



یادداشت فنی

برآورد تبخیر تفرق واقعی در دشت قزوین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم متریک

رستا نظری^۱، عباس کاویانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۵

چکیده

برآورد دقیق نیاز آبی در شرایط محدودیت آب برای حفظ پایداری تولیدات کشاورزی در مناطق خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این تحقیق، تخمین تبخیر تفرق واقعی در دشت قزوین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم متریک می‌باشد. در این راستا نتایج الگوریتم متریک حاصل از تصاویر سنجنده MODIS ماهواره ترا و سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ با داده برداری لایسیمتری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج آماره‌های ارزیابی نشان داد سنجنده ETM+ لندست ۷ با ضریب همبستگی $r=1/00$ ، $RMSE=0/91$ ، $MAE=0/10$ و $SE=0/09$ میلی‌متر در روز از تطابق قابل قبولی با داده‌های لایسیمتری در مقایسه با سنجنده MODIS برخوردار می‌باشد و به عنوان سنجنده برتر در این تحقیق برای برآورد تبخیر تفرق واقعی گیاهان دشت قزوین توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر تفرق، سنجش از دور، دشت قزوین، لایسیمتر

مقدمه

که با قدرت تفکیک زمانی و مکانی متفاوت، پوشش زمانی و مکانی مناسبی را جهت استخراج و تحلیل داده‌ها فراهم نموده است. وجود سنجنده‌های ماهواره‌ای مختلف با قدرت تفکیک زمانی و مکانی متفاوت، پوشش زمانی و مکانی مناسبی را جهت استخراج و تحلیل داده‌ها فراهم نموده است. از سایر مزایای این تکنیک می‌توان به عدم نیاز به نمودارهای ضریب گیاهی و نقشه‌های کاربری اراضی برای تخمین تبخیر - تفرق گیاهان در سطوح گسترده اشاره نمود. از آغاز دهه ۱۹۹۰ میلادی تاکنون، از عمومی‌ترین الگوریتم‌های سنجش از دور که در تخمین تبخیر - تفرق بر مبنای بیلان انرژی استوار می‌باشند، می‌توان به الگوریتم سبال^۳ (باستیانس و همکاران^۴، ۱۹۹۸)، الگوریتم متریک^۵ (آلن و همکاران^۶، ۲۰۰۷)، الگوریتم SEBS (سو^۷، ۲۰۰۲؛ جیا و همکاران^۸، ۲۰۰۳)، الگوریتم SEBI (منتنی و چودھاری^۹، ۱۹۹۳)،

با توجه به کاهش شدید منابع آب و افزایش تقاضا در بخش کشاورزی در نتیجه کاهش نزولات جوی و افزایش سطح زیر کشت اراضی فاریاب، برآورد نیاز آبی گیاهان به‌عنوان شاخصی مهم در مدیریت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و ارزیابی و طراحی سیستم‌های آبیاری مزرعه به حساب می‌آید که تعیین دقیق آن نیازمند صرف زمان و هزینه زیاد است. لذا ضرورت استفاده از روش‌های جدید و کم‌هزینه در برآورد تبخیر و تفرق واقعی گیاهان در سطح منطقه‌ای و گسترده را ایجاب می‌نماید. تبخیر - تفرق پدیده‌ای منطقه‌ای است و نه نقطه‌ای و با توجه به تغییرات مکانی عوامل دخیل در تبخیر اعم از سطح تبخیرکننده و عوامل محیطی مؤثر بر آن، در برآورد مقدار تبخیر - تفرق نیاز است که مدل‌سازی توزیعی در مکان صورت پذیرد. لذا رویکرد سنجش از دور به ارائه روشی موفقیت‌آمیز در اندازه‌گیری و نظاره بر تبخیر - تفرق در نواحی وسیع منجر می‌شود

³ SEBAL

⁴ Bastiaanssen et al.

⁵ METRIC

⁶ Allen et al.

⁷ Su

⁸ Jia et al.

⁹ Menenti and chudhury

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

(* نویسنده مسئول: Abbasskaviani@gmail.com)

به‌کارگیری الگوریتم متریک به ارزیابی مقادیر تبخیر - تعرق روزانه با داده‌های لایسیمیتری پرداختند و میزان خطا در آن را کمتر از دو درصد به دست آوردند. فالز و همکاران^۶ (۲۰۰۹) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و الگوریتم توازن انرژی متریک مقادیر تبخیر - تعرق را در برزیل محاسبه نمودند. نتایج نشان داد الگوریتم متریک می‌تواند به‌منظور برآورد مصرف آب و بهبود مدیریت آب در نواحی نیمه‌خشک و تحت آبیاری شمال شرق برزیل به کار رود. در ایران پژوهش‌های اندکی در زمینه بررسی الگوریتم متریک صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به پژوهشی از امیدوار و همکاران (۱۳۹۱) اشاره نمود که به برآورد تبخیر - تعرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده استر^۷ و الگوریتم متریک در استان خراسان رضوی پرداختند. با توجه به نتایج به دست آمده حداکثر میزان تبخیر - تعرق واقعی برای سه محدوده کشاورزی گل‌مکان، مشهد و قوچان به ترتیب برابر با ۹/۱۳، ۷/۲۹ و ۲/۳۷ میلی‌متر در روز به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که الگوریتم توازن انرژی متریک الگوریتمی مناسب جهت برآورد تبخیر - تعرق واقعی در مقیاس محلی می‌باشد. به‌طور کلی ضرورت انجام این پژوهش در فراهم آوردن امکان استفاده از تکنیک سنجنش از دور برای تهیه نقشه‌های تبخیر - تعرق پیوسته در مکان و در زمان‌های کوتاه با دقت مناسب می‌باشد. در این راستا، مقدار تبخیر - تعرق واقعی توسط الگوریتم متریک با بهره‌گیری از تصاویر دو سنجنده با قدرت تفکیک‌پذیری متفاوت و استفاده از داده‌های زمینی در سطح دشت قزوین تخمین زده شد و در انتها به ارزیابی نتایج الگوریتم متریک با داده‌های لایسیمتر در منطقه پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی، اراضی پایین‌دست شبکه آبیاری دشت قزوین می‌باشد که در فاصله ۱۵۰ کیلومتری غرب پایتخت و در فواصل جغرافیایی بین عرض‌های شمالی ۰۰' ۰۰" تا ۰۰' ۳۶" و طول‌های شرقی ۰۰' ۳۶" تا ۰۰' ۴۹" قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت دشت قزوین حدود ۴۵۰۰۰۰ هکتار است که

الگوریتم S-SEBI (روئینک و همکاران^۱، ۲۰۰۰) و الگوریتم TSEBI (تیمرمانس و همکاران^۲، ۲۰۰۷) اشاره نمود. الگوریتم سبال (توازن انرژی بر روی سطح زمین) و الگوریتم متریک (توازن انرژی مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای در ترسیم تبخیر - تعرق با کالیبراسیون داخلی) جزء پرکاربردترین الگوریتم‌های بیلان انرژی برای برآورد تبخیر - تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور می‌باشند. الگوریتم متریک که توسط آلن و همکاران (۲۰۰۷) ارائه شده است یک الگوریتم پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین تبخیر - تعرق واقعی^۳ متناظر با باقیمانده بیلان انرژی سطحی است. این الگوریتم به‌منظور فراهم کردن برآوردهای نسبتاً دقیق‌تر تبخیر - تعرق با قدرت تفکیک مکانی بالا (تقریباً ۳۰ متر) در مقایسه با الگوریتم‌های کلی‌تر و همچنین اعمال اثرات حرکت افقی هوا در محاسبه تبخیر - تعرق ایجاد شده است. به عبارت دیگر الگوریتمی است که می‌تواند مقدار تبخیر - تعرق واقعی را متناسب با توزیع مکانی منطبق با شرایط توپوگرافی و پوشش گیاهی حوزه آبریز برآورد نماید (آلن و همکاران، ۲۰۰۷). الگوریتم متریک مزایای عمده‌ای نسبت به روش‌های قدیمی بیلان انرژی مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای دارد که از آن جمله می‌توان به منحنی ضریب محصول اشاره نمود که در مراحل اجرای الگوریتم متریک آگاهی از مراحل رشد محصول و نوع محصول نیاز نیست. مؤلفه ابتکاری متریک این است که در مدل‌سازی بیلان انرژی از گرادیان دمای نزدیک سطح زمین استفاده می‌شود که شاخصی برای دمای سطح رادیومتری (تشنشع‌سنجی) است. از طرفی با استفاده از مدل بیلان انرژی متریک می‌توان تبخیر - تعرق حاصل از کمبود آب را شناسایی نمود. همچنین کالیبراسیون داخلی، مقادیر خطا در برآورد تصحیحات پایداری آئرودینامیک و زبری سطح را کاهش می‌دهد. آلن و همکاران (۲۰۰۵) با به کار بردن الگوریتم متریک و مقایسه با مقادیر لایسیمیتری، میزان خطا در برآورد تبخیر - تعرق چمن و چغندر قند را به ترتیب چهار و یک درصد برای فصل رشد به دست آوردند. چاوز و همکاران^۴ (۲۰۰۷) با استفاده از تصاویر لندست^۵ و

¹ Roerink et al.

² Timmermans et al.

³ Actual Evapotranspiration

⁴ Chavez et al.

⁵ Landsat

⁶ Folhes et al.

⁷ ASTER

تبخیر - تعرق واقعی استفاده شد تا بتوان با دیدی گسترده به ارزیابی نتایج هریک از سنجنده‌ها که از قدرت تفکیک‌پذیری مکانی متفاوتی برخوردارند، پرداخت. پردازش و انجام تصحیحات و محاسبات مربوط به باندهای تصاویر هریک از سنجنده‌ها با استفاده از نرم‌افزار ENVI^۵ صورت گرفت. این نرم‌افزار برای پردازش تصاویر استفاده می‌شود. در بررسی تصاویر هر دو سنجنده سعی گردید تا حد ممکن از تصاویر روزانه در شرایط آسمان بدون ابر استفاده شود، از این رو تعداد تصاویر مورد ارزیابی بسته به زمان برداشت آن‌ها باهم برابر نمی‌باشد. تاریخ‌های موردبررسی تصاویر هر دو سنجنده در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- تاریخ‌های مورد بررسی دو سنجنده

| MODIS | ETM+ |
|------------|------------|
| ۱۳۸۰/۰۱/۲۳ | ۱۳۸۰/۰۲/۰۳ |
| ۱۳۸۰/۰۲/۲۳ | ۱۳۸۰/۰۳/۱۹ |
| ۱۳۸۰/۰۲/۳۰ | ۱۳۸۰/۰۵/۲۲ |
| ۱۳۸۰/۰۳/۰۷ | |
| ۱۳۸۰/۰۴/۲۸ | |
| ۱۳۸۰/۰۵/۰۴ | |
| ۱۳۸۰/۰۶/۱۵ | |

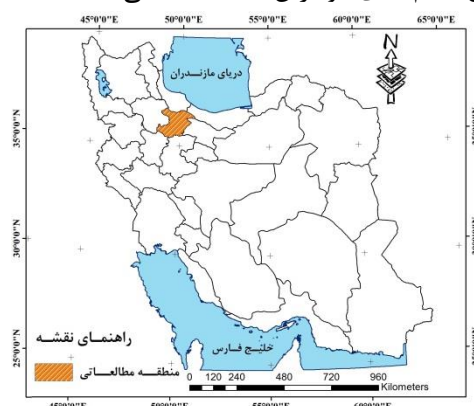
معیارهای آماری واسنجی (شاخص‌های خطاسنجی)

جهت ارزیابی دقت تخمین تبخیر - تعرق واقعی محاسبه شده توسط الگوریتم متریک از شش آماره خطاسنجی RMSE، RMSEN، MAE، MBE و SE ریشه میانگین مربعات خطا، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده، میانگین خطای مطلق، خطای اریب میانگین و خطای استاندارد حسب (mm day^{-1}) و r ضریب همبستگی (-) استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تبخیر- تعرق برآورد شده با اعمال الگوریتم متریک بر روی تصاویر سنجنده MODIS، ETM+ و داده‌های لایسیمیتر در محدوده قرارگیری لایسیمیتر در دشت قزوین در جدول (۲) ارزیابی آماری شده است. نتایج شاخص‌های آماری در جدول (۲) نشان می‌دهد که الگوریتم متریک حاصل از تصاویر سنجنده MODIS از مقدار ریشه میانگین مربعات خطا $(1/91 \text{ mm d}^{-1})$ بزرگ‌تری نسبت به مقدار ریشه میانگین مربعات خطا در

شهرهای آبیک، قزوین، تاکستان و بوئین‌زهرا در حاشیه شمالی و جنوبی آن قرار دارند. این استان از دو حوزه آبریز اصلی شور و سفیدرود تشکیل شده است. حوزه آبریز شور وسیع‌ترین حوزه آبریز استان به شمار می‌آید و ۷۲/۴ درصد از وسعت سرزمینی که به دشت قزوین مشهور است را شامل می‌گردد. اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس اقلیم نمای دومارتن نیمه‌خشک می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان قزوین و محدوده مطالعاتی داده‌های هواشناسی و لایسیمیتری

در این پژوهش از آمار هواشناسی روزانه و ماهانه ایستگاه هواشناسی قزوین در دوره‌ای که داده‌های لایسیمیتری وجود دارد استفاده گردید. داده‌برداری لایسیمیتری از یک لایسیمیتر حجمی به ابعاد 1×2 مترمربع و به عمق ۱/۵ متر، واقع در مرکز تحقیقات آب‌و‌خاک اسماعیل‌آباد قزوین با مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 15' 24''$ درجه شمالی و $49^{\circ} 54' 35''$ شرقی انجام گرفت. به منظور تأثیر یکنواختی خرد اقلیم^۱ در جهت حذف اثرات حرکت افقی گرما، لایسیمیتر در مرکز یک قطعه زمین به ابعاد 40×50 مترمربع واقع گردید. لایسیمیتر تبخیر - تعرق گیاه مرجع چمن را اندازه‌گیری می‌نمود. ارتفاع چمن در زمان پژوهش ۱۵-۵ سانتی‌متر بوده است. داده‌برداری‌های لایسیمیتری از تاریخ پنجم فروردین‌ماه سال ۱۳۸۰ (۲۵ مارس سال ۲۰۰۱) آغاز و به صورت روزانه و هفتگی تا تاریخ ۲۶ اسفندماه همان سال (۱۷ مارس ۲۰۰۲) ادامه یافت (ابراهیمی پاک، ۱۳۸۰).

تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای مورد استفاده

در این پژوهش از تصاویر سنجنده MODIS^۳ ماهواره ترا^۳ و سنجنده ETM+^۴ ماهواره لندست ۷ جهت برآورد

^۳ Terra

^۴ Enhanced Thematic Mapper Plus

^۵ The Environment for Visualizing Images

^۱ Micro Climate

^۲ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

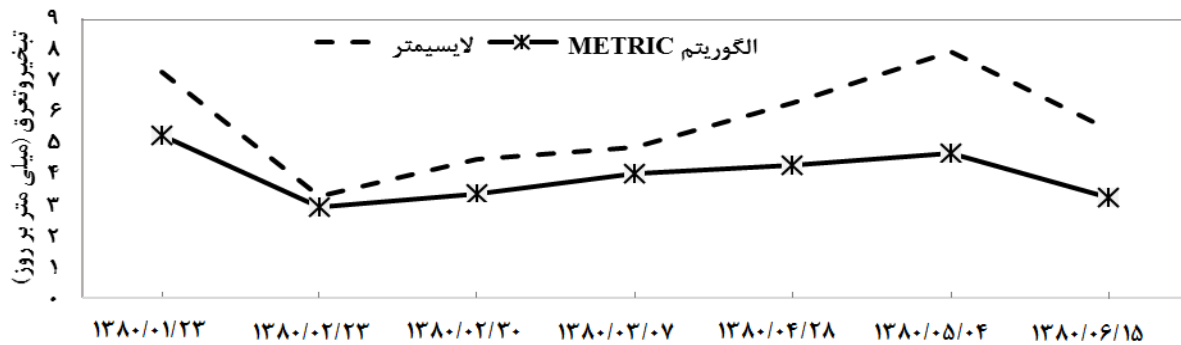
کوچک تر از سلول‌های سنجنده MODIS می‌باشد و دقت برآورد بالاتری را تولید می‌نماید. از سوی دیگر ابعاد سلول‌های ETM+ با ابعاد زمینی که لایسیمتر را در برگرفته است نزدیک تر می‌باشد. این در حالی است که همین مساحت در سنجنده MODIS به‌عنوان جز کوچکی از یک سلول ۱۰۰ هکتاری خواهد بود که در برآیند انرژی منعکس‌شده از سطح ۱۰۰ هکتار دخالت می‌نماید. در این ارتباط در پژوهشی سیمایی و همکاران (۱۳۹۲) به کمک الگوریتم سبال و تصاویر لندست و MODIS، به برآورد تبخیر - تعرق واقعی در بخشی از حوزه آبخیز زنجان رود واقع در استان زنجان پرداختند. نتایج نشان داد دقت سنجنده TM دو و نیم برابر بیشتر از تصاویر سنجنده MODIS می‌باشد و گزارش نمودند که سنجنده TM مستقر بر ماهواره لندست می‌تواند با دقتی بیشتر نسبت به سنجنده MODIS مستقر بر ماهواره ترا مقدار تبخیر - تعرق واقعی را برای منطقه مورد مطالعه برآورد کند. روندی از برآورد تبخیر - تعرق با روش الگوریتم متریک حاصل از تصاویر MODIS نسبت به داده‌های لایسیمتر در تاریخ‌های مورد بررسی در شکل (۳) تهیه شده است. شکل (۳) روند برآورد تبخیر - تعرق به روش متریک حاصل از تصاویر سنجنده MODIS را با داده‌های لایسیمتر نشان می‌دهد. با توجه به تاریخ‌های مورد بررسی که در فصول بهار و تابستان (۶ ماه اول سال) می‌باشند مقدار تبخیر - تعرق در روش متریک با تصاویر MODIS همانند داده‌برداری لایسیمتر در بعضی از تاریخ‌ها از روند افزایشی (۲۳ام فروردین) و در بعضی از تاریخ‌ها (۲۳ام اردیبهشت) از روند کاهشی برخوردار است و به صورت کلی در تمامی تاریخ‌های مورد بررسی مقدار تبخیر - تعرق کمتر از لایسیمتر تخمین زده شده است. در طی فصل تابستان مقدار تبخیر - تعرق در دو روش (الگوریتم متریک و لایسیمتر) از یک روند افزایشی برخوردار است تا روز ۱۵ام شهریورماه که مقدار تبخیر - تعرق کاهش می‌یابد. در ادامه روندی از برآورد تبخیر - تعرق با الگوریتم متریک حاصل از تصاویر سنجنده ETM+ نسبت به داده‌های لایسیمتر در تاریخ‌های مورد بررسی در شکل (۴) تهیه شده است.

اجرای الگوریتم متریک در تصاویر سنجنده ETM+ (mm d⁻¹ ۰/۹۱) برخوردار است و لذا از نظر این معیار نسبت به داده‌برداری لایسیمتر با ضعف روبرو می‌باشد.

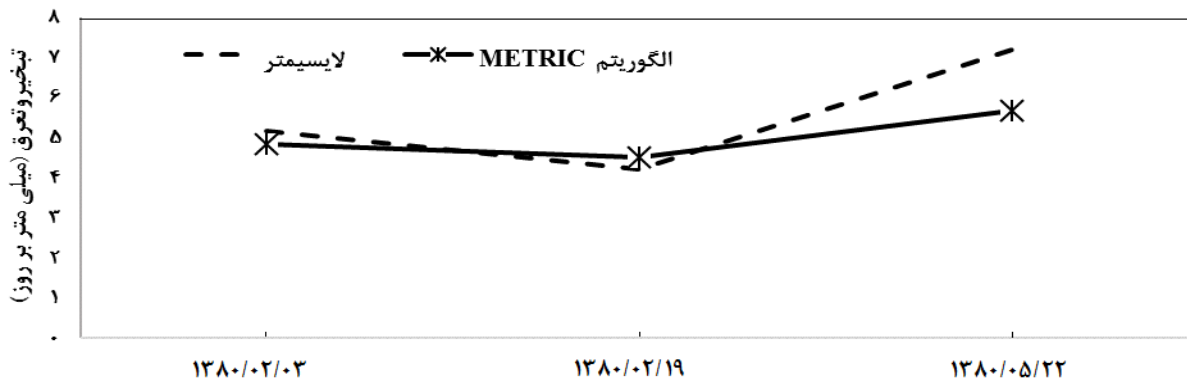
جدول ۲ - مقایسه تبخیر - تعرق تخمین زده شده توسط الگوریتم متریک با تصاویر سنجنده MODIS، ETM+ و داده‌های

| لایسیمتر | | |
|-------------------------------|-------|-------|
| شاخص‌های آماری | ETM+ | MODIS |
| (mm day ⁻¹) RMSE | ۰/۹۱ | ۱/۹۱ |
| (mm day ⁻¹) RMSEN | ۰/۱۷ | ۰/۳۴ |
| (mm day ⁻¹) MAE | ۰/۱۰ | ۰/۲۹ |
| (mm day ⁻¹) MBE | -۰/۵۱ | -۱/۶۸ |
| (-) R | ۱/۰۰ | ۰/۸۸ |
| (mm day ⁻¹) SE | ۰/۰۹ | ۰/۸۵ |

همین‌طور مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای سنجنده MODIS (۰/۳۴ mm d⁻¹) نسبت به مقدار همین پارامتر در سنجنده ETM+ (۰/۱۷ mm d⁻¹) از دقت پایین‌تری برخوردار است، زیرا قدرت پیش‌بینی مدل زمانی که مقدار این معیار (RMSEN) کمتر از ۱۰ درصد باشد عالی، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد متوسط و اگر بالاتر از ۳۰ درصد باشد ضعیف تخمین زده می‌شود (شیردلی و توسلی، ۱۳۹۴). از نظر سایر معیارهای واسنجی نیز همچون ضریب همبستگی و مقدار میانگین خطای مطلق و مقدار خطای استاندارد و مقدار خطای اریب میانگین تصاویر MODIS (به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۲۹ و ۰/۸۵ و ۱/۶۸ - mm d⁻¹) نسبت به مقادیر همین معیارها در تصاویر ETM+ (به ترتیب ۱ و ۰/۱۰ و ۰/۰۹ و -۰/۵۱ - mm d⁻¹) با خطای بیشتری همراه می‌باشد. گرچه مقدار ضریب همبستگی محاسبه شده عدد یک را نشان می‌دهد ولی این عدد به دلیل کم بودن تعداد تصاویر مقایسه شده سنجنده ETM+ و عدم صفر بودن سایر پارامترها از جمله مقدار میانگین خطای مطلق و خطای استاندارد اغراق‌آمیز است. با این‌وجود نتایج الگوریتم متریک حاصل از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ نسبت به داده‌برداری لایسیمتر با دقت بالاتری تبخیر - تعرق را تخمین می‌زند. علت این امر نیز به این دلیل است که ابعاد سلول‌های سنجنده ETM+ حدود هزار برابر



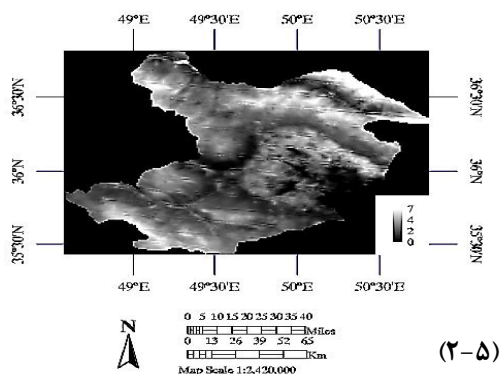
شکل ۳- روند برآورد تبخیر - تعرق حاصل اجرای الگوریتم متریک در تصاویر MODIS در مقایسه با داده‌های لایسیمتر



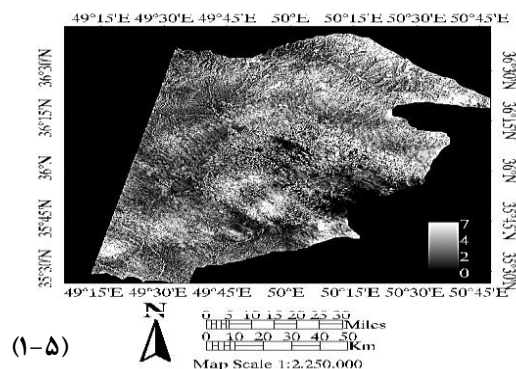
شکل ۴- روند مقایسه برآورد تبخیر - تعرق الگوریتم متریک در تصاویر لندست ۷ داده‌های لایسیمتر

در شکل (۴) مشاهده می‌شود که با توجه به تاریخ‌های مورد بررسی الگوریتم متریک با برآورد کم نسبت به داده‌های لایسیمتر از نتایج مناسبی برخوردار است. هر دو روش (لایسیمتر و الگوریتم متریک) در روز سوم اردیبهشت‌ماه از روند افزایشی و در روز ۱۹م اردیبهشت از یک روند کاهشی برخوردارند. دقت در روند تغییرات تبخیر - تعرق به دست آمده از الگوریتم متریک در هر دو سنجنده نشان می‌دهد که نتایج به دست آمده از الگوریتم دچار کم‌برآوردی می‌باشد. نقشه‌های تبخیر - تعرق واقعی محاسبه شده الگوریتم متریک حاصل از تصاویر دو سنجنده در شکل (۵) آمده است. تصویر سنجنده

MODIS مربوط به تاریخ ۱۳۸۰/۰۲/۲۳، تصویر سنجنده ETM+ مربوط به تاریخ ۱۳۸۰/۰۲/۱۹ می‌باشند. آمار نشان داده شده در کنار هر تصویر بازه تغییرات تبخیر - تعرق را در محدوده دشت نشان می‌دهد. دقت در اشکال (۵-۱) و (۵-۲) روند بهبود وضوح نقشه‌های تبخیر - تعرق را کاملاً بروز می‌دهد و طبیعی است که با افزایش قدرت تفکیک مکانی از سنجنده MODIS ماهواره ترا به سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ و با توجه به انطباق بیشتر میان داده‌های حاصل از سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ با مقادیر شاهد، کاربرد تصاویر لندست ۷ بیشتر توصیه خواهد شد.



(۲-۵)



(۱-۵)

شکل ۵- نقشه تبخیر - تعرق حاصل از اجرای الگوریتم متریک در دو سنجنده MODIS: (۱-۵) و ETM+: (۲-۵)

- Allen, R. G., Tasumi M., Trezza, R. 2007. Satellite-based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) – Model. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 133(4): 380-394.
- Allen, R.G., Tasumi, M., Morse, A. 2005. Satellite-based evapotranspiration by METRIC and Landsat for western states water management. US Bureau of Reclamation Evapotranspiration Workshop, Feb 8–10, Ft. Collins.
- Bastiaanssen, W. 1998. A Remote Sensing Surface Energy Balance algorithm for landformulation. *J. Hydrol.*: 212-229.
- Chavez, J. L., Gowda, P. H., Evett, S. R., Colaizzi, P. D., Howell, T. A., T. Marek. 2007. An application of METRIC for ET mapping in the Texas high plains. December 9–11, Irrigation Association CD-ROM, San Diego, 268–283.
- Folhes, M. T., Renno, C. D., Soares J. V. 2009. Remote sensing for irrigation water management in the semi-arid Northeast of Brazil. *Agr. Water Manage.*, 96: 1398–1408.
- Jia, L., Su, Z. B., Hurk, B., Menenti, M., Moene, A. 2003. Estimation of sensible heat flux using the Surface Energy Balance System and ATSR measurements. *Phys. Chem. Earth*, 28 (1-3): 75-88.
- Menteni, M., Choudhury, B. J. 1993. Parameterization of land surface evapotranspiration using a location-dependent potential evapotranspiration and surface temperature range. *IAHS Publ.* 212: 561-568.
- Roerink, G. J., Su, Z., Menenti, M. 2000. S-SEBI: A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimate the Surface Energy Balance. *Phys. Chem. Earth (B)*, 25(2): 147-157.
- Su, Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 6(1): 85-99.
- Timmermans, W. J., Kustas, W. P., Anderson, M. C., French, A. N. 2007. An intercomparison of the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and the Two-Source Energy Balance (TSEB) modelling scheme. *Remote Sens. Environ.*, 108: 369-384.

نتیجه گیری

به طور کلی از میان نتایج تمامی ماهواره‌های مورد بررسی نتایج الگوریتم متریک حاصل از سنجنده +ETM ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی بالا و کمی برآورد داده‌های تبخیر - تعرق نسبت به داده‌برداری لایسومتر و برخورداری از یک‌روند مناسب و یکنواخت نسبت به داده‌برداری لایسیمتری، در جایگاه اول به عنوان سنجنده برتر در این تحقیق برای برآورد تبخیر - تعرق واقعی گیاهان زراعی و باغی در دشت قزوین توصیه می‌گردد.

منابع

- ابراهیمی پاک، ن. ع. ۱۳۸۰. تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع با استفاده از لایسیمتر و مقایسه با روش‌های تجربی. گزارش پژوهشی سالیانه، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی قزوین، بخش تحقیقات آب و خاک.
- امیدوار، ج.، داوری، ک.، ارشد، ص.، موسوی بایگی، م.، اکبری، م.، فرید حسینی، ع. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده استر و الگوریتم متریک. نشریه مهندسی آبیاری و آب، ۳(۹): ۳۸-۴۹.
- سیمایی، ا.، همایی، م.، نوروزی، ع. ا. ۱۳۹۲. ارزیابی مدل SEBAL برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات سنجنده های TM و MODIS. حفاظت منابع آب و خاک. ۲ (۴): ۲۹-۴۰.
- شیردلی، ع.، توسلی، ا. ۱۳۹۴. پیش‌بینی عملکرد و کارایی مصرف آب زعفران با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بر مبنای فاکتورهای اقلیمی و آب. نشریه زراعت و فناوری زعفران، ۳(۲): ۱۲۱-۱۳۱.



Technical Note

Estimation of actual evapotranspiration in Qazvin plain using satellite images and METRIC algorithm

R. Nazari¹, A. Kaviani^{2*}

Received: 08/12/2015

Accepted: 04/01/2017

Abstract

Proper estimation of crop water requirement is vitally important to maintain sustain crop production in arid regions, where water shortage is challenging. The aim of this study was to estimate actual evapotranspiration (ET_a) of crops in Qazvin plain, Iran using satellite images and METRIC algorithm. In this regard, the obtained values of ET_a by METRIC algorithm using the images of Terra satellite MODIS sensor and Landsat 7 satellite ETM+ sensor, were compared with lysimeteric measurements. Results of the statistical comparisons showed that Landsat 7 ETM+ sensor with correlation coefficient of $r=1.00$, $RMSE=0.91 \text{ mm day}^{-1}$ and $MAE=0.10 \text{ mm day}^{-1}$ and Standard Error (SE)= 0.09 mm day^{-1} had more acceptable agreement with measured data comparing with those obtained from MODIS sensor and can be recommended as the preferred option in the region.

Keywords: Evapotranspiration, Remote sensing, Lysimeter, Qazvin plain, Iran



¹ M. Sc. graduate of irrigation and drainage, Department of Water Engineering, Faculty of engineering and technical, Imam Khomeini International University

² Assistant professor of Water Engineering Dep., Faculty of engineering and technical, Imam Khomeini International University

(*Corresponding author's email address: Abbasskaviani@gmail.com)