



## برآورد و محاسبه تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از مدل توازن انرژی SEBS و تصاویر ماهواره ای لندست ۸ (مطالعه موردی: حوضه آبریز بختگان-مهارلو)

کیوان بوالحسنی<sup>۱</sup>، حیدر زارعی<sup>۲\*</sup>، ایوب تقی زاده<sup>۳</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۳۰

مقاله پژوهشی بر گرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

### چکیده

استفاده از منابع آبی نیاز به تعیین اجزای چرخه هیدرولوژیکی دارد. به طوری که درک سیستم‌های طبیعی و قوانین فیزیکی که هر جزء چرخه هیدرولوژیکی را مدیریت می‌کنند، به منظور مدیریت منابع آب بسیار مهم و ضروری است. یکی از اجزای مهم چرخه هیدرولوژیکی، تبخیر و تعرق می‌باشد. اغلب روش‌هایی که تاکنون ارائه شده است از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای برای تخمین تبخیر و تعرق استفاده می‌کنند، لذا فقط مناسب مناطق در مقیاس‌های بسیار کوچک بوده و به خاطر شرایط متغیر آب و هوایی، طبیعت پویا انتقال آب-گرما و تغییرات مکانی تبخیر و تعرق قابل تعمیم به حوضه‌های آبریز بزرگ نمی‌باشند. فناوری سنجش‌از دور ماهواره‌ای و استفاده از روش‌های مبتنی بر سنجش‌از دور از جمله روش‌های برآورد زمانی و مکانی تبخیر و تعرق واقعی در سطح حوضه‌های کوچک و وسیع می‌باشد. در این تحقیق مقدار تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS و مدل توازن انرژی سطح (SEBS) در حوضه آبریز بختگان - مهارلو در استان فارس مورد برآورد و ارزیابی قرار گرفته و با روش تجربی فائو پنمن مانیتیت در سطح حوضه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقادیر تبخیر و تعرق به دست آمده از روش توازن انرژی در مقایسه با روش فائو پنمن مانیتیت دارای مقدار میانگین تفاضل مطلق (MAD) برابر با ۰/۴۹ و مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر با ۰/۶۲ میلی متر در روز بوده و حاکی از عملکرد قابل قبول و منطقی مدل در برآورد تبخیر و تعرق دارد.

واژه های کلیدی: تبخیر و تعرق واقعی، سنجش از دور، مدل توازن انرژی، لندست، بختگان-مهارلو.

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ۰۹۱۶۹۶۲۶۴۲۹

bolhasani.keyvan@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ۰۹۱۶۳۰۳۳۰۵۵

zareih@scu.ac.ir (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup> مربی، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ۰۹۱۰۶۱۱۲۸۳۹، a.taghizadeh@scu.ac.ir

## مقدمه

می‌باشد و برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در سطح کلان نیز پراکنش آن بسیار مهم است.

در تحقیقات زیادی محققین برای تبخیر و تعرق واقعی و توزیع زمانی و مکانی آن از داده‌های ماهواره‌ای استفاده نموده‌اند. در سالیان اخیر الگوریتم‌های متعددی جهت برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است. (Verstraeten et al., 2008) روش‌های مبتنی بر سنجش از دور در برآورد تبخیر و تعرق را به چهار دسته تقسیم بندی کردند که عبارتند از:

۱. روش‌های تجربی ۲. روش‌های مبتنی بر بیلان انرژی در سطح ۳. استفاده از معادله بیلان آب و ۴. رابطه بین شاخص‌های گیاهی و دمای سطحی.

تاکنون توجه ویژه‌ای به روش‌های مبتنی بر بیلان انرژی در سطح شده است و در این راستا الگوریتم‌های متعددی از قبیل سبال (SEBAL)، متریک (METRIC)، سبس (SEBS)، سبی (SEBI) و مدل (TSEB) و سایر مدل‌ها ارائه شده است. در این مطالعه از الگوریتم توازن انرژی سطحی سبس در حوضه آبریز بختگان - مهارلو استفاده شده است.

الگوریتم سبس برای تخمین شارهای انرژی از مشاهدات طیفی ماهواره و اطلاعات هواشناسی استفاده می‌کند. این الگوریتم توسط سو در سال 2002 توسعه داده شده است که شامل یک سری ابزار برای تعیین پارامترهای فیزیکی سطح زمین (همچون پارامترهای آلبیدو، انتشار سطحی، دمای سطحی، شاخص پوشش گیاهی و غیره) مستخرج از تصاویر ماهواره ای می‌باشد (Su, 2002). تاکنون مطالعات متعددی جهت بررسی استفاده کارایی مدل SEBS در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس حوضه در مناطق مختلف دنیا استفاده شده است که در ادامه نتایج برخی از آنها ارائه شده است.

(Hailegiorgis 2006) به تجزیه و تحلیل زمانی تبخیر و تعرق در تابستان با استفاده از الگوریتم SEBS در Dinkel و Regge، هلند پرداخت. وی از تصاویر تابستان ماهواره لندست، داده‌های هواشناسی و آبهای زیرزمینی برای ارزیابی تنوع مکانی و زمانی تبخیر و تعرق

تبخیر و تعرق یکی از عوامل مهم در چرخه هیدرولوژی و از جمله عوامل تعیین‌کننده معادلات انرژی در سطح زمین و بیلان آب است. از طرف دیگر تبخیر و تعرق، نقش قابل‌ملاحظه‌ای در اقلیم جهانی از طریق چرخه هیدرولوژی ایفا کرده و تخمین آن کاربردهای مهمی در پیش‌بینی رواناب، پیش‌بینی عملکرد محصول و طراحی کاربردی اراضی، طراحی کانال‌های آبیاری و سازه‌های تقسیم آب داشته و هم‌چنین بر روی بلایای طبیعی همچون خشک‌سالی مؤثر است. بنابراین با توجه به اهمیت عامل تبخیر و تعرق لازم است این پارامتر حتی‌الامکان به‌طور دقیق برآورد شود. طی فرآیند تبخیر و تعرق حجم بالایی از آب خاک سطحی به‌صورت تبخیر و آب خاک زیرسطحی از طریق پوشش گیاهی و به‌صورت تعرق به اتمسفر انتقال داده می‌شود.

پایش مستمر مقدار مصرف آب برای پروژه‌های آبیاری از نقطه‌نظر مدیریت حقایقه‌ها، برنامه‌ریزی آبیاری، افزایش بهره‌وری آب و تنظیم بیلان هیدرولوژیکی آب حوضه مهم می‌باشد. روش‌های زیادی برای محاسبه میزان تبخیر تعرق در شرایط اقلیمی و جغرافیایی مختلف با استفاده از داده‌های هواشناسی توسعه داده‌شده و مورد بررسی قرار گرفته است. این روش‌ها از روابط تجربی ساده گرفته تا روش‌های که اساس فیزیکی پیچیده‌ای دارند، متغییر است. چون اغلب این روش‌ها از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای برای تخمین تبخیر و تعرق استفاده می‌کنند لذا فقط مناسب مناطق محلی بوده و به خاطر طبیعت پویا و منطقه‌ای تبخیر و تعرق قابل‌تعمیم به حوضه‌های بزرگ نمی‌باشند.

پیشرفت روزافزون فناوری سنجش‌از‌دور امکان برآورد تبخیر-تعرق واقعی را در سطح وسیعی فراهم کرده است. سنجش‌از‌دور این قابلیت را دارد که ضمن تخمین مقدار تبخیر و تعرق، توزیع مکانی آن را مورد بررسی قرار دهد. زیرا تنها فناوری است که می‌تواند الگوریتم‌های توازن انرژی و پارامترهای نظیر دمای سطحی، ضریب البیدو و شاخص پوشش گیاهی را به‌صورت منطبق یا سازگار با محیط استخراج کرده و هم‌چنین از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه



حوضه سیلابی Forega واقع در شرق دریاچه تانا در شمال غربی اتیوپی را تخمین زده و نتایج بدست آمده را با روشهای مرسوم زمینی مقایسه نمود.

Mohamed et al. (2010) در تحقیقی روش برآورد سنجش از دوری تبخیر و تعرق واقعی را در میان انواع پوششهای مختلف سطح زمین در حوضه میکیندو در تانزانیا مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که انواع مختلف کاربری اراضی دارای مقادیر تبخیر و تعرق مختلفی در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه هستند و جنگلها و زمینهای آبی دارای تبخیر نسبتا بالاتر در مقایسه با سایر انواع پوشش زمینی در حوضه آبریز دارند. آنها هم چنین دریافتند که برآورد مدل SEBS از تبخیر و تعرق واقعی همبستگی خوبی با تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده دارد. (Rwasoka et al. 2011) به مطالعه ای برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم SEBS در حوضه UpayamManyame در زیمبابوه پرداختند. آنها دریافتند که تبخیر و تعرق برآورد شده با مدل SEBS در مقایسه با تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده به طور متوسط ثابت بود.

هرچند در سالهای اخیر تحقیقات زیادی در زمینه برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از سنجش از دور در کشور انجام شده است اما بیشتر تحقیقات انجام شده به سایر مدلها معطوف بوده و الگوریتم سبس کمتر مورد استفاده قرار گرفته است.

(حیدرنژاد و همکاران، ۱۳۹۲) در پژوهشی با استفاده از تصاویر لندست ۵ و مدل سبس و دادههای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک یزد تبخیر و تعرق مربوط به دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۱ را در منطقه مرکزی یزد برآورد کردند و نتایج حاصل از مدل را با روش تشت تبخیر و رابطه فائو پنمن مانیتث مقایسه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که بین تبخیر و تعرق به دست آمده از مدل توازن انرژی و تبخیر و تعرق به دست آمده با روش تجربی از لحاظ آماری ضریب همبستگی معنی داری وجود دارد. (باباجعفری و همکاران، ۱۳۹۴)، با استفاده از تصاویر سنجنده نووا و به کارگیری الگوریتم سبس دادههای مربوط به ایستگاه سینوپتیک تبریز، ارومیه و سقز در طی فصل رشد برای

استفاده کرد. وی هم چنین در صورت عدم وجود دادههای زمینی تبخیر و تعرق واقعی به منظور اعتبارسنجی مدل، از تبخیر و تعرق مرجع و ضریب گیاهی (KC) استفاده کرد و نشان داد که تبخیر و تعرق برآورد شده از مدل SEBS بر روی کلاسهای کاربری اراضی توافقی خوبی با نتایج مدل SEBS دارد.

Lin et al. (2006) به منظور تخمین شارهای سطحی در شمال شرقی چین از تصاویر MODIS ماهواره ترا و الگوریتم سنجش از دور SEBS استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که مقدار تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم SEBS تطابق خوبی با مقادیر اندازه گیری شده با لایسیمترهای بزرگ وزنی دارد. (Xin et al. 2008) با به کار بردن مدل سبال به تولید سری زمانی از کسر تبخیری، البیدو و تبخیر و تعرق واقعی در منطقه خشک حوضه رودخانه Heihe در شمال غربی چین پرداختند. آنها دریافتند که تبخیر و تعرق واقعی مشتق شده با استفاده از سری زمانی کسر تبخیری و البیدو با توزیع زمانی از شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده هم خوانی دارد، به این معنی که تبخیر و تعرق واقعی با افزایش NDVI افزایش می یابد. (Temesgen 2009) با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS و اطلاعات ایستگاه هواشناسی و مدل SEBS، مقدار تبخیر و تعرق سالانه را در سال ۲۰۰۸ برای حوضه ای در شمال غربی اتیوپی تخمین زد و نتایج را با روشهای مرسوم زمینی مقایسه کرد. نتایج وی نشان داد که مقدار تبخیر و تعرق واقعی سالانه محاسبه شده با روش SEBS، ۱۵۱۹ میلی-متر در صورتی که تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET<sub>0</sub>) به دست آمده از روش پنمن-مانتث برای همین سال ۱۴۹۸ میلی-متر بوده است. در این مطالعه تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق در سطح حوضه نیز ارزیابی شده است به صورتی که ET واقعی برآورد شده با الگوریتم SEBS، در طی فصول مرطوب بزرگتر از ET<sub>0</sub> حاصل از روش پنمن-مانتث و در دوره های خشک تر کمتر از آن بوده است. در تحقیقی (Enku, 2009)، با استفاده از تصاویر مودیس و اطلاعات ایستگاه هواشناسی و مدل توازن انرژی سطحی SEBS، تبخیر و تعرق سالانه

نیرو می‌باشد که جزو حوضه آبخیز اصلی فلات مرکزی می‌باشد، شامل دو رودخانه اصلی کر و سیوند و چندین شاخه فرعی است. دو دریاچه طشک و بختگان در نزدیکی غرب شهرستان نیریز و شرق شهرستان خرامه قرار دارند، که از مهمترین زیستگاه های جانوری در سطح حوضه می باشند. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

### داده‌های مورد استفاده

به منظور اندازه‌گیری تبخیر و تعرق روزانه در حوضه با استفاده از روش فائو پنمن مانیتیت و مدل SEBS، نیاز به اطلاعات هواشناسی می باشد به همین منظور در ایت تحقیق از اطلاعات هواشناسی ۲۴ ایستگاه سینوپتیک داخل و خارج (نزدیکی) حوضه مورد مطالعه استفاده شد. اطلاعات هواشناسی اندازه‌گیری شده شامل پارامترهای میانگین، حداکثر و حداقل دما، حداکثر و میانگین سرعت باد، ساعات آفتابی، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی و فشار بخار می‌باشد (جدول ۱).

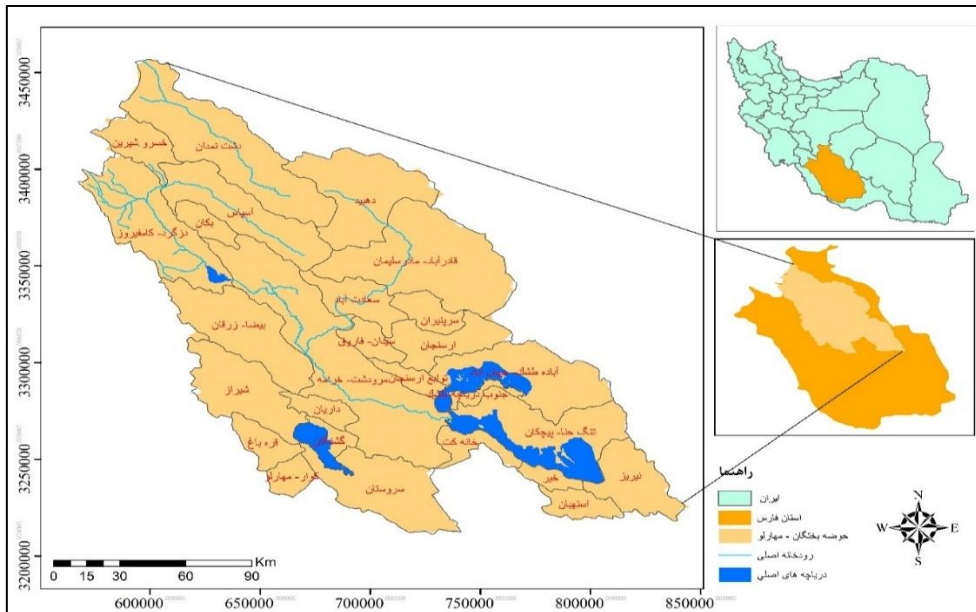
یکی دیگر از ورودی‌های ضروری برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی در سطح حوضه مورد مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای است. در این تحقیق از تصاویر ماهواره چند طیفی سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لندست-۸ که شامل ۹ و ۲ باند طیفی می‌باشند، استفاده شد. ماهواره لندست دارای قدرت تفکیک مکانی متوسط (۳۰ متر) بوده، هم چنین دوره ی گردش کامل (فاصله زمانی بین تصاویر) آن ۱۶ روز می‌باشد. بر اساس تجزیه و تحلیل‌های تقویم پوشش گیاهی منطقه و در دسترس بودن تصاویر فاقد ابر از تصاویر ماهواره-ای در یک ماه شمسی که کل حوضه را پوشش دهد، به منظور ارزیابی برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از مدل توازن انرژی استفاده شده است (جدول ۲).

ماه‌های مه تا آگوست سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹، تبخیر و تعرق واقعی به صورت ماهانه برای کاربری‌های کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را برآورد و نتایج حاصل از الگوریتم، با نیاز خالص آب آبیاری مقایسه شد تا صحت مدل در حوضه دریاچه ارومیه برآورد گردد. نتایج پژوهش با ضریب تبیین  $R=0/85$  دقت مناسب مدل برای کاربری-های کشاورزی آبی در حوضه دریاچه ارومیه را نشان داد. (فرهادی بانسوله و همکاران، ۱۳۹۵) در مطالعه‌ای در دشت ماهیدشت کرمانشاه به برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده TM و الگوریتم SEBS در دوره‌های مختلف فصل رشد ذرت پرداختند. نتایج برآورد و مقایسه آنها از تبخیر و تعرق برآورد شده از مدل توازن انرژی و اندازه‌گیری‌های لایسی‌متری در منطقه و مقدار روش فائو مانیتیت نشان از دقت قابل قبول و منطقی از مقادیر برآورد شده داشت.

باتوجه به تحقیقات انجام شده هدف از این مطالعه ارزیابی و برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از مدل کمتر استفاده شده SEBS و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی مناسب و ارزیابی آن در حوضه-های بزرگ مقیاس و مقایسه نتایج آن با مقادیر به دست آمده از روش تجربی فائو پنمن مانیتیت می باشد.

### مواد و روش‌ها

حوضه آبریز بختگان-مه‌ارلو به مساحت ۳۱۴۹۲ کیلومتر مربع واقع در استان فارس در مختصات جغرافیایی از ۵۱ درجه ۴۲ دقیقه تا ۵۴ درجه ۳۱ دقیقه طول شرقی و از ۲۹ درجه تا ۳۱ درجه ۱۴ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. این حوضه از جمله حوضه‌های آبخیز درجه دو تقسیمات وزارت



شکل (۱): موقعیت حوزه آبریز مورد مطالعه در استان و ایران

جدول (۱): تاریخ و مشخصات تصاویر مورد استفاده

تاریخ شمسی	تاریخ میلادی	Row	Path	زمان اخذ تصویر	درصد پوشش ابر
۹۳/۰۳/۱۷	۲۰۱۴/۰۶/۰۸	۱۶۳	۳۹	۰۷:۰۳:۱۱	۰/۰۹
۹۳/۰۳/۲۷	۲۰۱۴/۰۶/۱۷	۱۶۲	۳۹	۰۶:۵۷:۰۳	۰
۹۳/۰۳/۲۷	۲۰۱۴/۰۶/۱۷	۱۶۲	۴۰	۰۶:۵۷:۲۷	۰

جدول (۲): مشخصات پارامترهای هواشناسی در زمان گذر تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

تاریخ تصویر	دمای حداقل (C)	دمای حداکثر (C)	دمای خاک (C)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (m/s)	بارندگی (mm)	تبخیر (mm)
۹۳/۰۳/۱۷	۱۸/۱۰	۳۶/۸۰	۱۴/۶۰	۲۵/۲۰	۱/۷۰	۰	۱۱/۲۵
۹۳/۰۳/۲۷	۱۸/۱۷	۳۷/۲۶	۱۴/۷۰	۲۲/۴۰	۲/۹۵	۰	۱۲/۶۳

### تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده یا مشاهده‌ای

جهت مقایسه و ارزیابی مدل‌های به کار برده شده جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی در منطقه مورد مطالعه نیاز به داده‌های مشاهداتی یا اندازه‌گیری شده در سطح حوزه آبریز مورد مطالعه می‌باشد. در این تحقیق به دلیل عدم وجود ایستگاه‌های لایسیمتری در سطح منطقه از

اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه مورد مطالعه و استفاده از روش‌های ترکیبی با رویکرد هواشناسی (روش فائو-پنمن-مانتیش) جهت اندازه‌گیری تبخیر و تعرق به عنوان داده‌های مشاهداتی استفاده شده است. این روش به عنوان روش استاندارد برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع

و سایر پارامترها می‌باشد. جزئیات مراحل محاسباتی الگوریتم سبس برای برآورد پارامترهای بیوژئوفیزیکی، که ورودی‌های مورد نیاز برای اجرای مدل و برآورد اجزای رابطه توازن انرژی و شارهای تبخیری در ارتباط با داده‌های هواشناسی می‌باشند و در این مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرند در شکل (۲) نشان داده شده است.

مدل SEBS نیازمند سه سری داده ورودی است. اولین سری شامل تولیدات رادیومتریک ماهواره شامل آلبیدوی سطحی، گسیلمندی سطحی، دمای سطحی، کسر پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ (LAI) و ارتفاع پوشش گیاهی (ارتفاع زبری) است. در صورتی که اطلاعات گیاهی در دسترس نباشد، شاخص گیاهی NDVI به عنوان جانشین برای محاسبه پارامترها مورد استفاده قرار می‌گیرد. دومین سری از اطلاعات ورودی داده‌های هواشناسی هستند که شامل فشار هوا، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در ارتفاع مرجع است. سومین سری از اطلاعات ورودی شامل تابش موج کوتاه ورودی و تابش موج بلند ورودی است. در SEBS سرعت اصطکاکی، شارگرما محسوس و پارامتر طول پایداری ابوکوف به وسیله حل معادلات غیرخطی به دست می‌آیند، کسر تبخیر (نسبت شارگرمای نهان به انرژی در دسترس) بر اساس تعادل انرژی در موارد محدود کننده انجام شده و در نهایت شار گرما آشفته با استفاده از تعادل انرژی سطح مشخص می‌شود، در نهایت تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از کسرتبخیری که در طول روز ثابت فرض می‌شود و انرژی دسترس روزانه محاسبه می‌شود.

با استفاده از داده‌های هواشناسی بیان می‌شود که از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Allen et al., 1998).

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

که در آن، T: میانگین دمای روزانه هوا برحسب (C)، es: فشار بخار واقعی (KJ)، es: فشار بخار اشباع (KJ)، es-: کمبود فشار بخار اشباع (KJ)،  $\Delta$ : شیب منحنی فشار بخار (Kpa/C) و  $\gamma$ : ضریب ثابت سایکرومتری برحسب (Kpa/C) می‌باشد.

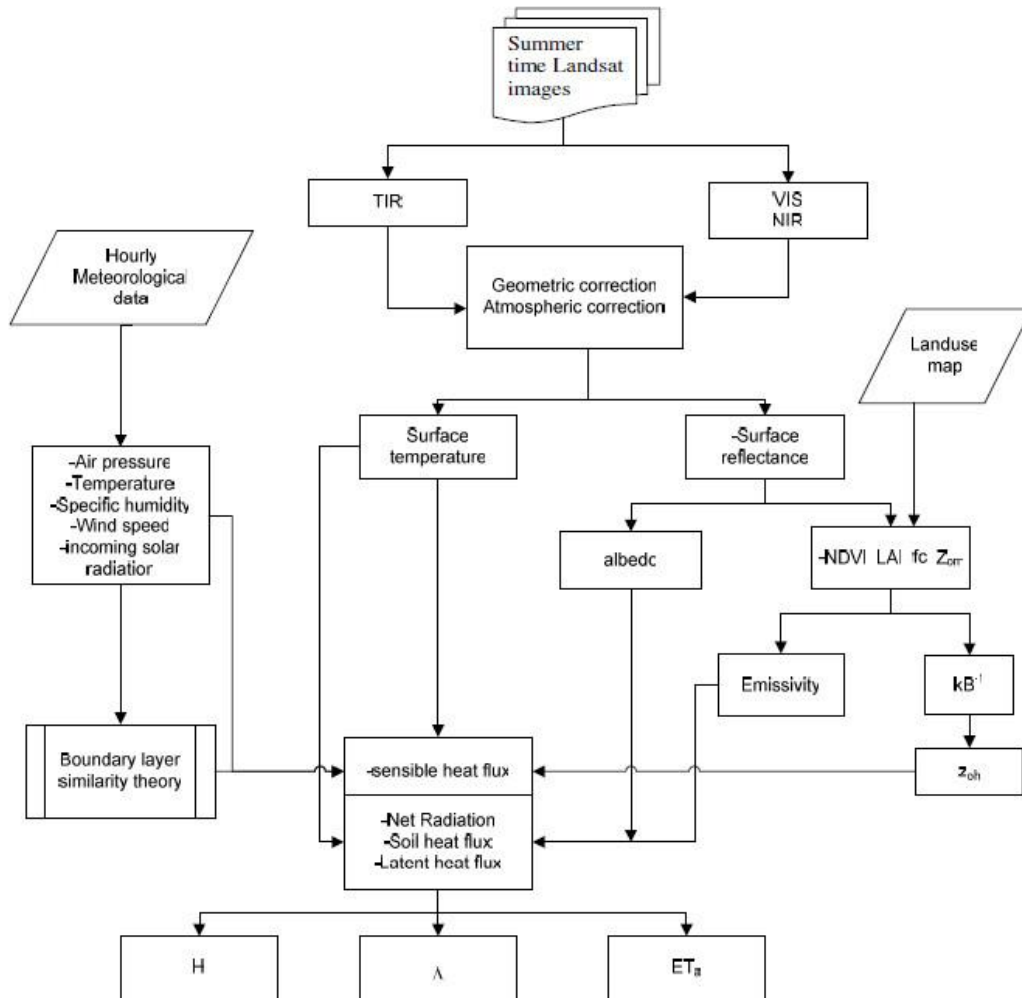
### مدل سیستم توازن انرژی سطح (SEBS)

SEBS یکی از مدل‌های توازن انرژی تک منبعی است که براساس حل رابطه توازن انرژی سطح استوار است که به صورت رابطه (۲) بیان می‌شود:

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (2)$$

به طوری که،  $R_n$  تابش خالص، G شارگرمای خاک، H شارگرمای محسوس و  $\lambda ET$  شارگرمای نهان می‌باشد (  $\lambda$  برابر گرمای نهان تبخیر و  $ET$  مقدار تبخیر و تعرق لحظه‌ای می‌باشد). واحد تمام ترم‌های رابطه توازن انرژی برابر  $(W.m^{-2})$  می‌باشد.

این روش برای تخمین شارهای انرژی از مشاهدات طیفی ماهواره و اطلاعات هواشناسی استفاده می‌کند. این الگوریتم توسط سو در سال ۲۰۰۲ پیشنهاد داده شده است و شامل یک سری ابزار برای تعیین پارامترهای فیزیکی سطح زمین مانند آلبیدو، گسیلمندی سطحی، دما، پوشش گیاهی



شکل (۲): فلوچارت محاسباتی مدل SEBS

$$R_L \downarrow = \sigma \cdot \epsilon_a T_a^4 \quad (۴)$$

در رابطه فوق،  $\sigma$  ثابت استفن-بولتزمن برابر با  $(5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^4)$ ،  $\epsilon_a$  گسیلمندی یا انتشار اتمسفری می‌باشد که با استفاده از رابطه (۵) به دست می‌آید (Campbell and Norman, 1998).

$$\epsilon_a = 9.2 \times 10^{-6} (T_a + 273.15)^2 \quad (۵)$$

تابش طول موج بلند خروجی به عنوان کسری از دمای سطحی و گسیلمندی با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌گردد.

$$R_L \uparrow = \epsilon_s \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (۶)$$

### پارامترهای معادله توازن انرژی

تابش خالص تفاوت بین تابش خورشیدی ورودی و تابش خروجی زمینی در سطح زمین می‌باشد. تابش خالص به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$R_n = (1 - \alpha) R_s \downarrow + \epsilon \cdot R_L \downarrow - R_L \uparrow \quad (۳)$$

به طوری که در آن تابش خالص،  $R_s \downarrow$  تابش طول موج کوتاه ورودی،  $R_L \downarrow$  تابش طول موج بلند ورودی،  $R_L \uparrow$  تابش طول موج بلند خروجی،  $\alpha$  آلبدو سطحی و  $\epsilon$  گسیلمندی یا انتشار سطحی می‌باشد (Su, 2002). تابش طول موج بلند ورودی با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

فشار بخار اشباع با دما و  $r_{ew}$  مقاومت آئروپونامیک می‌باشد و طریق رابطه (۱۱) تعیین می‌گردد (Su, 2002).

$$r_{ew} = \frac{1}{ku_x} \left[ \ln \left( \frac{Z-d}{Z_{oh}} \right) - \psi_h \left( \frac{Z-d}{L_w} \right) + \psi_h \left( \frac{Z_{oh}}{L_w} \right) \right] \quad (11)$$

مقاومت آئروپونامیک در رابطه فوق به طول مانین-اوبوکوف ( $L_w$ ) در شرایط مرطوب بستگی دارد که به صورت رابطه (۱۲) بیان می‌شود (Su, 2002).

$$L_w = \frac{\rho_w u_*^3}{0.61 kg \cdot (R_n - G) / \lambda} \quad (12)$$

در این رابطه  $\lambda$  گرمای نهان تبخیر ( $2.45 M J k g^{-1}$ ) می‌باشد (Allen et al., 1998).

تبخیر و تعرق روزانه براساس کسر تبخیری و با فرض ثابت بودن آن در طول روز برآورد می‌شود (Jia et al., 2009; Brutseart and Sugita, 1992). به این ترتیب، تبخیر و تعرق واقعی که به صورت لحظه‌ای از مشاهدات ماهواره‌ای محاسبه می‌گردد، با استفاده از رابطه (۱۳) به تبخیر و تعرق در مقیاس روزانه تبدیل می‌شود (Su, 2002).

$$AET = 8.64 \times 10^7 \times \frac{\Lambda \cdot R_n - G}{\lambda \rho_w} \quad (13)$$

در این رابطه،  $\rho_w$  چگالی آب ( $1000 K g \cdot m^{-3}$ )،  $R_n$  تابش خالص ( $W \cdot m^{-2}$ )،  $G$  شار گرمای خاک ( $W \cdot m^{-2}$ )،  $\lambda$  گرمای نهان از تبخیر ( $2.45 M J k g^{-1}$ ) و  $\Lambda$  کسر تبخیری می‌باشد.

کلیه روابط ذکر شده در الگوریتم سبب در نرم افزار Envi فرمول نویسی شده و به صورت مجزا بر روی تصاویر اخذ شده در زمان تعیین شده از کل حوضه پیاده‌سازی و اعمال گردید و در نهایت باتوجه به وسعت حوضه آبریز تصاویر نهایی پردازش شده با یک دیگر ادغام و موزائیک شد و در آخر خروجی نهایی مدل جهت تهیه نقشه مکانی تبخیر و تعرق برآورد شده وارد نرم افزار ArcGIS گردید.

که در آن  $\epsilon_s$  و  $T_s$  به ترتیب گسیل‌مندی و دمای سطحی می‌باشند.

جهت محاسبه شار گرمای خاک در مدل سبب از رابطه (۷) استفاده می‌شود (Su, 2002).

$$G = R_n [\Gamma_c + (1-f_c)(\Gamma_s - \Gamma_c)] \quad (7)$$

براساس رابطه فوق،  $f_c$  کسر پوشش گیاهی،  $\Gamma_c$  نسبت شار گرمای خاک به تابش خالص می‌باشد که برای پوشش گیاهی متراکم برابر  $0.105$  (Monteith, 1973) و  $\Gamma_s$  برای پوشش خاک برابر  $0.315$  می‌باشد (Kustas and Daughtry, 1990).

گرمای محسوس به انرژی گرمایی انتقال یافته بین سطح و هوا در زمانی که اختلاف دما بین آنها به وجود می‌آید، اشاره می‌کند. مقادیر شار گرمای محسوس با در نظر گرفتن مقادیر تحت شرایط مرطوب ( $H_{cold}$ ) و شرایط خشک ( $H_{hot}$ ) در مدل سبب تعیین می‌شود (Su, 2002). جهت محاسبه شار گرمای محسوس در شرایط خشک از رابطه (۸) استفاده می‌شود.

$$\lambda ET_{hot} = R_n - G - H_{hot} = 0 \Rightarrow H_{hot} = R_n - G \quad (8)$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که شار گرمای نهان ( $\lambda ET_{hot}$ ) به دلیل محدودیت رطوبت خاک صفر و گرمای محسوس حداکثر می‌شود. با این حال، تحت شرایط مرطوب، تبخیر به مقدار حداکثر می‌رسد و از طریق انرژی موجود در سطح زمین محدود می‌شود. در این حالت شار گرما محسوس در شرایط مرطوب به صورت رابطه (۹) داده شده است (Su, 2002).

$$H_{cold} = R_n - G - \lambda ET_{cold} \quad (9)$$

با استفاده از رابطه فوق از رابطه‌ی مشابه رابطه فائو پنمن مانیتیت جهت محاسبه شار گرمای محسوس در شرایط مرطوب استفاده می‌شود که مقدار آن از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود (Allen et al., 1998).

$$H_{cold} = \left( (R_n - G) - \frac{\rho C_p}{r_{ew}} \times \frac{e_s - e_a}{\gamma} \right) / \left( 1 + \frac{\Delta}{\gamma} \right) \quad (10)$$

که در رابطه فوق،  $e_a$  فشار بخار واقعی،  $e_s$  فشار بخار اشباع،  $\gamma$  ثابت ساکریومتری،  $\Delta$  نرخ تغییرات





## نتایج و بحث

تخمین تبخیر و تعرق واقعی گام نهایی در فرآیند مدل‌های توازن انرژی است. توزیع مکانی تبخیر و تعرق واقعی (ETact) در منطقه مورد مطالعه با استفاده از دمای سطح به دست آمده از تصاویر و فرآیندهای موثر در برآورد تبخیر و تعرق و شارهای توازن انرژی به دست آمده است. به منظور ارزیابی عملکرد و مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق

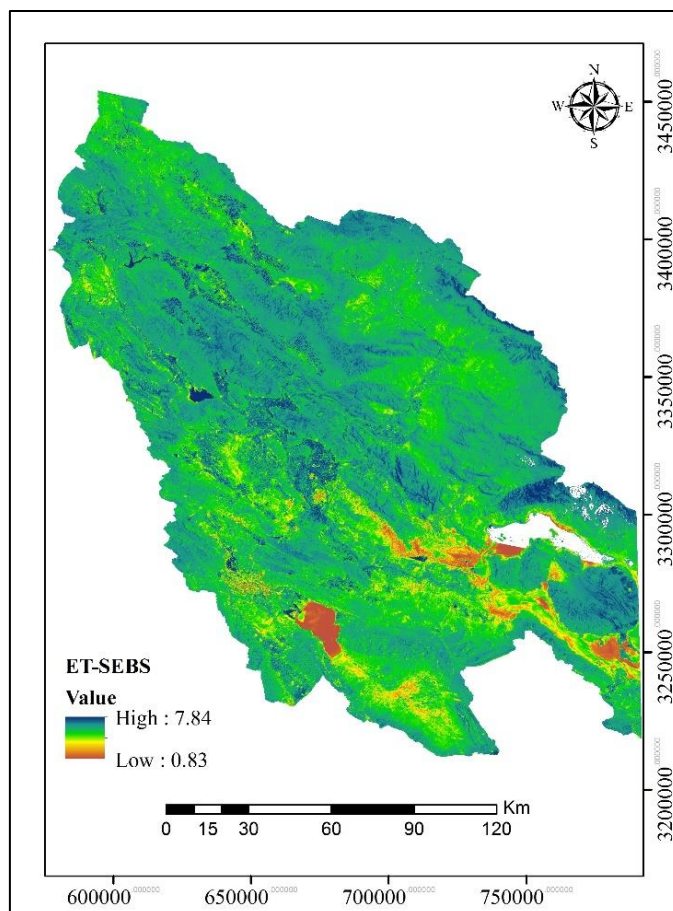
برآورد شده از مدل توازن انرژی برای خرداد ماه از مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده از روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیت و در نظر گرفتن آن به عنوان داده‌های مشاهده‌ای مورد استفاده قرار گرفت. جدول (۳) مقادیر روزانه تبخیر و تعرق واقعی برآورد شده با مدل توازن انرژی SEBS و روش استاندارد فائو پنمن مانیتیت در زمان مورد نظر در موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه آبریز مورد مطالعه ارائه شده است

جدول (۳): مقادیر روزانه تبخیر و تعرق برآورد شده با مدل های توازن انرژی و تبخیر و تعرق مرجع

SEBS(mm/day)	ET <sub>o</sub> (mm/day)	ایستگاه
۶/۳۳	۶/۲۷	صفاشهر
۵/۹۵	۵/۹	دروذن
۶/۵۷	۷/۱۶	شیراز
۵/۲۹	۶/۲	زرقان
۶/۳۸	۶/۷۲	تخت جمشید
۶/۱۶	۷/۱۷	ارسنجان

نتایج ارائه شده در جدول (۳) مقدار تبخیر و تعرق مرجع اندازه‌گیری شده از روش استاندارد فائو پنمن مانیتیت با استفاده از پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری شده در هریک از ایستگاه‌های موجود در سطح حوضه و هم‌چنین مقدار تبخیر و تعرق واقعی برآورد شده (مقدار پیکسل) در هریک از موقعیت‌های ایستگاه‌های مورد نظر می‌باشد. با توجه به مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد که مقادیر حاصل از دو روش یکی به عنوان داده مشاهده‌ای و دیگری به عنوان داده برآوردی مقادیر نزدیک به هم را نشان می‌دهد. شکل (۳) تغییرات مکانی مقدار تبخیر و تعرق واقعی را در زمان مورد نظر که از مدل توازن انرژی SEBS و با استفاده از تصویر لندست-۸ که در سطح کل حوضه آبریز برآورد شده است، را نشان می‌دهد. براساس شکل تنوع مکانی مقادیر تبخیر و تعرق واقعی برآورد شده در سطح حوضه از مقدار حداقل ۰/۸۳ تا مقدار حداکثر ۷/۸۴ میلی‌متر در روز برای مدل

SEBS نشان داده شده است. هم‌چنین با توجه به شکل و مقادیر برآوردی، نشان داده شده که مناطق با پوشش گیاهی متراکم دارای حداکثر مقدار تبخیر و تعرق هستند و زمین‌های خشک و بایر نیز حداقل مقدار تبخیر و تعرق را دارا می‌باشند. به منظور مقایسه و ارزیابی روزانه نتایج تبخیر و تعرق واقعی برآورد شده با استفاده از مدل توازن انرژی و تصویر ماهواره‌ای برای محدوده مورد مطالعه با مقادیر تبخیر و تعرق مرجع اندازه‌گیری شده با روش تجربی، نتایج ارزیابی‌های آماری در این خصوص در جدول (۴) ارائه شده است. این مقایسه و ارزیابی به دو صورت شامل نقطه به نقطه در موقعیت هریک از ایستگاه‌های درون حوضه و هم‌چنین به صورت میانگین مکانی تبخیر و تعرق از کل منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. در شکل (۴) مقایسه این مقادیر به صورت نمودار ستونی نشان داده شده است.



شکل (۳): توزیع مکانی تبخیر و تعرق واقعی در سطح حوضه آبریز مورد مطالعه

جدول (۴): مقایسه و ارزیابی آماری مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق واقعی از روش SEBS در هریک از ایستگاه های حوضه مورد مطالعه

BIAS	NSE	RMSE (mm/day)	MAD (mm/day)	percentual error	absolute Difference	SEBS (mm/day)	ET0 (mm/day)	ایستگاه
				۰/۹۷۵	۰/۰۶	۶/۳۳	۶/۲۷	صفاشهر
				۰/۸۴۷	۰/۰۵	۵/۹۵	۵/۹	درودزن
-۰/۴۶	-۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۴۹	۸/۲۴	۰/۵۹	۶/۵۷	۷/۱۶	شیراز
				۱۴/۶۷	۰/۹۱	۵/۲۹	۶/۲	زرقان
				۵/۰۶	۰/۳۴	۶/۳۸	۶/۷۲	تخت جمشید
				۱۴/۰۸	۱/۰۱	۶/۱۶	۷/۱۷	ارسنجان

ایستگاه زرقان می باشد که ۱۴ درصد اختلاف مقدار بین مقادیر برآورد شده و مشاهده ای وجود دارد. هم چنین در بررسی سایر معیارهای آماری مورد استفاده روش SEBS و روش تجربی فائو پنمن مانیتث دارای مقدار میانگین تفاضل مطلق (MAD) برابر با ۰/۴۹ و مقدار ریشه میانگین

با توجه به جدول (۴) براساس اولین معیار آماری محاسبه شده که درصداختلاف در تخمین تبخیر تعرق واقعی را نشان می دهد، مشاهده می شود که اختلاف بین مقادیر SEBS و روش فائو پنمن مانیتث بین ۰/۰۵ تا ۱ میلی متر در روز می باشد. بیشترین درصداختلاف مربوط به



فائو پنمن مانیتیت به عنوان یک سقف از تبخیر و تعرق در نظر گرفته می‌شود. این مطلب با نتایج تحقیقات (Tsouni et al., 2008) مطابقت دارد. هم چنین به طور کلی باتوجه به ارزیابی معیارهای آماری به خوبی توضیح داده شده است که مقدار تبخیر و تعرق واقعی از مدل توازن انرژی سبس دارای تخمین رضایت‌بخش و قابل قبولی در سطح حوضه آبریز بختگان-مهارلو می‌باشد. این نتیجه با نتایج تحقیق (فرهادی بانسوله و همکاران، ۱۳۹۵) که در دشت ماهیدشت کرمانشاه انجام شده مطابقت دارد.

مربعات خطا (RMSE) برابر با ۰/۶۲ میلی‌متر در روز می‌باشد. هم‌چنین باتوجه به جدول میانگین مکانی نتایج SEBS برای تصویر پایین‌تر از تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد که مقادیر معیار آماری (Bais) نیز گویای همین مطلب بوده و نشان از کم تخمینی مقدار تبخیر و تعرق برآورد شده از روش توازن انرژی می‌باشد. هم‌چنین ذکر این نکته قابل توجه بوده که روش فائو پنمن مانیتیت حد بالایی از مقادیر را برای تبخیر و تعرق تعریف می‌کند که نباید از تبخیر و تعرق واقعی تجاوز شود به طوری که روش



شکل (۴): نمودار مقایسه‌ای مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده و مشاهده‌ای در موقعیت‌های هر یک از ایستگاه‌های موجود در حوضه

برآورد می‌کند و مقادیر تبخیر و تعرق واقعی کمتر از مقدار برآوردی حاصل از روش تجربی می‌باشد. مقادیر معیار آماری (BIAS) نیز بر این مطلب اشاره دارد که مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده از مدل توازن انرژی و تصاویر ماهواره‌ای دارای مقادیر کم تخمینی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری حاصل از روش‌های تجربی می‌باشند که با مقایسه و ارزیابی آن با مقادیر نقطه‌ای توافق خوبی را نشان می‌دهند. بنابراین باتوجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق که در مناطق با وسعت زیاد از جمله حوضه‌های آبریز صورت پذیرفته، نشان می‌دهد که این مدل یا روش می‌تواند در حوضه و دشت‌های با وسعت پایین و هم‌چنین شبکه‌های آبیاری و زهکشی کارایی و مورد استفاده قرار گیرد. هم‌چنین در صورت وجود و تعبیه

## نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر باتوجه به عدم اندازه‌گیری‌های زمینی تبخیر و تعرق و استفاده از مقادیر تبخیر و تعرق حاصل از روش استاندارد تجربی به عنوان داده مشاهده‌ای، نتایج ارزیابی و تجزیه و تحلیل تبخیر و تعرق واقعی در حوضه آبریز بختگان-مهارلو نشان می‌دهد که برآورد تبخیر و تعرق مرجع از داده‌های آب و هوایی با استفاده از (مدل فائو پنمن مانیتیت) و برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل مبتنی بر سنجش از دور بر اساس روش سیستم توازن انرژی سطحی (SEBS) رضایت‌بخش و قابل اعتماد بوده است. این به صورتی است که مقادیر تبخیر و تعرق مرجع حاصل از روش پنمن مانیتیت حد بالایی از تبخیر و تعرق را



تعداد لایسی متر در سطح منطقه می توان بر میزان و کارایی  
دقت این مدل افزود.

## منابع

باباجعفری، ح، پایفرد، ش، قدوسی، م. و باقری، م. ح. ۱۳۹۴. ارزیابی الگوریتم SEBS در برآورد تبخیر و تعرق براساس تصاویر  
سنجنده AVHRR ماهواره NOAA (مطالعه موردی: دشت تبریز). نشریه پژوهش های کاربردی علوم آب، شماره ۲، جلد ۱: ۱۰-۱.  
حیدرنژاد، م، زارع ارنانی، م، پاک پرور، م. ۱۳۹۲. تعیین دقت مدل سبب در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در منطقه یزد. کاوش های  
جغرافیایی مناطق بیابانی، شماره ۱، جلد ۱: ۱۶-۱.  
فرهادی بانسوله، ب، کریمی، ع. ر. و حصادی، ح. ۱۳۹۵. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبب و  
تصاویر لندست در ماهیدشت. نشریه آب و خاک، شماره ۳، جلد ۳۰: ۷۱۶-۷۰۶.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO, Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300: 6541.

Brutseart W. and M. Sugita. 1992. Application of self-preservation in the diurnal evolution of the surface energy balance budget to determine daily evaporation', Journal of Geophysical Research, Vol. (97):18377-18382.

Campbell, G.S and J.M. Norman. 1998. An Introduction to environmental biophysics (New York: Springer).

Enku, T. 2009. Estimation of Evapotranspiration from Satellite Remote Sensing and Meteorological Data over the Fogera Flood Plain-Ethiopia. ITC: Netherlands.

Hailegiorgis W.S. 2006. Remote sensing analysis of summer time evapotranspiration using SEBS algorithm. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, MSc thesis, 130 pp.

Jia, L., G. Xi, S. Liu, C. Huang, Y. Yan and G. Liu. 2009. Regional estimation of daily to annual regional evapotranspiration with MODIS data in the Yellow River Delta wetland. Hydrology and Earth System Sciences, 13(10), 1775-1787.

Kustas, W. P and C. S. Daughtry. 1990. Estimation of the soil heat flux/net radiation ratio from spectral data. agricultural and forest meteorology, 49(3):205-223 .

Lin W., R. van de Velde and Z. Su. 2006. Satellite based regional scale evapotranspiration in the Hebei Plain, Northeastern China. Proceedings of Dragon. (1): 2004-2007.

Mohamed, A. 2010. Remote Sensing Based Estimation of Evaporation among Different Land Cover Types in the Mkindo Catchment, Upper Wami Basin-Tanzania. PP:65.

Rwasoka, D., W. Gumindoga, J. Gwenzi. 2011. Estimation of actual evapotranspiration using the Surface Energy Balance System (SEBS) algorithm in the Upper Manyame catchment in Zimbabwe. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 36(14-15):736-746 .

Su, Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. Hydrology and Earth System Sciences, 6(1):85-100.

Temesgen E. 2009. Estimation of evapotranspiration from satellite remote sensing and meteorological data over the Fogera Floodplain-Ethiopia. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, MSc. Thesis.



Tsouni, A., C. Kontoes, D. Koutsoyiannis, P.Elias and N. Mamassis. 2008. Estimation of actual evapotranspiration by remote sensing: Application in Thessaly Plain, Greece. *Sensors*, 8(6): 3586-3600 .

Verstraeten W.W., F.Veroustraete and J. Feyen. 2008. Assessment of evapotranspiration and soil moisture content across different scales of observation. *Sensors*. 8(1): 70-117.

Xin, S. 2007. Regional Evapotranspiration over the arid inland heihe river basin in northwest China. M. Sc thesis: International Institute for Geo-information Science and Earthn, 112pp.



## Estimation and Calculation of Actual Evapotranspiration Using SEBS Energy Balance Model and Landsat 8 Satellite Imagery (Case study: Bakhtegan-Maharlo Basin)

Keyvan Bolhasani<sup>1</sup>, Heidar Zarei<sup>2</sup>, Ayoub Taghizadeh<sup>3</sup>

### Abstract

Using water resources require the determination of components of the hydrological cycle. Understanding of natural systems and physical laws that manage each component of the hydrological cycle is important for the water resources management. One of the crucial components of the hydrological cycle is evapotranspiration. Most methods that have been presented in this study use point measurements to estimate evapotranspiration. Due to dynamic and changing nature of regional evapotranspiration is not generalizable to the basin, the applied methods are only suitable for the local areas. Technology of satellite remote sensing and remote sensing-based methods can be used for the temporal and spatial estimation of actual evapotranspiration in the small and large basins. Remote sensing data derived from satellite imagery calculates the amount of actual evapotranspiration using surface energy balances model. In this study, actual evapotranspiration at the Bakhtegan-Maharlo basin were estimated and evaluated using Landsat 8 satellite images sensor OLI/TIRS and SEBS energy balance models. The values of evapotranspiration derived from energy balance model and FAO-Penman-Monteith method were compared. The results showed that the evapotranspiration values obtained from the energy balance model has a root mean square error (RMSE) and mean absolute difference (MAD) equal to 0.62 and 0.49 mm/d, respectively, indicating its acceptable performance to estimate the evapotranspiration.

**Keywords:** Actual Evapotranspiration, Remote sensing, Energy balance model, Landsat, Bakhtegan-Maharlo Basin.

---

<sup>1</sup> Graduated M.Sc. in Water Resources Engineering, Department of Hydrology and water resources Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (bolhasani.keyvan@gmail.com)

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Hydrology and water resources, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (Corresponding Author Email: zareih@scu.ac.ir)

<sup>3</sup> Educator, Department of Remote sensing and GIS, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (a.taghizadeh@scu.ac.ir)

## Research Paper

# Estimation and Calculation of Actual Evapotranspiration Using SEBS Energy Balance Model and Landsat 8 Satellite Imagery (Case study: Bakhtegan-Maharlo Basin)

Keyvan Bolhasani<sup>1</sup>,Heidar Zarei<sup>2\*</sup>,Ayoub Taghizadeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduated M.Sc. Student, Department of Hydrology and water resources, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Hydrology and water resources, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

<sup>3</sup> Educator, Department of Remote sensing and GIS, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran



10.22125/IWE.2020.183937.1112.

Received:

**April 30, 2020**

Accepted:

**December 20, 2020**

Available online:

**June.01.2022****Keywords:****Actual Evapotranspiration, Remote sensing, Energy balance model, Landsat, Bakhtegan-Maharlo Basin****Abstract**

Using water resources require the determination of components of the hydrological cycle. Understanding of natural systems and physical laws that manage each component of the hydrological cycle is important for the water resources management. One of the crucial components of the hydrological cycle is evapotranspiration. Most methods that have been presented in this study use point measurements to estimate evapotranspiration. Due to dynamic and changing nature of regional evapotranspiration is not generalizable to the basin, the applied methods are only suitable for the local areas. Technology of satellite remote sensing and remote sensing-based methods can be used for the temporal and spatial estimation of actual evapotranspiration in the small and large basins. Remote sensing data derived from satellite imagery calculates the amount of actual evapotranspiration using surface energy balances model. In this study, actual evapotranspiration at the Bakhtegan-Maharlo basin were estimated and evaluated using Landsat 8 satellite images sensor OLI/TIRS and SEBS energy balance models. The values of evapotranspiration derived from energy balance model and FAO-Penman-Monteith method were compared. The results showed that the evapotranspiration values obtained from the energy balance model has a root mean square error (RMSE) and mean absolute difference (MAD) equal to 0.62 and 0.49 mm/d, respectively, indicating its acceptable performance to estimate the evapotranspiration.

\* **Corresponding Author:** Heidar Zarei

**Address:** Associate Professor, Department of Hydrology and water resources, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

**Email:** zareih@scu.ac.ir

**Tel:** +989163033055

## 1. Introduction

Evapotranspiration is one of the important factors in the hydrological cycle and is one of the determinants of energy equations at the ground level and water balance. The increasing advancement of remote sensing technology has made it possible to estimate actual evapotranspiration on a large scale. In recent years, several algorithms have been proposed to estimate evapotranspiration using satellite imagery. In this study, the Surface Energy Balance Algorithm (SEBS) in Bakhtegan-Maharloo basin has been used. The SEBS algorithm uses satellite spectral observations and meteorological information to estimate energy fluxes. This algorithm was developed by Su in 2002 which includes a series of tools for determining the physical parameters of the earth's surface extracted from a satellite image (such as albedo parameters, emissivity, surface temperature, vegetation index, etc.).

Therefore, the purpose of this study was to evaluate and estimate the actual evapotranspiration using the less used SEBS model and Landsat 8 satellite images with appropriate spatial resolution and evaluate it in large-scale basins and compare the results with the obtained values from experimental method of FAO-Penman-Monteith 56.

## 2. Materials and Methods

### Case study

Bakhtegan-Maharloo basin with an area of 31,492 square kilometers is located in Fars province in geographical coordinates from 51 degrees 42 minutes to 54 degrees 31 minutes east longitude and from 29 degrees to 31 degrees 14 minutes north latitude.

### Data used

In order to measure daily evapotranspiration in the basin using FAO-Penman-Monteith method and SEBS model, meteorological information is needed. Therefore, in this study, meteorological information of 24 synoptic stations inside and outside (near the area) the study basin was used. The measured meteorological information includes the parameters of average, maximum and minimum temperature, maximum and average wind speed, sunny hours, dew point temperature, relative humidity and vapor pressure. In this study, multi-spectral satellite images of OLI and TIRS sensors of Landsat-8 satellite, which include 9 and 2 spectral bands, were used.

### Surface Energy Balancing System (SEBS) Model

SEBS is one of the single source energy balance models which is based on solving the surface energy balance relationship that is expressed as Equation (1):

$$(1) \quad \lambda ET = R_n - G - H$$

Thus,  $R_n$  is net radiation flux,  $G$  is soil heat flux,  $H$  is sensible heat flux, and  $\lambda ET$  is latent heat flux (is equal to latent heat of vaporization and  $ET$  is the amount of momentary evapotranspiration). The unit of all terms of the energy balance equation is  $W.m^{-2}$ .

Thus, actual evapotranspiration, which is calculated instantaneously from satellite observations, is converted to daily evapotranspiration using Equation (2) (Su, 2002).

(2)

$$AET = 8.64 \times 10^7 \times \frac{\Lambda \cdot R_n - G}{\lambda \rho_w}$$



In this relation,  $\rho_w$  is water density (1000 kg.m-3), Rn is net radiation (W.m-2), G is soil heat flux (W.m-2),  $\lambda$  is latent heat from evaporation ( $2.45MJkg^{-1}$ ) and  $\Lambda$  is evaporation fraction. Figure 1 shows the flowchart of SEBS components and other intermediate parameters estimated by SEBS.

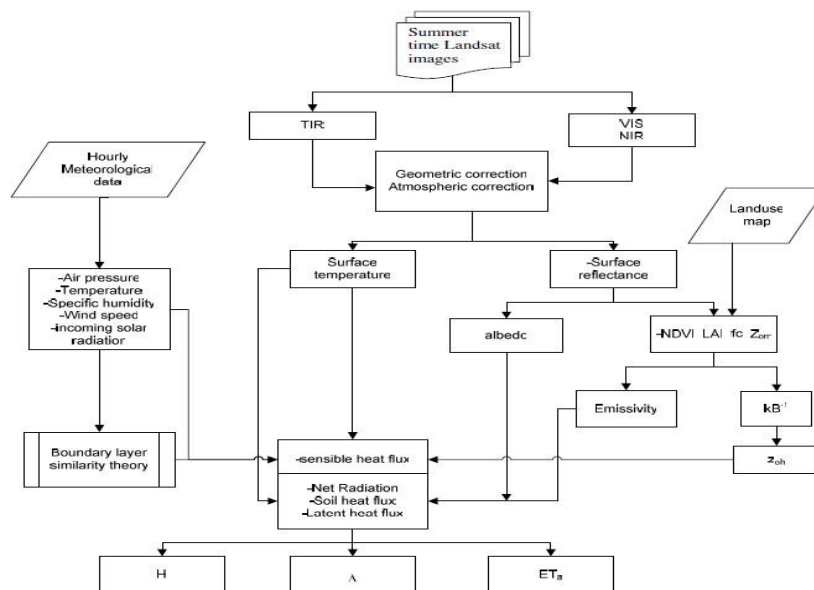


Fig 1. Flowchart illustrating the computation of surface energy balance fluxes using SEBS algorithm.

### 3. Results

In order to evaluate the performance and compare the evapotranspiration values estimated from the energy balance model in June, the evapotranspiration values measured by the standard FAO-Penman-Monteith method were considered as the observational data and used.

Based on the results of statistical evaluations in estimating the actual transpiration evaporation, it is observed that the difference between the values of SEBS and the FAO-Penman-Monteith method is between 0.05 to 1 mm per day. The highest percentage of difference is related to Zarghan station, where there is a 14% difference in value between the estimated and observed values. Also, in reviewing other statistical criteria used, SEBS method and FAO-Penman-Monteith experimental method had the mean absolute difference (MAD) equal to 0.49 and a root mean square error (RMSE) equal to 0.62 mm / day.

### 4. Discussion and Conclusion

In the present study, due to the lack of ground measurements of evapotranspiration and the use of evapotranspiration values obtained from the experimental method, as observational data, the results of evaluation and analysis of actual evapotranspiration in Bakhtegan-Maharloo basin show estimate reference evapotranspiration from climatic data using (FAO-Penman-Monteith) and estimate actual evapotranspiration using satellite imagery and remote sensing model based on surface energy balance system (SEBS) method has been satisfactory and reliable. Therefore according to the obtained results in this study, which was carried out in large areas, including basins, shows that this model and method can be used in basins and plains with smaller area as well as irrigation and drainage networks to be efficient and useful.

## 5. Six important references

1. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO, Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300: 6541.
2. Hailegiorgis W.S. 2006. Remote sensing analysis of summer time evapotranspiration using SEBS algorithm. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, MSc thesis, 130 pp.
3. Kustas, W. P and C. S. Daughtry. 1990. Estimation of the soil heat flux/net radiation ratio from spectral data. *Agricultural and forest meteorology*, 49(3):205-223.
4. Su, Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(1):85-100.
5. Tsouni, A., C. Kontoes, D. Koutsoyiannis, P.Elias and N. Mamassis. 2008. Estimation of actual evapotranspiration by remote sensing: Application in Thessaly Plain, Greece. *Sensors*, 8(6): 3586-3600 .
6. Xin, S. 2007. Regional Evapotranspiration over the arid inland heihe river basin in northwest China. M. Sc thesis: International Institute for Geo-information Science and Earthn, 112pp.

## 6. Acknowledgments

The authors are grateful to the Research Council of the Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support. Also great thanks of the Regional Water Company of Fars for sharing the required data.