مدل‌های هیدرولوژیک بر اساس شاخص یاد شده، نتایج حاکی از دقت مناسب مدل برای حوضه‌ای با این وسعت می‌باشد. ضمن اینکه نتایج پروژه‌های متعدد در سطح بین‌المللی نشان داده است که مدل SWAT از صحت بالایی در شبیه‌سازی مؤلفه‌های بیلان آب برخوردار است و در صورت عدم دسترسی به مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر-تعرق واقعی حوضه‌های آبریز، می‌توان از مقادیر خروجی مدل به عنوان داده‌های مشاهداتی استفاده نمود (Gao et

<sup>۱</sup>. Quinlan



شکل ۲. بارندگی سالانه در سطح حوضه آبریز سد کرخه برای دوره آماری (۲۰۰۰-۲۰۱۵)

معیار را در مرحله تولید ایجاد می‌کند انتخاب می‌شود. این تقسیم‌ها منجر به تولید یک سازه درخت مانند حجیم خواهد شد، که ممکن است روی داده‌های آموزشی برازش بیش از حد رخ داده و باعث کاهش یافتن کلیت بخشی مدل شود، برای غلبه بر این مشکل از هرس کردن شاخه‌ها و جایگزین کردن توابع رگرسیونی به جای آنها با استفاده از الگوریتم کویلان (۱۹۹۲) استفاده شد. برای تدوین مدل از نرم‌افزار Weka<sup>۱</sup> استفاده شد و سپس روابط به دست آمده در محیط ماکرو نرم‌افزار MICROSOFT EXCEL 2016 کدنویسی گردید.

#### مدل رگرسیون بردار پشتیبان SVR

ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های یادگیری ماشین است، که توسط بوسر<sup>۲</sup> (۱۹۹۲) بر پایه تئوری یادگیری آماری معرفی شد. طی سال‌های بعد تئوری ابر صفحه بهینه به عنوان طبقه بندی کننده خطی ارائه و طبقه بندی کننده های غیرخطی را با کمک توابع کرنل معرفی شدند. سپس ماشین بردار پشتیبان بر اساس رگرسیون نیز توسعه یافت که در اصطلاح SVR نامیده می‌شود (Vapnik, 1995). ماشین بردار پشتیبان مبتنی بر

دارای ساختاری شبیه درخت است که از ریشه، شاخه‌ها، گره‌ها و برگها تشکیل شده است. در این ساختار، ریشه به عنوان اولین گره در بالا قرار گرفته و با استفاده از زنجیره‌ای از شاخه‌ها و گره‌ها به برگها ختم می‌شود. عمل انشعاب در گره‌ها به وسیله شاخه‌ها صورت می‌گیرد و هر گره معرف یک متغیر پیش‌بینی کننده است. هر شاخه که یک بازه عددی را شامل می‌شود، از گره والد منشعب شده و به یک گره فرزند می‌رسد (امامی‌فر، ۲۰۱۳). ساخت مدل درخت تصمیم‌گیری با استفاده از مدل M5 در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول درخت تصمیم بر اساس شاخص، بیشینه‌سازی کاهش انحراف معیار داده‌ها در گره فرزند، با انشعاب‌سازی داده‌ها تشکیل می‌شود. کاهش انحراف معیار از رابطه (۱) برآورد می‌شود (Quinlan, 1986).

$$SDR = sd(t) - \sum \frac{|T_i|}{|T|} sd(T_i) \quad (1)$$

که در آن SDR: کاهش انحراف معیار در گره فرزند، T مجموعه داده‌های ورودی به گره والد، T<sub>i</sub> زیرمجموعه‌ای از داده‌های ورودی به گره والد، و Sd انحراف از معیار است. پس از آزمودن همه تقسیم‌های ممکن، در مدل M5 انشعابی که بیشترین کاهش انحراف

<sup>۱</sup> Waikato Environment for knowledge Analysis

<sup>۲</sup> Boser

به منظور بررسی عملکرد روش‌های همادی با استفاده از مدل M5 و SVR ترکیب‌های مختلفی از محصولات سنجش از دور مبنای پایگاه‌های جهانی و داده‌های زمینی مربوط به اطلاعات اقلیمی و خصوصیات حوضه آبریز، بصورت جدول (۲) مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه بعد از ایجاد بانک اطلاعاتی برای هریک از سناریوها در سال‌های آماری مورد بررسی، بصورت تصادفی ۷۰ درصد داده‌ها (تعداد ۳۸۵۸) جهت واسنجی و ۳۰ درصد مابقی (تعداد ۱۶۵۰) برای اعتبار سنجی مدل‌ها، تفکیک و انتخاب گردید. لازم به ذکر است، که برای شاخص‌های گیاهی NDVI و FPAR از تصاویر ماهواره‌ای محصولات سنجنده مادیس (در مجموع برای هر شاخص شامل ۵۷۶ تصویر) با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر مربع و زمانی هشت روزه بود، استفاده شد. مراحل استخراج و پردازش داده‌های ماهواره‌ای و زمینی در محیط نرم‌افزارهای ARCGIS 10.4 و ENVI 6.4 و محاسبات و آنالیزهای آماری نتایج در محیط گسترده MICROSOFT EXCEL 2016 صورت گرفت. در نهایت به منظور ارزیابی صحت نتایج عملکرد مدل‌ها در برآورد تبخیر-تعرق واقعی حوضه آبریز، از شاخص‌های آماری ضریب تبیین ( $R^2$ )، درصد ریشه میانگین مربعات خطا ( $NRMSE$ ) و میانگین خطای انحراف ( $MBE$ ) استفاده شد.

کمینه کردن ساختاری ریسک می‌باشد. مدل‌های ماشین‌های بردار پشتیبان به دو گروه عمده الف) مدل طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان و ب) مدل رگرسیون بردار پشتیبان تقسیم‌بندی می‌شوند. از مدل طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان جهت حل مسائل طبقه‌بندی داده‌هایی که در کلاس‌های مختلف قرار می‌گیرند، استفاده می‌گردد و مدل رگرسیون بردار پشتیبان در حل مسائل پیش بینی کاربرد دارد (فلاحی و همکاران، ۲۰۱۲). یکی از روش‌های متداول برای حل مسائل غیرخطی، استفاده از توابع کرنل می‌باشد. که بر اساس ضرب داخلی داده‌ها تعریف می‌شود. در واقع، با یک تبدیل غیرخطی از فضای ورودی به فضایی با ابعاد بیشتر (حتی نامتناهی) میتوان مسائل را به صورت خطی، تفکیک‌پذیر ساخت. در پژوهش حاضر از تابع کرنل با پایه شعاعی ( $RBF$ )، که عموماً در کاربردهای مهندسی آب توصیه شده است (Dibike et al., 2001; Noori et al., 2009)، در مدل رگرسیون بردار پشتیبان استفاده شده است. به منظور اجرای مدل از کد نویسی در محیط نرم افزار R Studio استفاده گردید.

## ۲-۵- سناریوهای ایجاد ترکیب‌های همادی

جدول ۲. سناریوهای مختلف ترکیب داده‌ها

داده‌های ورودی	سناریو	ردیف
MOD16, MYD16, SSEBOP, GLEAM, GLDAS	SE1 <sup>۱</sup>	۱
MOD16, MYD16, SSEBOP, GLEAM, GLDAS / Slope, Aspect, Elevation, Lat, Long	SE2	۲
MOD16, MYD16, SSEBOP, GLEAM, GLDAS / Landuse	SE3	۳
MOD16, MYD16, SSEBOP, GLEAM, GLDAS / NDVI, FPAR	SE4	۴
MOD16, MYD16, SSEBOP, GLEAM, GLDAS / Landuse / NDVI, FPAR	SE5	۵
MOD16, MYD16, SSEBOP, GLEAM, GLDAS / Precipitation, ETp	SE6	۶
MOD16, MYD16, SSEBOP, GLEAM, GLDAS / Precipitation, ETp / Snowmelt	SE7	۷
MOD16, MYD16, SSEBOP, GLEAM, GLDAS / Slope, Aspect, Elevation, Lat, Long / Landuse / NDVI, FPAR / Precipitation, ETp, Snowmelt	SE8	۸

<sup>۱</sup> Scenarios



## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- صحت‌سنجی داده‌های محصول تبخیر- تعرق واقعی پایگاه‌های جهانی

در گام اول پژوهش مقادیر تبخیر-تعرق واقعی پایگاه‌های جهانی برای کلیه سال‌های آماری مورد بررسی (سال پربارش (۲۰۰۶)، کم بارش (۲۰۰۸) و نرمال (۲۰۱۱)) متناظر با مقادیر شبیه‌سازی هیدرولوژیک با مدل SWAT در واحدهای همگن هیدرولوژیکی استخراج و مورد ارزیابی قرار گرفت، که نتایج آن در جدول (۳) و شکل (۳) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد در سطح حوضه مورد مطالعه مقادیر محصولات تبخیر-تعرق در مقایسه با مدل SWAT دارای اختلاف معناداری می‌باشند و میزان این اختلاف برای هر کدام از محصولات مورد بررسی متفاوت است. بطوریکه ضریب تبیین برای مدل‌ها از ۰/۱ تا ۰/۵۵ و درصد ریشه میانگین مربعات خطا از ۱۶ تا ۲۶ درصد متغیر است. با توجه به مقادیر شاخص میانگین انحراف خطا که برای تمامی مدل‌ها مقداری کمتر از صفر دارد، تمامی این مدل‌ها مقادیر تبخیر-تعرق را در سطح حوضه مورد مطالعه نسبت به مدل SWAT کمتر برآورد می‌کنند. میزان این خطای کم برآوردی برای مقادیر دو محصول MOD16 و MYD16 نسبت به سایر محصولات بیشتر می‌باشد، که این مسئله می‌تواند به دلیل عدم توانایی الگوریتم این دو محصول در برآورد تبخیر-تعرق از پهنه‌های آبی باشد (Abiodun, et al., 2018, Aguilar et al., 2018). در بین محصولات تبخیر-تعرق واقعی مورد استفاده، مقادیر بدست آمده از مدل GLEAM در مقایسه با داده‌های مدل SWAT با داشتن بالاترین ضریب تبیین ( $R^2$ ) و کمترین میزان درصد خطا (NRMSE) نسبت به چهار مدل دیگر از صحت بالاتری برخوردار است. همچنین با توجه به شاخص‌های آماری، مقادیر تبخیر-تعرق بدست آمده از مدل SSEB<sub>OP</sub> با داشتن کمترین میزان ضریب تبیین و بالاترین درصد خطا بیشترین اختلاف را با مقادیر تبخیر-

تعرق مدل SWAT دارد. روند تغییرات مقادیر تبخیر-تعرق در سطح حوضه برای مقادیر بدست آمده از مدل‌ها نسبت به مدل SWAT (شکل ۳) بیانگر آن است که علی-رغم تشخیص روند تغییرات مقادیر تبخیر-تعرق برآورد شده با مدل SWAT در سطح حوضه توسط هر پنج مدل، اختلاف در مقادیر برآوردی متفاوت است. در این راستا مقادیر برآورد شده با مدل GLEAM و SSEB<sub>OP</sub> نسبت به سایر مدل‌ها با مقادیر مدل SWAT به ترتیب از بیشترین و کمترین همخوانی برخوردار است. تفاوت در نتایج مدل‌ها، به تفاوت در نوع داده‌های ورودی و همچنین تفاوت در مبانی الگوریتم این محصولات و نحوه برآورد پارمترها در الگوریتم هر کدام از این مدل‌ها بر می‌گردد (Reitz et al., 2017; Sharma et al., 2018; Jongjina et al., 2019). در این راستا، یکی از عوامل مهم در تفاوت عملکرد و نتایج این مدل‌ها، نحوه تعیین نوع پوشش و کاربری اراضی است. چرا که بسیاری از خواص بیوفیزیکی مانند مقاومت لایه مرزی و همچنین شاخص‌های به‌کاررفته در الگوریتم تولید این مدل‌ها مانند LAI، FPAR، NDVI<sup>۱</sup> و ضریب آلیبدو با توجه به نوع پوشش و کاربری اراضی تعیین می‌شود، که هر یک از این پارمترها بر میزان تبخیر-تعرق به دست آمده از این الگوریتم‌ها موثر است. بنابراین از آنجا که هر یک از این مدل‌ها از نقشه کاربری مخصوص به داده‌های سنجنده متفاوتی استفاده می‌کنند، که برای نقاط مختلف جهان واسنجی نشده‌اند، این مسئله می‌تواند یکی از عوامل تفاوت در تبخیر-تعرق برآورد شده با استفاده از هر کدام از این مدل‌ها باشد. همچنین وجود سیستم طبقه بندی‌های متفاوت در نقاط مختلف جهان نیز می‌تواند یکی دیگر از عوامل موثر بر ایجاد اختلاف بین مقادیر تبخیر-تعرق بدست آمده از این محصولات و مدل SWAT باشد. در پژوهش‌های گذشته نیز گزارش شده، که در صورت

<sup>1</sup> Leaf Area Index

<sup>2</sup> Fraction of Absorbed Photosynthetic Radiation

<sup>3</sup> Normalized Difference Vegetation Index

استفاده از نقشه کاربری تولید شده با داده‌های سنجنده مادیس به عنوان ورودی مدل SWAT، با توجه به یکسان شدن قدرت تفکیک مکانی کاربری‌های مختلف می‌توان شاهد بهبود همبستگی بین نتایج تبخیر-تعرق به دست آمده از این مدل و مدل MOD16 بود (Abiodun et al., 2018). میزان رطوبت موجود در خاک یکی دیگر از پارامترهایی است، که به میزان قابل توجهی بر مقاومت آیرودینامیک، مقاومت سطح برگ و حتی مقاومت سطح خاک تأثیر می‌گذارد. این در حالی است که مدل GLEAM تنها مدلی است، که در بین پنج مدل مورد ارزیابی مقادیر این پارامتر را به صورت صریح با استفاده از داده‌های بدست آمده از سنجنش از دور ماکروویو در الگوریتم محاسبه تبخیر-تعرق خود لحاظ نموده است (Hofset., 2014). این مسئله می‌تواند یکی دیگر از دلایل وجود اختلاف کمتر بین مقادیر تبخیر-تعرق این مدل با نتایج مدل SWAT، نسبت به سایر مدل‌ها باشد. همچنین، استفاده از داده‌های هواشناسی جهانی به عنوان ورودی این الگوریتم‌ها می‌تواند یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر صحت این مدل‌ها باشد چرا که مقادیر اولیه این داده‌ها در مقیاس مکانی حدود ۱۰۰ کیلومتر است؛ که به منظور کاربرد این اطلاعات در این مدل‌ها از روش‌های ریز مقیاس‌نمایی بهره گرفته شده است. با توجه به اینکه این داده‌ها برای محدوده‌های مختلف جهان واسنجی نشده است، استفاده از آنها در الگوریتم‌های برآورد تبخیر-تعرق توسط این مدل‌ها می‌تواند از جمله دلایل ایجاد عدم قطعیت در مقادیر برآورد شده با این مدل‌ها باشد (Paca et al., 2019).

همانطور که گفته شد، علاوه بر عدم قطعیت ذاتی موجود در داده‌ها، وجود رویکرد متفاوت در برآورد پارامترها و ساختار برآورد تبخیر-تعرق توسط الگوریتم‌های این مدل‌ها یکی دیگر از مسائلی است، که باعث تفاوت در نتایج مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق توسط این مدل‌ها در یک محدوده خاص می‌گردد (Pan et al., 2020). با توجه به اینکه در مطالعات گذشته استفاده از

در این راستا می‌توان به عدم قابلیت برآورد تبخیر-تعرق از سطوح آبی و زمین‌های بایر و بدون پوشش علاوه بر سطوح برف و یخ در مدل MOD16 نسبت به مدل GLEAM اشاره نمود (Ramoell et al., 2014). بطوریکه در مطالعات گذشته نیز بیشترین اختلاف بین مقادیر تبخیر-تعرق برآورد شده با مدل MOD16 و داده‌های اندازه‌گیری شده در زمان وجود لایه‌ای از آب روی سطح زمین گزارش شده است (Arruda Souza et al., 2019). همچنین می‌توان به عدم لحاظ نمودن تغییرات ترکیب گونه‌های مختلف و ثابت فرض کردن سن گونه‌های گیاهی در مدل MOD16 که بر میزان مقاومت آیرودینامیک و سطح، تأثیر قابل توجهی دارد، به عنوان یکی دیگر از عواملی که منجر به افزایش عدم قطعیت در مقادیر برآوردی این مدل میشود، اشاره نمود. از طرفی در این مدل فرض شده است، که در طول شب روزنه‌ها به طور کامل بسته می‌باشد که با توجه به نتایج تحقیقات صورت گرفته توسط محققان دیگر (Musselman and Minnick, 2000) مبنی بر بسته نبودن روزنه‌ها به طور کامل در طول شب، این فرض باعث صفر در نظر گرفتن تعرق شبانه در محاسبات تبخیر-تعرق توسط این مدل میشود؛ که خلاف واقعیت بوده و یکی از دلایل خطای کم برآوردی توسط این مدل می‌باشد (Jongjina et al., 2019). در این راستا می‌توان استفاده از داده‌های رطوبت سطحی زمین و محدوده توسعه ریشه بدست آمده از سنجنش از دور ماکروویو علاوه بر داده‌های سنجنش از دور متداول به کار رفته در سایر مدل‌ها و همچنین تفکیک و برآورد اجزاء تبخیر-تعرق شامل تبخیر از سطح خاک، تعرق از گیاهان کوتاه، تعرق از گیاهان بلند و تبخیر از سطوح برف و یخ از چهار ماژول جداگانه در الگوریتم مدل GLEAM را از دلایلی دانست که باعث افزایش دقت داده‌های تبخیر-تعرق این مدل در مواقع بارندگی و در مناطق کوهستانی شده است (Pan et al., 2020). با توجه به اینکه در مطالعات گذشته استفاده از

استفاده از نقشه کاربری تولید شده با داده‌های سنجنده مادیس به عنوان ورودی مدل SWAT، با توجه به یکسان شدن قدرت تفکیک مکانی کاربری‌های مختلف می‌توان شاهد بهبود همبستگی بین نتایج تبخیر-تعرق به دست آمده از این مدل و مدل MOD16 بود (Abiodun et al., 2018). میزان رطوبت موجود در خاک یکی دیگر از پارامترهایی است، که به میزان قابل توجهی بر مقاومت آیرودینامیک، مقاومت سطح برگ و حتی مقاومت سطح خاک تأثیر می‌گذارد. این در حالی است که مدل GLEAM تنها مدلی است، که در بین پنج مدل مورد ارزیابی مقادیر این پارامتر را به صورت صریح با استفاده از داده‌های بدست آمده از سنجنش از دور ماکروویو در الگوریتم محاسبه تبخیر-تعرق خود لحاظ نموده است (Hofset., 2014). این مسئله می‌تواند یکی دیگر از دلایل وجود اختلاف کمتر بین مقادیر تبخیر-تعرق این مدل با نتایج مدل SWAT، نسبت به سایر مدل‌ها باشد. همچنین، استفاده از داده‌های هواشناسی جهانی به عنوان ورودی این الگوریتم‌ها می‌تواند یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر صحت این مدل‌ها باشد چرا که مقادیر اولیه این داده‌ها در مقیاس مکانی حدود ۱۰۰ کیلومتر است؛ که به منظور کاربرد این اطلاعات در این مدل‌ها از روش‌های ریز مقیاس‌نمایی بهره گرفته شده است. با توجه به اینکه این داده‌ها برای محدوده‌های مختلف جهان واسنجی نشده است، استفاده از آنها در الگوریتم‌های برآورد تبخیر-تعرق توسط این مدل‌ها می‌تواند از جمله دلایل ایجاد عدم قطعیت در مقادیر برآورد شده با این مدل‌ها باشد (Paca et al., 2019).

همانطور که گفته شد، علاوه بر عدم قطعیت ذاتی موجود در داده‌ها، وجود رویکرد متفاوت در برآورد پارامترها و ساختار برآورد تبخیر-تعرق توسط الگوریتم‌های این مدل‌ها یکی دیگر از مسائلی است، که باعث تفاوت در نتایج مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق توسط این مدل‌ها در یک محدوده خاص می‌گردد (Pan et al., 2020). با توجه به اینکه در مطالعات گذشته استفاده از

SVR به عنوان روش‌های همادی ترکیب اطلاعات، ارزیابی و ارائه شده است.

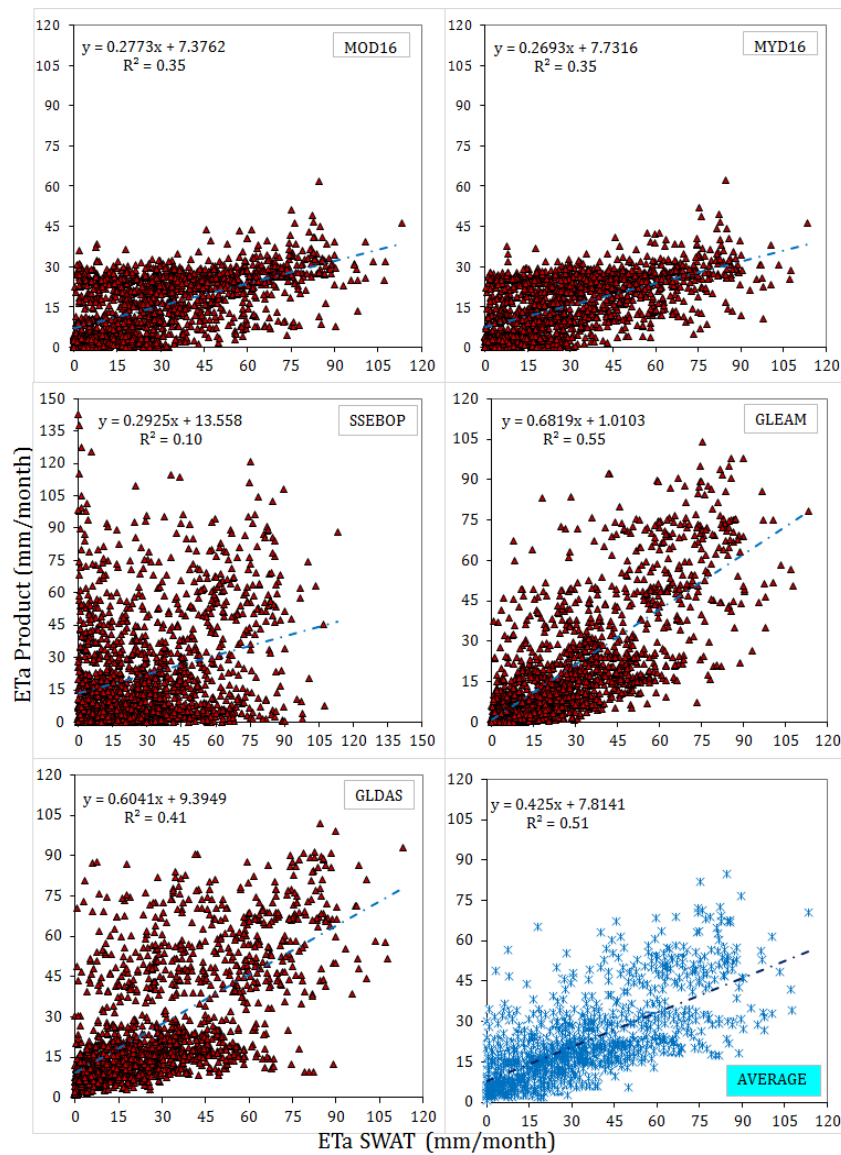
### ۲-۳- ارزیابی روش‌های ترکیب همادی در بهبود دقت تبخیر-تعرق واقعی پایگاه‌های جهانی مدل رگرسیون درختی M5

نتایج ارزیابی عملکرد مدل رگرسیون درختی M5 در برآورد تبخیر-تعرق واقعی برای هشت سناریوی مختلف ورودی به مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در جدول (۴) نشان داده شده است. همانطور که در جدول مشخص است، برای مرحله اعتبارسنجی ضریب تبیین در سناریوهای مختلف از ۰/۵۹ در سناریوی شماره چهار تا ۰/۶۹ در سناریوی شماره هشت متغیر می باشد. همچنین میزان شاخص آماری درصد ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده از ۱۱/۴ تا ۱۳/۱ درصد در سناریوهای مختلف با یکدیگر تفاوت دارند. با توجه به شاخص آماری میانگین انحراف خطا که مقدار آن از ۱/۰- تا ۰/۲- میلی‌متر در ماه متغیر می‌باشد، این مدل مقدار تبخیر-تعرق واقعی را در سطح حوضه نسبت به داده‌های مشاهداتی تا حدودی کمتر برآورد می‌کند. نمودار پراکنش مقادیر برآورد شده و مشاهداتی مربوط به مرحله اعتبارسنجی در شکل (۴) ارائه گردیده است. نتایج بیانگر بهبود نسبی تخمین تبخیر-تعرق واقعی حوضه آبریز در مقایسه با هر یک از محصولات پایگاه‌های جهانی است، بطوریکه استفاده از مدل رگرسیون درختی M5 قادر به کاهش خطای برآورد به مقدار حدود ۳۰ درصد نسبت به نتایج بهترین پایگاه جهانی (GLEAM) در سطح حوضه مورد مطالعه می باشد.

ماژول جداگانه برای برآورد تبخیر از سطوح برف و یخ یکی از عوامل افزایش دقت بهتر این مدل در حوضه‌های کوهستانی گزارش شده و بیش از ۵۰ درصد حوضه مورد مطالعه حاضر را مناطق کوهستانی تشکیل می‌دهد میتوان این مسئله را یکی دیگر از دلایل وجود اختلاف کمتر بین مقادیر برآورد شده با این مدل در مقایسه با نتایج مدل SWAT در نظر گرفت. علاوه بر مسائل مطرح شده با توجه به داده‌ها و ساختار مدل‌ها، هماهنگی بیشتر و نزدیک بودن مقیاس توسعه دو مدل GLEAM و GLDAS در مقایسه با مقیاس شبیه‌سازی هیدرولوژیک حوضه توسط مدل SWAT، یعنی واحد هیدرولوژیک می‌تواند یکی دیگر از دلایل درک بهتر تغییرات مقادیر تبخیر-تعرق توسط این دو مدل نسبت به سه مدل دیگر در سطح حوضه باشد. با توجه به نتایج متفاوت صحت این مدل‌ها در شرایط مختلف و استفاده از میانگین‌گیری حسابی به‌عنوان یک روش همادی برای بهبود نتایج در مطالعات گذشته (Paca et al., 2019)، در این پژوهش نیز از این روش به منظور بررسی میزان بهبود عملکرد و دقت برآورد تبخیر-تعرق حوضه آبریز مورد مطالعه استفاده گردید؛ که نتایج نشان داد (جدول ۳ و شکل ۳) استفاده از این روش در حوضه مورد مطالعه علی‌رغم بهبود نتایج مقادیر برآورد شده با توجه به خطای بالای برخی از محصولات و اختلاف زیاد بین مقادیر تبخیر-تعرق محصولات تنها میزان خطا را به اندازه عملکرد بهترین مدل در سطح حوضه یعنی مدل GLEAM بهبود بخشیده است. بنابراین باید به‌منظور افزایش دقت و کارایی محصولات تبخیر-تعرق، از روش‌های دیگری برای ترکیب همادی بهره گرفت. بر این اساس در ادامه نتایج عملکرد دو مدل M5 و

جدول ۳. نتایج ارزیابی مقادیر تبخیر-تعرق واقعی پایگاه‌های جهانی

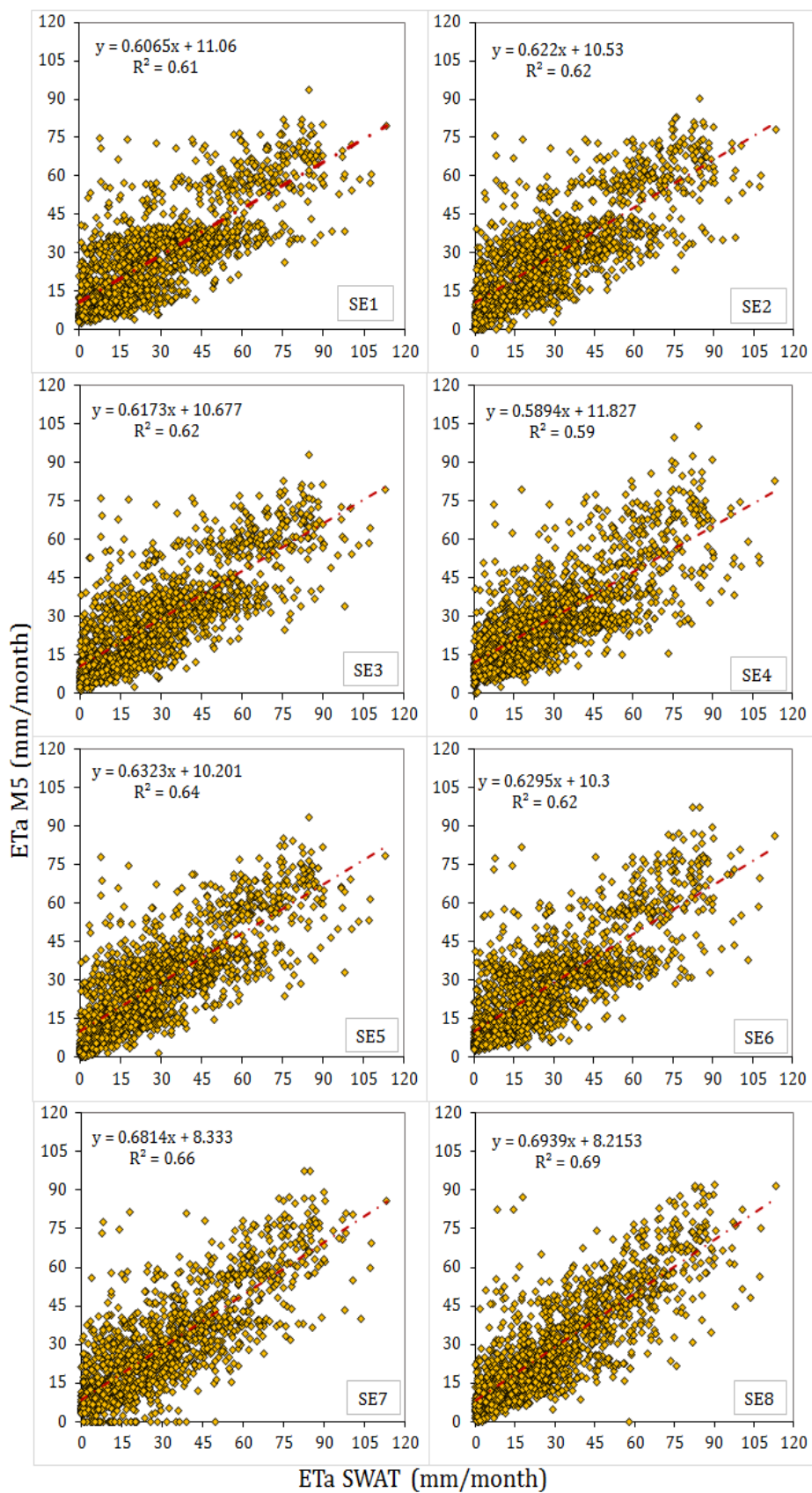
شاخص آماری	مدل				
	MOD16	MYD16	SSEBOP	GLEAM	GLDAS
R <sup>2</sup>	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۱۰	۰/۵۵	۰/۴۱
NRMSE (%)	۲۰/۵	۲۰/۴	۲۶	۱۶	۱۷
MBE (mm/month)	-۱۴	-۱۳	-۶	-۸	-۲
P value	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲۵	۰/۰۱۶



شکل ۳. نمودار پراکنش مقادیر تبخیر-تعرق واقعی پایگاه‌های جهانی در برابر مقادیر مدل SWAT

جدول ۴. نتایج ارزیابی مقادیر ماهانه تبخیر-تعرق واقعی مدل M5

شماره سناریو								شاخص آماری	مرحله ارزیابی
۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
۰/۷۶	۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶۲	$R^2$	واسنجی
۱۰	۱۰/۸	۱۱/۸	۱۲/۱	۱۳/۲	۱۲/۴	۱۲/۳	۱۲/۶	NRMSE (%)	
۰/۰	-۰/۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۱	۰/۰	MBE(mm/month)	
۰/۶۹	۰/۶۶	۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۱	$R^2$	اعتبارسنجی
۱۱/۴	۱۲/۰	۱۲/۵	۱۲/۳	۱۳/۱	۱۲/۵	۱۲/۵	۱۲/۷	NRMSE (%)	
-۰/۷	-۱/۰	-۰/۵	-۰/۶	-۰/۲	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۵	MBE(mm/month)	



شکل ۴. نمودار پراکنش مقادیر تبخیر- تعرق واقعی مدل M5 در برابر مقادیر مدل SWAT

## مدل رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)

نتایج ارزیابی عملکرد مدل رگرسیون بردار پشتیبان در برآورد تبخیر-تعرق واقعی برای هشت سناریوی مختلف ترکیب ورودی‌ها نشان داد، ضریب تعیین برای این مدل در سناریوهای مختلف در مرحله اعتبارسنجی مدل از ۰/۶۲ در سناریوی شماره یک تا ۰/۸۰ در سناریوی شماره هشت متغیر می‌باشد. میزان شاخص آماری خطا مورد استفاده در ارزیابی این مدل برای شاخص درصد ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده از ۹/۰ تا ۱۲/۶ درصد در سناریوهای مختلف با یکدیگر تفاوت دارند. همچنین با توجه به شاخص آماری میانگین انحراف خطا که مقدار آن از ۱/۳۸- تا ۰/۵۴- میلی‌متر در ماه متغیر می‌باشد، این مدل مقدار تبخیر-تعرق واقعی را در سطح حوضه نسبت به داده‌های مشاهداتی در تمامی سناریوها کمتر برآورد می‌کند. نتایج شاخص‌های آماری در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی برای مدل (جدول ۵) نشان دهنده عملکرد به مراتب بهتر مدل SVR در مقایسه با مدل M5 در ترکیب همادی محصولات پایگاه‌های جهانی و داده‌های زمینی برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی حوضه آبریز مورد مطالعه است. همچنین نمودار پراکنش مقادیر برآورد شده و مشاهداتی مربوط به مرحله اعتبارسنجی مدل SVR (شکل ۵) به منظور ارزیابی بصری نتایج ارائه گردیده است. که بیانگر این مسئله است، که مدل SVR نسبت به نتایج مدل M5 و هر یک از محصولات پایگاه جهانی توانایی بهتری در درک تغییرات تبخیر-تعرق در حوضه مورد مطالعه دارد. در این راستا مدل SVR تحت سناریوی شماره هشت، میزان خطای برآورد تبخیر-تعرق واقعی را، ۴۴ درصد نسبت به نتایج بهترین مدل پایگاه جهانی (GLEAM) کاهش داده و می‌توان بیان داشت، که استفاده از مدل رگرسیون بردار پشتیبان به‌عنوان یک روش همادی، قابلیت بهبود صحت مقادیر تبخیر-تعرق در سطح حوضه مورد مطالعه را دارد.

به‌طور کلی با توجه به نتایج می‌توان گفت، استفاده از

دو مدل M5 و SVR به‌عنوان روش همادی برای ترکیب مقادیر تبخیر-تعرق پایگاه‌های جهانی باعث بهبود صحت مقادیر تبخیر-تعرق برآوردی محصولات این پایگاه‌های جهانی در سطح حوضه مورد مطالعه می‌شود و در بین این دو مدل با توجه به شاخص‌های آماری، مدل SVR با داشتن صحت بیشتر و خطای کمتر از قابلیت بالاتری برای این منظور برخوردار است. این مسئله می‌تواند به ماهیت پیچیده و غیرخطی تبخیر-تعرق و توانایی این مدل در شبیه‌سازی مسائل پیچیده با استفاده از توابع کرنل در مقایسه با مدل رگرسیون درختی M5 که برای مدل‌سازی مسائل از تعدادی روابط رگرسیون خطی استفاده می‌کند، مرتبط باشد (Fan et al., 2019). با توجه به نتایج (جدول ۴ و شکل ۵) از بین سناریوهای مورد استفاده در ترکیب داده‌ها، سناریو شماره هشت (استفاده از محصول تبخیر-تعرق پایگاه‌های جهانی و تمامی داده‌های کمکی شامل داده‌های مربوط به فیزیوگرافی، خصوصیات پوشش سطحی و پارامترهای اقلیمی حوضه)، بهترین عملکرد را در بهبود صحت مقادیر تبخیر-تعرق واقعی بدست آمده از پایگاه‌های جهانی در سطح حوضه سد کرخه داشت. که با توجه به تاثیرپذیری تبخیر-تعرق از عوامل و پارامترهای مختلف سطحی و اقلیمی تعامل آنها با یکدیگر و لحاظ شدن این پارامترها در این سناریو باعث کاهش عدم قطعیت در مقادیر برآوردی توسط مدل با استفاده از ترکیب ورودی‌های این سناریو گردیده است. همچنین در بین سناریوهای استفاده از داده‌های کمکی بصورت جداگانه، برای مدل SVR سناریو مربوط به پارامترهای وابسته به فیزیوگرافی حوضه (سناریو شماره دو) و برای مدل M5 سناریو مربوط به پارامترهای اقلیمی (سناریو شماره هفت) نسبت به سایر سناریوها عملکرد بهتری در بهبود نتایج از خود نشان دادند. در عین حال با توجه به نزدیک بودن نتایج سناریوهای مختلف برای هر دو مدل، می‌توان گفت استفاده از سناریو شماره یک (ترکیب محصول تبخیر-تعرق پایگاه‌های جهانی بدون استفاده از

سهولت استخراج و در دسترس بودن منابع اطلاعاتی استفاده از دو سناریو شماره دو و چهار یعنی استفاده از خصوصیات فیزیوگرافی و شرایط پوشش سطحی در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند.

داده‌های کمکی) بخاطر داشتن صحت قابل قبول و کاهش حدود ۲۱ درصدی خطا نسبت به نتایج بهترین مدل پایگاه جهانی از نظر سهولت کاربرد در کارهای عملیاتی از اولویت بیشتری برخوردار است و پس از آن با توجه به

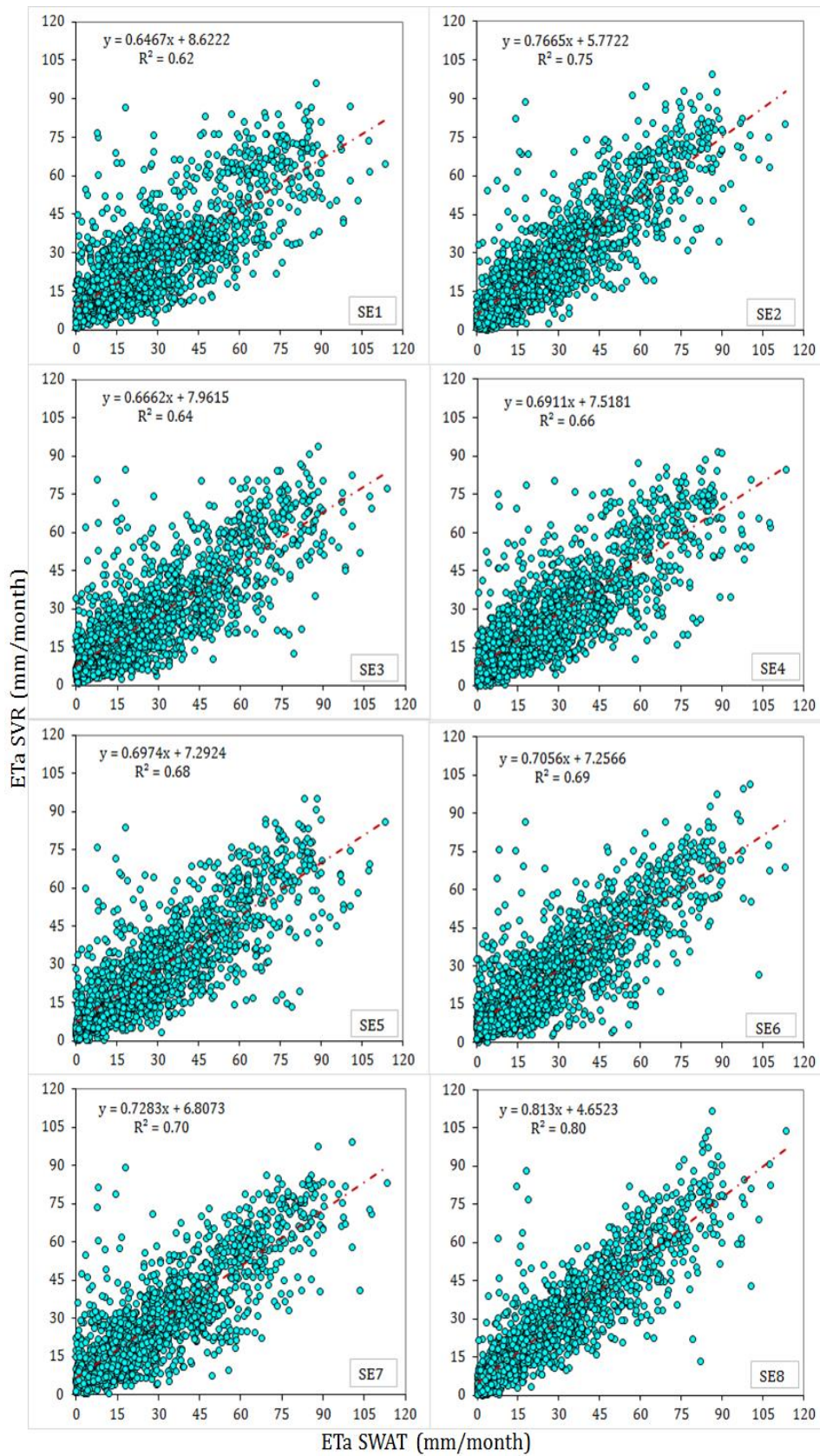
جدول ۵. نتایج ارزیابی مقادیر ماهانه تبخیر- تعرق واقعی مدل SVR

مرحله ارزیابی	شاخص آماری	شماره سناریو							
		۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
واسنجی	R <sup>2</sup>	۰/۹۳	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۸۴	۰/۶۸
	NRMSE (%)	۵/۲	۸/۲	۷/۰	۹/۳	۱۰/۷	۱۰/۹	۸/۱	۱۱/۴
	MBE (mm/month)	-۰/۱۳	-۰/۱۹	-۰/۱۱	-۰/۶۸	-۰/۸۲	-۰/۶۵	-۰/۴۹	-۰/۶۰
اعتبارسنجی	R <sup>2</sup>	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۷۵	۰/۶۲
	NRMSE (%)	۹/۰	۱۱/۰	۱۱/۲	۱۱/۵	۱۱/۸	۱۲/۲	۱۰/۲	۱۲/۶
	MBE (mm/month)	-۰/۵۴	-۰/۷۴	-۰/۹۶	-۱/۱۶	-۱/۱۲	-۱/۳۸	-۰/۶۹	-۱/۳۱

#### ۴- نتیجه‌گیری

تاثیرپذیری از عوامل مختلف روش ساده میانگین‌گیری حسابی به‌عنوان یک روش همادی ترکیب داده‌ها قادر به بهبود نتایج نبود ولی استفاده از روش‌های ترکیب همادی شامل دو مدل M5 و SVR با توجه به توانایی این مدل‌ها در شبیه‌سازی مسائل پیچیده، بخصوص مدل SVR که برای مدل‌سازی در مقایسه با مدل رگرسیون درختی M5 که از تعدادی روابط رگرسیون خطی استفاده می‌کند، از توابع کرنل بهره می‌گیرد از قابلیت مناسبی برای بهبود صحت مقادیر تبخیر- تعرق حاصل از پایگاه‌های جهانی در سطح حوضه مورد مطالعه برخوردار هستند. همچنین نتایج نشان داد، با وجود قابلیت این مدل‌ها برای ترکیب همادی داده‌های مختلف، استفاده از داده‌های مربوط به خصوصیات حوضه باعث افزایش قابلیت این مدل‌ها در بهبود صحت مقادیر تبخیر- تعرق در سطح حوضه می‌گردد. در این راستا پیشنهاد می‌شود، از سایر خصوصیات و شاخص‌های قابل استخراج مربوط به شرایط حوضه از قبیل خصوصیات پوشش گیاهی و داده‌های مربوط به رطوبت سطحی خاک به منظور ترکیب داده‌ها جهت بهبود نتایج استفاده شود.

در این پژوهش میزان صحت داده‌های تبخیر- تعرق واقعی پایگاه‌های جهانی GLEAM, GLDAS, MOD16, MYD16, SSEB<sub>OP</sub> و شکل ترکیب همادی آن‌ها با داده‌های زمینی با استفاده از مدل درختی M5 و SVR برای مقیاس زمانی ماهانه در سطح حوضه بزرگ سد کرخه مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته همه محصولات پایگاه‌های جهانی مقادیر تبخیر- تعرق واقعی را نسبت به مدل SWAT در سطح حوضه کمتر برآورد می‌کنند؛ به‌طوری‌که مقادیر بدست آمده از مدل SSEB<sub>OP</sub> و GLEAM به ترتیب با درصد خطای ۲۶ درصد و ۱۶ درصد بیشترین و کمترین اختلاف را با مقادیر بدست آمده از مدل SWAT دارند. همچنین علی‌رغم شناخت الگوی کلی روند تغییرات تبخیر- تعرق واقعی برآورد شده برای حوضه با مدل SWAT توسط پنج مدل پایگاه جهانی، اختلاف در مقادیر برآوردی متفاوت است. در این بین، مدل GLEAM دارای بیشترین انطباق با نتایج حاصل از SWAT می‌باشد. با توجه به ماهیت پیچیده و غیرخطی فرآیند تبخیر- تعرق به علت



شکل ۵. نمودار پراکنش مقادیر تبخیر- تعرق واقعی روش همادی SVR در برابر مقادیر مدل SWAT



## منابع مورد استفاده

- امامی‌فر، س. ۱۳۹۱. مقایسه روش‌های سنجش از دور و زمین آمار برای برآورد منطقه‌ای دمای هوا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، ۱۱۲ص.
- دلاور، م.، حاجی حسینی، ح. و مرید، س. ۱۳۹۶. گزارش مدل‌سازی سیستم منابع آب و کشاورزی حوضه آبریز کرخه طرح تهیه مدل جامع شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه کرخه جهت ارزیابی اثرات تغییرات محیطی بر آبدهی در بالادست سد کرخه و توسعه سامانه پیش بینی بلند مدت جریان. سازمان آب و برق خوزستان.
- رحیمی‌خوب، ع. و مرادی، م. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از تصاویر ماهواره نوا و مدل درختی M5 برای شبکه‌های آبیاری - مطالعه موردی شبکه آبیاری قزوین. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی.
- فرجی، ز.، کاویانی، ع. و شکیبیا، ع. ۱۳۹۶. ارزیابی داده‌های تبخیر- تعرق، بارش و دمای هوای حاصل از مدل سطح زمین (GLDAS) با استفاده از داده‌های مشاهداتی در استان قزوین. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۴(۳).
- Abiodun O O, Guan H, Post VE A, and Batelaan O. (2018) Comparison of MODIS and SWAT evapotranspiration over a complex terrain at different spatial scales. *Hydrology and Earth System Sciences* 22: 2775–2794.
- Aguilar AL, Flores H, Crespo G, Marín M I, Campos I and Calera A. (2018) Performance Assessment of MOD16 in Evapotranspiration Evaluation in Northwestern Mexico. *Water* 10, 901.
- Allen RG, Pereira LS, Howell TA, and Jensen ME. (2013) Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management* 98: 899–920.
- Arruda Souza V, Roberti DR, Ruhoff AL, Zimmer T, Adamatti D, Gustavo J. and Osvaldo LL. (2019) Evaluation of MOD16 Algorithm over Irrigated Rice Paddy Using Flux Tower Measurements in Southern Brazil. *Water*.
- Anderson MC, Norman JM, Mecikalski JR, Otkin JA and Kustas WP. (2007) A climatological study of evapotranspiration and moisture stress across the continental United States based on thermal remote sensing: 1. Model formulation. *Journal of geophysical research* 112: 101-117.
- Boser BE, Guyon IM and VN Vapnik (1992) A training algorithm for optimal margin classifiers. In D. Haussler, editor, 5th Annual ACM Workshop on COLT, pages 144-152, Pittsburgh, PA.
- Diak G, Kustas WP, and Moran MS. (2008) Evapotranspiration: Remote Sensing.
- Dibike Y. B, Velickov S, Solomatine D. P. and Abbott M. (2001) Model induction with support vector machines: introduction and applications. *Journal of Computing Civil Engineering*, 15(3): 208-216.
- Fana J, Wua J, Fucang Z, Huanjie C, Wenzhi Z, Xiukang W, (2019) Empirical and machine learning models for predicting daily global solar radiation from sunshine duration: A review and case study in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 100: 186–212.
- Fao (2008) Food and agriculture organization of united nations. *Aquastat Database from Water Report* 34:220-232.
- Funk C, Peterson P, Landsfeld M, Pedreros D, Verdin J, Rowland J, Romero B, Husak G, Michaelsen, J and Verdin P. (2014) A Quasi-Global Precipitation Time Series for Drought Monitoring Data Series 832, 4p. Technical report.
- Gao Y, Long D. (2008) Intercomparison of remote sensing-based models for estimation of evapotranspiration and accuracy assessment based on SWAT, *Hydrological Processes* 22(25): 4850-4869.
- Hain CR, Crow WT, Mecikalski JR, Anderson MC and Holmes T. (2011) An intercomparison of available soil moisture estimates from thermal infrared and passive microwave remote sensing and land surface modeling. *Journal of Geophysical Research*.
- He x, Xu T, Xia Y and Bateny s, (2020) A Bayesian Three-Cornered Hat (BTCH) Method: Improving the Terrestrial Evapotranspiration Estimation. *Remote Sensing* 12: 878.
- Hofste RW (2014) Comparative analysis among near-operational evapotranspiration products for the Nile Basin based on earth observations. Master thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Jain SK, Tagi J, Singh V. (2010) Simulation of runoff and sediment yield for a Himalayan Watershed using SWAT Model, *Journal of Water Resource and Protection* 2:267-281.
- Jongjina B, Jaehwanb J, Jongminc P And Minhada C. (2019) A study on the analyzing of uncertainty for actual evapotranspiration: flux tower, satellite-based and reanalysis based dataset. *Journal of Korea. Water Resources Association* 52: 11-19.

- Liu S, Xu Z, Zhu Z, Jia Z, and Zhu M. (2013) Measurements of evapotranspiration from eddy-covariance systems and large aperture scintillometers in the Hai River Basin China. *Journal of Hydrology* 487:24–38.
- Liu X, Liu C and Brutsaert W. (2018) Investigation of a generalized nonlinear form of the complementary principle for evaporation estimation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 123: 3933–3942.
- Long D, Longuevergne L and Scanlon BR. (2014) Uncertainty in evapotranspiration from land surface modeling, remote sensing, and GRACE satellites. *Water Resources Research* 50:1131–115.
- López O, Houborg R and McCabe MF. (2016) Evaluating the hydrological consistency of evaporation products using satellite-based gravity and rainfall data. *Hydrology and Earth System Sciences* 21: 323–343.
- Mianabad A, Alizadeh A, Sanaeinejad SH, Gahreman B, Davari K. (2016) Evaluation of SEBAL algorithm for estimating actual evapotranspiration of Neishabour-Rokh basin using SWAT model, *Journal of Water Research in Agriculture* 30(4) 525-54.
- Miralles DG, De Jeu RAM, Gash JH, Holmes TRH and Dolman AJ. (2011) An application of GLEAM to estimating global evaporation. *Hydrology Earth System Sciences Discussion* 8: 1–27.
- Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL(2017) Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50:885–900.
- Mu Q, Zhao M, and Running S. W. (2011). Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote Sensing of Environment* 115: 1781-1800.
- Musselman, R.C; and Minnick T. J. (2000). Nocturnal stomatal conductance and ambient air quality standards for azone. *Atmos. Environ.* 34: 719–733.
- Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Srinivasan R and Williams JR. (2011) *Soil and Water Assessment Tool User Manual, Version 2012*, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Temple, Tex, USA.
- Noori R, Abdoli M. A, Ameri A. and Jalili Ghazizade M. (2009). Prediction of municipal solid waste generation with combination of support vector machine and Principal component analysis: a case study of Mashhad. *Environ. Prog.Sustain. Energy* 28: 249-258.
- Onușluel Gül G, Rosbjerg D. (2010) Modeling of hydrologic processes and potential response to climate change through the use of a multisite SWAT, *Water and Environment Journal*, 24(1): 21–31.
- Paca VH, Espinoza-Dávalos GE, Hessels TM, Moreira DM Comair GF and Bastiaanssen WGM (2019) The spatial variability of actual evapotranspiration across the Amazon River Basin based on remote sensing products validated with flux towers. *Ecological Processes*, 8(6):1-20.
- Parinussa RM, Yilmaz MT, Anderson MC, Hain CR and de Jeu RM (2014) An intercomparison of remotely sensed soil moisture products at various spatial scales over the berian Peninsula. *Hydrological Processes* 28(18):4865–4876.
- Pan, S. Pan, N. Tian, H. Friedlingstein, P. Sitch, S. Shi, H. Arora, V. K. Haverd, V. Jain, A.K. and Running, S. W. (2020). Evaluation of global terrestrial evapotranspiration using state-of-the-art approaches in remote sensing, machine learning and land surface modeling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24: 1485–1509.
- Quinlan JR,(1986) Introduction of decision trees. *Machine Learning* 1:81-106.
- Quinlan JR,(1992) Learning with continuous classes. *Proceedings of the Fifth Australian Joint Conference on Artificial Intelligence*, Hobart, Australia, 16-18 November, World Scientific, Singapore pp. 343–348.
- Ramoelo, A. Majoz. N. Mathieu, R. Jovanovic, N. Nickles, A. and Dziki, S. (2014). Validation of Global Evapotranspiration Product (MOD16) using Flux Tower Data in the African Savanna, South Africa. *Remote Sensing*, 6: 7406-7423
- Reitz M, Senay GB, and Sanford WE(2017) Combining remote sensing and water-balance evapotranspiration estimates for the conterminous United States. *Remote Sensing* 9: 1181-1197.
- Rodell M, Beaudoin HK, Lecuyer TS, Olson WS Famiglietti J S, Houser PR, Adler R, Bosilovich, MG, Clayson CA and Chambers D, (2015) The observed state of the water cycle in the early twenty-first century. *Journal of Climate* 28:82-98.
- Sharma DN, and Tare V, (2018) Evaporation estimation using SSEBOP method SENTINEL2 and LANDSAT-8 dataset. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 5:20-25.
- Vapnik VN, (1995) *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer, New York. 314 pp.



ISSN 2251-7480

## Use of Ensemble Methods for Improving Accuracy of Remotely Sensed-derived Actual Evapotranspiration of Global Databases Case Study: (Karkheh Dam Watershed)

Yarahmadi<sup>1</sup>, Ali Shamsoddini<sup>2\*</sup>, seyed Majid Mirlatifi<sup>3</sup> and Majid Delavar<sup>4</sup>

- 1) Department of water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
  - 2) Department of remote sensing and GIS, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
  - 3) Department of water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Irandares University, Tehran, Iran.
  - 4) Department of water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
- \*) Corresponding Author: ali.shamsoddini@modares.ac.ir

Received: 25-08-2020

Accepted: 02-02-2021

### Abstract

Actual Evapotranspiration is one of the effective components in the hydrological cycle. Therefore, accurate estimation of this component at the watershed scale has an important role in the management of available water resources. In this study, the accuracy of actual evapotranspiration product values of five global terrestrial databases including MOD16, MYD16, SSEBOP, GLEAM, GLDAS was compared to the evapotranspiration values predicted from the SWAT model simulation in the Karkheh dam watershed in 2006, 2008 and 2011 which are low/high and medium rainfall respectively on a monthly scale. Then, the feasibility of improving the accuracy of evapotranspiration values obtained from these databases was investigated in eight different scenarios using simple averaging, M5 and SVR models as ensemble methods. The results showed that although actual evapotranspiration products are able to explain the trend of time changes of actual evapotranspiration in catchment, they are significantly different with the output values of the SWAT model as observation values at a significant level of 5%. The results also indicated the use of simple averaging has no effect on improving the results at the Karkheh dam watershed. However, the use of the other two ensemble methods improves the accuracy of actual evapotranspiration and the ensemble method explains 80% of the SWAT-derived actual evapotranspiration variations. Moreover, the ensemble model derived from SVR fed by the attributes of the superior data combination scenario, reduced the estimation error by about 44% compared to that derived from the best global terrestrial product which was GLEAM in this study.

**Keywords:** Global Databases, Evapotranspiration, GLEAM, SVR, SWAT.