

برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای به کمک داده‌های سنجش از دور در دشت شهرکرد (ب) مقایسه نتایج مدل‌های SEBAL و METRIC نسبت به برخی مدل‌های ریاضی تبخیر و تعرق

علی مرشدی^{۱*}، مهدی نادری^۲، سیدحسن طباطبایی^۳ و جهانگرد محمدی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۲)

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی امکان استفاده از دو مدل سبال (SEBAL) و متریک (METRIC) در دو تاریخ گذر ۹ تیر ۱۳۷۸ (برابر با ۳۰ ژوئن ۱۹۹۹) و ۳۰ مرداد ۱۳۷۸ (برابر با اول اوت ۱۹۹۹) برای برآورد و مقایسه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (یونجه) در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از اطلاعات سنجنده ETM+ در مقایسه با برآوردهای ET از برخی روش‌های ریاضی (تجربی و ترکیبی) شامل پنج مدل پنمن-مانتیت استاندارد شده به روش انجمن مهندسين عمران آمریکا (ASCE-stPM)، پنمن-مانتیت به روش فائو ۵۶ (F56PM)، بلانسی-کریدل (F24BC)، هارگریو-سامانی (HS) و تستک تبخیر (Pan) انجام شد. مقدار تبخیر و تعرق در تاریخ‌های ۹ تیر و ۳۰ مرداد (۱۳۷۸) برای پیکسل‌های معیار سرد در مدل سبال برابر با ۶/۹۷ و ۶/۷۷ میلی‌متر بر روز و در مدل متریک برابر با ۱۰/۲۷ و ۹/۳۱ میلی‌متر بر روز به دست آمد. برای مدل ریاضی مناسب منطقه (هارگریو-سامانی) مقادیری به ترتیب برابر با ۸/۰ و ۷/۵ میلی‌متر بر روز در تاریخ‌های گذر به دست آمد. به طور کلی نتایج نشان داد برآوردهای مدل سبال در مقایسه با برآوردهای مدل HS و داده‌های لایسمتری موجود از صحت بیشتری نسبت به مدل متریک برخوردار و در شرایط مشابه قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، توازن انرژی، فرمول‌های تجربی، لندست ۷

۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، شهرکرد

۲. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: a.morshedi@areeo.ac.ir

مقدمه

برای برآورد تبخیر و تعرق از سطح مرجع به کمک آمار و داده‌های هواشناسی، معادله‌های تجربی و نیمه تجربی بسیاری معرفی شده است. از میان ۳۹۳ ایستگاه هواشناسی همید کشور، تعداد ۲۵ ایستگاه هواشناسی در ارتفاع بالاتر از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا مستقر هستند. برای ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ۲۲ درصد از ایستگاه‌های هواشناسی ایران دو روش بلانی- کریدل و هارگریوز- سامانی مناسب تشخیص داده شده است (۴). بررسی‌های دقیق‌تر نشان داده که توصیه دو روش مذکور برای مناطق شهرکرد، همدان و ارومیه با نتایج دین‌پژوه (۲۸) همخوانی دارد و صحت نتایج را تأیید می‌کند. واقع شدن این مناطق در ارتفاعات بالا و صاف بودن هوا با توجه به فقدان ذرات آیروسل ناشی از آلودگی کمتر هوا، موجب تأثیرپذیری تبخیر و تعرق از عامل تشعشع می‌گردد که در مدل هارگریوز- سامانی در نظر گرفته شده است.

در مناطق مرتفع و با توپوگرافی متنوع مانند دشت شهرکرد، تغییرات درجه حرارت و رطوبت زیاد است. اگر چه تغییرات رطوبت نسبت به ارتفاع نامنظم است ولی به طور کلی با افزایش ارتفاع، فشار بخار آب کاهش می‌یابد و نحوه تغییرات آن همانند تغییرات فشار با ارتفاع است (۱۰). سرعت باد نیز رابطه مستقیم با گرادیان فشار دارد، اصطحکاک ناشی از پستی و بلندی‌های زمین باعث می‌شوند که سرعت باد بر روی خشکی‌های زمین ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش یابد. از طرفی با افزایش ارتفاع، سرعت باد به طور نمایی افزایش می‌یابد (۱۰).

سبزی‌پرور و همکاران در تحقیق خود ۴ مدل تبخیر و تعرق گیاه مرجع، یعنی جنسن- هیز اصلاح شده، جنسن- هیز، پنمن- مانتیث- فائو ۵۶، و پنمن- مانتیث- فائو با تابش ایرماک را برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع روزانه چمن (ET_c) در اقلیم سرد و نیمه‌خشک مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که مدل جنسن- هیز در مقایسه با سایر مدل‌ها، مقدار ET را با دقتی بهتر از مدل پنمن- مانتیث- فائو ۵۶ در اقلیم سرد نیمه‌خشک همدان

برآورد می‌نماید (۵). مطالعات فولادمند و سپاس‌خواه در سه منطقه باجگاه، جهرم و کوشکک نشان داد که در شرایط کشت واحه‌ای در ایران به علت وجود جریان افقی گرما، محاسبه تبخیر و تعرق به روش پنمن- مانتیث کارایی لازم را ندارد و تخمین کمتری را از واقعیت ارائه می‌کند و در عوض، به نظر می‌رسد که روش جنسن- هیز (در بعضی شرایط) کارایی بهتری داشته باشد (۲۹).

سپاس‌خواه و رزاقی روش هارگریوز- سامانی را به دلیل وجود اطلاعات مربوط به دمای هوا در اغلب ایستگاه‌های هواشناسی، مناسب دانسته و درصد خطای آن را اندک گزارش کرده‌اند (۳۰). گلستانی و طباطبائی مقدار ET_c را با استفاده از نرم‌افزار Ref-ET و براساس سه روش متداول بلینی- کریدل- فائو، پنمن- مانتیث- فائو و هارگریوز- سامانی تعیین نموده و نتیجه گرفتند که با توجه به اقلیم منطقه و استفاده رو به گسترش مدل‌هایی از قبیل پنمن- مانتیث به روش انجمن مهندسی عمران آمریکا (ASCE-PM) لازم است ضرایب این روش در مناطق مختلف استان چهارمحال و بختیاری واسنجی شود تا نتایج قابل قبولی از آن استخراج گردد (۶). نورمهنداد و طباطبائی سه مدل بلینی- کریدل- فائو، پنمن- مانتیث- فائو و هارگریوز- سامانی را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که احتمالاً به دلیل کاربرد نابجای معادله ASCE در منطقه مورد بررسی (استان چهارمحال و بختیاری) این معادله میزان تبخیر و تعرق را بیش از مقدار مرجع تخمین زده است زیرا روش ASCE بر بنیان معادله پنمن- مانتیث- فائو استوار بوده و اساس این روش برای مناطق مرطوب توسعه داده شده، و لذا کاربرد آن در این منطقه بدون توجه به تناسب آن، سبب خطا شده است (۱۱). همچنین در این معادله پارامتر شیب منحنی فشار بخار اشباع که تابعی از ارتفاع منطقه است دخالت دارد و لذا به نظر می‌رسد کاربرد این قبیل معادلات در مناطق با ارتفاع بالا نیاز به بررسی دقیق‌تر دارد.

از طرفی پیشرفت‌های اخیر در مدل‌های برآورد ET از طریق سنسجش از دور مانند مدل‌های سببال (*Balance Algorithm for Land, SEBAL Surface Energy*) و

کشاورزی با استفاده از مدل SEBAL حدود ۷/۲ میلی‌متر بر روز است که تقریباً برابر با مقدار ۶/۹۹ میلی‌متر بر روز حاصل از روش پنمن-مانتیت در ایستگاه هواشناسی همدید منطقه داران می‌باشد (۹). پژوهش پورمحمدی و همکاران نشان داد که الگوریتم توازن انرژی سبال، تبخیر و تعرق واقعی حوزه آبخیز تویسرکان را باصحت ۸۲ درصد برآورد نمود (۲).

مختاری در حوضه آبخیز برخوار (شرق اصفهان) با استفاده از تصاویر ماهواره‌های MODIS و ASTER به مقایسه مدل سبال با مدل پنمن-مانتیت پرداخت (۳۱). این محقق گزارش کرد که تبخیر و تعرق کل برآورد شده از مدل سبال برای محصول چغندرقد حدود ۲۰ درصد کمتر و برای محصول ذرت حدود ۱۵ درصد بیشتر از تخمین حاصل از مدل پنمن-مانتیت بود و این تفاوت‌ها ناشی از تعداد محدود تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده برای برون‌یابی ET به کل دوره رشد و همچنین استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی در فاصله ۲۴ کیلومتری منطقه مطالعاتی بوده است. اکبری و همکاران با بررسی شبکه‌های مختلف آبیاری در حوضه زاینده‌رود با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ اقدام به افزایش دقت مکانی یک سری از اطلاعات از ماهواره NOAA کردند و با پیش‌پردازش داده‌های مذکور و استفاده از مدل سبال، اجزا بیلان انرژی را تعیین و تبخیر و تعرق واقعی را به‌دست آوردند (۱۲).

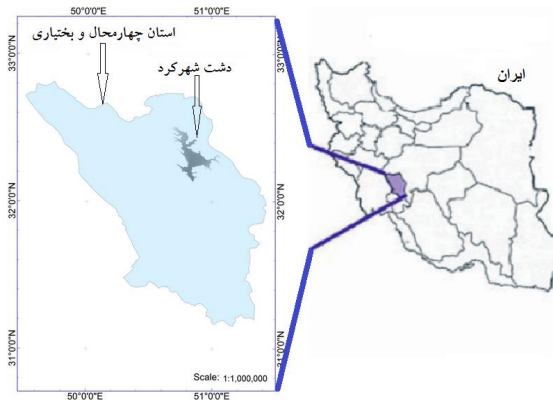
از این نظر که پژوهش‌های موجود در سطح دنیا برای ارزیابی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق از طریق سنجش از دور در مناطق مرتفع بسیار اندک می‌باشد، هدف این تحقیق، برآورد تبخیر و تعرق واقعی در دشت مرتفع شهرکرد با روش سبال و متریک به‌کمک داده‌های ماهواره لندست ۷ در دو تاریخ گذر و مقایسه و ارزیابی نتایج آن مدل‌ها با برآوردهای برخی مدل‌های ریاضی ET و داده‌های لایسیمتری موجود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دشت مرتفع شهرکرد، واقع در استان چهارمحال و بختیاری بین عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۷ دقیقه

متریک (*Evapotranspiration at high Resolution Mapping*) و K_c (ضریب گیاهی) را در اراضی بزرگ و نواحی گسترده‌ی ET تخمین مقدار (*with Internalized Calibration, METRIC*) کشت (مقیاس منطقه‌ای) امکان‌پذیر می‌سازند (۱۴، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۳، ۲۴ و ۲۶). مدل سبال برای برآورد ET در شرایط اقلیمی متنوعی در بیش از ۳۰ کشور جهان، با صحت حدود ۸۵ درصد در مقیاس مزرعه‌ای و با صحت ۹۵ درصد در مقیاس روزانه و فصلی آزمون شده است (۲۳). اما به دلیل محدودیت‌های مدل سبال در پهنه‌بندی منطقه‌ای ET در سطوح دارای پیچیدگی‌های بیشتر (توپوگرافی متنوع)، آلن و همکاران دستاوردهای مدل سبال را گسترش داده و آن را مدل متریک نامیدند (۱۷). مدل‌های مزبور مقدار ET را براساس داده‌های طیفی در محدوده مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز حرارتی و برخی پارامترهای هواشناسی نظیر سرعت باد، دمای هوا، دمای نقطه شبنم و ساعات آفتابی تخمین می‌زنند. این مدل‌ها مزایای فراوانی دارند از جمله تخمین ET در زمانی کوتاه برای یک گستره مکانی وسیع بدون توجه به نوع گیاه، برآورد ET واقعی به‌جای ET پتانسیل، هزینه اندک و درنهایت بر پایه‌های استوار فیزیکی بنا شده‌اند (۳۵).

این مدل‌ها در ایران توسط ارشد و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، نقشه‌های توپوگرافی و داده‌های هواشناسی، تبخیر و تعرق واقعی گیاه مرجع را توسط معادله توازن انرژی و هارگریوز در سرتاسر حوضه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه محاسبه شده و نتیجه گرفتند همبستگی بالایی بین این دو روش وجود دارد (۱). محسنی ساروی و همکاران با کاربرد مدل سبال در برآورد تبخیر و تعرق در حوضه آبخیز طالقان با استفاده از تصاویر MODIS و گزارش کردند که مقادیر تبخیر و تعرق برآوردی و اندازه‌گیری شده (با استفاده از لایسیمتر) همبستگی بالایی داشته‌اند (۷). ثنائی نژاد و همکاران با استفاده از تصاویر MODIS نتیجه گرفتند مدل سبال جهت برآورد تبخیر و تعرق در سطح منطقه (حوضه آبخیز مشهد) مناسب است (۳). مشتاق و همکاران گزارش کردند که مقادیر ET در اراضی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری و کشور

جدول ۱. آمار هواشناسی مربوط به تاریخ گذر ماهواره لندست ۷ در منطقه مورد مطالعه

n/N	دمای کمینه روزانه	دمای بیشینه روزانه	رطوبت نسبی	دمای شبیم	فشار هوا mbar	سرعت باد	دمای تر لحظه‌ای	دمای خشک لحظه‌ای	ساعت	روز از سال	تاریخ گذر
۰/۸۹۲	۱۲/۶	۳۳/۲	۱۳	-۲/۲	۷۹۴	۰/۰	۱۳/۸	۲۹/۰	۰۹:۳۰	۱۸۱	۹ تیر (۳۰ ژوئن)
			۶	-۹/۸	۷۹۴	۶/۱۷	۱۴/۰	۳۲/۲	۱۲:۳۰		
۰/۹۳۳	۱۱/۰	۳۲/۰	۱۶	-۱/۹	۷۹۶	۰/۰	۱۲/۸	۲۵/۶	۰۹:۳۰	۲۱۳	۱۰ مرداد (۱ اوت)
			۱۱	-۳/۲	۷۹۵	۲/۰۶	۱۴/۴	۳۰/۴	۱۲:۳۰		

ایستگاه در مرکز دشت شهرکرد و در ارتفاع ۲۰۴۸ متر با موقعیت طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی قرار گرفته است (۶).

محاسبات مربوط به برآورد ET به روش‌های ریاضی توسط نرم‌افزار REF-ET برای مدل‌های پنمن-مانتیت استاندارد شده به روش انجمن مهندسی عمران امریکا (ASCE-stPM)، پنمن-مانتیت به (F56PM)، بلانی-کریدل (F24BC)، هارگریوز-سامانی (HS) و تشنگ تبخیر (F24P) انجام شد (۹، ۱۱، ۱۳، ۲۱ و ۲۷).

داده‌های سنجش از دور شامل دو تاریخ گذر ماهواره Landsat ETM+ مربوط به تاریخ‌های ۹ تیر و ۱۰ مرداد ۱۳۷۸ (به ترتیب برابر با ۳۰ ژوئن و اول اوت ۱۹۹۹ میلادی) است. این تصاویر به صورت پردازش شده در قالب Full LIT (Terrain) یا به عبارت بهتر با اصلاحات کامل رادیومتریک،

تا ۳۲ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی انجام گردید (شکل ۱). از وسعت ۱۲۶۲ کیلومتر مربع این دشت، حدود ۵۵۰ کیلومتر مربع آن را پهنه آبرفتی و بقیه را مناطق شهری و صنعتی تشکیل داده است (۶).

ارتفاع دشت از ۲۰۱۲ متر تا ۲۴۰۸ متر از سطح دریا متغیر و کاربری اراضی منطقه، کشاورزی آبی، مرتع، بایر و مسکونی است. پارامترهای هواشناسی مورد استفاده (جدول ۱) شامل دماهای حداقل و حداکثر، دمای تر و خشک هوا در لحظه گذر، دمای نقطه شبیم، رطوبت نسبی هوا، سرعت باد، ساعات آفتابی (n/N)، فشار هوا، فشار بخار هوا، مقدار تبخیر از تشنگ و بارندگی که از ایستگاه هواشناسی هم دید فرودگاه شهرکرد با فواصل زمانی ۳ ساعته تهیه و به روش ارائه شده توسط واترز و همکاران برای لحظه گذر ماهواره میان‌بایی شد (۳۳). این

را با این فرض که ET_F (یا ET_{rF}) لحظه‌ای محاسبه شده برابر با متوسط ۲۴ ساعته است، به طریق زیر محاسبه شد:

$$ET_{24} = ET_F \times ET_{r-24} \quad (3)$$

در این معادله ET_{r-24} عبارت است از جمع مقادیر ساعتی ET_r برای روزهای برداشت تصاویر (۲۴ ساعت). برای محاسبه مقدار تبخیر و تعرق لحظه‌ای (ET_{inst}) در مدل متریک بایستی مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع یونجه در لحظه گذر ماهواره به دست آید. مدل پیش فرض برای محاسبه ET_r گیاه یونجه مدل پنمن - ماتیت استاندارد شده توسط انجمن مهندسی عمران آمریکا (ASCE-stPM) است (۲۱).

تفاوت‌های اصلی بین مدل‌های متریک و سبال به‌طور خلاصه عبارتند از: ۱- مدل METRIC فرض شار گرمای محسوس برابر با صفر ($H_{wet} = 0$ یا $LE_{wet} = R_n - G$) را برای پیکسل‌های سرد نمی‌پذیرد، بجای آن به‌طور روزانه توازن آب خاک سطحی را برآورد نموده تا برای پیکسل‌های گرم، ET را برابر با صفر و برای پیکسل‌های تر، ET را برابر با $(ET_r) / 0.5$ اقرار دهد. به این منظور، ET_r را به‌طور ساعتی (یا در فواصل زمانی کوتاه‌تر) از گیاهان پا بلند (مانند یونجه) با استفاده از معادله پنمن - ماتیت براساس استاندارد ASCE محاسبه می‌نماید؛ ۲- پیکسل‌های سرد در مدل متریک در عرصه‌های کشاورزی انتخاب می‌شود که در آن پیکسل‌ها دارای ویژگی‌های بیوفیزیکی مشابه با گیاه مرجع (یونجه) باشند؛ ۳- برون‌یابی ET لحظه‌ای برای مقادیر روزانه براساس ET_{rF} یونجه بجای جزء حقیقی تبخیر به دست می‌آید. طبق تعریف ET_{rF} نسبت ET لحظه‌ای (ET_i) به مرجع (ET_r) است که براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی در زمان گذر ماهواره به دست آمد (۱۷). در اجرای تحقیق از نرم‌افزارهای 2014 ERDAS IMAGINE، Ref-ET و 2016 Excel به ترتیب برای پردازش تصاویر و مدل‌سازی، محاسبه تبخیر و تعرق در مدل‌های ریاضی و تهیه شکل‌ها استفاده شد.

به‌منظور تعیین و انتخاب پیکسل‌های معیار سرد و گرم برای پردازش تصاویر از ضریب بازتاب سطح، شاخص گیاهی

هندسی و توپوگرافیکی از وب‌سایت آژانس ملی هوا-فضا بارگذاری شد (۳۴). قدرت تفکیک مکانی تصاویر مورد استفاده ۳۰ متر برای باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک و ۶۰ متر برای باندهای مادون قرمز حرارتی بود.

معادله موازنه انرژی

در تعیین معادله موازنه انرژی، باید کل شارهای انرژی در نظر گرفته شود. معادله (۱) توازن انرژی برای یک سطح تبخیر را نشان می‌دهد:

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

در این معادله R_n شار تابش ورودی خالص به سطح مورد نظر (W/m^2)، H شار گرمای محسوس (W/m^2)، G شار گرمای خاک (W/m^2) و λET شار گرمای نهان تبخیر (W/m^2) می‌باشند. در معادله (۱) تنها شار قائم در نظر گرفته و از شارهای افقی انرژی صرف نظر شده است. معادله فوق باید برای سطوح گسترده و دارای پوشش گیاهی کامل و یکنواخت استفاده شود (۱۵). به این ترتیب، شار گرمای نهان تبخیر که نمایانگر جزء تبخیر و تعرق است، می‌تواند در صورت معلوم بودن سایر اجزای معادله توازن انرژی تعیین شود. شار تابش خالص و شار گرمای خاک را می‌توان با استفاده از پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری یا برآورد کرد. با این حال، اندازه‌گیری گرمای محسوس، اغلب، پیچیده است. برای تعیین گرمای محسوس، اندازه‌گیری دقیق گردابان دمای هوا در بالای سطح مورد نیاز است (۱۵).

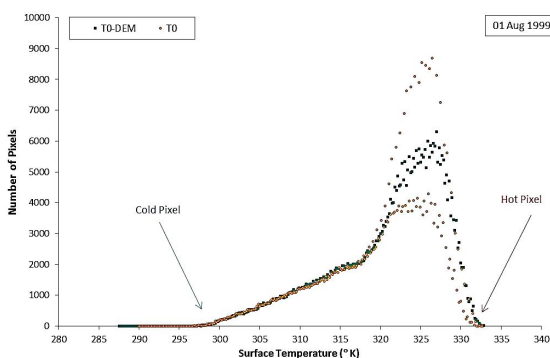
برای برقراری موازنه انرژی باید کل شارهای انرژی ارائه شده در معادله (۱) برآورد شوند. مقدار لحظه‌ای ET به‌صورت معادله (۲) محاسبه شد (۲۵). در این معادله ET_{inst} عبارت است از تبخیر و تعرق لحظه‌ای (mm/hr)، عدد ۳۶۰۰ تبدیل ثانیه به ساعت و λ گرمای نهان تبخیر یا گرمای جذب شده برای تبخیر یک کیلوگرم آب (J/kg) است.

$$ET_{inst} = 3600 \cdot (\lambda ET / \lambda) \quad (2)$$

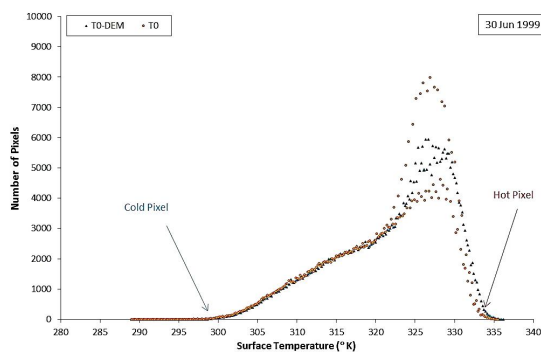
مقادیر روزانه تبخیر و تعرق (ET_{24}) در اغلب موارد مفیدتر از ET لحظه‌ای است. در مدل‌های سبال و متریک مقدار ET_{24}

جدول ۲. برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل توسط مدل‌های ریاضی

HS mm/d	F24BC mm/d	F24P mm/d	F56PM mm/d	ASCE-stPM mm/d	تاریخ گذر
۸/۰	۱۱/۵	۱۰/۷	۱۱/۲	۱۴/۸	۹ تیر
۷/۵	۸/۴	۸/۲	۷/۱	۸/۱	۱۰ مرداد



شکل ۳. رابطه‌ی بین دمای رادیومتریک سطح و تعداد پیکسل در دومین تاریخ گذر



شکل ۲. رابطه‌ی بین دمای رادیومتریک سطح و تعداد پیکسل در اولین تاریخ گذر

جدول ۳- برآورد تبخیر و تعرق واقعی توسط مدل‌های سنجش از دور

تاریخ گذر	متریک mm/d	سبال mm/d
۹ تیر	۱۰/۲۷	۶/۹۷
۱۰ مرداد	۹/۳۱	۶/۷۷

در اولین تاریخ گذر نسبت به دومین تاریخ برخوردار بود (جدول ۲).

براساس پژوهش‌های انجام شده برای گزینش پیکسل‌های سرد و گرم به این دلیل که به خطای سیستماتیک می‌انجامد از انتخاب سردترین و گرم‌ترین پیکسل‌ها اجتناب شد (شکل‌های ۲ و ۳). شکل‌های (۲) و (۳) رابطه‌ی بین دمای رادیومتریک سطح متأثر از دخالت دادن مدل رقومی ارتفاع (T-DEM) در هر پیکسل نسبت به تعداد پیکسل در آن دمای خاص را نشان می‌دهد.

جدول (۳) نتایج برآورد ET از دو مدل سبال و متریک را نشان می‌دهد. با توجه به مشابهت در محاسبه شار انرژی تابش خالص (R_n) و شار گرمای خاک (G_0) در هر دو مدل ولی

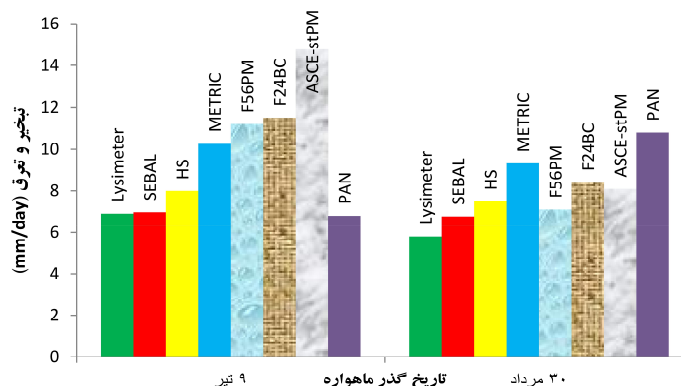
تفاضلی نرمال شده، شاخص سطح برگ و دمای رادیومتریک سطح استفاده شد. مبنای انتخاب پیکسل سرد مناطق زیر کشت یونجه خوب آبیاری شده با پوشش گیاهی کامل بود و برای پیکسل گرم مبنای انتخاب مناطقی فاقد پوشش گیاهی، دارای خاک خشک و بایر بود. برای آشنائی بیشتر با جزئیات روش‌های محاسباتی به مقالات آلن، باستیانسن و مرشدی مراجعه شود (۸، ۱۷، ۲۳).

نتایج و بحث

جدول شماره (۱) نشان می‌دهد که در اولین تاریخ گذر برابر با ۹ تیر ۱۳۷۸ (۳۰ ژوئن ۱۹۹۹) دمای حداکثر و حداقل هوا و به‌خصوص سرعت باد مقدار بیشتری نسبت به همین داده‌ها در ۱۰ مرداد همان سال (اول اوت ۱۹۹۹)، اما از سوی دیگر مقدار رطوبت نسبی هوا در روز ۳۰ ژوئن بالاتر از اول اوت بود. بدین ترتیب برآورد ET محاسبه شده در مدلی که عامل باد را در نظر می‌گیرند (مانند مدل‌های ASCE-stPM، F56PM و F24BC) در تاریخ‌های فوق‌الذکر متفاوت و از مقدار بیشتری

جدول ۴. شاخص‌های آماری مربوط به محاسبه‌ی تبخیر و تعرق از داده‌های سنجش از دور برای کل دشت

تاریخ	مدل	جمع کل	میانگین	حداکثر	حداقل	دامنه	انحراف معیار
۹ تیر	ET-SEBAL	۱۰۵۸/۵	۳/۹۱۷	۸/۳۰۲	۰/۰	۸/۳۰۲	۱/۴۲۷
	ET-METRIC	۱۶۵۹/۸	۳/۲۵۲	۱۳/۰۱۸	۰/۰	۱۳/۰۱۸	۱/۵۲۶
۱۰ مرداد	ET-SEBAL	۹۹۷/۳	۳/۹۶۱	۷/۶۵۰	۰/۰	۷/۶۵۰	۱/۳۰۴
	ET-METRIC	۱۵۵۵/۹	۴/۴۵۲	۱۲/۲۰۳	۰/۰	۱۲/۲۰۳	۱/۴۹۳



شکل ۴. مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده در مدل‌های سبال و متریک با برخی مدل‌های ریاضی

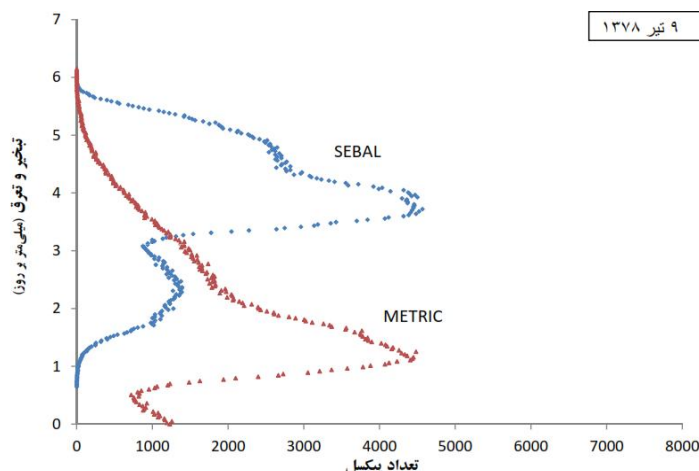
بر محاسبه H و در نهایت بر مقدار تبخیر و تعرق در اولین تاریخ گذر تأثیر بیشتری داشت.

از سوی دیگر در دومین تاریخ گذر و در مدل متریک مقادیر بیشتری از شاخص‌های آماری نسبت به مقادیر متناظر در مدل سبال مشاهده شد (جدول ۴). به‌طور مثال، کل تبخیر و تعرق محاسبه شده (کل دشت) به‌روش سبال در اولین تاریخ گذر ماهواره (۹ تیر ۱۳۷۸) برابر با ۱۰۵۸/۵ میلی‌متر بر روز و برای مدل متریک برابر با ۱۶۵۹/۸ میلی‌متر بر روز بود ولی در تاریخ ۱۰ مرداد ۱۳۷۸ همین شاخص‌ها به‌ترتیب برابر با ۹۹۷/۳ و ۱۵۵۵/۹ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد. در تاریخ ۹ تیر میانگین تبخیر و تعرق در کل دشت شهرکرد برابر با ۳/۹۱۷ و ۳/۲۵۲ میلی‌متر بر روز به‌ترتیب برای مدل‌های سبال و متریک و در تاریخ ۱۰ مرداد برابر با ۳/۹۶۱ و ۴/۴۵۲ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد.

مقادیر تبخیر و تعرق در پیکسل‌های سرد در هر دو تاریخ گذر به‌منظور مقایسه با مدل‌های ریاضی برآورد ET در شکل (۴) نمایه

تفاوت در نحوه محاسبه مقدار شار گرمای محسوس (H) منجر به بروز تفاوت در مقادیر شار گرمای نهان تبخیر (λET) و در نهایت مقادیر ET گردید. به عبارتی مقدار ET در مدل سبال برابر با ۶/۹۷ و ۶/۷۷ میلی‌متر بر روز و برای مدل متریک برابر با ۹/۳۱ و ۱۰/۲۷ میلی‌متر بر روز در اولین و دومین تاریخ‌های گذر ماهواره در پیکسل‌های سرد (مزرعه یونجه استاندارد) به‌دست آمد.

براساس نتایج به‌دست آمده در اولین تاریخ گذر (۹ تیر) از شاخص‌های آماری مانند میانگین، حداکثر، حداقل، دامنه و انحراف معیار برای تبخیر و تعرق در مدل سبال، مقادیر کمتری نسبت به دومین تاریخ گذر (۱۰ مرداد) به‌دست آمد (جدول ۴). با توجه به آمار هواشناسی ملاحظه شد که در اولین تاریخ گذر، دمای هوا و سرعت باد از مقدار بیشتری برخوردار بود و لاجرم بر متغیرهایی از قبیل طول زبری تکانه (Z_{om}) و مقاومت آئروپنایمیک برای انتقال گرما (r_{ah}) که متأثر از دمای هوا، دمای رادیومتریک سطح و سرعت باد می‌باشند، تأثیر گذارد و بالطبع



شکل ۵. مقادیر تبخیر و تعرق نسبت به تعداد پیکسل (۹ تیر)

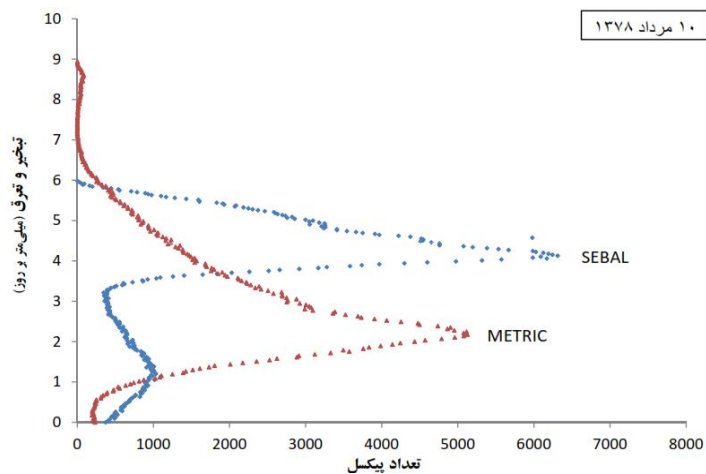
۹/۳۱ و برای لایسیمتر ۶/۹ و ۵/۸ میلی متر بر روز) و در هر دو تاریخ گذر مشهود است.

با نگاهی دقیق تر به مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته (ET_{۲۴}) از مدل های سبال و متریک در هر پیکسل جدول (۳) و شکل های (۵) و (۶) مشاهده می شود تبخیر و تعرق هر پیکسل در مدل متریک در هر دو تاریخ گذر از دامنه و سطح زیر منحنی (مقدار تبخیر و تعرق کل دشت) وسیع تری نسبت به مدل مقادیر متناظر در سبال برخوردار است. از مقایسه منحنی های مربوط به مدل های سبال و متریک در دو تاریخ گذر مشاهده می شود که احتمالاً تفاوت در نحوه محاسبه جز تبخیر، مؤثر بر عدم انطباق منحنی های دو مدل بود. منحنی مربوط به تغییرات ET مدل متریک در تاریخ اول اوت (۱۰ مرداد) گسترده تر از مدل سبال است. با توجه به داده های هواشناسی جدول (۱) که دمای هوا و سرعت باد در تاریخ ۹ تیر بیشتر از ۱۰ مرداد بود، دامنه وسیع تر منحنی مدل متریک احتمالاً به دلیل تأثیرپذیری بیشتر این مدل از داده های هواشناسی (لزوم داده های دقیق تر به صورت ساعتی) و تفاوت در روش محاسبه شار انرژی محسوس (H) می باشد.

به عقیده آلن و همکاران استفاده از تبخیر و تعرق مرجع یونجه در مدل متریک برای تبدیل تبخیر و تعرق لحظه ای به تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته و حتی دوره های زمانی طولانی تر، قادر است اثر

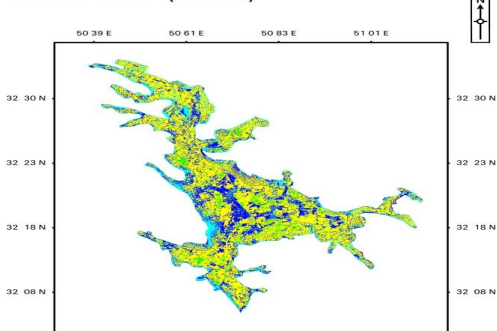
شده اند. نتایج نشان داد که در اولین و دومین تاریخ گذر مقدار ET محاسبه شده در پیکسل های معیار (سرد) به روش سبال (به ترتیب برابر با ۶/۹۷ و ۶/۷۷ میلی متر در روز) و به روش متریک (به ترتیب برابر با ۱۰/۲۷ و ۹/۳۱ میلی متر در روز) بود. برای مدل هارگریوز-سامانی (HS) به عنوان مدل مناسب منطقه (۶، ۸ و ۱۰) مقادیر ET در تاریخ های گذر به ترتیب برابر با ۸/۰ و ۷/۵ میلی متر در روز به دست آمد. مقادیر ET مربوط به مدل سبال در هر دو تاریخ گذر کمتر از مدل HS بود و برای مدل متریک در هر دو تاریخ گذر بیشتر از مدل HS به دست آمد، اما مشاهده شد که برآوردهای مدل سبال نسبت به برآوردهای مدل متریک، به نتایج مدل HS نزدیک تر و از اختلاف کمتری برخوردار بود (شکل ۴).

برآورد مقدار ET در مدل ASCE-stPM در هر دو تاریخ گذر بیشتر از ET مربوط به مدل های سبال و متریک بود که به عبارت بهتر مدل ASCE-stPM دارای بیش برآورد بود (جدول ۲ و ۳ و شکل ۴). برآوردهای ET به روش های F24P و F56PM و همین طور مدل F24BC نیز بیشتر از مدل های سبال و متریک بود. به مانند مطالعت پیشین (۴، ۵، ۶، ۸ و ۱۰) مدل هارگریوز-سامانی از صحت مناسب تری نسبت به سایر مدل های ریاضی برخوردار بود. در شکل (۴) صحت مناسب تر برآوردهای مدل سبال نسبت به مدل متریک در قیاس با داده های لایسیمتری (برای سبال برابر با ۶/۹۷ و ۶/۷۷، برای متریک برابر با ۱۰/۲۷ و

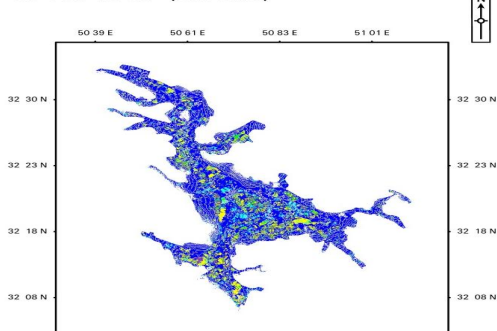


شکل ۶. تبخیر و تعرق نسبت به تعداد پیکسل (۱۰ مرداد)

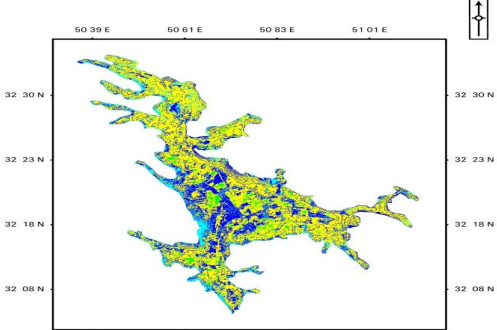
30 Jun 1999 (SEBAL)



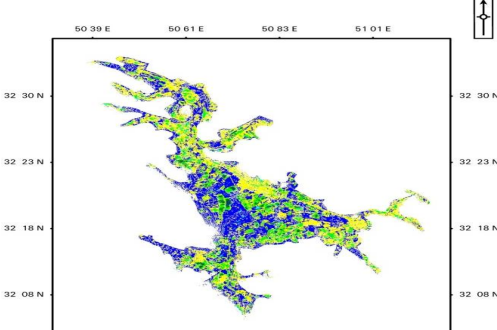
30 Jun 1999 (METRIC)



01 Aug 1999 (SEBAL)



01 Aug 1999 (METRIC)



شکل ۷. پهنه‌بندی تبخیر و تعرق در دشت شهرکرد به روش‌های سبال و متریک در هر دو تاریخ گذر

پیشتر اشاره شد این امر احتمالاً به دلیل مقادیر کمتر دمای هوا و سرعت باد در تاریخ ۱۰ مرداد و علی‌رغم تفاوت در روش محاسبه شار انرژی محسوس (H) به تغییرات کمتر در دامنه دو منحنی مدل‌های سبال و متریک منجر شد.

نتیجه‌گیری

مدل سبال و مدل مشتق شده از آن یعنی مدل متریک هر دو به‌عنوان ابزارهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای محاسبه تبخیر و تعرق از باقی‌مانده انرژی سطح پایه‌گذاری شدند. نتایج نشان داد که مقدار ET برآورد شده مربوط به پیکسل‌های سرد در مدل‌های سبال و متریک در تاریخ ۹ تیر ۱۳۷۸ (۳۰ ژوئن ۱۹۹۹) به ترتیب ۶/۹۷ و ۱۰/۲۷ میلی‌متر بر روز و برای ۱۰ مرداد ۱۳۷۸ (اول اوت ۱۹۹۹) به ترتیب برابر ۶/۷۷ و ۹/۳۱ میلی‌متر بر روز بود که این مقادیر با مقادیر تخمینی حاصل از مدل هارگریوز-سامانی که برای این دو تاریخ به ترتیب برابر با ۸/۰ و ۷/۵ میلی‌متر بر روز به دست آمد، بسیار نزدیک است و برآوردهائی نزدیک به ET مرجع ارائه داد. بنابراین در حله اول مدل سبال توصیه می‌شود و در صورتی که آمار و اطلاعات دقیق ساعتی از تبخیر و تعرق وجود داشته باشد، استفاده از مدل متریک پیشنهاد می‌گردد. به هر حال، فقدان و یا محدودیت در اطلاعات و آمار هواشناسی می‌تواند عامل اصلی و محدود کننده در استفاده از مدل متریک باشد.

حرکت افقی گرما در مناطق مورد بررسی را دخالت داده و لذا ET محاسبه شده فقط به شار تابش خالص وابسته نیست، بنابراین مقدار تبخیر و تعرق روزانه (۲۴ ساعته) در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند بیش از مقدار شار تابش خالص که در مدل سبال برآورد شده است، باشد (۱۵).

پهنه‌بندی مربوط به مدل‌های سبال و متریک در هر دو تاریخ گذر در شکل (۷) ارائه شده و به کمک اطلاعات موجود در جدول (۴) مشاهده می‌شود که در تاریخ اول گذر و در مدل سبال اگرچه کل تبخیر و تعرق در دشت شهرکرد کمتر از مدل متریک (۱۰۵۸/۵ در مقابل ۱۶۵۹/۸ میلی‌متر در روز) بالغ بر تفاوت ۶۰۱/۳ میلی‌متر در روز بود اما میانگین تبخیر و تعرق کل دشت برای مدل سبال تا حدودی بیشتر از مدل متریک (۳/۹۱۷ در برابر ۳/۲۵۲ میلی‌متر در روز) است.

از طرفی با عنایت به شکل (۶) دامنه کمتر تغییرات در مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده از مدل‌های سبال و متریک در دومین تاریخ گذر (انتگرال سطح زیر منحنی) حاکی از تفاوت کمتر بین برآورد این دو مدل بود و کل تبخیر و تعرق در دشت شهرکرد به‌طور مشابه کمتر از مدل متریک (۹۹۷/۳ در مقابل ۱۵۵۵/۹ میلی‌متر در روز) و مقدار تفاوت ۵۵۸/۶ میلی‌متر در روز) است. اما میانگین تبخیر و تعرق کل دشت برای مدل متریک تا حدودی بیشتر از مدل سبال (۴/۴۵۲ در برابر ۳/۹۶۱ میلی‌متر در روز) است. همچنان که

منابع مورد استفاده

۱. ارشد، ص. م.، مباشری، س. م.، مرید، م. آقا علیخانی و س. ارشد. ۱۳۸۷. پیش‌بینی خسارات ناشی از خشک‌سالی کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در اراضی دیم استان کرمانشاه. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه تبریز.
۲. پورمحمدی، س. م. ت. دستورانی، ع. مساح بوانی و ه. جعفری. ۲۰۱۵. استفاده از مدل سبال کوهستانی در تخمین تبخیر و تعرق واقعی حوزه های آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تویسرکان همدان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۲(۵): ۲۱-۱.
۳. ثنائی‌نژاد، س. ح.، س. نوری و س. م. هاشمی‌نیا. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مشهد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۳): ۵۴۷-۵۴۰.
۴. زارع‌ایبانه، ح. م. بیات ورکشی، الف. سبزی‌پور، ص. معروفی و ع. قاسمی. ۱۳۸۹. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۷۴: ۱۱۰-۹۵.

۵. سبزی‌پرور، ع.، الف. تفضلی، ح. زارع ابیانه، ح. ر. باقرنژاد، م. موسوی‌بایگی، م. غفوری، الف. محسنی موحد و ز. مریانجی. ۱۳۸۷. مقایسه چند مدل برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه‌خشک به منظور استفاده بهینه از مدل‌های تابش. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۲(۲): ۳۲۸-۳۴۰.
۶. گلستانی، س. و س. ح. طباطبائی. ۱۳۸۵. تعیین حداکثر و حداقل حجم تبخیر و تعرق پتانسیل در استان چهارمحال و بختیاری براساس دوره‌های ترسالی و خشکسالی. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد. شهرکرد. ۲۰۳۲ ص. ۱۴ تا ۱۵ شهریور ۱۳۸۵.
۷. محسنی ساروی، م.، ح. احمدی و ک. نصرتی. ۱۳۸۹. کاربرد مدل SEBAL در برآورد تبخیر و تعرق در حوضه آبخیز طالقان. اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا. مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی. دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۲۳ تا ۲۴ آبان ۱۳۸۹.
۸. مرشدی، ع. ۱۳۹۱. تخمین و پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در دشت شهرکرد. پایان‌نامه دکتری رشته خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران.
۹. مشتاق، ن.، ر. جعفری، س. سلطانی و ن. رمضانی. ۱۳۹۴. کاربرد مدل توازن انرژی و داده‌های ماهواره لندست سنجنده TM در تخمین تبخیر و تعرق. مجله علوم آب و خاک ۱۹(۷۳): ۲۱۸-۲۰۷.
۱۰. مهدوی، م. ۱۳۸۸. هیدرولوژی کاربردی. جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۴۲ ص.
۱۱. نورمهند، ن. و س. ح. طباطبائی. ۱۳۸۵. تعیین حجم تبخیر و تعرق در استان اصفهان در زمان‌های خشکسالی و ترسالی. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد. شهرکرد. ۲۰۳۲ ص. ۱۴ تا ۱۵ شهریور ۱۳۸۵.
12. Akbari, M., N. Toomanian, P. Droogers, W. Bastiaanssen and A. Gieske. 2007. Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran, using NOAA satellite imagery. *Agric. Water. Manage.* 88: 99-109.
13. Allen, R. G. 2006. REF-ET: Reference evapotranspiration calculation software for FAO and ASCE standardized equations. University of Idaho. USA.
14. Allen, R. G., A. Irmak, R. Trezza, J. M. H. Hendricks, W. G. M. Bastiaanssen and J. Kjaersgaard. 2011. Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. *Hydrol. Process.* 25: 4011-4027.
15. Allen, R. G., A. Morse, M. Tasumi, W. G. M. Bastiaanssen, W. Kramber and H. Anderson. 2011. Evapotranspiration from Landsat (SEBAL) for water rights management and compliance with multi-state water compacts. *IGARSS.* 2: 830-833.
16. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements, FAO Irri. Drain. Paper. 5627-5665.
17. Allen, R. G., M. Tasumi and A. Morse. 2005a. A. Satellite-based evapotranspiration by METRIC and Landsat for western states water management. Presented at the US Bureau of Reclamation Evapotranspiration Workshop, Ft. Collins, CO, USA.
18. Allen, R. G., M. Tasumi, A. Morse and R. Trezza. 2005b. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. *Irri. Drain. Sys.* 19: 251-268.
19. Allen, R. G., M. Tasumi and R. Trezza. 2005c. METRIC: mapping evapotranspiration at high resolution – applications manual for Landsat satellite imagery. University of Idaho. Kimberly.
20. Allen, R. G., M. Tasumi and R. Trezza. 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) model. *J. Irrig. Drain. Eng.* 133: 380-394.
21. ASCE-EWRI. 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Task Comm. Report, *In*: Allen, R. G., I. A. Walter, R. L. Elliott, T. A. Howell, D. Itenfisu, M. E. Jensen and R. L. (Eds.), *Am. Soc. Civil. Eng.* 69 p.
22. Bastiaanssen, W. G. M. 1995. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University. Wageningen. The Netherlands.
23. Bastiaanssen, W. G. M. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *J. Hydrol.* 229: 87-100.

24. Bastiaanssen, W. G. M., E. J. M. Noordman, H. Pelgrum, G. Davids, B. P. Thoreson and R. G. Allen. 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *ASCE J. Irrig. Drain. Eng.* 131: 85-93.
25. Bastiaanssen, W. G. M., M. Menenti, R. A. Feddes and A. A. M. Holtslag. 1998a. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *J. Hydrol.* 212-213. 198-212.
26. Bastiaanssen, W. G. M., H. Pelgrum, J. Wang, Y. Ma, J. F. Moreno, G. J. Roerink and W. T. van der. 1998b. A surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 2 validation. *J. Hydrol.* 212-213. 213-229.
27. Burman, R. D. and L. O. Pochop. 1994. Evaporation, evapotranspiration and climate data. *Develop. Atmos. Sci.* 22. Elsevier Science. Amsterdam. The Netherlands.
28. Dinpashoh, Y. 2006. Study of reference crop evapotranspiration in I. R. of Iran. *Agric. Water. Manage.* 84: 123-129.
29. Fooladmand, H. R. and A. R. Sepaskhah. 2005. Evaluation and calibration of three evapotranspiration equations in a semi-arid region. *Iran-Water Resour. Res.* 1(2): 123-128.
30. Sepaskhah, A. R. and F. Razzaghi. 2009. Evaluation of the adjusted Thornthwaite and Hargreaves- Samani methods for estimation of daily ET_0 in a semi-arid region of Iran. *Archiv. Agron. Soil Sci.* 55: 51-66.
31. Mokhtari, M. H. 2005. Agricultural drought impact using remote sensing. Ms.C. Diss. ITC. The Netherlands.
32. Morse, A., R. G. Allen, M. Tasumi, W. J. Kramber, R. Trezza and J. L. Wright. 2000. Final Report: Application of the SEBAL meteorology for estimating evapotranspiration and consumptive use of water through remote sensing. Idaho Department of Water Resources. University of Idaho, Department of Biological and Agricultural. 107p.
33. Waters, R., R. G. Allen, M. Tasumi, M. Trezza and W. G. M. Bastiaanssen. 2002. Surface energy balance algorithms for land, Advanced Training and User's Manual. NASA EOSDIS/Synergy grant from the Raytheon Company through. The Idaho Department of Water Resources.
34. United States Geological Surveys. 2016. Landsat Collections. <http://landsat.usgs.gov/collections.php>
35. Zhao-Liang, L., T. Ronglin, W. Zhengming, B. Yuyun, Z. Chenghu, T. Bohui, Y. Guangjian and Z. Xiaoyu. 2009. A review of current methodologies for regional evapotranspiration estimation from remotely sensed data. *Sensors.* 9: 3801-3853.

Estimation of Actual Evapotranspiration at Regional Scale using Remote sensing data in Shahrekord Plain (II) Comparing SEBAL and METRIC to Some Mathematical Models of Evapotranspiration

A. Morshedi^{1*}, M. Naderi², S. H. Tabatabaei³ and J. Mohammadi²

(Received: Sep. 06-2014; Accepted: Oct. 03-2016)

Abstract

This study was designed to investigate the possibility of using the surface energy balance algorithm for land (SEBAL) and mapping evapotranspiration at high resolution with internalized calibration (METRIC) models to estimate evapotranspiration (ET) in Shahrekord plain (Chaharmahal va Bakhtiari province, Iran). Two sets of Landsat ETM+ data dated June 30th and August 21st, 1999 were provided to estimate and compare reference evapotranspiration (alfalfa) at regional scale using Landsat ETM+ data to ET estimations by five mathematical methods (experimental and combined) known as standardized Penman-Monteith by American Society of Civil Engineers (ASCE-stPM), Penman-Monteith (F56PM), Blaney-Cridle (F24BC), Hargreaves-Samani (HS) and evaporation pan (F24P). Results showed that ET at cold anchor pixel for SEBAL were 6.97 and 6.77 millimeters per day and for METRIC were 10.27 and 9.31 millimeters per day, on days when the satellite passed over. Hargreaves-Samani ET values, as the suitable mathematical model for the studied area, were 8.0 and 7.5 millimeters per day, respectively, on two satellite passes. Results showed that, in the first pass all statistical indices for SEBAL were less than the second pass, maybe due to higher air temperature and wind speed. On the other way, statistical indices in METRIC on the alternate pass, however, showed higher values over the corresponding values in SEBAL. ET values on two satellite passes for anchor pixels were 5.65 and 5.93 mm/day in SEBAL, and 5.22 and 6.65 mm/day in METRIC, respectively. ET values on the same days of satellite overpass for Hargreaves – Samani (HS) were 8.0 and 7.5 mm/day. Consequently, based on the results, both RS-ET models were comparable to empirical models such as (HS). Generally, the results showed that SEBAL had higher accuracy than METRIC, presumably due to lack of accurate weather data (hourly data), so SEBAL is recommended in similar conditions. Generally, the results showed that SEBAL had higher accuracy in comparison to HS and lysimeters data than METRIC, so SEBAL is recommended in similar conditions.

Keywords: Evapotranspiration, Energy Balance, Empirical formulas, Landsat 7.

1. Dept. of Soil and Water Res., Chaharmahal and Bakhtiari Agric. and Natural Resour. Res. Center, AREEO, Shahrekord, Iran.

2. Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.

3. Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.

*: Corresponding Author, Email: a.morshedi@areeo.ac.ir