

برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده استر و مدل متریک

جواد امیدوار^۱ کامران داوری^۲، صالح ارشد^۳، محمد موسوی بایگی^۴، مرتضی اکبری^۵، علیرضا فرید حسینی^۶

چکیده

در این تحقیق کارایی یک روش نسبتاً جدید به نام متریک^۷ در برآورد تبخیر و تعرق واقعی بر روی سه محدوده کشاورزی واقع در مجاورت ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد، گل‌مکان و قوچان مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام این کار از تصاویر سنجنده استر^۸ استفاده شد. به دست آوردن تبخیر و تعرق در وضوح بالا (قدرت تفکیک مکانی بالا) با کالیبراسیون داخلی^۹، یک مدل پردازش تصویر ماهواره ای برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی به صورت باقیمانده معادله بیلان انرژی سطحی است. اساس مدل متریک بر فرآیند بیلان انرژی سبال^{۱۰}، که اولین بار توسط باستیانسن ارائه شده، استوار می‌باشد. روش متریک با استفاده از تبخیر و تعرق مرجع (مبتنی بر داده‌های زمینی) کالیبره می‌شود، تا خطای محاسباتی معمول در روش‌های بیلان انرژی مبتنی بر سنجش از دور را کاهش دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، حداکثر میزان تبخیر و تعرق واقعی برای سه محدوده کشاورزی گل‌مکان، مشهد و قوچان به ترتیب برابر با ۹/۱۳، ۷/۲۹ و ۲/۳۷ میلی متر در روز به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که مدل توازن انرژی متریک از مدل های مناسب جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس محلی می‌باشد.

کلمات کلیدی: بیلان انرژی، تبخیر و تعرق واقعی، سنجش از دور و مدل متریک

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، omidvar.ja@gmail.com
۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، k.davary@gmail.com
۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، sarshadir@yahoo.com
۴. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، mousavi500@yahoo.com
۵. مربی گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، M_Akbari@um.ac.ir
۶. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، تلفن تماس: ۰۹۱۵۵۱۷۶۴۵۴، afaridh@yahoo.com

⁷ METRIC

⁸ ASTER

⁹ Mapping EvapoTranspiration at high Resolution with Internalized Calibration

¹⁰ Surface Energy Balance Algorithms for Land

مقدمه

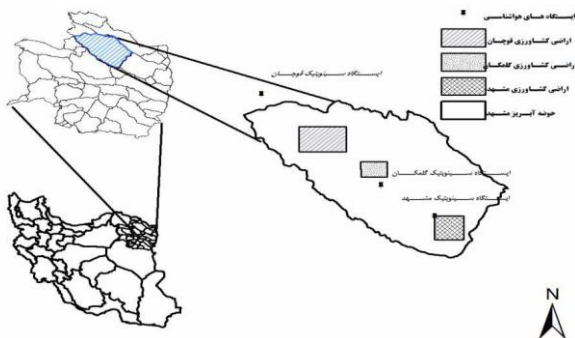
طی فرآیند تبخیر و تعرق (ET) حجم بالایی از آب خاک سطحی به صورت تبخیر و آب خاک زیر سطحی از طریق پوشش گیاهی و به صورت تعرق به اتمسفر انتقال داده می‌شود. پایش مستمر مقدار مصرف آب برای پروژه های آبیاری از نقطه نظر مدیریت حقایق، برنامه ریزی آبیاری، افزایش بهره‌وری آب، و تنظیم بیلان هیدرولوژیکی آب حوضه مهم می‌باشد. بعلاوه، تفاوت های بین ET واقعی و پتانسیل، به عنوان یک شاخص کمبود آب، در قدرت تفکیک مکانی بالا در بسیاری از کاربردها از جمله: کشاورزی و منابع آب مورد توجه است. همچنین، رطوبت خاک (قابل برآورد به کمک تبخیر و تعرق واقعی) یک ورودی با ارزش برای مدل‌های بارش- رواناب می‌باشد.

تبخیر و تعرق در زمین‌های کشاورزی با استفاده از ET مرجع مبتنی بر داده های هواشناسی و ضریب گیاهی محصول (K_c) که مطابق با نوع محصول و مرحله رشد می‌باشد برآورد می‌گردد. در این میان، برخی از سؤالات وجود دارند نظیر اینکه آیا شرایط واقعی رشد و پوشش گیاهی با مقادیر ایده‌آل شده K_c تطابق دارد؟ مخصوصاً در مناطقی که با کمبود آب و تنش مواجه هستند؟ از طرفی، برآورد صحیح مراحل رشد محصول، برای تعداد زیادی محصول و زمین (در محدوده یک دشت بزرگ) دشوار است. مدل متریک یک مدل پردازش تصویر ماهواره ای برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی (ET_{act}) متناظر با باقیمانده بیلان انرژی سطحی است. این مدل اصول و تکنیک هایی دارد که عمده آن‌ها در مدل سبال نیز بکار می‌رود، گر چه تفاوت‌های نیز با یکدیگر دارند. سبال یک مدل بیلان انرژی است که در هلند توسط باستیانس و همکاران (۱۹۹۸) ارائه گردید و در سر تا سر دنیا توسط باستیانس و همکاران و محققین دیگری نیز بکار رفت. (Bastiaanssen, ۱۹۹۵)، (Bastiaanssen et al, ۱۹۹۸ a)، (Bastiaanssen, ۲۰۰۰)، (Bastiaanssen, ۱۹۹۸b)، (Bastiaanssen et al, ۲۰۰۵). مدل متریک به منظور فراهم کردن برآورد های نسبتاً صحیح‌تر ET در وضوح بالاتر (~۳۰ m) در مقایسه با مدل‌های کلی تر و محاسبه نمودن اثرات حرکت افقی توده هوای منطقه ای ایجاد شده است. مدل متریک برخی مزایای عمده ای نسبت به روش های قدیمی بیلان انرژی ماهواره ای دارد.

از این نظر که کالیبراسیون آن با استفاده ET مرجع نسبت به جزء تبخیر بوده و استفاده از ET مرجع برای برون یابی ET لحظه‌ای برای دوره های ۲۴ ساعته و جبران اثرات حرکت افقی توده هوای منطقه ای توسط عدم اتصال کسر تبخیر به تابش خالص است. زیرا ET از تابش خالص روزانه در بسیاری از محل های خشک و نیمه خشک می‌تواند بیشتر باشد. مزیت دیگر، منحنی ضریب محصول می‌باشد از این نظر که در روش متریک به آگاهی از مراحل رشد محصول و نوع محصول نیاز نیست. از طرفی با استفاده از مدل بیلان انرژی متریک می‌توان ET حاصل از کمبود آب را شناسایی نمود. مولفه ابتکاری متریک این است که در مدل سازی بیلان انرژی از گرادیان دمای نزدیک سطح زمین dT استفاده می‌شود، که شاخصی برای دمای سطحی رادیومتر است. این کار نیاز به کالیبراسیون دمای سطحی مطلق را که یک مانع مهم اصلی در برآورد ET با ماهواره است، حذف می‌نماید. در مدل متریک کالیبراسیون محاسبه گرمای محسوس با استفاده از گرادیان دما، نیاز به تصحیحات جوی دمای سطح (T_s) و اندازه گیری ضریب آلیبدو را با استفاده از مدل‌های انتقال تابشی حذف می‌شود. همچنین کالیبراسیون داخلی، اثرات آریبی‌ها^{۱۱} در برآورد تصحیحات پایداری آنرودینامیک و زبری سطح را کاهش می‌دهد. در این مدل، استفاده از ET مرجع مبتنی بر داده‌های هواشناسی برای ایجاد شرایط بیلان انرژی در یک پیکسل (سرد) از مدل سبال متمایز می‌گردد (a, ۱۹۹۸, Bastiaanssen). این مسئله از مزایای عمده مدل متریک در برآورد ET واقعی در مناطق کشاورزی می‌باشد و منجر به برآورد مقادیر ET واقعی مبتنی بر داده‌های ماهواره می‌شود. در این مدل بیلان انرژی مبتنی بر ماهواره با کالیبراسیون داخلی در دو شرایط آستانه (خشک و مرطوب) با استفاده از داده‌های هواشناسی موجود محلی کالیبره می‌شود. کالیبراسیون خودکار برای هر تصویر با استفاده از یک ET مرجع یونجه (ET_r) که از اطلاعات ساعتی آب و هوا محاسبه شده است، انجام می‌شود. آلن و همکاران (۲۰۰۵) طی تحقیقی در منطقه کیمبرلی آیداهو به ارزیابی مدل متریک با داده های لایسیمتری پرداخته و تفاوت بین مقادیر مدل متریک و داده های

¹¹Bias

شد. تصویر مربوط به اراضی کشاورزی در محدوده ایستگاه هواشناسی مشهد مربوط به تاریخ ۱۳۸۰/۴/۲ (ساعت ۱۰:۵۷ صبح)، تصویر مربوط به اراضی کشاورزی در محدوده ایستگاه هواشناسی گلکان مربوط به تاریخ ۱۳۸۰/۵/۱۲ (ساعت ۱۰:۵۷ صبح)، و تصویر مربوط به اراضی کشاورزی در محدوده ایستگاه هواشناسی قوچان مربوط به تاریخ ۱۳۸۰/۸/۱۶ (ساعت ۱۰:۴۰ صبح) می باشد که از سازمان منابع طبیعی استان خراسان رضوی تهیه گردیده است.



شکل (۱): موقعیت مناطق مورد مطالعه

۲-۱- مبانی نظری

اساس نظری و محاسباتی مدل متریک توسط ریچارد آلن و همکاران در سال ۲۰۰۷ شرح داده شده است (Allen et al, ۲۰۰۷). به طور کلی در مدل متریک ET از تصاویر ماهواره ای با یکارگیری یک بیلان انرژی در سطح تعیین می شود. جایی که انرژی مصرف شده توسط جریان ET به عنوان یک باقی مانده از معادله انرژی سطحی محاسبه می شود:

$$LE = R_n - G - H \quad (1)$$

در معادله (۱)، LE شار گرمای نهان، R_n شار تابش خالص (مجموع تمام تابش موج کوتاه و بلند ورودی و خروجی در سطح زمین)، G شار گرمای خاک و H شار گرمای محسوس می باشد. پارامترها در معادله (۱) برحسب وات بر متر مربع بیان می شوند. یک مزیت استفاده از بیلان انرژی این است که ET واقعی سریع تر نسبت به ET بالقوه (براساس مقدار پوشش گیاهی) محاسبه می شود. بطوری که کاهش ET که حاصل کمبود رطوبت خاک می باشد، به دست می آید. از معایب روش بیلان انرژی این است که محاسبه LE تنها با استفاده از

لایسیمتر برای ET محصول چغندر قند طی فصل رشد را کمتر از ۴ درصد به دست آوردند. همچنین در تحقیقی دیگر توسط آلن و همکاران (۲۰۰۵ و ۲۰۰۷b) با به کار بردن الگوریتم متریک و مقایسه با مقادیر لایسیمتری، میزان خطا در برآورد تبخیر و تعرق چمن و چغندر قند به ترتیب ۴ و ۱ درصد، برای فصل رشد، به دست آمد. چاوز و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از تصاویر لندست و به کارگیری مدل متریک به ارزیابی مقادیر ET روزانه با داده های لایسیمتری پرداخته که میزان خطا در آن کمتر از ۱۵ درصد به دست آمد. تاسومی و همکاران (۲۰۰۵) تفاوت بین مقادیر تبخیر و تعرق ساعتی، با استفاده از مدل متریک و داده های لایسیمتری، برای محصولات سیب زمینی، چغندر قند، نخود فرنگی و یونجه به ترتیب برابر به ۰/۰۶، - ۰/۰۲، ۰ و ۰/۰۵ - میلی متر در ساعت بدست آوردند. فالز و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و مدل توازن انرژی متریک مقادیر تبخیر و تعرق را در برزیل محاسبه نمودند. نتایج نشان داد که مدل متریک می تواند به منظور برآورد مصرف آب و بهبود مدیریت آب در نواحی نیمه خشک و تحت آبیاری شمال شرق برزیل به کار رود.

به دلیل نبود لایسیمتر و برج های اندازه گیری شارهای سطحی در مناطق مورد مطالعه، به منظور ارزیابی روش موجود برآورد تبخیر و تعرق واقعی مبتنی بر تکنیک سنجش از دور، امکان صحت سنجی نتایج به دست آمده از الگوریتم متریک فراهم نبود. در این مقاله سعی بر این شده تا اساس و الگوریتم اجرایی این مدل ارائه و امکان کاربرد آن در مناطق مشهد، گلکان و قوچان مورد بررسی قرار گیرد.

۱- مواد و روش ها

۱-۱- منطقه مورد مطالعه و داده های مورد

استفاده

محدوده مورد مطالعه شامل اراضی کشاورزی اطراف ایستگاه های هواشناسی سینوپتیک مشهد، گلکان و قوچان بوده که به ترتیب واقع در $16^{\circ} 36'$ عرض شمالی، $38^{\circ} 59'$ طول شرقی؛ $29^{\circ} 36'$ عرض شمالی، $17^{\circ} 59'$ طول شرقی و $11^{\circ} 37'$ عرض شمالی، $54^{\circ} 58'$ طول شرقی می باشند. در این تحقیق از تصاویر سنجنده استر مستقر بر روی ماهواره ترا استفاده

معادله (۳) در آیداهو، کالیفرنیا و نیومکزیکو بکار رفته است. معادلات ۳ و ۴، G اندازه گیری شده را نزدیک کیمبرلی آیداهو (۲۰۰۳) نسبتاً صحیح پیش بینی کرده اند و نسبت G/R_n را برای خاک های کشاورزی نمایش می دهند. اگر خاک دارای مقدار زیادی ترک خوردگی با پوسته ورقه ورقه شده باشد استفاده از این روش نامناسب می باشد. معادله ۳ نشان می دهد که G/R_n با افزایش آلبیدو افزایش می یابد و با افزایش پوشش گیاهی کاهش می یابد (بخاطر سایه بر تاج پوشش گیاهی). معادله (۴a) نشان می دهد که G/R_n با افزایش سطح برگ کاهش می یابد. معادله (۴b) نشان می دهد که برای خاک بدون پوشش، G نسبت به دمای سطح افزایش می یابد. در برخی کاربردهای متریک برای خاک های مناطق صحرایی که رسانایی حرارتی نزدیک سطح ممکن است کمتر از خاک های زراعی باشد بخاطر ترک ها، پوسته ورقه ورقه شده، فقدان ساختار یا درصد رطوبت پایین خاک G/R_n از معادله (۴b) محدود شده است و حتی دمای سطحی بیشتر از دمای سطحی پیکسل گرم کاهش می یابد.

۱-۲-۳- شار گرمای محسوس

متریک اساساً در چگونگی کالیبراسیون تابع H برای هر تصویر خاص ماهواره ای از کاربردهای قبلی سبال متفاوت است. در متریک و سبال H از یک تابع آیرودینامیک تخمین زده می شود:

$$H = \frac{\rho \cdot C_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad (5)$$

که در آن ρ چگالی هوا (kg/m^3)، C_p گرمای ویژه هوا در فشار ثابت (1004 J/kg/K)، dT اختلاف دمای بین دو ارتفاع (Z_2 و Z_1) بر حسب درجهی کلویین و r_{ah} مقاومت آیرودینامیکی بین دو ارتفاع سطح نزدیک برای انتقال گرما (s/m) می باشد. در مدل متریک r_{ah} از سرعت برون یابی شده در ارتفاع خمش در بالای سطح زمین (معمولاً 200m - 100m) محاسبه می شود و تابع مونین ابوخوف (L)، برای تعریف شرایط پایداری اتمسفر طی فرآیند تکرار استفاده می شود (Allen, 1996). برای به دست آوردن پارامتر dt بخاطر دشوار بودن برآورد صحیح دمای سطحی از ماهواره از معادله (۶) استفاده می شود. بعلاوه T_s اندازه گیری شده توسط ماهواره می تواند از دمای

مجموع R_n ، G و H صورت می گیرد. مدل متریک سعی می کند تا بر این عیب با تمرکز بر کالیبراسیون داخلی نه بر LE بلکه بر H ، بر همه میانگین برآورد خطاها و اریبی ها فایق آید. در مدل متریک، R_n با استفاده از باند های انعکاسی و دمای سطحی محاسبه شده از باندهای حرارتی محاسبه می شود. G از R_n ، دمای سطحی و شاخص های گیاهی محاسبه می شود و H نیز از برآورد دامنه دمای سطحی، زبری سطح و سرعت باد با استفاده از تصحیحات ارضمیدس انجام می شود.

۱-۲-۱- تابش خالص

شار تابش خالص واقعی در سطح R_n معرف انرژی تابشی در سطحی است که به G ، H و LE جزء بندی می شود. شار تابش خالص با استفاده از موازنه شارهای تابشی خروجی و ورودی محاسبه می شود:

$$R_n = (1 - \alpha)R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (2)$$

که R_s تابش طول موج کوتاه ورودی (Wm^{-2})، α آلبیدوی سطحی (بدون بعد)، $R_{L\uparrow}$ تابش طول موج بلند خروجی (Wm^{-2})، $R_{L\downarrow}$ تابش طول موج بلند ورودی (Wm^{-2}) و ϵ_0 گسیلمندی حرارتی سطحی باند پهن (بدون بعد) است. عبارت $(1 - \epsilon_0)$ معرف کسری از تابش طول موج بلند ورودی است که از سطح منعکس می شود.

۱-۲-۲- شار گرمای خاک G

شار گرمای خاک، میزان ذخیره گرما در خاک و پوشش گیاهی به علت رسانش است. در کاربرد های عام متریک، G به صورت نسبت G/R_n با استفاده از یک معادله تجربی توسط باستیانسن (۲۰۰۰) محاسبه می شود که مقادیر نزدیک نیمروز را نمایش می دهد:

$$\frac{G}{R_n} = (T_s - 273.15)(0.0038 + 0.0074\alpha)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (3)$$

که T_s دمای سطحی (K) و α آلبیدوی سطحی می باشد. سپس G توسط حاصلضرب G/R_n در R_n محاسبه می شود. تاسومی (Tasumi, 2003) روش دیگری برای محاسبه شار گرمای خاک در مدل متریک پیشنهاد کرد که معادله آن به صورت زیر می باشد:

$$\frac{G}{R_n} = 0.05 + 0.18e^{-0.521LAI} \quad LAI \geq 0.5 \quad (4a)$$

$$\frac{G}{R_n} = 1.8(T_s - 273.15)/R_n + 0.084 \quad LAI < 0.5 \quad (4b)$$

ایستگاه هواشناسی و با استفاده از روش پنمن-مانتیت فائو ۵۶ محاسبه گردید.

$$ET_r F = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (10)$$

۱-۲-۵- تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته

به طور کلی مقادیر تبخیر و تعرق روزانه کاربردی تر از تبخیر و تعرق لحظه ای هستند که از تصاویر ماهواره‌ای استنتاج می شود. در مدل متریک تبخیر و تعرق روزانه با این فرض که ET_{TrF} لحظه ای در زمان تصویر مشابه با میانگین ET_{TrF} در میانگین ۲۴ ساعته است، برآورد می شود:

$$ET_{24} = ET_r F \times ET_r_{-24} \quad (11)$$

۲- نتایج و بحث

برای برآورد تابش خالص (طبق معادله ی ۲)، پارامترهایی شامل تابش طول موج کوتاه ورودی، آلبیدوی سطحی، تابش طول موج بلند خروجی، تابش طول موج بلند ورودی و گسیلمندی حرارتی سطحی باند پهن محاسبه گردید. مقادیر آلبیدوی سطحی، پوشش گیاهی، دمای سطحی و تابش خالص سنجنده‌ی استر برای محدوده اراضی کشاورزی واقع در مجاورت ایستگاه سینوپتیک قوچان در شکل های ۲ تا ۵ ارائه شده است.

آیرودینامیکی استنتاج شود که فرایند انتقال گرما را تا چندین درجه به عقب می نشاند (Kustas et al., ۱۹۹۴).

$$dT = a + bT_{Sdatum} \quad (6)$$

a و b ثابت های تعیین شده بطور تجربی برای یک تصویر مشخص ماهواره ای است که برای تعیین این ضرایب، مدل متریک از پیکسل های آستانه که برآورد مقدار H در آنها امکان پذیر باشد، به عنوان شرایط حدی استفاده می کند. دمای سطحی بر اساس ارتفاع هر پیکسل تصویر (T_{Sdatum}) با استفاده از یک مدل رقومی ارتفاع و میزان کاهش دما است.

$$T_{Sdatum} = T_s + 0.0065 \times \Delta z \quad (7)$$

که T_s برابر با دمای سطحی اندازه گیری شده توسط ماهواره و Δz برابر با ارتفاع هر پیکسل منهای ارتفاع از سطح مبنا (بر حسب متر) می باشد. که معمولاً ارتفاع سطح مبنا برابر با ارتفاع ایستگاه هواشناسی در نظر گرفته می شود. مدل متریک از دو پیکسل شاخص تحت عنوان پیکسل های سرد و گرم برای مشخص کردن شرایط مرزی در معادله بیلان انرژی استفاده می کند. پیکسل سرد از مزارع با پوشش گیاهی کامل و کاملاً آبیاری شده و پیکسل گرم از اراضی بدون پوشش و خشک انتخاب می شود.

۱-۲-۴- تبخیر و تعرق واقعی لحظه ای

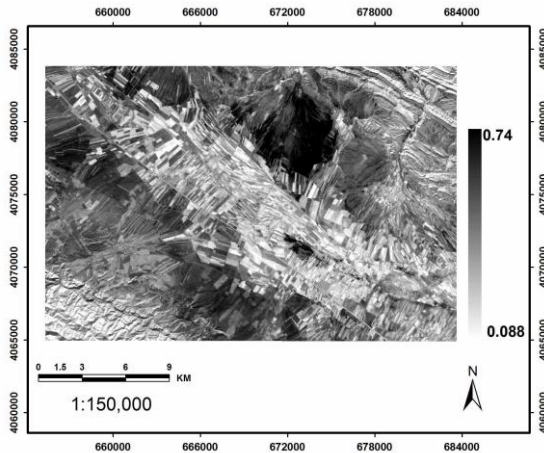
تبخیر و تعرق واقعی در لحظه تصویر برای هر پیکسل توسط تقسیم LE از معادله (۱) بر گرمای نهان تبخیر محاسبه می شود:

$$ET_{inst} = 3600 \frac{LE}{\lambda \rho_w} \quad (8)$$

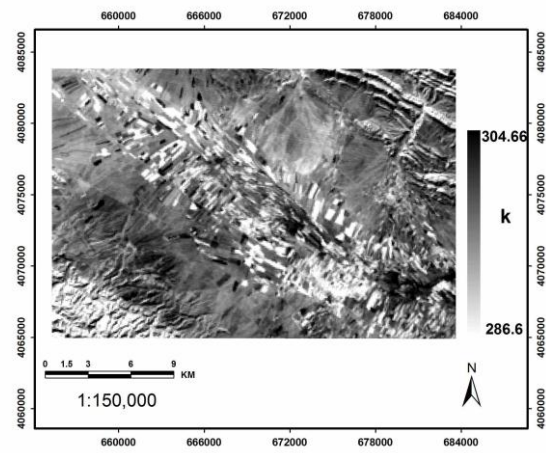
ET_{inst} تبخیر و تعرق لحظه‌ای (mm/hr)، λ گرمای نهان بخار آب یا میزان گرمای جذب شده هنگامی که یک کیلوگرم آب بخار می شود (J/kg)، ρ_w چگالی آب (kg/m^3) و عدد ۳۶۰۰ ضریب تبدیل زمان از ثانیه به ساعت می باشد λ گرمای نهان بخار از معادله زیر به دست می آید:

$$\lambda = (2.501 - 0.00236(T_s - 273.15)) \times 10^6 \quad (9)$$

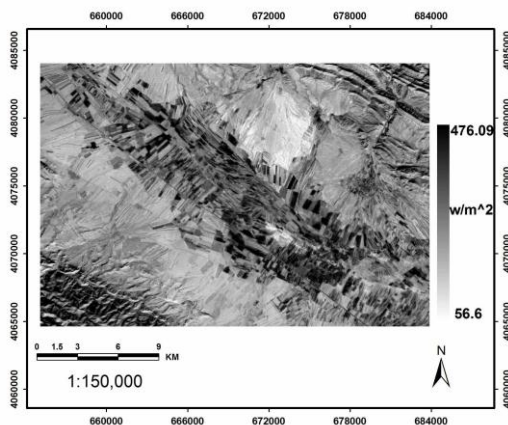
کسر تبخیر و تعرق مرجع (ET_{TrF}) به صورت نسبت تبخیر و تعرق لحظه ای (ET_{inst}) محاسبه شده از هر پیکسل به تبخیر و تعرق مرجع (ET_r) محاسبه شده از اطلاعات هواشناسی مقدار ET_r بر اساس داده های



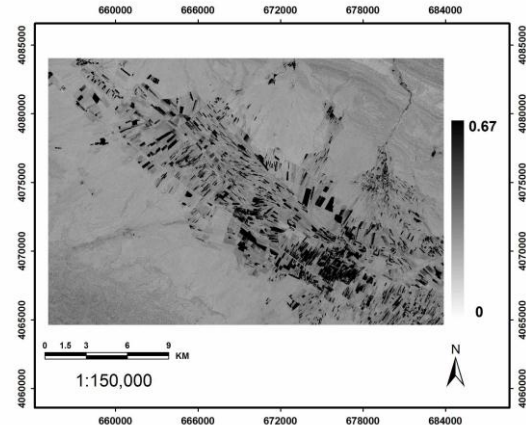
شکل (۳): مقادیر آلبیدوی سطحی واقع در محدوده اراضی کشاورزی ایستگاه سینوپتیک قوچان



شکل (۲): دمای سطحی (K) واقع در محدوده اراضی کشاورزی ایستگاه سینوپتیک قوچان



شکل (۵): مقادیر شار تابش خالص (Wm^{-2}) واقع در محدوده اراضی کشاورزی ایستگاه سینوپتیک قوچان



شکل (۴): مقادیر پوشش گیاهی (NDVI) واقع در محدوده اراضی کشاورزی ایستگاه سینوپتیک قوچان

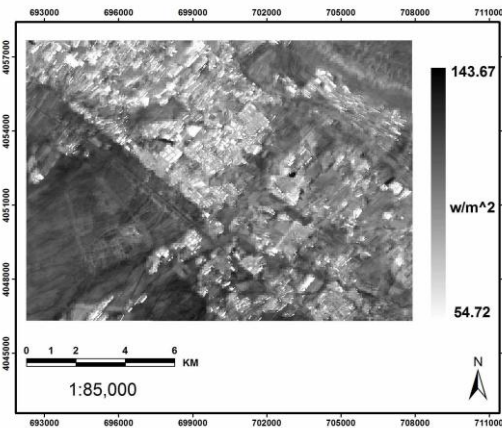
گردیده و در نتیجه کاهش دما را در این نواحی شاهد هستیم.

به دلیل مشکل بودن برآورد مستقیم مقادیر G ، مقدار این پارامتر با استفاده از معادلات (۴a) و (۴b) و به صورت نسبت G/R_n محاسبه گردید و سپس با استفاده از مقادیر تابش خالص محاسبه شده، مقدار G به دست آمد. بسیاری از مطالعات نشان داده است که نسبت G/R_n در نیمه روز با استفاده از شاخص های گیاهی اندازه گیری شده توسط ماهواره از قبیل LAI با دقت بالا قابل پیش بینی است. البته این شیوه در نواحی با تاج پوشش کم فاقد اعتبار است. علت آن را می توان بدین صورت توضیح داد که اگر خاک فاقد گیاه و خشک باشد مقدار اعظم

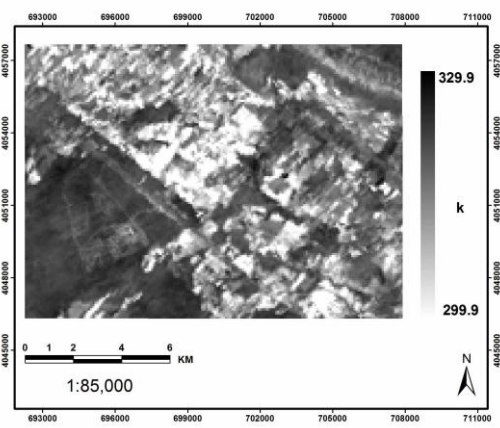
شار تابش خالص در واقع مقدار انرژی در دسترس می باشد که صرف گرم کردن هوا، خاک و همچنین فرآیند تبخیر و تعرق می شود. مقدار شار تابش خالص از توازن مؤلفه های طول موج کوتاه و بلند تابش ورودی و خروجی به دست می آید و مقدار آن به پوشش و جنس زمین در هر منطقه بستگی دارد. همانطور که در شکل های بالا دیده می شود مناطق کشاورزی با مقدار پوشش گیاهی بالا دارای مقادیر نسبتاً کمتر آلبیدو و دما می باشند و شار تابش خالص در این مناطق مقدار قابل توجهی دارد. این امر نشان می دهد بخش اعظم انرژی در دسترس در این مناطق صرف فرآیند تبخیر و تعرق

شده و بنابراین انتقال گرما داخل خاک قسمت مهمتری از تابش خالص را در بر می گیرد. مطالب ذکر شده در شکل های ۶ و ۷ برای محدوده اراضی کشاورزی واقع در مجاورت ایستگاه سینوپتیک گلکان به خوبی قابل مشاهده می باشد.

انرژی صرف گرم کردن خاک شده و دمای سطحی افزایش می یابد. از آنجا که مقدار شار گرمای خاک تابعی از دمای سطحی می باشد با افزایش دمای سطحی خاک، تفاوت بین دمای خاک سطحی و زیر سطحی افزایش می یابد که این امر سبب افزایش مقدار شار گرمای خاک



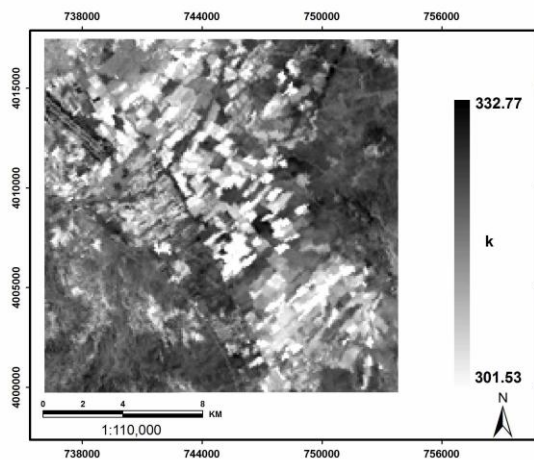
شکل (۷): مقادیر شار گرمای خاک (Wm^{-2}) واقع در محدوده اراضی کشاورزی ایستگاه سینوپتیک گلکان



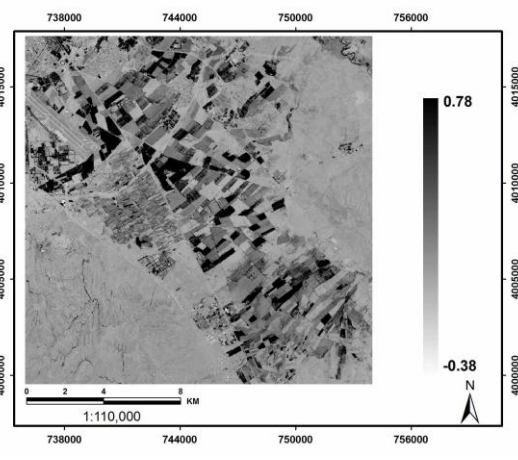
شکل (۶): مقادیر دمای سطحی (k) واقع در محدوده اراضی کشاورزی ایستگاه سینوپتیک گلکان

دمای سطح زمین و اختلاف دمای سطح صادق نیست، لذا تنها در مناطق کشاورزی می توان روی مقدار گرمای محسوس بحث نمود. دمای سطحی، پوشش گیاهی و شار گرمای محسوس برای محدوده اراضی کشاورزی واقع در مجاورت ایستگاه سینوپتیک مشهد در شکل های ۸ تا ۱۰ مشاهده می شود.

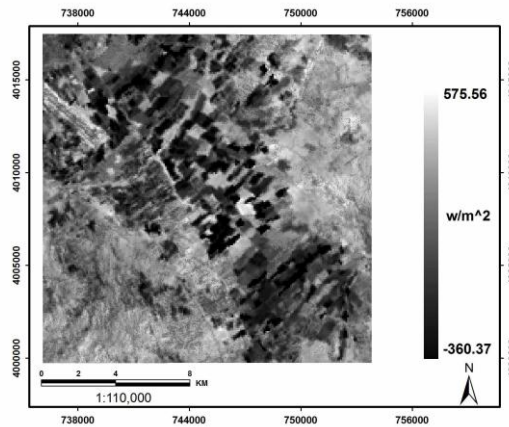
برآورد شار گرمای محسوس نیز به پارامترهای زیادی نیاز دارد که برخی از آنها از اطلاعات تصاویر ماهواره ای و برخی دیگر داده های هواشناسی می باشند. شار گرمای محسوس به میزان پوشش گیاهی بستگی دارد. به دلیل اینکه در نقاطی غیر از مناطق کشاورزی رابطه ی خطی



شکل (۹): مقادیر دمای سطحی (K) واقع در محدوده اراضی کشاورزی ایستگاه سینوپتیک مش



شکل (۸): مقادیر شاخص پوشش گیاهی واقع در اراضی کشاورزی ایستگاه سینوپتیک مشهد



شکل (۱۰): مقادیر شار گرمای محسوس (Wm^{-2}) واقع در محدوده اراضی کشاورزی ایستگاه سینوپتیک مشهد

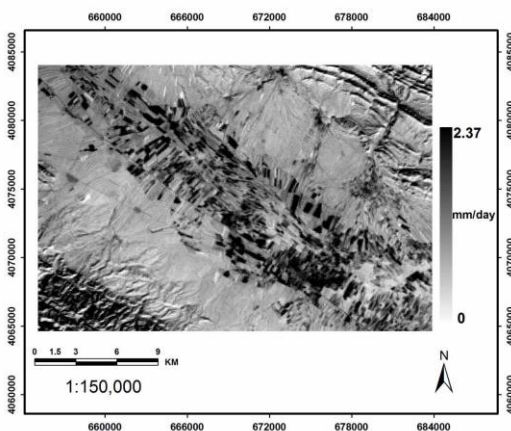
سطحی آنها بیشتر است مقدار بیشتری دارد و این شامل مناطق با پوشش گیاهی اندک می‌شود در جدول ۱ مقادیر ثابت های تجربی a و b برای محدوده مورد مطالعه ارائه شده است.

همانطور که در اشکال ۸ و ۱۰ مشخص است، با زیاد شدن پوشش گیاهی، از مقدار گرمای محسوس کاسته می‌شود. علاوه بر آن به دلیل خطی بودن اختلاف دمای سطح و شار گرمای محسوس، این شار در مناطقی که دمای

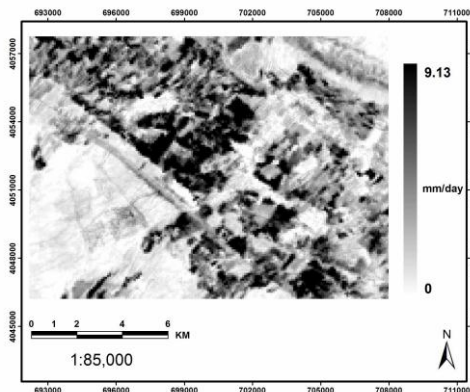
جدول (۱): ثابت های تجربی a و b برای محدوده مورد مطالعه

محدوده کشاورزی	ثابت a	ثابت b
گلمکان	۰/۸۶	-۲۶۹/۵
مشهد	۰/۴۴	-۱۳۸/۶۸
قوچان	۰/۶۲	-۱۸۰/۸۶

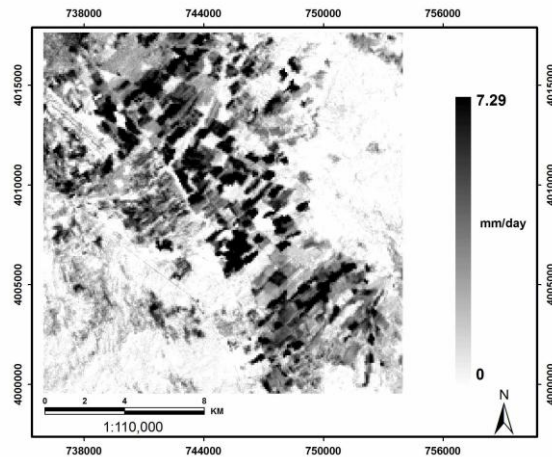
مقادیر تبخیر و تعرق روزانه از کم شدن شار گرمای محسوس و شار گرمای خاک از شار تابش خالص به دست می‌آید.



شکل (۱۲): مقادیر تبخیر و تعرق واقعی روزانه (mm/day) واقع در محدوده اراضی کشاورزی ایستگاه سینوپتیک قوچان



شکل (۱۱): مقادیر تبخیر و تعرق واقعی روزانه (mm/day) واقع در محدوده اراضی کشاورزی ایستگاه سینوپتیک گلمکان



شکل (۱۳): مقادیر تبخیر و تعرق واقعی روزانه (mm/day) واقع در محدوده اراضی کشاورزی ایستگاه سینوپتیک مشهد

ارائه شده در این شکل ها به تفاوت در زمان تصاویر ماهواره ای اخذ شده مربوط می شود، که بنوبه خود شامل تفاوت در پوشش گیاهی و تفاوت در تبخیر و تعرق مرجع می گردد. در جدول ۲ مقادیر از تبخیر و تعرق برای مزارع آبیاری شده در سه محدوده مورد مطالعه ارائه شده است.

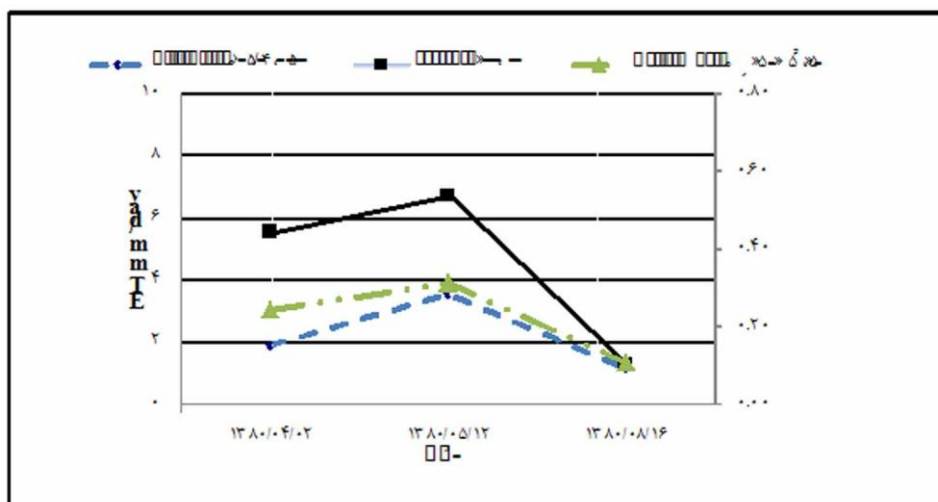
در شکل های ۱۱ تا ۱۳ مقادیر تبخیر و تعرق واقعی به دست آمده از معادله توازن انرژی متریک در سه منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. همان طور که در این تصاویر دیده می شود، حداکثر مقدار تبخیر و تعرق در نواحی کشاورزی قرار دارد. تفاوت در مقادیر تبخیر و تعرق

جدول (۲): مقادیر تبخیر و تعرق برای نواحی کشاورزی در مناطق مورد مطالعه

محدوده کشاورزی	ماکزیمم تبخیر و تعرق (mm/day)	میانگین تبخیر و تعرق (mm/day)	انحراف معیار تبخیر و تعرق
گلمکان	۹/۱۳	۳/۵۲	۱/۷
مشهد	۷/۲۹	۱/۸۹	۱/۱۷
قوچان	۲/۳۷	۱/۱۴	۰/۱۸

میانگین پوشش گیاهی در روزهای تصاویر، مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به آنچه که در شکل ۱۲ آمده مشاهده می گردد در روزهایی که مقدار تبخیر و تعرق مرجع افزایش داشته مقدار تبخیر و تعرق واقعی هم افزایش را نشان داده است. از آنجا که مقدار تبخیر و تعرق واقعی به آب در دسترس و پوشش گیاهی بستگی دارد انتظار می رود که روند نمودار تبخیر و تعرق واقعی در مناطق مورد مطالعه از این دو عامل پیروی نماید.

به دلیل نبود لایسیمتر و برج های اندازه گیری شارهای سطحی در مناطق مورد مطالعه، به منظور ارزیابی روش موجود برآورد تبخیر و تعرق واقعی مبتنی بر تکنیک سنجش از دور، امکان صحت سنجی نتایج به دست آمده از الگوریتم متریک فراهم نبوده و از آنجا که هدف این پژوهش امکان سنجی برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از مدل متریک در منطقه بود، مقادیر میانگین تبخیر و تعرق واقعی به دست آمده با مقادیر تبخیر و تعرق مرجع و



شکل (۱۴): مقدار میانگین تبخیر و تعرق واقعی، تبخیر و تعرق مرجع و مقدار میانگین پوشش گیاهی در روزهای مورد مطالعه (در مناطق کشاورزی)

نتیجه گیری و پیشنهادات

استفاده از تصاویر ماهواره ای جهت محاسبه تبخیر و تعرق، دارای کاربردهای گوناگونی از جمله بررسی کارایی آب در اراضی کشاورزی، بررسی بیلان حوضه و مدیریت توسعه آبیاری است. مدل متریک از اطلاعات تصاویر دیجیتال جمع آوری شده به وسیله سنجنده استر و دیگر سنجنده‌ها (دارای تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا) که تابش مادون قرمز حرارتی، تابش مرئی و تابش مادون قرمز نزدیک را از سطح زمین ثبت می کنند، استفاده می کند. در این پژوهش سعی شد تا مقادیر تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از مدل توازن انرژی متریک و به صورت پیکسل به پیکسل در زمان اخذ تصویر ماهواره ای و برای هر تصویر محاسبه شود. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشانگر آن است که استفاده از تصاویر ماهواره ای و الگوریتم متریک ابزار مناسبی جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی بوده و نتایج به دست آمده می تواند مبنای تصمیمات برنامه ریزی و مدیریت قرار گیرد. مواردی که جهت انجام مطالعات آتی پیشنهاد می گردد در ادامه ارائه شده است.

- کالیبره کردن مدل متریک برای هر منطقه: از آنجا که برخی از ضرایب مورد استفاده در الگوریتم متریک متناسب با منطقه ای است که در آن ایجاد شده است. لذا جهت استفاده در منطقه جدید جهت حصول نتایج دقیق تر نیاز به کالیبره کردن الگوریتم مذکور می باشد.
- تأسیس امکاناتی از جمله لایسیمتر و برج های اندازه گیری شارهای سطحی، به منظور ارزیابی روش های موجود برآورد تبخیر و تعرق واقعی مبتنی بر تکنیک سنجنش از دور در منطقه
- استفاده از داده های هواشناسی ساعتی و حتی الامکان بازه های زمانی کوتاهتر
- به منظور بهبود قدرت تفکیک زمانی نقشه های تبخیر و تعرق حاصل از تصاویر ماهواره ای سنجنده استر (۱۶ روز)، پیشنهاد می شود از تصاویر سنجنده هایی با بازه زمانی کوتاه تر مانند مودیس و روش های ریز مقیاس کردن^{۱۲} استفاده شود.

منابع

1. Allen, R. G. 1996. "Assessing integrity of weather data for use in reference evapotranspiration estimation." J. Irrig. Drain. Eng., 122-2-,97-106.
2. 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, 2005, Ft. Collins
3. Allen, R.G., Tasumi, M., Morse. A, Trezza , R. 2005. "Satellite-Based Evapotranspiration by Energy Balance for Western States Water Management".
4. Allen, R.G., Tasumi, M., Morse. A, Trezza , R.Wright, J.L., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Lorite-Torres, I., Robison, C.W . 2007b. "Satellite based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-applications". ASCE J Irrig Drain Eng 133(4):395-406.
5. Allen, R. G., Tasumi, M., and Trezza, R. 2007. "Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) Model." J. Irrig. Drain. Eng., 133-4- 380-394.
6. Bastiaanssen, W. G. M. 1995. "Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach clear skies in Mediterranean climates."
7. Bastiaanssen, W. G. M. 1998a. "Remote sensing in water resources management: The state of the art." International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
8. Bastiaanssen, W. G. M. 1998b. "The surface energy balance algorithm for land _SEBAL_. 2: Validation." J. Hydrol., 212-213, 213-229.
9. Bastiaanssen, W. G. M. 2000. "SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey." J. Hydrol., 229, 87-100.
10. Bastiaanssen, W. G. M. et al. 2005. "SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions." J. Irrig. Drain. Eng., 131-1, 85-93.
11. Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., and Holtslag, A. A.M. 1998. "A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation." J. Hydrol., 212-213, 198-212.
12. Chavez, J.L., Gowda, PH., Evett, S.R., Colaizzi, P.D., Howell, T.A., Marek, T. 2007."An application of METRIC for ET mapping in the Texas high plains". December 9-11, 2007, Irrigation Association CD-ROM, San Diego, pp 268-283
13. Folhes, M.T., Renno, C.D., Soares, J.V. 2009." Remote sensing for irrigation water management in the semi-arid Northeast of Brazil". Agricultural Water Management 96 (2009) 1398-1408.
14. Kustas, W. P., et al. 1994. "Surface energy balance estimates at local and regional scales using optical remote sensing from an aircraft platform and atmospheric data collected over semiarid rangelands." Water Resour. Res., 30-5, 1241-1259.
15. Tasumi, M., Allen, R.G., Trezza, R. 2005. "Operational aspects of satellite-based energy balance models for irrigated crops in the semi-arid U.S". Irrigation and Drainage Systems (2005) 19: 355-376.
16. Tasumi, M. 2003. "Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery." Ph.D. dissertation, Univ of Idaho, Moscow, Id.

Estimation of Evapotranspiration Actual Using Sensor Aster and Model Metric

J. Omidvar, K. Davari, S. Arshad, M. Mosavi Baygi, M. Akbari, A. Farid hosseini

Abstract

In this study, a performance relatively new technique called the metric for estimating evapotranspiration actual (ET_{act}) on Three agricultural area located in the vicinity of synoptic stations Mashhad, Quchan and Golmkan has been studied. The purpose of satellite images Aster is used. Mapping evapotranspiration at high resolution with internalized calibration (METRIC) is a satellite-based image-processing model for calculating evapotranspiration (ET) as a residual of the surface energy balance. METRIC uses as its foundation the pioneering SEBAL energy balance process developed in The by Bastiaanssen. The surface energy balance is internally calibrated using ground-based reference ET to reduce computational biases inherent to remote sensing-based energy balance. According to the results, the maximum amount of evapotranspiration actual for the three ranges reserved Golmkan, Mashhad and Quchan **9/13**, **7/29** and **2/37**mm per day respectively. The results shows the model of energy balance metric for estimating evapotranspiration actual is the local scale suitable.

Keywords: Energy Balance, Evapotranspiration, METRIC ,Remote Sensing.