

بر آورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای به کمک داده‌های سنجش از دور در دشت شهر کرد

الف- 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^۴

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 مهندسی عمران آمریکا (ASCE-stPM)، پنمن-مانتیت به روش فائو ۵۶ (F56PM)، بلانی-کریدل (F24BC)، هارگریوز-سامانی (HS) و تشتک تبخیر (Pan) انجام شد. مقدار تبخیر و تعرق در تاریخ‌های ۹ تیر و ۳۰ مرداد (۱۳۷۸) برای پیکسل‌های معیار سرد در مدل SEBAL برابر با ۶/۹۷ و ۶/۷۷ میلی‌متر بر روز و در مدل METRIC برابر با ۱۰/۲۷ و ۹/۳۱ میلی‌متر بر روز به دست آمد. برای مدل ریاضی مناسب منطقه (هارگریوز-سامانی) مقادیری به ترتیب برابر با ۸/۰ و ۷/۵ میلی‌متر بر روز در تاریخ‌های گذر بدست آمد. بطور کلی نتایج نشان داد برآوردهای مدل SEBAL در مقایسه با برآوردهای مدل HS و داده‌های لایسمتری موجود از صحت بیشتری نسبت به مدل METRIC برخوردار و در شرایط مشابه قابل توصیه می‌باشد.

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

مقدمه

برای برآورد تبخیر و تعرق (Evapotranspiration, ET) از سطح مرجع به کمک آمار و داده‌های هواشناسی، معادله‌های تجربی و نیمه تجربی بسیاری معرفی شده است. از میان ۳۹۳ ایستگاه هواشناسی هم‌دید 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).

^۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، شهر کرد. a.morshedi@areeo.ac.ir

^۲- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهر کرد. khnaderi@yahoo.com

^۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهر کرد: Tabatabaei@agr.sku.ac.ir

^۴- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهر کرد. jahan.mohammad@gmail.com

* نویسنده مسئول: a.morshedi@areeo.ac.ir

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 آبروسل 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. اگرچه 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، اصطکاک 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).

سبزی پرور و همکاران (۵) در تحقیق خود ۴ مدل تبخیر و تعرق گیاه مرجع، یعنی جنسن-هیز اصلاح شده، جنسن-هیز، پنمن-مانتیت-فانو ۵۶، و پنمن-مانتیت-فانو با تابش ایروماکد را برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع روزانه چمن (ET_0) در اقلیم سرد و نیمه‌خشک مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که مدل جنسن-هیز در مقایسه با سایر مدل‌ها، مقدار ET_0 را با دقتی بهتر از مدل پنمن-مانتیت-فانو ۵۶ در اقلیم سرد نیمه‌خشک همدان برآورد می‌نماید. مطالعات فولادمنند و سپاسخواه (۲۹) 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-مانتیت کارآیی لازم را ندارد و تخمین کمتری را از واقعیت ارائه می‌کند. در عوض، به نظر می‌رسد که روش جنسن-هیز (در بعضی شرایط) کارآیی بهتری داشته باشد.

سپاسخواه و رزاقی (۳۰) 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. گلستانی و طباطبائی (۶) مقدار ET_0 را با استفاده از نرم‌افزار Ref-ET و بر اساس سه روش متداول بلینی-کریدل-فانو، پنمن-مانتیت-فانو و هارگریوز-سامانی تعیین نموده و نتیجه گرفتند که با توجه به اقلیم منطقه و استفاده رو به گسترش مدل‌هایی از قبیل پنمن-مانتیت به روش انجمن مهندسين عمران آمریکا (ASCE-PM) لازم است ضرایب این روش در مناطق مختلف استان چهارمحال و بختیاری و اسنجنی شود تا نتایج قابل قبولی از آن استخراج گردد. نورمهند و طباطبائی (۱۱) سه مدل بلینی-کریدل-فانو، پنمن-مانتیت-فانو 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. 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 سبال (*Surface Energy Balance Algorithm for Land, SEBAL*) و متریک (*Mapping Evapotranspiration at high Resolution with Internalized Calibration, METRIC*) تخمین مقدار ET و K_c (ضریب گیاهی) را در اراضی بزرگ و نواحی گسترده‌ی کشت (مقیاس منطقه‌ای) امکان‌پذیر می‌سازند (۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۲ و ۲۳). مدل SEBAL 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 SEBAL در پهنه‌بندی منطقه‌ای ET در سطوح دارای پیچیدگی‌های بیشتر (توپوگرافی متنوع)، آلن و همکاران (۱۷) دستاوردهای مدل SEBAL را گسترش داده و آن را مدل METRIC نامیدند. مدل‌های مزبور مقدار ET بر اساس داده‌های طیفی در محدوده مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی و برخی پارامترهای هواشناسی نظیر سرعت باد، دمای هوا، دمای نقطه شبنم و ساعات آفتابی تخمین می‌زند. 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 به جای ET پتانسیل، هزینه اندک و در نهایت بر پایه‌های استوار فیزیکی بنا شده‌اند (۳۵).

این مدل‌ها در ایران توسط ارشد و همکاران (۱) 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. محسنی ساروی و همکاران (۷) با کاربرد مدل SEBAL 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. ثنائی نژاد و همکاران (۳) با استفاده از تصاویر MODIS نتیجه گرفتند مدل SEBAL جهت برآورد تبخیر و تعرق در سطح منطقه (حوضه آبخیز مشهد) مناسب است. مشتاق و همکاران (۹) گزارش کردند که مقادیر ET در اراضی 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-مانتیث در ایستگاه هواشناسی همدید منطقه داران می‌باشد. پژوهش پورمحمدی و

همکاران (۲) نشان داد که الگوریتم توازن انرژی سبال، تبخیر و تعرق واقعی حوزه آبخیز تویسرکان را باصحت ۸۲ درصد برآورد نمود.

مختاری (۳۱) در حوضه آبخیز برخوار (شرق اصفهان) با استفاده از تصاویر ماهواره‌های MODIS و ASTER برای مقایسه مدل SEBAL با مدل پنمن-مانتیت انجام پذیرفت. این محقق گزارش کرد که تبخیر و تعرق کل برآورد شده از مدل SEBAL برای محصول چغندر قند 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 (۱۲) 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 SEBAL، اجزا بیلان انرژی را تعیین و تبخیر و تعرق واقعی را به دست آوردند.

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 SEBAL و METRIC به کمک 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 (شکل ۱)، واقع در استان چهارمحال و بختیاری بین عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی انجام گردید. 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).



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

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 (T_{max_daily} و T_{min_daily})، دمای تر و خشک هوا در لحظه گذر (T_{dry_inst} و T_{wet_inst})، دمای نقطه شبنم (T_{dew})، رطوبت نسبی هوا (RH)، سرعت باد (Wind Speed)، ساعات آفتابی (n/N)، فشار هوا (Air Pressure)، فشار بخار هوا (Air Vapor Pressure)، مقدار تبخیر از تشتک (Evaporation) و بارندگی (Precipitation) که از ایستگاه هواشناسی هم دید فرودگاه شهرکرد با فواصل زمانی ۳ ساعته تهیه و به روش ارائه شده توسط واترز و همکاران (۳۳) برای لحظه گذر ماهواره میان یابی شد. این 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 روش های ریاضی توسط نرم افزار REF-ET برای مدل های پنمن-مانیت استاندارد شده به روش انجمن مهندسين عمران امريكا (ASCE-stPM)، پنمن-مانیت به (F56PM)، بلانی-کریدل (F24BC)، هارگریوز-سامانی (HS) و تشتک تبخیر (F24P) انجام شد (۹، ۱۱ و ۲۱).

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

n/N	T_{min_daily}	T_{max_Daily}	RH	T_{dew}	Air Pressure	Wind Speed	T_{wet_inst}	T_{dry_inst}	ساعت	روز از سال	تاریخ گذر
	°C	°C	%	°C	mbar	m/s	°C	°C			
۰/۸۹۲	۱۲/۶	۳۳/۲	۱۳	-۲/۲	۷۹۶	۰/۰	۱۳/۸	۲۹/۰	۰۹:۳۰	۱۸۱	۹ تیر
			۶	-۹/۸	۷۹۴	۶/۱۷	۱۴/۰	۳۲/۲	۱۲:۳۰		(۳۰ ژوئن)
۰/۹۳۳	۱۱/۰	۳۲/۰	۱۶	-۱/۹	۷۹۶	۰/۰	۱۲/۸	۲۵/۶	۰۹:۳۰	۲۱۳	۱۰ مرداد
			۱۱	-۳/۲	۷۹۵	۲/۰۶	۱۴/۴	۳۰/۴	۱۲:۳۰		(۱ اوت)

داده های سنجنش از دور شامل دو تاریخ گذر ماهواره ی Landsat ETM+ مربوط به تاریخ های 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 LIT (Full Terrain) یا به عبارت بهتر با اصلاحات کامل رادیومتریک، هندسی و توپوگرافیکی از وبسایت آژانس ملی هوا-فضا بارگذاری شد (۳۴). قدرت تفکیک مکانی تصاویر مورد استفاده ۳۰ متر برای باندهای مرئی و مادون قرمز 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 (λET) 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 گرادیان 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 به صورت 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.

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

مقادیر روزانه تبخیر و تعرق (ET_{24}) در اغلب موارد مفیدتر از ET لحظه‌ای است. در مدل‌های SEBAL و METRIC مقدار ET_{24} 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 METRIC بایستی مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع یونجه در لحظه‌ی گذر ماهواره بدست آید. مدل پیش فرض برای محاسبه ET_r گیاه یونجه مدل پنمن - مانیتث استاندارد شده توسط انجمن مهندسی عمران امریکا (ASCE-stPM) است (۲۱).

تفاوت‌های اصلی بین مدل‌های METRIC و SEBAL به طور خلاصه عبارتند از: ۱- مدل METRIC فرض شار گرمای محسوس برابر با صفر ($LE_{wet} = R_n - G$ یا $H_{wet} = 0$) را برای پیکسل‌های سرد نمی‌پذیرد، به جای آن به طور 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 $1.05(ET_r)$ قرار دهد. به این منظور، ET_r به طور ساعتی (یا در فواصل زمانی کوتاهتر) از گیاهان یا بلند (مانند یونجه) با استفاده از معادله پنمن - مانیتث بر

اساس استاندارد ASCE محاسبه می‌نماید؛ ۲- پیکسل‌های سرد در مدل METRIC 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 بر اساس ET_F یونجه به جای جزء حقیقی تبخیر به دست می‌آید. طبق تعریف ET_F نسبت ET لحظه‌ای (ET_i) به مرجع (ET_r) است که بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی در زمان گذر ماهواره به دست آمد (۱۷). در اجرای تحقیق از نرم‌افزارهای ERDAS 2014، Ref-ET و Excel 2016 به ترتیب برای پردازش تصاویر و مدل‌سازی، محاسبه تبخیر و تعرق در مدل‌های ریاضی و تهیه شکل‌ها استفاده شد.

به منظور تعیین و انتخاب پیکسل‌های معیار سرد و گرم برای پردازش تصاویر از ضریب بازتاب سطح (surface albedo- α)، شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)، 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 (۱۷)، باستیانسن (۲۳) و مرشدی (۸) مراجعه شود.

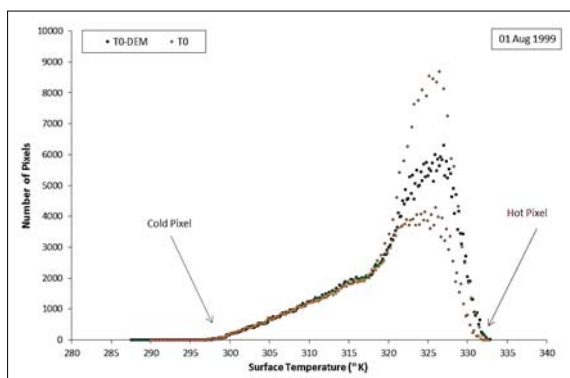
نتایج و بحث

جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که در اولین تاریخ گذر برابر با ۹ تیر ۱۳۷۸ (۳۰ ژوئن ۱۹۹۹) دمای حداکثر و حداقل هوا و به خصوص 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 مدل‌هایی که عامل باد را در نظر میگیرند (مانند مدل‌های ASCE-stPM، F56PM و F24BC) در تاریخ‌های فوق‌الذکر متفاوت و از مقدار بیشتری در اولین تاریخ گذر نسبت به دومین تاریخ برخوردار بود (جدول ۲).

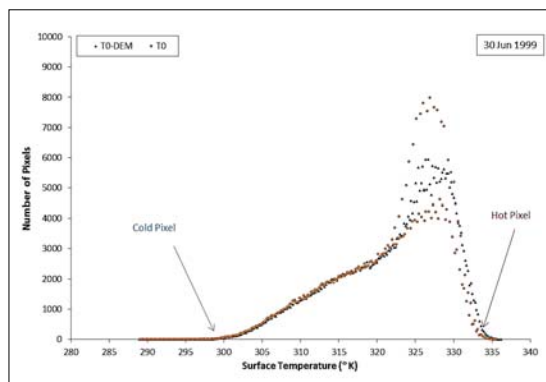
جدول ۲- برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل توسط مدل‌های ریاضی

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

بر اساس پژوهش‌های انجام شده برای گزینش پیکسل‌های سرد و گرم از انتخاب سردترین و گرم‌ترین پیکسل‌ها اجتناب شد (شکل‌های ۲ و ۳)، چون به خطای سیستماتیک می‌انجامد (۳۲). شکل‌های ۲ و ۳ رابطه‌ی بین دمای رادیومتریک سطح متأثر از دخالت دادن مدل رقمی ارتفاع (T₀-DEM) در هر پیکسل نسبت به تعداد پیکسل در آن دمای خاص را نشان می‌دهد.



شکل ۳- رابطه‌ی بین دمای رادیومتریکی سطح و تعداد پیکسل در دومین تاریخ گذر



شکل ۴- رابطه‌ی بین دمای رادیومتریکی سطح و تعداد پیکسل در اولین تاریخ گذر

جدول شماره ۳ نتایج برآورد ET از دو مدل SEBAL و METRIC را نشان می‌دهد. با توجه به مشابهت در محاسبه شار انرژی تابش خالص (R_n) و شار گرمای خاک (G_n) در هر دو مدل ولی تفاوت در نحوه محاسبه مقدار شار گرمای محسوس (H) منجر به بروز تفاوت در مقادیر شار گرمای نهان تبخیر (ET) و در نهایت مقادیر ET گردید. به عبارتی مقدار ET در مدل SEBAL برابر با ۶/۹۷ و ۶/۷۷ میلی‌متر بر روز و برای مدل METRIC برابر با ۱۰/۲۷ و ۹/۳۱ میلی‌متر بر روز در اولین و دومین تاریخ‌های گذر ماهواره در پیکسل‌های سرد (مزرعه یونجه استاندارد) بدست آمد.

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

SEBAL mm/d	METRIC mm/d	تاریخ گذر
۶/۹۷	۱۰/۲۷	۹ تیر
۶/۷۷	۹/۳۱	۱۰ مرداد

بر اساس نتایج به دست آمده در اولین تاریخ گذر (۹ تیر) از شاخص‌های آماری مانند میانگین، حداکثر، حداقل، دامنه و انحراف معیار برای تبخیر و تعرق در مدل SEBAL، مقادیر کمتری نسبت به دومین تاریخ گذر (۱۰ مرداد) بدست 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_{0m}) و مقاومت آئروپونامیکی برای انتقال گرما (r_{ah}) که متأثر از دمای هوا، دمای رادیومتریکی سطح و سرعت باد می‌باشند، تأثیر گذارد و بالطبع بر محاسبه H و در نهایت بر مقدار تبخیر و تعرق در اولین تاریخ گذر تأثیر بیشتری داشت.

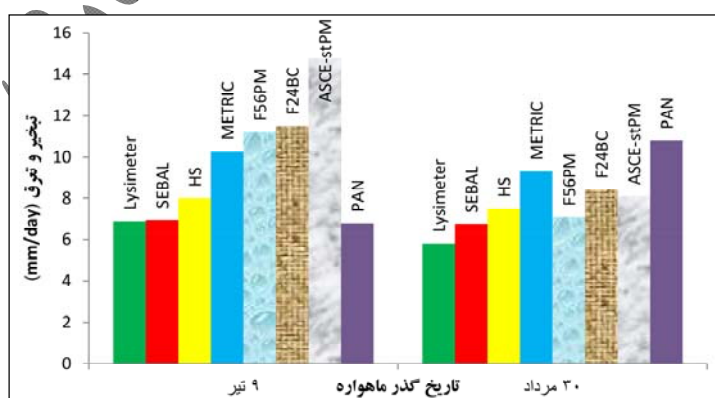
از سوی دیگر در دومین تاریخ گذر و در مدل METRIC مقادیر بیشتری از شاخص‌های آماری نسبت به مقادیر متناظر در مدل SEBAL مشاهده شد (جدول ۴). به طور مثال، کل تبخیر و تعرق محاسبه شده (کل دشت) به روش SEBAL در اولین تاریخ گذر

ماهواره (۹ تیر ۱۳۷۸) برابر با ۱۰۵۸/۵ میلی‌متر بر روز و برای مدل METRIC برابر با ۱۶۵۹/۸ میلی‌متر بر روز بود ولی در تاریخ ۱۰ مرداد ۱۳۷۸ همین شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۹۹۷/۳ و ۱۵۵۵/۹ میلی‌متر بر روز بدست آمد. در تاریخ ۹ تیر میانگین تبخیر و تعرق در کل دشت شهر کرد برابر با ۳/۹۱۷ و ۳/۲۵۲ میلی‌متر بر روز به ترتیب برای مدل‌های SEBAL و METRIC و در تاریخ ۱۰ مرداد برابر با ۳/۹۶۱ و ۴/۴۵۲ میلی‌متر بر روز بدست آمد.

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

تاریخ گذر	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

مقادیر تبخیر و تعرق در پیکسل‌های سرد در هر دو تاریخ گذر به منظور مقایسه با مدل‌های ریاضی برآورد ET در شکل ۴ نمایه شده‌اند. نتایج نشان داد که در اولین و دومین تاریخ گذر مقدار ET محاسبه شده در پیکسل‌های معیار (سرد) به روش SEBAL (به ترتیب برابر با ۶/۹۷ و ۶/۷۷ میلی‌متر در روز) و به روش METRIC (به ترتیب برابر با ۱۰/۲۷ و ۹/۳۱ میلی‌متر در روز) بود. برای مدل هارگریوز-سامانی (HS) به عنوان مدل مناسب منطقه (۶، ۸ و ۱۰) مقادیر ET در تاریخ‌های گذر به ترتیب برابر با ۸/۰ و ۷/۵ میلی‌متر در روز بدست آمد. مقادیر ET مربوط به مدل SEBAL در هر دو تاریخ گذر کمتر از مدل HS بود و برای مدل METRIC در هر دو تاریخ گذر بیشتر از مدل HS بدست آمد، اما مشاهده شد که برآوردهای مدل SEBAL نسبت به برآوردهای مدل METRIC، به نتایج مدل HS نزدیک‌تر و از اختلاف کمتری برخوردار بود (شکل ۴).

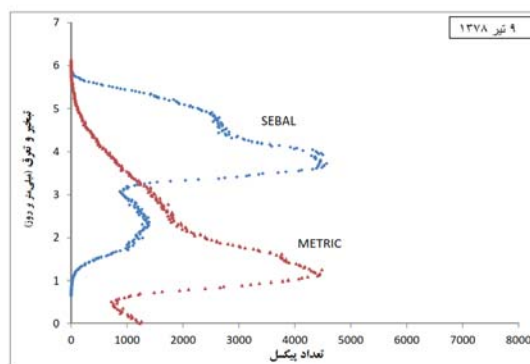
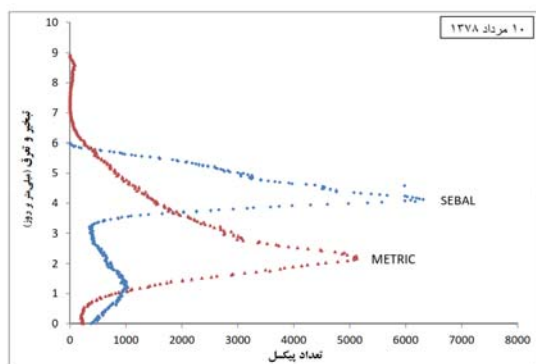


شکل ۴- مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده در مدل‌های SEBAL و METRIC با برخی مدل‌های ریاضی

برآورد مقدار ET در مدل ASCE-stPM در هر دو تاریخ گذر بیشتر از ET مربوط به مدل‌های SEBAL و METRIC بود که بع عبارت بهتر مدل ASCE-stPM دارای بیش برآورد بود (جدول ۲ و ۳ و شکل ۴). برآوردهای ET به روش‌های F56PM و F24P

همینطور مدل F24BC نیز بیشتر از مدل‌های SEBAL و METRIC بود. به مانند مطالعت پیشین (۴، ۵، ۶، ۸ و ۱۰) مدل هارگریوز-سامانی از صحت مناسب‌تری نسبت به سایر مدل‌های ریاضی برخوردار بود. در شکل ۴ صحت مناسب‌تر برآوردهای مدل SEBAL نسبت به مدل METRIC در قیاس با داده‌های لایسمتری (برای SEBAL برابر با ۶/۹۷ و ۶/۷۷، برای METRIC برابر با ۱۰/۲۷ و ۹/۳۱ و برای لایسمتر ۶/۹ و ۵/۸ میلی‌متر بر روز) و در هر دو تاریخ گذر مشهود است.

با نگاهی دقیق‌تر به مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته (ET₂₄) از مدل‌های SEBAL و METRIC در هر پیکسل (جدول ۳ و شکل‌های ۵ و ۶) مشاهده می‌شود تبخیر و تعرق هر پیکسل در مدل METRIC در هر دو تاریخ گذر از دامنه و سطح زیر منحنی (مقدار تبخیر و تعرق کل دشت) وسیع‌تری نسبت به مدل مقادیر متناظر در SEBAL برخوردار است. از مقایسه منحنی‌های مربوط به مدل‌های SEBAL و METRIC در دو تاریخ گذر مشاهده می‌شود که احتمالاً تفاوت در نحوه‌ی محاسبه‌ی جز تبخیر، مؤثر بر عدم انطباق منحنی‌های دو مدل بود. منحنی مربوط به تغییرات ET مدل METRIC در تاریخ اول اوت (۱۰ مرداد) گسترده‌تر از مدل SEBAL است. با توجه به داده‌های هواشناسی (جدول ۱) که دمای هوا و سرعت باد در تاریخ ۹ تیر بیشتر از ۱۰ مرداد بود، دامنه وسیع‌تر منحنی مدل METRIC احتمالاً به دلیل تاثیر پذیری بیشتر این مدل از داده‌های هواشناسی (لزوم داده‌های دقیق‌تر به صورت ساعتی) و تفاوت در روش محاسبه شار انرژی محسوس (H) می‌باشد.



شکل ۵- مقادیر تبخیر و تعرق نسبت به تعداد پیکسل (۹ تیر) شکل ۶- تبخیر و تعرق نسبت به تعداد پیکسل (۱۰ مرداد)

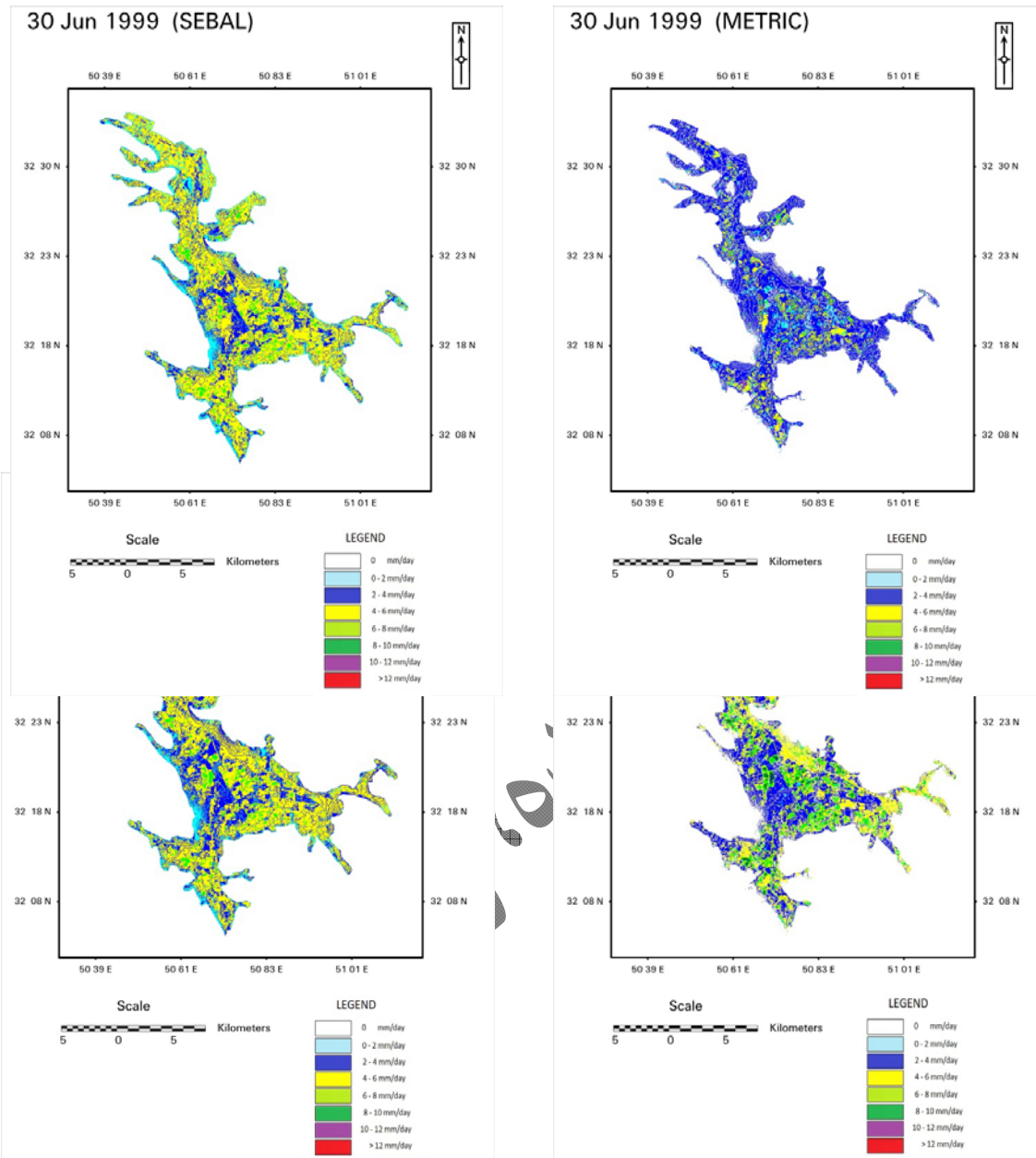
به عقیده آلن و همکاران (۱۵) استفاده از تبخیر و تعرق مرجع یونجه در مدل METRIC برای تبدیل تبخیر و تعرق لحظه‌ای به تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته و حتی دوره‌های زمانی طولانی‌تر، قادر است اثر حرکت افقی گرما (advection) در مناطق مورد بررسی را دخالت داده و لذا ET محاسبه شده فقط به شار تابش خالص وابسته نیست، بنابراین مقدار تبخیر و تعرق روزانه (۲۴ ساعته) در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند بیش از مقدار شار تابش خالص که در مدل SEBAL برآورد شده است، باشد.

پهنه‌بندی مربوط به مدل‌های SEBAL و METRIC 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 SEBAL اگرچه کل تبخیر و تعرق در دشت شهر کرد کمتر از مدل METRIC (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 SEBAL تا حدودی بیشتر از مدل METRIC (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 SEBAL و METRIC 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 شهر کرد به روش SEBAL به طور مشابه کمتر از مدل METRIC (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 METRIC تا حدودی بیشتر از مدل SEBAL (۴/۴۵۲ در برابر ۳/۹۶۱ میلی‌متر در روز) است. همچنان که بیشتر 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 SEBAL و METRIC منجر شد.

نتیجه‌گیری

مدل SEBAL و مدل مشتق شده از آن یعنی مدل METRIC هر دو به عنوان 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 SEBAL و METRIC 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 بدست آمد، بسیار نزدیک است و برآوردهائی نزدیک به ET مرجع ارائه داد. بنابراین در وحله اول مدل SEBAL 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 محدودکننده در استفاده از مدل METRIC باشد.



شکل ۷- پهنه‌بندی تبخیر و تعرق در دشت شهر کرد به روش‌های SEBAL و METRIC در هر دو تاریخ گذر

منابع

۱. ارشد، ص.، م. مباشری، س. 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 حوزه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تویسرکان همدان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۲(۵): ۲۱-۱.

۳. ثنائی نژاد، س. ح.، س. نوری و س. م. هاشمی نیا. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مشهد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۵، شماره ۳. ص ۵۴۷-۵۴۰.
۴. زارع ایبانه، ح. م. بیات ورکشی، ع. ا. سبزی پرور، ص. معروفی و ع. قاسمی. ۱۳۸۹. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، ص ۹۵-۱۱۰.
۵. سبزی پرور، ع. ا.، ا. تفضلی، ح. زارع ایبانه، ح. ر. باقرنژاد، م. موسوی بایگی، م. غفوری، ا. محسنی موحد و ز. مریانجی. ۱۳۸۷. مقایسه چند مدل برآورد تبخیر - تعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه خشک 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 بر اساس دوره‌های ترسالی و خشکسالی. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد. شهرکرد. ۲۰۳۲ ص.
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.
۸. مرشدی، ع. ۱۳۹۱. تخمین و پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور در دشت شهرکرد. پایان‌نامه‌ی دکتری رشته‌ی خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران.
۹. مشتاق، ن. ر. جعفری، س. سلطانی و ن. رضائی. ۱۳۹۴. کاربرد مدل توازن انرژی و داده‌های ماهواره لندست سنجنده TM در تخمین تبخیر و تعرق. مجله علوم آب و خاک. ۱۹(۷۳): ۲۰۷-۲۱۸.
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.
12. Akbari, M., N. Toomanian, P. Droogers, W. Bastiaanssen and A. Gieske. 2007. Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran, using NOAA satellite imagery. *Agricultural water management*, 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. Bastiaanssen and J. Kjaersgaard. 2011. Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. *Hydrological Processes*. 25,4011-4027.
15. Allen, R.G., A. Morse, M. Tasumi, W. 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 Irrigation and Drainage Paper 5627-65.
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. *Irrig. 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. E.* 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) American Society of Civil Engineers, 69 p. ASCE Bookstore, ISBN: 078440805, Stock Number 40805; 216.
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. E.* 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. *Developments in atmospheric science*, Vol. 22, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
28. Dinpashoh, Y. 2006. Study of reference crop evapotranspiration in I.R. of Iran. *Agricultural Water Management*. 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 Resources Research*. 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. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 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. 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

I - Comparing SEBAL and METRIC to some mathematical models of Evapotranspiration

A. Morshedi^{1*}, M. Naderi¹, S.H. Tabatabaei¹, and J. Mohammadi¹

¹. Assistant Professor, Department of Soil and Water Research. Agricultural and Natural Resources Center of Shahrekord, Shahrekord, Iran. a.morshedi@areeo.ac.ir.

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 on Jun 30th and Aug. 1st, 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 first pass all statistical indices for SEBAL were less than in 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 that 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 same days of satellite overpass for Hargreaves – Samani (HS) were 8.0 and 7.5 mm/day. Consequently, based on 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 the 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 datas than METRIC, so SEBAL is recommended in similar conditions.

Keywords: Evapotranspiration, Energy balance, Empirical formulas, Landsat 7

¹. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran khnaderi@yahoo.com.

². Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Tabatabaei@agr.sku.ac.ir

³. Full Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. jahan.mohammad@ymail.com.

* Corresponding author: a.morshedi@areeo.ac.ir.