مجله پژوهش آب ایران جلد ۱۵/ شماره ۴/ پیاپی ۴۳/ زمستان ۱۴۰۰ (؟؟ -؟؟)

مقاله پژوهشی

ارزیابی عملکرد الگوریتمهای SEBAL و EEFLux در برآورد تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از دادههای ماهوارهٔ لندست ۸

ابوالفضل دلاوری کامیاب^۱، شهرو مختاری^{۳*} و رضا جعفرینیا^۳

چکیدہ

تبخیر و تعرق، یکی از مؤلفههای کلیدی چرخهٔ هیدرولوژیکی کرهٔ زمین است و برآورد دقیق آن بهعنوان عامل مهمی در برنامهریزی و مدیریت منابع آب در کشاورزی، اهمیت بسیار زیادی دارد. در چند دههٔ گذشته، پژوهشگران به روشهای مبتنی بر استفاده از تصاویر ماهوارهای توجه کردهاند؛ بهگونهای که انواع روشهای سنجش از دور را برای برآورد تبخیر و تعرق توسعه دادهاند. در پژوهش حاضر، امکان استفاده از دو مدل مبتنی بر سنجش از دور سبال (SEBAL) و متریک (EEFlux) و مقایسهٔ آنها در برآورد تبخیر و تعرق روزانه در مزرعهٔ اوقاف اراک بررسی شد. با استفاده از مدلهای SEBAL و EEFlux، شارهای سطحی برای هر پیکسل تصویر ماهوارهٔ لندست ۸ (برای ۸ تصویر در دورهٔ فصل رویشی در مزرعهٔ اوقاف اراک) محاسبه و مقدار تبخير و تعرق واقعى بهصورت باقيماندهٔ معادلهٔ توازن انرژى در سطح برآورد شد. دقت نتايج الگوريتمهاى SEBAL و EEFlux با استفاده از دادههای لایسیمتر (برداشتشده در ۸ تاریخ منطبق با تاریخ تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸) با استفاده از معیارهای RMSE ،NSE ،PBAIS و RMSE و RMSE و RMSE و EEFLux و تعرق روزانه حاصل از الگوریتمهای SEBAL و EEFLux به این صورت بود که با شروع فصل زراعی، مقادیر تبخیر و تعرق روزانه کم بود و سپس با گذر زمان و رسیدن به میانههای فصل زراعی، مقدار تبخیر و تعرق به اوج خود رسید و پس از آن، مقادیر تبخیر و تعرق بهعلت کاهش دما و تغییرات پوشش ذرت در منطقة مورد مطالعه، سير نزولي به خود گرفت. مقايسة الگوريتمهاي SEBAL و EEFLux نشان داد الگوريتم SEBAL، حدود ۷/۷۱ درصد تبخیر و تعرق واقعی روزانه در محدودهٔ مزرعهٔ اوقاف اراک را بیشتر برآورد کرده است. نتایج ارزیابی عملکرد نشان داد PBIAS ،NSE ،RMSE و R² و PBIAS و PBIAS و SEBAL بهترتيب، برابر با ۰/۸۰۷ ، ۰/۸۰۷ و ۷/۳۹۸ و برای الگوریتم EEFLux بهترتیب، برابر با ۱/۰۸۶، ۱/۰۸۶، ۱۵/۰۸۰ و ۱۵/۷۹۳ بود؛ از اینرو، ارزیابی عملکرد الگوریتمهای SEBAL و EEFLux با توجه به دادههای لایسیمتر نشان داد الگوریتم SEBAL، همبستگی بیشتر و انحراف معیار کمتر نسبت به الگوریتم EEFLux دارد. بر اين اساس، الگوريتم SEBAL نسبت به الگوريتم EEFLux، نتايج بهتري ارائه داده است و الگوريتم SEBAL، دقت زیاد تصاویر را در بر آورد تبخیر و تعرق نشان داد.

واژههای کلیدی: تبخیر و تعرق روزانه، سنجش از دور، لندست ۸، SEBAL و EEFLux.

ارجاع: دلاوری کامیاب ا. مختاری ش. و جعفرینیا ر. ۱۴۰۰. ارزیابی عملکرد الگوریتمهای SEBAL و EEFLux در برآورد تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از دادههای ماهوارهٔ لندست ۸ مجله پژوهش آب ایران. ۴۳: ؟؟-؟؟.

* نویسندهٔ مسئول: Sh-mokhtari@iau-arak.ac.ir تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶

۱- دانشجوی دکترای گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی.، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک.

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت جهان و نیاز بسیار به مواد غذایی از یک سو و محدودیت منابع آب از سوی دیگر، لزوم برنامهریزی برای استفادهٔ درستتر از منابع آب را دوچندان میکند (ثنایینژاد و همکاران، ۱۳۹۰؛ سرگزی و قویدل، ۱۳۹۶). تبخیر و تعرق (شامل تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاهان)، یکی از عوامل مهم در چرخهٔ هیدرولوژی و ازجمله عوامل تعیین کنندهٔ معادلات انرژی در سطح زمین و توازن آب است و برآورد آن در زمینههای مختلف علومی همچون هیدرولوژی، کشاورزی و مدیریت منابع آب ضروری است (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از راههای رسیدن به کشاورزی پایدار، تعیین دقیق مقدار آبی که با تبخير و تعرق مصرف مى شود، مديريت أن از عوامل تعیینکننده در برنامهریزی برای رسیدن به محصول بیشتر است (میرموسوی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین کمّیکردن مقادیر تبخیر و تعرق برای درک فرایندهای اصلی، شامل تغییرات فنولوژی پوشش گیاهی و بیلان آب اکوسیستمها، امری ضروری است (باتارای و همکاران، ۲۰۱۷). استفاده از دادههای میدانی برداشتشده برای مقایسهٔ نتایج حاصل از مدلها به کار میرود و کاربرد مدل در منطقه را توجیه می کند (هرمن و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به موارد گفتهشده، از جمله نقطهای بودن روشهای معمول برآورد تبخیر و تعرق، استفاده از روشهایی که تبخیر و تعرق را با توجه به شرایط خاک و رطوبت و دمای هر نقطه از منطقه مشخص کند، در برنامهریزیهای کلان کاربرد دارد (باستیانسن، ۲۰۰۵)؛ بنابراین، در سطوح بسیار وسیع، مانند دشتها و حوزههای آبخیز باید از تکنیکها و مدلهای مختلف و جدید استفاده شود (تالسما و همکاران، ۲۰۱۸۵). در بیشتر روشهای ارائهشده برای تعیین میزان تبخیر و تعرق، مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع تخمین زده و با استفاده از آن، نیاز آبی گیاه مدنظر محاسبه می شود (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۳). کمّیکردن تبخیر و تعرق، یکی از مسائل پیچیده در چرخهٔ هیدرولوژی با عوامل زیاد محیطی و اقلیمی است و عملیات میدانی اندازه گیری تبخیر و تعرق، مانند روش بیلان آب خاک، همبستگی اددی و روش نسبت باوون، هزینهبر و زمان گیر است (دروگرس، ۲۰۰۰ و النمر و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر این، روشهای مذکور فقط برای مناطق کوچک کاربرد دارد. در چند دههٔ اخیر،

روشهای مبتنی بر سنجش از دور برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی، بهعلت پیشرفتهای زیاد در محاسبات کامپیوتری و کاربرد آن در سطوح وسیع، رشد زیادی داشته است. به دادههای ماهوارهای بهعنوان منبع اصلی اطلاعات پایه و بهنگام برای استفاده در برآورد تبخیر و تعرق و کشاورزی دقیق توجه می شود (لئو و کار ۲۰۱۴: مرشدی و همکاران، ۱۳۹۵). از رایجترین تصاویر ماهوارهای برای برآورد تبخیر و تعرق، تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ (با دورهٔ بازگشت ۱۶ روزه و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در باندهای مرئی و ۱۰۰ متر در باندهای حرارتی) است (سینگ و همکاران، ۲۰۱۴). بهتازگی، پژوهشگران زیادی برای برآورد تبخیر و تعرق به دادههای سنجش از دور و الگوریتمها و روشهای مبتنی بر بیلان انرژی در سطح، توجه ویژهای داشتهاند. بر همین اساس، الگوریتمهای گوناگونی، مانند سبال (SEBAL)، متریک (METRIC)، سبس (SEBS) و سبی (SEBI) ارائه شده است. ژو و همکاران (۲۰۱۴) مدلهای T۳، الگوریتم سبال و کوواریانس اددی را در برآورد تبخیر و تعرق مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد مدل T۳، صحت و دقت بیشتری در برآورد تبخیر و تعرق داشت. سینگ و همکاران (۲۰۱۴)، تصاویر ۸ روزهٔ مودیس را با تصاویر لندست در حوزهٔ آبریز کلرادو در آمریکا با استفاده از روش خطی با عرض از مبدأ صفر (LinZI) برای برآورد تبخیر و تعرق واقعى تلفيق كردند. نتايج آنها نشاندهنده همبستگی زیاد تبخیر و تعرق واقعی و برآوردشده بود. یانگ و همکاران (۲۰۱۵)، میزان تبخیر و تعرق در مزارع ذرت و گندم در فصل تابستان را در کشور چین براساس الگوريتم سبال محاسبه كردند. نتايج آنها نشان داد ارتباط زیادی بین تبخیر و تعرق با دمای سطح زمین و شاخص NDVI و بین فنولوژی گیاه در سطوح مختلف مزارع با میزان تبخیر و تعرق وجود داشت. پژوهشگران دیگری نیز در خارج از کشور با استفاده از تکنیکهای سنجش از دور و الگوریتم سبال، تبخیر و تعرق در سطوح مختلف را محاسبه کردند (باتود و همکاران، ۲۰۱۷؛ ناو و همکاران، ۲۰۱۸؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۹). در داخل کشور نیز پژوهشگران زیادی، برآورد تبخیر و تعرق را با استفاده از دادههای سنجش از دور و الگوریتمهای کامپیوتری بررسی کردند. قربانی و همکاران (۱۳۹۴)، الگوریتمهای سبال (SEBAL) و متریک را (EEFLux) در برآورد تبخیر و

تعرق شهرستان ملاير، ارزيابي مقايسهاي كردند. نتايج أنها نشان داد الگوریتم سبال با میانگین تبخیر و تعرق ۶/۸۳ میلیمتر در روز، نسبت به الگوریتم متریک با مقدار ۷/۲۱ میلیمتر در روز، حدود ۵/۲۶ درصد تبخیر و تعرق واقعی روزانه در محدودهٔ شهرستان ملایر را کمتر برآورد کرده است. ملکپور و همکاران (۱۳۹۵)، تبخیر و تعرق دشت قزوین را با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر ماهوارهٔ لندست ۵ محاسبه و نتایج را با دادههای لایسیمتری موجود در منطقه ارزیابی کردند. نتایج، نشان دهندهٔ دقت مناسب الگوريتم سبال در تخمين تبخير و تعرق بود. فرهادی بانسوله و همکاران (۱۳۹۵)، تبخیر و تعرق واقعی ذرت در ماهیدشت را با استفاده از الگوریتم سبس و تصاویر لندست ۵ در فصل رشد ذرت برآورد کردند. نتایج آنها نشان داد حداكثر اختلاف بين تبخير و تعرق برآوردشده با الگوریتم سبس در مزرعهٔ ذرت و مقادیر اندازه گیری شده درون لایسیمتر ۰/۳۴ میلیمتر در روز بود که معادل ۴/۵۶ درصد تبخیر و تعرق اندازه گیری شده در همان روز بود. از دیگر مطالعات انجامشده در داخل کشور به پژوهشهای کریمی و همکاران (۱۳۹۱)، امیدوار و همکاران (۱۳۹۲)، قمرنیا و رضوانی (۱۳۹۳)، مرشدی و همکاران (۱۳۹۶ه)، مرشدی و همکاران (۱۳۹۶) و مرشدی و همکاران (۱۳۹۶) میتوان اشاره کرد؛ از اینرو، در پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر سنجندههای OLI و TIRS مربوط به ماهوارهٔ لندست ۸ و الگوریتمهای سبال (SEBAL) و متریک (EEFLux)، تبخیر و تعرق از سطح مزارع ذرت علوفهای در مزرعهٔ اوقاف اراک برآورد میشود.

مواد و روشها

براساس تقسیمبندی وزارت نیرو، مزرعهٔ اوقاف اراک در حوزهٔ آبریز کویر اراک قرار گرفته است که بهلحاظ مورفولوژیکی، به نام دشت اراک شناخته میشود و بین طولهای ^۲۰۹ ^۹۰۹ تا ^۲۹۷ ^۹۹ شرقی و عرضهای ^۲۷ طولهای ^۲۰۱ ^۹۳ شمالی واقع شده است که مساحتی بالغ ۳۴^۰ تا ^۲۱۱ ^۹۳ شمالی واقع شده است که مساحتی بالغ بر ۲۵۵۰ کیلومتر مربع دارد. ازنظر هیدرولوژیکی، تمامی بریانات سطحی آن به دریاچهٔ میقان (با مساحت ۱۰۶ کیلومتر مربع) منتهی میشود. ارتفاع بیشینهٔ این حوزه، ۲۱۱۸ متر؛ ارتفاع کمینه، ۱۶۶۰ متر؛ ارتفاع متوسط، ۱۹۲۶ متر و شیب متوسط سطح، ۱/۹۷ درصد است.

تغییرات بارندگی سالانه از ۲۱۰ تا ۴۳۰ میلیمتر، متغیر و میانگین دمای سالانه از ۱۲/۲ سانتی گراد است. محصولات پاییزه (گندم و جو) بهطور عمده بهصورت دیم و محصولات بهاره بهصورت آبی (ذرت) کشت میشود (خیراندیش، ۱۳۹۷). مزرعهٔ اوقاف اراک در بخش مرکزی حوزهٔ آبریز کویر اراک واقع شده و مساحتی بالغ بر ۱۳۰ هکتار را به خود اختصاص داده است. در شکل ۱، موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه روی نقشهٔ ایران و استان مرکزی ارائه شده است.

روش تحقيق

هدف پژوهش حاضر، مقایسهٔ نتایج الگوریتمهای SEBAL و EEFlux در برآورد تبخیر و تعرق با نتایج دادههای بهدستآمده از دادههای زمینی (لایسیمتر) بود. در این بخش، بهطور خلاصه، روشهای نمونه گیری توضیح داده شده، معیارهای استفاده شده برای مقایسهٔ نتایج SEBAL و EEFlux ارائه می شود. با توجه به اینکه الگوریتمها و روشهای مذکور با گذشت زمان، بهبود و تکامل یافته است، نتایج بهتر آنها با کاربردهای گوناگون در مناطق گوناگون مورد مطالعه در چندین سال گوناگون اتفاق میافتد و از نسخههای مختلف الگوریتمهای مذکور مىتوان استفاده كرد. نسخەهاى مختلف الگوريتمهاى مذکور، شامل تفاوت در مؤلفههای تعادل انرژی تولیدشده است که بهطور کلی، جزئی است؛ برای مثال، در محاسبهٔ شار گرمای زمین و زبری آیرودینامیکی میتوان تفاوت آنها را بیان کرد (تالسما و همکاران، ۲۰۱۸ b). پژوهش حاضر، ۵ مرحله دارد که بهترتیب عبارت است از: ۱– بررسیهای میدانی برای انتخاب مزرعهٔ ذرت اراک و جمعآوری دادههای زمینی؛ ۲- محاسبهٔ تبخیر و تعرق مزارع ذرت مبتنی بر دادههای اندازه گیری شده با استفاده از رابطهٔ پنمن-مانتیس و لایسیمتر؛ ۳- برآورد تبخیر و تعرق ذرت در دورهٔ رشد با استفاده از الگوریتم SEBAL و تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸؛ ۴- برآورد تبخیر و تعرق ذرت در دورهٔ رشد با استفاده از الگوریتم EEFLux و تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ و ۵- ارزیابی نتایج الگوریتمهای SEBAL و EEFLux با استفاده از معیارهای ارزیابی عملکرد.



شكل ١- موقعيت منطقة مورد مطالعه

نمونهبرداریهای میدانی

برای برداشت شاخص سطح برگ، از روش مستقیم (نمونهبرداری تخریبی) در زمان گذر ماهوارهٔ لندست ۸ از منطقهٔ مطالعاتی عملیات میدانی استفاده شد. برای این منظور، ابتدا، در مزرعهٔ ذرت اوقاف اراک، در هر بازدید با توجه به اندازهٔ پیکسلها، پلاتی به ابعاد ۳۰ متر در ۳۰ متر از مزارع ذرت برای نمونهبرداری برگزیده شد و سپس در مرکز هر پلات، زیرپلاتی مربعی به ابعاد یک متر در یک متر انتخاب شد.

محاسبة تبخير و تعرق واقعى

ابتدا، تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن– مانتیس (آلن و همکاران، ۲۰۱۱) با استفاده از دادههای هواشناسی ایستگاه اراک و سپس مقادیر ضریب گیاهی (Kc) در هر بازدید برای هر مزرعه از روش شاخص سطح برگ (لی و لیون، ۲۰۰۲: کانگ و همکاران، شاخص سطح برگ (لی و لیون، ۲۰۰۲: کانگ و همکاران، برگ برای ذرت در منطقهٔ مورد مطالعه تعیین شد (بافکار و همکاران، ۱۳۹۱)؛ سپس مقدار تبخیر و تعرق واقعی

گیاه ذرت از حاصلضرب تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در ضریب گیاهی محاسبه و مجموع آن برای دورهٔ رشد برای منطقهٔ مورد مطالعه تعیین شد؛ از اینرو، تبخیر و تعرق واقعی در مزرعهٔ اوقاف اراک با استفاده از دادههای لايسيمتر و عمليات ميداني تعيين شد. دستگاه لايسيمتر برای اندازه گیری میزان تبخیر و تعرق به کار میرود (بیشتر به کمک روش محاسبهٔ وزنی؛ زیرا دقیقتر است) و به درک بهتر تعادل آب کمک میکند. لایسیمتر، یک مخزن بزرگ و پرشده از خاک است (در پژوهش حاضر، جنس آن از فولاد بود) و حجم آن یک متر مکعب (در پژوهش حاضر) در نظر گرفته شد تا برای رویش گیاه و توسعهٔ ریشهها در زمان آبیاری، مانعی به وجود نیاورد. برای نصب دستگاه لایسیمتر، ابتدا دستگاه مذکور داخل مزرعه و در عمق مناسب، جانمایی شد. خاکی که در مخزن دستگاه لایسیمتر پر شد، از خاک مزرعهٔ مورد مطالعه بود. همچنین گیاهی که در لایسیمتر کشت شد، همان گیاه ذرت کشتشده در مزرعه بود. در شکل ۲، لايسيمتر مستقرشده در مزرعهٔ ذرت اوقاف اراک نشان داده شده است.



شکل ۲- لایسیمترهای مستقرشده در مزرعهٔ ذرت اوقاف در اراک

ابعاد لایسیمتر، ۱×۱ متر و به عمق ۱ متر بود. در پژوهش حاضر، با استفاده از لایسیمتر و دادمهای مشاهدهای، تبخیر و تعرق گیاه ذرت در مزرعهٔ اوقاف اراک در فصل رویشی سال ۱۳۹۵ اندازه گیری شد. دادهبرداریهای لایسیمتر در تاریخهای مختلف و منطبق بر گذر زمان عبور ماهوارهٔ لندست ۸ بر فراز منطقهٔ مورد مطالعه بود. در جدول ۱، مشخصات زمانی تصاویر مورد استفادهٔ ماهوارهٔ لندست ۸ در منطقهٔ اوقاف اراک ارائه شده است.

بر آورد تبخیر و تعرق ذرت در دورهٔ رشد با استفاده از الگوریتم SEBAL و تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸

در این پژوهش از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ مربوط به ماهوارهٔ لندست ۸ در دورهٔ رشد گیاه ذرت (از اول خرداد تا اوایل مهر ۱۳۹۵) استفاده شد. تصاویر ماهوارهٔ لندست

۸ از سایت سازمان زمینشناسی ایالات متحدهٔ آمریکا (USGS) به صورت رایگان دانلود شد. ماهوارهٔ لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در بخش چندطیفی (سنجنده OLI) و در بخش باندهای حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۶۰ متر (سنجنده TIRS) با شماره گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۶، هر ۱۶ روز یکبار از منطقه تصویربرداری میکند. هر ۸ تصویر ماهوارهٔ لندست ۸ در دورهٔ رشد گیاه ذرت در این دوره برای برآورد نیاز آبی ذرت تحلیل شد. پیش پردازشهای لازم، مانند تصحیحات رادیومتریکی روی تصاویر پیش از اجرای الگوریتم سبال اعمال شد. در جدول ۱، مشخصات زمانی تصاویر مورد استفاده ماهوارهٔ لندست ۸ در منطقهٔ اوقاف اراک ارائه شده است.

تاريخ تصوير	روز از سال	تاريخ تصوير	روز از سال
1890/00/24	777	1890/08/28	188
1890/08/09	744	1890/08/08	١٢٩
1890/08/20	۲۵۹	1890/08/28	۱۹۵
1890/04/12	272	١٣٩۵/•۵/•٨	711

، اراک	نطقة اوقاف	۸ در م	لندست	ماهوارة	مورد استفاده	ا - تصاوير	مدول ا
--------	------------	--------	-------	---------	--------------	------------	--------

بر آورد تبخیر و تعرق ذرت در دورهٔ رشد با استفاده از الگوریتم SEBAL

الگوریتم SEBAL یکی از روشهایی است که در پژوهشهای گوناگونی بهطور موفقیتآمیزی برای برآورد نیاز آبی استفاده شده است. الگوریتم سبال، یک مدل

پردازش تصویر است که تبدیلات انرژی در سطح زمین و تبخیر و تعرق را بهعنوان جزئی از بیلان انرژی در هر پیکسل محاسبه میکند. براساس اینکه ذخیره یا هدررفت انرژی در تاج پوشش، بسیار ناچیز است، بیلان انرژی سطحی از معادلهٔ (۱) محاسبه می شود.

 $\lambda ET_{inst} = R_n - G - H$ (1) در اینجا، Rn، تابش خالص (برای هر پیکسل با استفاده از آلبیدو و قابلیت انتقال حاصل از باندهای موج کوتاه و نشر موج بلند باندهای حرارتی محاسبه می شود)؛ G، شار گرمای خاک (استفاده از شاخصهای پوشش گیاهی محاسبه می شود)؛ H، شار گرمای محسوس (با توجه به دمای سطح و سرعت باد (دادههای زمینی)، زبری سطح (حاصل از شاخصهای گیاهی) و اختلاف دمای سطح-هوا محاسبه می شود) و ALEinst، شار گرمای نهان است. درنهایت، تبخیر و تعرق با تقسیم ET بر گرمای نهان تبخیر (λ) به دست میآید که مقداری لحظهای است. تبخیر و تعرق روزانه (۲۴ ساعته) با استفاده از کسر تبخیر (EF) در یک فضای پیکسل به پیکسل انجام می شود. همچنین، تابش خالص (Rn) با مجموع تابش موج کوتاه خالص و تابش موج بلند خالص محاسبه می شود:

 $R_n = (1 - \alpha)R_{sin} - R_{Lout} - (1 - \varepsilon_0)R_{Lin}$ (۲) در این معادله، RsSin، تشعشعات موج کوتاه ورودی (W/m2)؛ RLin، تشعشعات موج بلند ورودی (W/m2)؛ ۵، آلبیدو RLout، تشعشعات موج بلند خروجی (W/m2)؛ ۵، آلبیدو سطح (بدون بعد) و ۶۰ انتشار حرارتی سطح است.

 $R_{s_{in}} = G_{SC} \times \cos \theta \times dr \times \tau_{sw}$ (°) $R_{L_{out}} = \varepsilon_0 \times \sigma \times T_s^4$ (°)

در این معادله، Gsc، ثابت خورشیدی، برابر ۱۳۶۷ (W/m2)؛ θ، زاویهٔ تابش ورودی خورشید (رادیان)؛ dr، معکوس فاصلهٔ نسبی زمین- خورشید و swτ، قابلیت انتقال یکطرفه است. Ts، دمای سطح (برحسب کلوین) در نظر گرفته شده است.

$$T_{\rm s} = \frac{K_1}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{\rm NB}K_1}{R_{\rm C}} + 1\right)} \tag{(\Delta)}$$

R_{Lin}

$$= \varepsilon_a \times \sigma \times T_a^4 \tag{9}$$

در اینجا، Rc، رادیانس حرارتی اصلاحشده برحسب (Wm-2/sr/ μ m) و K2 و K2، ضریبهای ثابت برای یک Ta و Wm-2/sr/ μ m) تصویر لندست (در اینجا) و as و Ta بهترتیب، مربوط به تابش اتمسفری و دمای هواست. از آنجا که G، شار گرمای خاک است، محاسبهٔ آن با استفاده از شاخصهای پوشش گیاهی است. همچنین، براساس روابط بین Ta/G/R مای NDVI و G/R_n = T_s/ α (0.0038 α + 0.0074 α^2) (Y) (Y)

در اینجا، Ts، دمای سطح برحسب درجهٔ سانتی گراد است. H، شار گرمای محسوس (با توجه به دمای سطح و سرعت باد)، زبری سطح (حاصل از شاخصهای گیاهی) و اختلاف H = ($\rho \times C_p \times dT$)/r_{ah} (Λ) محاسبه میشود. (Λ) (Λ) محاسبه میشود. H = ($\rho \times C_p \times dT$)/r_{ah} (Λ) در اینجا، ρ و CP، بهترتیب مربوط به تراکم هوا و ظریف J.kg-1.k-1 1004. dT برابر با J.kg-1.k-1 1004. dT و ZZ است. انتقال ویژه است. CP برابر با Zl محاکم هوا و ظریف اختلاف دما (برحسب کلوین) بین نقطهٔ Zl و ZZ است. rah همان مقاومت آیرودینامیکی است. در پژوهش حاضر، rah معان مقاومت آیرودینامیکی است. در پژوهش حاضر، براساس معادلات اشارهشدهٔ مذکور و معادلات ۹ تا ۱۱ براساس تصاویر ماهوارهٔ لندست Λ محاسبه شد.

$$ET_{ins} = 3600 \frac{\lambda EI}{\lambda}$$
(9)

$$ETrF = \frac{E I_{ins}}{ET_r}$$
(\.)

 $ET_{24} = ETrF \times ET_{r24} \tag{11}$

در اینجا، ETins تبخیر و تعرق لحظهای (میلیمتر بر ساعت) و λETT و λ بهترتیب، شار گرمای نهان و گرمای نهان تبخیر است. ETrF ضریب ثابت و ETr و ETr24 ، بهترتیب، تبخیر و تعرق مرجع و روزانه است. ETr24 ، مجموع مقادیر تبخیر و تعرق مرجع برای هر روز است.

برآورد تبخیر و تعرق ذرت در دورهٔ رشد با استفاده از الگوریتم EEFLux

الگوریتم EEFLux مدلی است که براساس توازن انرژی کامل سطح با فرایندی مبتنی بر تصویر با استفاده از روش نقشهبرداری تبخیر و تعرق با کالیبراسیون داخلی SEBAL) تهیه شده است که از روش مشابه SEBAL در تخمین ET استفاده میکند (باتاریا و لئو، ۲۰۱۷). الگوریتم EEFLux تبخیر و تعرق را با استفاده از باندهای حرارتی و انعکاسی لندست براساس تابش خالص (Rn)، شار گرمای زمین رسانا (G) و شار گرمای محسوس به هوا شار گرمای زمین رسانا (G) و شار گرمای محسوس به هوا پژوهش حاضر، تصاویر لندست ۸ براساس الگوریتم شار پژوهش حاضر، تصاویر لندست ۸ براساس الگوریتم شار پژوهش حاضر، تصاویر لندست ۸ براساس الگوریتم شار ایخیر و تعرق در محیط Google Earth Engine (موتور پژوهش حاضر، تصاویر لندست ۸ براساس الگوریتم شار الگوریتمهای SEBAL و پردازش شد. از آنجا که الگوریتمهای SEBAL و تعرق است، معادلهٔ ماندهٔ

انرژی سطح باقیمانده برای هر دو به کار رفت (اولیویرا و همکاران، ۲۰۲۰). $\mathrm{ET}=\mathrm{R_n}-\mathrm{G}-\mathrm{H} \tag{17}$

ارزیابی عملکرد الگوریتمهای SEBAL و EEFLux

درنهایت، برای ارزیابی عملکرد الگوریتمهای SEBAL و EEFLux در برآورد تبخیر و تعرق واقعی از معیارهای و RMSE ،NS ،PBAIS و RMSE ،NS ،PBAIS و RMSE ،NS ،PBAIS موجود برای معیارهای مذکور ارائه شده است. برای مقادیر ضریب ناش (NSE) محدودهٔ مقادیر بین منفی بینهایت تا ۱+ است و مقدار یک، بهترین عملکرد مدل را ارائه مىدهد. آمارة باياس (Bias) بەعنوان متوسط تفاضل بين مشاهدات زمینی و برآوردهای مدل تعریف میشود و مثبت یا منفی است. یک مقدار منفی، نشاندهندهٔ برآورد کم است؛ در حالی که مقادیر مثبت، برآوردی زیاد و دقیق را نشان میدهد. از معیار ریشه مربعات خطا (RMSE) برای اندازه گیری شدت خطای کلی استفاده می شود. ضریب R² برای بررسی درجهٔ توافق بین برآوردهای مدل و مشاهدات زمینی به کار میرود. مقدار آن، بین صفر و ۱+ متغیر است. اگر هیچ درجهٔ توافق ضعیف وجود نداشته باشد، R² نزدیک به صفر خواهد بود (چوبین و همکاران، ۲۰۱۸).

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - S_i) * 100}{\sum_{i=1}^{n} (O_i)}\right]$$
(17)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^{N} (O_i - \bar{O})^2}$$
(14)

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(S_i - O_i)\right]^{1/2} \tag{10}$$

$$R^{2} = \left[\frac{\frac{1}{n}\sum_{m=1}^{n}(S_{i}-\bar{S})(O_{i}-\bar{O})}{\sigma_{s}\times\sigma_{o}}\right]^{2}$$
(19)

که در آن، Oi، دادههای مشاهداتی؛ Si دادههای برآوردشده؛ O و S، میانگین دادههای مشاهدهشده و برآوردشده و σ واریانس است. مقادیر RMSE معرف دقت در بسیاری از روشهای آماری است. هرچه این مقادیر به صفر نزدیکتر باشد، دقت زیاد مدل و مقدار صفر، نبود خطا در برآورد مدل را نشان میدهد. ²r نشاندهندهٔ ارتباط دادههای مشاهداتی و برآوردشده است. دامنهٔ این پارامتر بین ۰ تا ۱ است. هرچه این مقدار به ۱ نزدیکتر باشد، ارتباط محکم بین دو گروه را نشان میدهد. دامنهٔ

قبول است. دربارهٔ PBISE نیز هرچه به صفر نزدیک تر باشد، دقت بیشتر مدل را در برآورد متغیر مدنظر نشان میدهد. در صورتی که مقدار این معیار به سمت مثبت میل کند، نشان میدهد متغیر مد نظر، بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است. اگر این پارامتر به سمت منفی میل کند، نشان میدهد متغیر مد نظر، بسیار بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده است (طائی سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۳). گفتنی است، برای این پارامتر، آستانهٔ خاصی در نظر گرفته نشده است. همچنین، برای ارزیابی بصری عملکرد الگوریتمهای SEBAL و EEFLur براساس تصاویر لندست با نتایج حاصل از لایسیمتر از نمودار تیلور استفاده شد (چوبین و همکاران، ۲۰۱۸).

نتايج و بحث

مقادیر متوسط تبخیر و تعرق روزانه حاصل از الگوریتمهای SEBAL و EEFLux برای هر کدام از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ در شکلهای ۳ و ۴ محدودهٔ مورد مطالعه ارائه شده است. نقشههای تهیهشده، تغییرات زمانی و مکانی تبخير و تعرق واقعى برآوردشده منطقهٔ مورد مطالعه را نشان میدهد. تغییرات زمانی تبخیر و تعرق بهعلت تغییرات دمای هوا و تراکم پوشش گیاه ذرت در مزرعهٔ اوقاف اراک است. با توجه به تقویم زراعی در زمانهای مد نظر، محصولات ذرت تابستانه در مزرعهٔ مورد مطالعه کشاورزی شده بود و در تصاویر ماهوارهای همگی تحت کشت آبی بوده و در فصل تابستان کشت شدهاند. همانگونه که در نقشههای شمارهٔ ۳ و ۴ دیده می شود، با رفتن به سمت تاریخ بیستوچهارم مرداد، تبخیر و تعرق در مزرعة اوقاف اراك براساس نتايج الكوريتم SEBAL و الگوريتم EEFLux بيشتر مي شود؛ زيرا درصد پوشش گیاهی محصول کشتشده و دمای هوا افزایش مییابد. همچنین، هرچه به این تاریخ نزدیک می شویم، تبخیر و تعرق در این مناطق افزایش می یابد. تبخیر و تعرق روزانه حاصل از الگوریتمهای SEBAL و EEFLux برای فصل زراعی مورد مطالعه در زمان برداشت هر تصویر لندست، تقريباً با نتايج يكساني برآورد شده است؛ به اين صورت كه با شروع فصل زراعی، مقادیر تبخیر و تعرق روزانه کم بود و با گذر زمان و رسیدن به میانههای فصل زراعی، مقدار تبخير و تعرق به اوج خود رسيد و سپس، مقادير تبخير و تعرق بهعلت كاهش دما و تغييرات پوشش ذرت در منطقه

مورد مطالعه، سیر نزولی به خود گرفت. نتایج برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از الگوریتمهای SEBAL و EEFLux نشان داد الگوریتم SEBAL با میانگین تبخیر و تعرق ۴/۵۷ میلیمتر در روز، نسبت به الگوریتم EEFLux با مقدار ۴/۱۹ میلیمتر در روز، حدود ۷/۷۱ درصد تبخیر و تعرق واقعی روزانه در محدودهٔ مزرعه اوقاف اراک را بیشتر برآورد کرده است. علت اصلی این اختلاف، استفاده

از معادلات متفاوت در محاسبهٔ ضریب شفافیت اتمسفری و شار گرمای خاک است که بخش عمدهٔ این تفاوتها، اختلاف زیاد در مقادیر شار گرمای خاک محاسبه شده با دو روش است. همچنین، براساس نتایج، هر دو مدل، مقدار تبخیر و تعرق واقعی را متناسب با توزیع زمانی منطبق با پوشش گیاهی مزرعه ذرت بر آورد می کند.



شكل ٣- تبخير و تعرق روزانه با استفاده از الگوريتم SEBAL



شكل ۴- تبخير و تعرق روزانه با استفاده از الگوريتم EEFLux

مقادیر متوسط تبخیر و تعرق روزانه حاصل از الگوریتمهای SEBAL و EEFLux برای هر کدام از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ در جدول ۲ برای منطقهٔ مورد مطالعه ارائه شده است. همانگونه که در جدول ۲ دیده می شود، با توجه نتایج تبخیر و تعرق روزانه مشخص شد الگوریتم SEBAL مقدار تبخیر و تعرق را به مقدار کمی، بیشتر از الگوریتم EEFLux

نتایج برآورد تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از دادههای لایسیمتری

نتایج برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از دادههای لایسیمتری در جدول ۳ برای منطقهٔ مورد مطالعه برای روزهای گذر ماهوارهٔ لندست ۸ ارائه شده است. همانگونه که در جدول ۳ دیده می شود، مقدار تبخیر و تعرق اندازه گیری شده توسط لایسیمتر در فصل رشد تغییر می کند؛ به گونهای که در ابتدای فصل رویش، مقادیر روزانهٔ

تبخیر و تعرق کم بود؛ هرچه میانهٔ فصل رویش نزدیک میشود، مقدار آن افزایش مییابد؛ به گونهای که حداکثر

مقدار آن، در هشتم مرداد (۷/۱۹ میلیمتر در روز) اتفاق افتاده است.

وزانه (میلیمتر)	تبخير و تعرق ر	تاريخ تصود	رمز از سال	وزانه (میلیمتر)	تبخير و تعرق ر	تاريخ تصود	رمز از سال
EEFLux	SEBAL	-ریحبریز =		EEFLux	SEBAL		
۶/۴۰	۶/۴۷	1890/00/26	777	۳/۴۸	۴/۴۶	1890/08/28	188
4/08	4/14	1890/08/09	744	٣/٣٩	4/20	1890/04/04	١٧٩
$\gamma/\lambda\gamma$	۳/۷۵	1890/08/20	۲۵۹	۵/۱۷	۵/۲۲	1890/04/18	۱۹۵
١/٣٣	۲/۰ ۱	1890/08/18	270	۵/۳۳	۵/۶۵	۱۳۹۵/۰۵/۰۸	711

جدول ۲- مقادير متوسط تبخير و تعرق روزانه براساس الگوريتمهاي SEBAL و EEFLux

	دادهای لایسیمتر	ِ و تعرق روزانه د	جدول ۲-مقادير متوسط تبخير		
تبخیر و تعرق روزانه (میلیمتر) لایسیمتر	تاريخ تصوير	روز از سال	تبخیر و تعرق روزانه (میلیمتر) لایسیمتر	تاريخ تصوير	روز از سال
۶/۹۵	1890/00/26	777	4/29	1890/08/22	188
۵/۶۹	١٣٩۵/٠۶/٠٩	747	۴/۷۲	1890/04/04	١٧٩
۳/۲ ۱	1890/08/20	۲۵۹	۵/۱۸	1890/04/28	۱۹۵
۲/۱۴	1890/09/18	270	٧/١٩	۱۳۹۵/۰۵/۰۸	711

با توجه به مقایسهٔ مقادیر متوسط تبخیر و تعرق روزانهٔ برآوردشده با استفاده از الگوریتمهای SEBAL و برآوردشده با استفاده از الگوریتمهای لندست ۸ و لایسیمتر در مزرعهٔ اوقاف اراک (جدول ۴) و براساس نتایج ارائهشده در شکلهای ۳ و ۴ مشخص شد، برآورد EEFLux و SEBAL و SEBAL و SEBAL و SEBAL و تایج حاصل از دادههای برداشتشدهٔ میدانی (لایسیمتر)، دقت خوبی و از دادههای برداشتشدهٔ میدانی (لایسیمتر)، دقت خوبی دارد و مقدار همبستگی آنها بهترتیب، برابر با ۸/۰ و از دارد و مقدار همبستگی آنها بهترتیب، برابر با ۸/۰ و آمد. در شکل آمه.

عملکردهای الگوریتمهای SEBAL و EEFLux در برآورد تبخیر و تعرق روزانه براساس تصاویر ماهوارهای لندست ۸ و با توجه به دادههای لایسیمتر در منطقۀ اوقاف اراک ارائه شده است. با توجه به اینکه دیاگرام تیلور براساس ترکیبی از دو معیار همبستگی و انحراف معیار رسم شده است، مشخص شد الگوریتم SEBAL همبستگی بیشتر و انحراف معیار کمتری نسبت به الگوریتم SEBAL درد. بر این اساس، عملکرد الگوریتم SEBAL نسبت به الگوریتم این اساس، عملکرد الگوریتم SEBAL نسبت به الگوریتم SEBAL دقت زیاد تصاویر را در برآورد تبخیر و تعرق نشان میدهد.

لايسيمتر	جدول ۴- تثايج أرزيابي عملكرد الكوريثمهاي SEBAL و EEFLUX برأساس دادههاي	
		_

معيار	SEBAL	EEFLux
RMSE	•/Y*	1/+ 48
NSE	• / \ • \ *	• /۵۸Y
PBIAS	٧/٣٩ ٨ *	۱۵/•۸•
\mathbf{R}^2	۰/٨٨۵*	• /٧٩٣

× عملکرد بهتر را نشان میدهد



شکل ۵- ارزیابی بصری عملکرد الگوریتمهای SEBAL و EEFLux در برآورد تبخیر و تعرق روزانه براساس لایسیمتر

نتيجەگىرى

کمّیکردن تبخیر و تعرق، یکی از مسائل سخت و مسئلهدار در چرخهٔ هیدرولوژی با عوامل زیاد محیطی و اقلیمی است. عملیات میدانی اندازه گیری تبخیر و تعرق، بسیار هزینهبر و زمان گیر است. علاوه بر این، روشهای مذکور فقط برای مناطق کوچک کاربرد دارد. در روشهای مبتنی بر فنّاوریهای نوین سنجش از دور، تکیه بر تصاویر ماهوارهای و استفاده از الگوریتمهای مختلف مربوط به برآورد تبخیر و تعرق است. رویکرد ارائهشده در پژوهش حاضر، كاربرد الگوريتمهاى SEBAL و EEFLux در برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ و بررسی عملکرد آنها با استفاده از دادههای لایسیمتر در دورهٔ رشد در مزرعهٔ اوقاف اراک بود. برآورد تبخیر و تعرق روزانه حاصل از الگوریتمهای SEBAL و EEFLux برای فصل زراعی مورد مطالعه، نتایج تقریباً یکسانی ارائه داد؛ به این صورت که با شروع فصل زراعی، مقادیر تبخیر و تعرق روزانه کم بود و با گذر زمان و رسیدن به میانههای فصل زراعی، مقدار تبخیر و تعرق به اوج خود رسید؛ سپس مقادیر تبخیر و تعرق بهعلت کاهش دما و تغییرات پوشش ذرت در منطقهٔ مورد مطالعه، سیر نزولی به خود كرفت. مقايسة الكوريتمهاي SEBAL و EEFLux نشان

داد الگوریتم SEBAL، حدود ۷/۷۱ درصد تبخیر و تعرق واقعى روزانه در محدودة مزرعة اوقاف اراك را بيشتر برآورد كرده است. ارزیابی عملكرد الگوریتمهای SEBAL و EEFLux با توجه به دادههای لایسیمتر نشان داد الگوريتم SEBAL، همبستگي بيشتر و انحراف معيار کمتری نسبت به الگوریتم EEFLux دارد. بر این اساس، الگوريتم SEBAL نسبت به الگوريتم EEFLux، نتايج بهتری ارائه داده است و الگوریتم SEBAL، دقت زیاد تصاویر را در برآورد تبخیر و تعرق نشان داد. بهطور کلی، گفتنی است نتایج این پژوهش به برنامهریزان مزرعهٔ مورد مطالعه کمک میکند بهراحتی، با تهیهٔ تصویر برگزیده در سالهای بعد و استخراج شاخص برتر از هر یک از مراحل تولید ذرت، عملکرد مزرعه را با دقت خوبی پیشبینی كنند. اكتساب اين نوع اطلاعات، در پيش بيني توليد و تخمین بیلان اقتصادی مزرعه، تأثیر بسیاری دارد. بدون شک، نهادینه کردن این روشها در مقیاسهای کلان، به برنامهريزان براى تنظيم بازار و واردات احتمالي محصولات كمك مىكند. همچنين، با تهيهٔ چنين نقشههايي، ميزان خلأ عملكرد احتمالي موجود در سطح مزارع را ميتوان پوشش داد و با ارائهٔ این نقشهها به مدیران زراعی، در نزدیک کردن عملکرد واقعی به سطح عملکرد مطلوب، گام مؤثرى برداشت.

منابع

- ۱. امیدوار ج. نوری س. داوری ک. و فرید حسینی ع.
 ۱۳۹۲. برآورد تبخیر و تعرق واقعی مبتنی بر تصاویر ماهوارهای با استفاده از دو الگوریتم سبال و متریک. نشریهٔ علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۳(۴): ۱۱–۲۲.
- ۲. بافکار ع. فرهادی ب. و کریمی ع. ۱۳۹۱. برآورد ضریب گیاهی ذرت دانهای با استفاده از خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه (مطالعهٔ موردی: ماهیدشت کرمانشاه). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۲(۲۹۲۲(۹۲۲۹.
- ۳. ثنایینژاد س.ح. نوری س. و هاشمینیا، س.م. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهوارهای در منطقهٔ مشهد. نشریه آبوخاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵(۳) ۵۴۰–۵۴۷.
- ۴. خیراندیش ح. ۱۳۹۷. بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی اراک و پیامدهای آن. پایاننامهٔ کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک. ۱۰۰ صفحه.
- ۵. سرگزی ع. و قویدل م. ۱۳۹۶. برنامهریزی و تخصیص بهینهٔ منابع آب در بخش کشاورزی (مطالعهٔ موردی: شهرستان صومعهسرا). تحقیقات منابع آب ایران. ۱۳(۲): ۲۴–۸۱.
- ۶. طائی سمیرمی س. مرادی ح.ر. و خداقلی م. ۱۳۹۳. شبیهسازی و پیشبینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانهٔ SDSM و مدلهای گردش عمومی جو (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز بار نیشابور). فصلنامهٔ انسان و محیط زیست. جلد ۱۲. ۲۸: ۱-۱۶.
- ۷. علیزاده ۱. کمالی غ.ع. خانجانی م.ج. و رهنورد م.ر. ۱۳۸۳. ارزیابی روشهای برآورد تبخیر - تعرق در مناطق خشک ایران. فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی. ۱۹: ۹۷-۱۰۵.
- ۸. فرهادی بانسوله ب. کریمی ع.ر. و حصادی ه.
 ۱۳۹۵. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبس و تصاویر لندست در ماهیدشت.
 پژوهشهای آبوخاک. ۳۵(۳): ۲۰۶–۲۱۶.
- ۹. قربانی ا. فرامرزی م. کرمی ج. غلامی ن. و سبحانی
 ب. ۱۳۹۴. ارزیابی مقایسهای الگوریتمهای سبال و
 متریک در برآورد تبخیر و تعرق (مطالعهٔ موردی:
 شهرستان ملایر). برنامهریزی و آمایش فضا.

.114-107 :(7)19

- ۰۱.قمرنیا ه. و رضوانی س.و. ۱۳۹۳. محاسبه و پهنهبندی تبخیر- تعرق با استفاده از الگوریتم سبال (SEBAL) در غرب ایران (دشت میان دربند). نشریهٔ علمی آب و خاک ایران. ۱۱(۸): ۸۱–۷۲
- ۱۱. کریمی ع. فرهادی بانسوله ب. و حصادی ه. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقهای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست. نشریهٔ آبیاری و زهکشی ایران. ۶(۴): ۳۵۳–۳۶۴.
- ۱۳۹۶۹. مرشدی ع. طباطبایی س. ح. و نادری م. ۱۳۹۶۵. صحتسنجی برآورد تبخیر و تعرق از مدلهای سبال و هارگریوز[–] سامانی با استفاده از دادههای لایسیمتر. نشریهٔ آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲(۳۰): ۳۶۷–۳۷۶.
- ۱۳.مرشدی ع. نادری م. طباطبایی س. ح. و محمدی ج. ۱۳۹۶b. برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقهای به کمک دادههای سنجش از دور در دشت شهرکرد (الف) مقایسهٔ نتایج مدلهای SEBAL و METRIC نسبت به برخی مدلهای ریاضی تبخیر و تعرق. نشریهٔ علوم آبوخاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲: ۴۵–۵۵.
- ر عرق میلورزی ر حباع عبیای می می محمدی ج. ۱۳۹۶د. برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقهای به کمک دادههای سنجش از دور در دشت شهرکرد (ب) مقایسهٔ نتایج مدلهای SEBAL و METRIC نسبت به برخی مدلهای ریاضی تبخیر و تعرق. نشریهٔ علوم آبوخاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۳: ۱–۱۴.
- ۱۵.ملکپور م بابازاده ح. کاوه ح. و ابراهیمی پاک ن. ۱۳۹۵. برآورد تبخیر و تعرق واقعی و بهرموری آب گندم با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر ماهوارهای لندست ۵ دردشت قزوین. نشریهٔ علمی- پژوهشی پژوهش آب در کشاورزی. ۴(۴): ۵۶۹-۵۶۹
- ۱۶.میرموسوی ح. اکبری ح. پناهی ح. و اکبرزاده ی. ۱۳۹۱. واسنجی روشهای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETO) و محاسبهٔ نیاز آبی گیاه (ETC) زیتون در استان کرمانشاه. مجلهٔ جغرافیا و پایداری محیط. ۳: ۴۵-۶۳.
 - 17. Allen R. Irmak A. Trezza R. Hendrickx J.M. Bastiaanssen W. and Kjaersgaard J. 2011.

- 28. Ndou N. N. Palamuleni L. G. and Ramoelo A. 2018. Modelling depth to groundwater level using SEBAL-based dry season potential evapotranspiration in the upper Molopo River Catchment, South Africa. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 21(3): 237-248.
- 29. Oliveira Costa J. José J. V. Wolff W. de Oliveira N. P. R. Oliveira R.C. Ribeiro N. L. and Schlichting, A. F. 2020. Spatial variability quantification of maize water consumption based on Google EEflux tool. Agricultural Water Management. 232: 106037.
- 30. Singh R. K. Senay G. B. Velpuri N. M. Bohms S. and Verdin J. P. 2014. On the downscaling of actual evapotranspiration maps based on combination of MODIS and Landsat-based actual evapotranspiration estimates. Remote Sensing. 6(11): 10483-10509.
- 31. Talsma C. J. Good S. P. Jimenez C. Martens B. Fisher J.B. Miralles D. G. and Purdy A.J. 2018a. Partitioning of evapotranspiration in remote sensing-based models. Agricultural and forest meteorology. 260: 131-143.
- 32. Talsma C. Good S. Miralles D. Fisher J. Martens B. Jimenez C. and Purdy A. 2018b. Sensitivity of Evapotranspiration Components in Remote Sensing-Based Models. Remote Sensing. 10(10): 1601.
- 33. Venancio L. P. Eugenio F. C. Filgueiras R. França da Cunha F. Argolo dos Santos R. Ribeiro W. R. and Mantovani E. C. 2020. Mapping within field variability of soybean evapotranspiration and crop coefficient using the Earth Engine Evaporation Flux (EEFlux) application. Plos one. 15(7): e0235620.
- 34. Xu T. Guo Z. Xia Y. Ferreira V. G. Liu S. Wang K. and Zhao C. 2019. Evaluation of twelve evapotranspiration products from machine learning, remote sensing and land surface models over conterminous United States. Journal of Hydrology. 578: 124105.
- 35. Yang J.Y. Mei X. R. Huo Z. G. Yan C. R. Hui J. U. Zhao F. H. and Qin L. I. U. 2015. Water consumption in summer maize and winter wheat cropping system based on SEBAL model in Huang-Huai-Hai Plain, China. Journal of Integrative Agriculture. 14(10): 2065-2076.
- 36. Zhou X. Bi S. Yang Y. Tian F. and Ren D. 2014. Comparison of ET estimations by the three-temperature model, SEBAL model and eddy covariance observations. Journal of hydrology. 519: 769-776.

Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. Hydrological Processes. 25(26): 4011-4027.

- 18. Bastiaanssen W. G. Noordman E. J. M. Pelgrum H. Davids G. Thoreson B. P. and Allen R. G. 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve waterresources management under actual field conditions. Journal of irrigation and drainage engineering. 131(1): 85-93.
- 19. Battude M. Al Bitar A. Brut A. Tallec T. Huc M. Cros J. and Demarez V. 2017. Modeling water needs and total irrigation depths of maize crop in the south west of France using high spatial and temporal resolution satellite imagery. Agricultural Water Management. 189: 123-136.
- 20. Bhattarai N. Quackenbush L. J. Im J. and Shaw S. B. 2017. A new optimized algorithm for automating endmember pixel selection in the SEBAL and METRIC models. Remote Sensing of Environment. 196: 178-192.
- 21. Choubin B. Darabi H. Rahmati O. Sajedi-Hosseini F. and Kløve B. 2018. River suspended sediment modelling using the CART model: a comparative study of machine learning techniques. Science of the Total Environment. 615: 272-281.
- 22. Droogers P. 2000. Estimating actual evapotranspiration using a detailed agrohydrological model. Journal Hydrologyl. 229: 50–58.
- 23. Elnmer A. Khadr M. Kanae S. and Tawfik A. 2019. Mapping daily and seasonally evapotranspiration using remote sensing techniques over the Nile delta. Agricultural water management. 213: 682-692.
- 24. Herman M. R. Nejadhashemi A. P. Abouali M. Hernandez-Suarez J. S. Daneshvar F. Zhang Z. and Sharifi A. 2018. Evaluating the role of evapotranspiration remote sensing data in improving hydrological modeling predictability. Journal of Hydrology. 556: 39-49.
- 25. Kang S. Gu B. Du T. and Zhang J. 2003. Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semi-humid region. Agricultural water management. 59(3): 239-254.
- 26. Li F. and Lyons T. 2002. Remote estimation of regional evapotranspiration. Environmental Modelling and Software. 17(1): 61-75.
- 27. Liou Y. A. and Kar S. K. 2014. Evapotranspiration estimation with remote sensing and various surface energy balance algorithms-A review. Energies. 7: 2821-2849.

Research paper

Evaluating the performance of SEBAL and EEFLux algorithms in estimating daily evapotranspiration using Landsat 8 satellite data

A. Delavari Kamyab^{1*}, Sh. Mokhtari² and R. Jafarinia³

Extended Abstract

Evapotranspiration (ET) is one of the key components of the Earth's hydrological cycle and its accurate estimation is very important in the water resources management and planning in agricultural usages. ET as a main factor in hydrological flux, links energy, carbon and water cycles, and has an important role in meteorology, hydrology and water resource management, especially in Agricultural Water Management (AWM). Precise and accurate estimation of ET is essential for the Integrated Water Resources Management (IWRM). Knowledge about ET (water consumption over the agricultural areas) plays an important role in irrigation planning and agricultural management. Quantification of water consumption in agricultural areas can be carried out using climatic and environmental variables, e.g. reference evapotranspiration (ETo), crop coefficient (Kc) and crop evapotranspiration (ETc).

Over the past few decades, satellite imagery based methods have come to the attention of researchers, which they have developed varieties of remote sensing methods to estimate evapotranspiration. In the present study, the Surface Energy Balance algorithm for Land (SEBAL) and Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)/Earth Engine Evapotranspiration Flux (EEFLux) algorithms were used to estimate ET for every pixel of the Landsat 8 at the Oghaf maize farm, Arak, Iran. Various observed data was used in this study. The meteorological data to calculate actual ET were obtained from Markazi Regional Water Authority (sunny hours and solar radiation at selected dates) and Arak synoptic station and the selected satellite data. Moreover, wind speed, dew point temperature and daily temperature at the corresponding dates of the Landsat 8 satellite overpass time were gathered from Iran Meteorological Organization. In order to obtain the Leaf Area Index (LAI) at the overpass time of the Landsat 8 satellite over the study area, field measurements were performed. For this purpose, based on the Landsat pixel size, plots of 30*30 m was designed for field sampling in the selected maize farmland, and a square of 1*1 m as a sub-plot was then designed in the center of each plot. The measurements were done at each date of field operation which was at the same date as the overpass time of the Landsat 8 satellite. .. In order to compare the used models, some quantitative criteria were required to measure the model performance. In this study, daily ET from SEBAL and EEFlux were used to compare the relative performance of the algorithms for the eight Landsat images during the growth period. Based on commonly used statistical metrics, percent bias error (PBIAS), root mean squared error (RMSE), Nash-Sutcliffe coefficient of efficiency (NSE) and coefficient of determination (R2) criteria were used to evaluate the models. Taylor diagram was applied to provide a visual framework and graphically summarize that illustrates how closely a set of patterns matches the observed data. In this study, Taylor diagram was used for visual

¹⁻ Ph.D. Student of Water Engineering Department, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

²⁻ Associated Professor, Department of Water Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

³⁻ Associated Professor, Department of Water Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

^{*} Corresponding Author: kamyab63@gmail.com

Received: 2020/07/14 Accepted: 2021/02/14

comparing Evapotranspiration derived from SEBAL and EEFLux algorithms, based on the ET obtained from Lysimeter (as reference data).

The results of estimating daily Evapotranspiration from Surface Energy Balance algorithm for Land (SEBAL) and Earth Engine Evapotranspiration Flux (EEFLux) algorithms indicated that daily ET were low at the beginning of the growing season and then came up until middle of the growing season. Then, the ET values have been decreased due to decreasing temperature as well as changes in maize cover in the study area. Comparison of SEBAL and EEFLux algorithms showed that SEBAL algorithm has estimated about 7.71% of daily ET more that EEFLux algorithm at Arak maize farm. The results of performance evaluation showed that RMSE, NSE, PBIAS and R2 were obtained 0.711, 0.807, 7.398 and 0.885, respectively based on SEBAL algorithm, and for EEFLux algorithm were equal to 1.046, 0.582, 15.080 and 0.793, respectively. The Taylor diagrams showed that the SEBAL model had a lower RMSE and higher correlation than the EEFLux model. Comparing the standard deviation of both models, it was found that the SEBAL model was more in agreement and closer to measured daily ET values than the EEFLux model. This was also observed that SEBAL has a close standard deviation to the measured data, but EEFLux model has a lower standard deviation than the measured data. This indicates that the EEFLux model cannot predict the daily ET the same as SEBAL model. According to observed data (lysimeter data), evaluating the performance of SEBAL and EEFLux algorithms showed that SEBAL algorithm had higher correlation and less standard deviation than EEFLux algorithm. Therefore, SEBAL algorithm had better estimation than the EEFLux algorithm.

Keywords: Daily evapotranspiration, Remote Sensing, Landsat images, SEBAL and EEFLux.

Citation: Delavari Kamyab A. Mokhtari Sh. and Jafarinia R. 2022. Evaluating the performance of SEBAL and EEFLux algorithms in estimating daily evapotranspiration using Landsat 8 satellite data. Iranian Water Research Journal.