برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره Terra سنجندهMODISدر منطقه عمومی گرگان

محمدرضا مباشری[1]، حسن خاوریان[2]، پرویز ضیائیان[3]، غلامعلی کمالی[4]

چکیده

برآورد تبخیروتعرق در مواردی از قبیل برنامه‌ریزی آبیاری، تعیین تبخیر مخازن آب، محاسبات بیلان آب، تخمین رواناب و مطالعات اقلیم شناسی ضروری است. تبخیر و تعرق را می توان بصورت کاملاً دقیق با استفاده از اندازه گیریهای میدانی تعیین نمود. با اینحال، این روشها تنها مقادیر تبخیر و تعرق را برای نواحی محدود از لحاظ وسعت مکانی بدست می آورند. این محدودیت باعث توسعه استفاده از داده های سنجش از دور جهت ارزیابی تبخیر و تعرق روی نواحی وسیع شده است. در این تحقیق با استفاده از تصاویر MODIS و الگوریتم سبال، مقدار تبخیر و تعرق برای ناحیه مزرعه نمونه ارتش واقع در استان گلستان در دو تاریخ ۵ مه و ۷ ژوئن سال ۲۰۰۳ میلادی مطابق با ۱۵ اردیبهشت و ۱۷ خرداد سال ۱۳۸۲ برآورد گردید. یکی از پارامترهای موثر در دقت سبال، آلبیدوی سطحی است که در این تحقیق با استفاده از دو روش، یکی استفاده از باندهای ۱ و ۲ (روش قدیمی) و دیگری استفاده از باندهای ۱ تا ۵ و ۷ (روش نوین) تصویر MODIS محاسبه شد. مقایسه نتایج حاصله با مقادیر موجود در متون مختلف نشان می دهد اولا برآورد آلبیدوی سطحی با استفاده از روش نوین دارای دقت بیشتری بوده و ثانیا دقت خروجی های حاصل از سبال در حدی است که بتوان با انجام تحقیقات تفصیلی بعدی، به نتایج قابل قبول دست یافت.

کلمات کلیدی: سنجش از دور، تبخیر و تعرق، سبال، شارهای گرمایی سطحی، Terra/MODIS .گرگان

[1]استادیار گروه مهندسی سنجش ازدور دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسیmobasheri@kntu.ac.ir

[2]کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS از دانشگاه تربیت مدرس

[3]استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

[4]استادیار پژوهشگاه هواشناسی سازمان هواشناسی کشور

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

۱- مقدمه

ترکیب دو فرآیند جداگانه یکی تبخیر و دیگری تعرق پوشش‌های گیاهی مجموعاً، تبخیر و تعرق (ET)[1] را تشکیل می‌دهد. توانایی در پیش‌بینی ET ، سرمایه‌ای ارزشمند برای مدیران منابع آبی کشور بشمار می‌رود که می‌تواند برای برنامه‌های توسعه کشت، وضع قوانین مصرف آب و مطالعات هیدرولوژیکی رودخانه ها مفید باشد. محاسبه ET بطریق عملی و آزمایشگاهی با دقت بسیار بالا و با استفاده از روش‌های توزین، همبستگی تلاطمی[2] و یا روش نسبت باون[3] امکان‌پذیر است. اما این روش‌ها تنها می‌توانند میزان ET را در یک نقطه و یا یک منطقه کوچک تعیین کنند و برای ناحیه‌های وسیع‌تر قابل استفاده نیستند. این محدودیت باعث ایجاد انگیزه در استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای تعیین ET در سطوح وسیع شده است. یکی از الگوریتم هایی که جهت برآورد ET با استفاده از تصاویر ماهواره ای مورد توجه بسیار قرار گرفته ، الگوریتم سبال (SEBAL) می باشد .

این الگوریتم برای اولین بار توسط [1] برای برآورد تبخیر از سفره های کم عمق آب زیرزمینی استفاده شد. [2] این الگوریتم را توسعه داده و به منظور اعتبارسنجی آن از اندازه‌گیری‌های وسیع میدانی در کشورهای چین ، هند ، اسپانیا و پاکستان استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در ۸۵ درصد موارد پارامترهای بدست آمده از سبال با اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای بدون هیچگونه واسنجی مطابقت داشت. همچنین [3] روشهای موارد مختلف استفاده از این الگوریتم را مورد بحث قرار داده است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان گلستان در محدوده جغرافیایی ٥٤/٥٢ تا ٥٤/٦٩ درجه طول شرقی و ۳۷/۱۷ تا ۳۷/۰۹ درجه عرض شمالی واقع شده است. وسعت این ناحیه، ۱۳۸۷۵ هکتار می‌باشد که مزرعه نمونه ارتش گرگان و اراضی کشاورزی اطراف آنرا در بر می‌گیرد(شکل ۱).

در انتخاب منطقه مورد مطالعه چندین عامل در نظر گرفته شد :

[1] EvapoTranspiration
[2] Eddy Correlation
[3] Bowen Ratio Technique

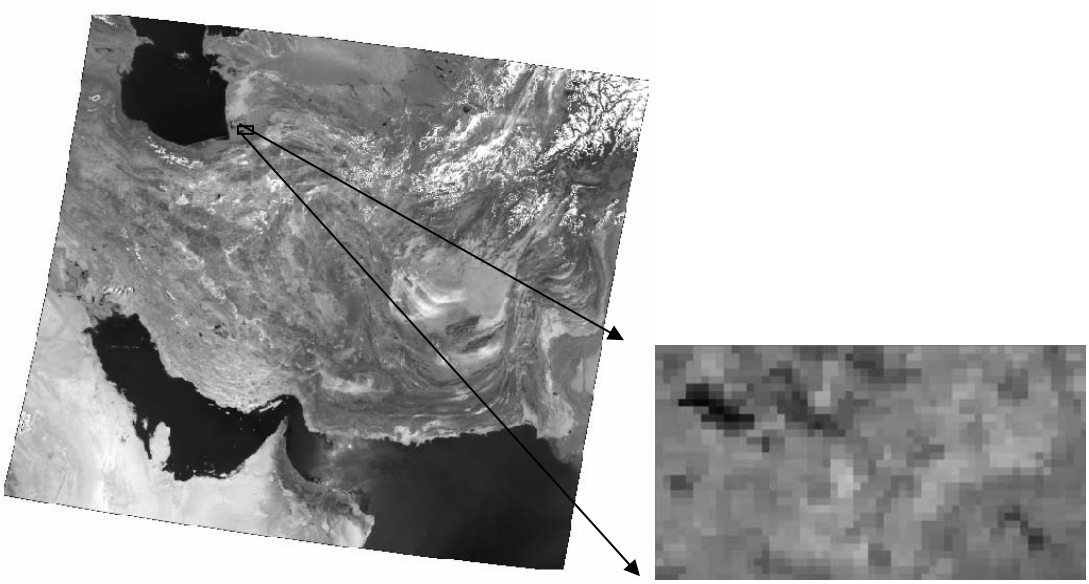
[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

۱- وجود اراضی کشاورزی وسیع

۲- دارا بودن قطعات بزرگ از یک نوع کشت جهت انتخاب پیکسل سرد

۳- وجود حداقل یک قطعه وسیع زمین کشاورزی تحت آیش و خشک جهت انتخاب پیکسل گرم

٤- هموار بودن منطقه



شکل (۱) موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه

۲-۲- داده های مورد استفاده

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده شامل تصاویر MODIS در تاریخ‌های ۵ می (ساعت ۱۱:۲٤ صبح) و ۷ ژوئن (ساعت ۱۲:۰۹ صبح) ۲۰۰۳ میلادی تهیه شده از سازمان فضائی ایران، تصویر IRS – LISSIII در تاریخ ۱۱ می ۲۰۰۳ تهیه شده از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و گزارشها و داده های هواشناسی تهیه شده از سازمان هواشناسی کشور و اداره هواشناسی گرگان می‌باشد.

۲-۲-۱- تصحیحات داده های ماهواره ای

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

تصحیح هندسی دقیق تصاویر با قدرت تفکیک مکانی پایین مثل MODIS بسیار کار مشکلی است بعلت اینکه یافتن نقاط برداشت شده زمینی در روی تصویر امکان پذیر نیست. تصحیحات هندسی در طی دو مرحله بر روی تصاویر MODIS اعمال شد. ابتدا تصاویر با استفاده از پارامترهای مداری تصحیح گردیدند که این عمل با استفاده از نرم افزار Scan magic در محل سازمان فضائی ایران انجام شد. مرحله بعدی تصحیح با استفاده از تصویر تصحیح شده IRS-LISS III انجام شد. علت استفاده از تصویر IRS-LISS III برای انجام تصحیح اینست که با توجه به فاصله زمانی نزدیک بین این تصویر و تصویر MODIS ۵ می، پوشش سطحی چندان تغییر نکرده و امکان یافتن نقاط مشابه در دو تصویر بیشتر و آسانتر است. عمل تصحیح بر روی تصویر IRS-LISS III نیز در دو مرحله انجام شد: ابتدا تصاویر با پارامترهای مداری تصحیح شده که این عمل در محل سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح انجام شد. مرحله بعدی تصحیح با انتخاب نقاط کنترل از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰,۰۰۰ انجام شد که عمل تصحیح با روش چندجمله ای درجه یک و بازنویسی تصویر با روش نزدیکترین همسایگی صورت پذیرفت و از نقاط برداشت شده زمینی (که به منظور مشخص کردن پیکسل های شاخص برداشت شده بود) به عنوان نقاط آزمون استفاده شد.

۲-۲-۲- جمع آوری داده های هواشناسی

ایستگاه سینوپتیک هاشم آباد گرگان بعنوان ایستگاه مبنا انتخاب گردید و پارامترهای هواشناسی ساعتی شامل تابش خورشیدی، رطوبت نسبی، سرعت باد و دما در روزهای گذر ماهواره از اندازه گیریهای ثبت شده توسط این ایستگاه برای روزهای مورد نظر، استخراج گردید. همچنین برای بررسی وضعیت بارندگی منطقه در روزهای قبل از گذر ماهواره نیز از آمار مربوطه استفاده گردید.

۲-۳- الگوریتم توازن انرژی برای سطح زمین (SEBAL)

با صرفنظر کردن از مقدار جزئی انرژی که صرف فتوسنتز و ذخیره گرما در گیاه می‌شود معادله توازن انرژی را می‌توان بصورت زیر بیان کرد:

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

$$R_n = G + H + \lambda ET \quad (۱)$$

که R_n تابش خالص، G شار گرمای خاک، H شارگرمای محسوس و λET شارگرمای نهان است. تمامی واحدها بر حسب W/m^2 می‌باشند.

الگوریتم توازن انرژی برای سطح زمین (سبال)، شارهای گرمای سطحی را هم بصورت لحظه‌ای و هم بصورت ۲٤ ساعته محاسبه می‌کند. شار گرمای نهان، انرژی مورد نیاز برای تبخیر و تعرق را نشان می‌دهد و بصورت باقیمانده معادله توازن انرژی سطحی محاسبه می‌شود:

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (۲)$$

شار تابش خالص در سطح (R_n) با استفاده از تمامی شارهای تابشی فرودی و خروجی از سطح بدست می‌آید :

$$R_n = (1-\alpha)R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1-\varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (۳)$$

که α آلبیدوی سطحی، $R_{s\downarrow}$ تابش موج کوتاه فرودی (W/m^2)، $R_{L\downarrow}$ تابش موج بلند فرودی (W/m^2)، $R_{L\uparrow}$ تابش موج بلند خروجی (W/m^2) و ε_0 گسیلمندی سطحی باند پهن می‌باشد.

آلبیدوی سطحی با تصحیح مقدار آلبیدوی بالای جو (α_{toa}) برای اثرات ناشی از عبور از اتمسفر محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path_radiance}}{\tau_{sw}^2} \quad (٤)$$

که α_{toa} آلبیدوی بالای جو، $\alpha_{path_radiance}$ آلبیدوی معادل تابش مسیر و τ_{sw} ضریب شفافیت اتمسفری است.

α_{toa} بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha_{toa} = \sum(\omega_\lambda \times \rho_\lambda) \quad (٥)$$

که ρ_λ انعکاس هر باند و ω_λ ضریب وزنی برای هر باند است که بصورت زیر محاسبه می‌شود :

$$\omega_\lambda = \frac{ESUN_\lambda}{\sum ESUN_\lambda} \quad (٦)$$

که $ESUN_\lambda$ میانگین تابش فرودی خورشید در بالای اتمسفر برای هر باند است و بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$ESUN_\lambda = \frac{4\pi R_s^2 B_\lambda}{4\pi R_e^2} \quad (٧)$$

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

که $B\lambda$ تابش جسم سیاه (خورشید) در دمای معین (۵۷۶۰ درجه کلوین)، R_s شعاع خورشید $\left(0.7\times10^6 km^2\right)$ و R_e متوسط فاصله زمین تا خورشید $\left(149.6\times10^6 km^2\right)$ می‌باشد.

مقادیر $\alpha_{path_radiance}$ بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۰٤ قرار دارند. در سبال مقدار ۰/۰۳ براساس کار انجام شده توسط [4] پیشنهاد شده است.

τ_{sw} بر اساس رابطه مبتنی بر ارتفاع که در [5] آمده است، محاسبه می‌شود:

$$\tau_{sw} = 0.75 + 2\times10^{-5}\times z \qquad (۸)$$

که z ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر است. این ارتفاع بایستی به بهترین نحو، معرف ارتفاع منطقه مورد نظر باشد که برای این کار ارتفاع ایستگاه هواشناسی بعنوان ارتفاع معرف، توصیه شده است.

تابش فرودی موج کوتاه، شار تابش خورشیدی مستقیم و پراکنده است که واقعاً به زمین می‌رسد. با فرض شرایط آسمان صاف، می توان آنرا بصورت زیر برای زمان تصویر محاسبه کرد:

$$R_{s\downarrow} = G_{sc}\times\cos\theta\times d_r\times\tau_{sw} \qquad (۹)$$

که G_{sc} ثابت خورشیدی $\left(1367 W/m^2\right)$، $\cos\theta$ کسینوس زاویه فرودی خورشید، d_r معکوس مربع فاصله نسبی زمین تا خورشید و τ_{sw} ضریب شفافیت اتمسفری است. مقادیر $R_{s\downarrow}$ بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ وات بر متر مربع بسته به محل و زمان تصویر فرق می‌کند.

تابش موج بلند فرودی، شار تابش حرارتی از آسمان بسمت پایین است $\left(W/m^2\right)$ که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{L\downarrow} = 0.85\times\left(-\ln\tau_{sw}\right)^{.09}\times\sigma\times T_{cold}^4 \qquad (۱۰)$$

که τ_{sw} ضریب شفافیت اتمسفری موج کوتاه، T_{cold} دمای سطحی پیکسل سرد و σ ثابت بولتزمن $\left(5.67\times10^{-8} W/m^2/K^4\right)$ می‌باشد.

$R_{L\uparrow}$ با استفاده از معادله استفان – بولتزمن محاسبه می‌شود:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0\times\sigma\times T_s^4 \qquad (۱۱)$$

که ε_0 گسیلمندی سطحی باند پهن (بدون بعد)، σ ثابت بولتزمن $\left(5.67\times10^{-8} W/m^2/K^4\right)$ و T_s دمای سطحی (K) است. مقادیر $R_{L\uparrow}$ بسته به محل و زمان تصویر از ۲۰۰ تا ۷۰۰ وات بر مترمربع تغییر می‌کنند.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

شار گرمای خاک، انرژی استفاده شده برای گرم کردن خاک است و با استفاده از معادله تجربی زیر محاسبه می‌شود.

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha}\left(0.0038\alpha + 0.007\alpha^2\right)\left(1 - 0.98NDVI^4\right) \quad (۱۲)$$

که T_s دمای سطحی $(°C)$، α آلبیدوی سطحی و $NDVI$ شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی است.

شار گرمای محسوس، میزان هدر رفت گرما به هوا بوسیله همرفت و هدایت مولکولی بعلت اختلاف دما می‌باشد که با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$H = \frac{\rho C_p dT}{r_{ah}} \quad (۱۳)$$

که ρ چگالی هوا $\left(kg/m^3\right)$، C_p گرمای ویژه هوا $\left(1004J/kg/K\right)$، dT (K) اختلاف دمای $(T_1 - T_2)$ بین دو ارتفاع $(z_1 و z_2)$ و r_{ah} مقاومت آئرودینامیکی برای انتقال گرماست (s/m).

شار گرمای محسوس در ابتدا برای دو سطح زمین خاص محاسبه می‌شود. یکی برای سطح خشک با دمای سطحی بالا که در آن شار گرمای نهان بسیار جزئی است و پیکسل گرم نامیده می‌شود و دیگری برای یک سطح مرطوب با دمای سطحی پایین که در آن شار گرمای محسوس بسیار جزئی است و پیکسل سرد نامیده می‌شود. مقاومت آئرودینامیکی از پروفیل لگاریتمی باد بین ارتفاع اختلاط (ارتفاعی که اختلاط جو بدلیل آشفتگی تا آن ارتفاع رخ می دهد و سرعت باد ثابت است)، وطول زبری سطح برای انتقال تکانه‌ای محاسبه می‌شود. ترکیب مفاومت آئرودینامیکی با حداکثر و حداقل شار گرمای محسوس در سطوحی از زمین که بطور خاصی انتخاب شده‌اند (پیکسل سرد و پیکسل گرم)، ارزیابی محدوده‌ای از تفاوتهای دمای هوا در نزدیکی سطح را امکانپذیر می‌سازد. پس از آن، دمای سطحی با فرض خطی بودن رابطه بین دمای سطحی و شیب‌های انتقال حرارت در راستای قائم در لایه هوای مجاور با لایه مرزی زمین–اتمسفر جهت تفسیر تغییرات عمودی دمای هوا در منطقه به کار می‌رود. برای تصحیح انتقال متلاطم گرما بر اثر نیروی ارشمیدس[1] از تئوری مشابهت مونین–ابوخوف[2] استفاده گردیده است. در نتیجه برآورد اولیه‌ای از شارگرمای محسوس بدست می‌آید که با وارد شدن در فرایند تکرار، مقدار بهینه شار گرمای محسوس حاصل خواهد شد.

[1] Buoyancy Effect
[2] Monin-Obukhov

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

با استفاده از شار گرمای نهان تبخیر بدست آمده، کسر تبخیر و تعرق لحظه‌ای (ET_rF) که مشابه ضریب محصول می باشد، بدست می‌آید. همچنین از آنجا که کسر تبخیر لحظه‌ای با کسر تبخیر ۲٤ ساعته مشابه است قادر خواهیم بود که شار گرمای نهان ۲٤ ساعته را برآورد کنیم [6] که رابطه آن بصورت زیر می‌باشد:

$$ET_{24} = ET_rF \times ET_{r_24} \qquad (١٤)$$

که ET_rF کسر تبخیر و تعرق مرجع بوده و بصورت نسبت ET لحظه‌ای محاسبه شده برای هر پیکسل به ET مرجع محاسبه شده از داده‌های هواشناسی برای زمان تصویر تعریف می‌شود و ET_{r-24} مجموع تبخبر و تعرق مرجع در طی ۲٤ ساعت برای همان روز تصویر می‌باشد.

۲-٤- انتخاب پیکسل های سرد و گرم

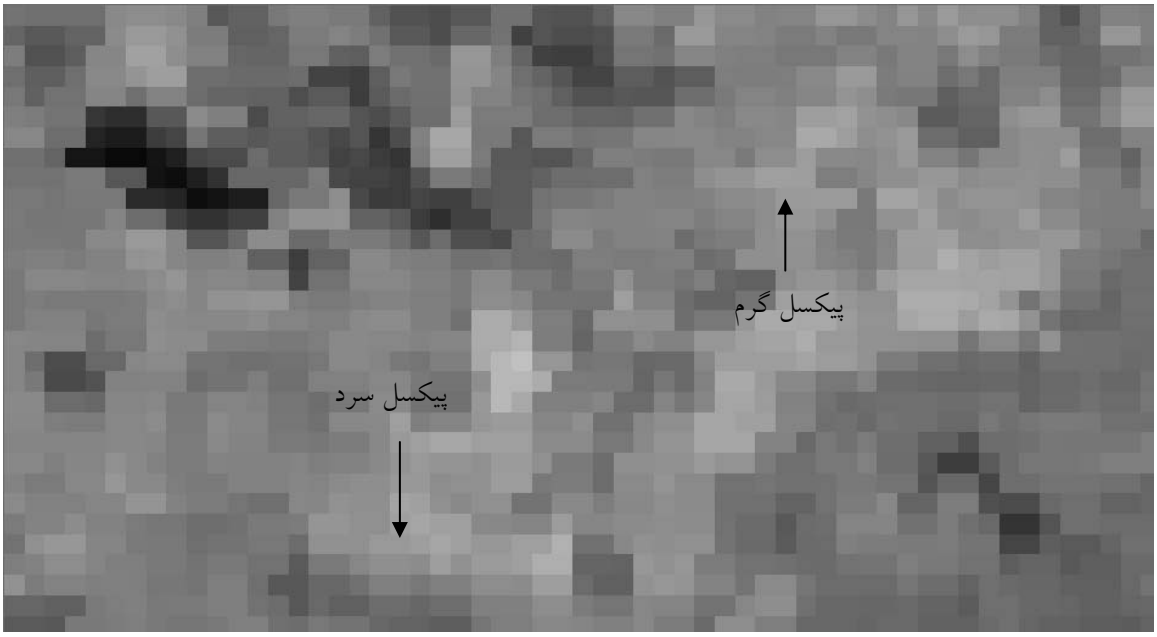
در انتخاب پیکسل های شاخص از دو فاکتور دما و شاخص سطح برگ LAI استفاده شد. بدین صورت که پیکسل سرد باید دارای دمای پایین و LAI بالا و پیکسل گرم هم باید دارای دمای بالا و LAI پایین (بین صفر تا حداکثر ۰/٤) باشد.

در انتخاب پیکسل گرم از انتخاب مقادیر حداکثر دما اجتناب گردید. بدین دلیل که معمولا" بیابانها و مناطق مسکونی دمای بالاتری نسبت به اراضی خشک بایر کشاورزی دارند و بالطبع اگر این مناطق به عنوان پیکسل گرم ($ET = 0$) انتخاب شوند برای اراضی خشک با دمای پایینتر، تبخیر و تعرق مقداری مثبت می شود.

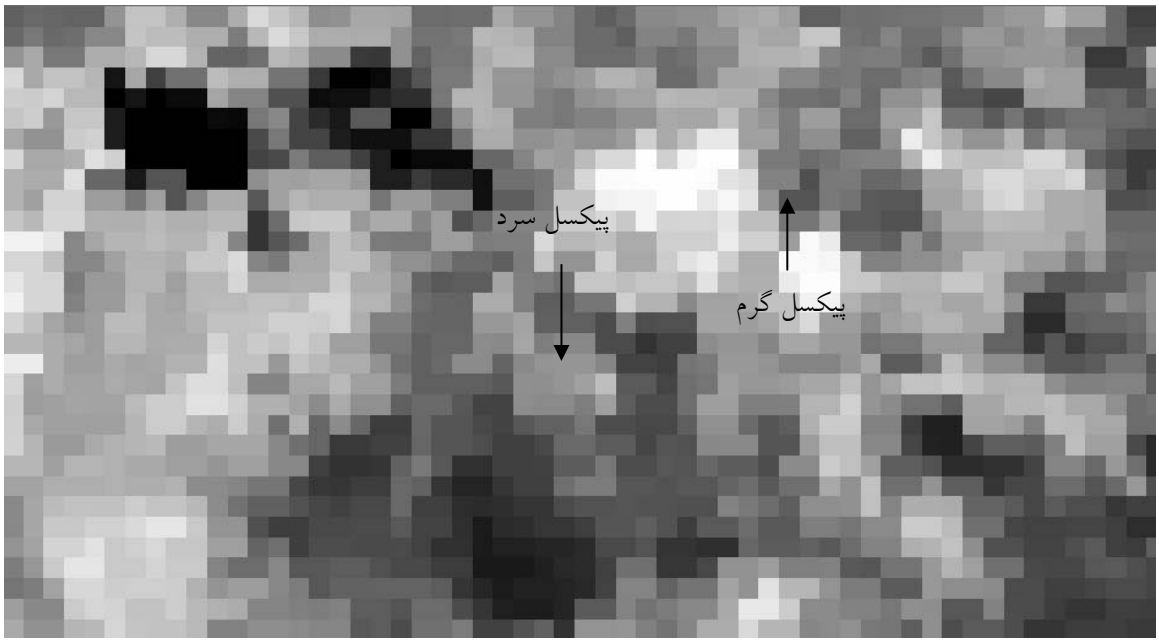
البته شیوه استفاده شده بیشتر مناسب تصاویر با قدرت تفکیک مکانی پایین مثل MODIS می‌باشد و برای تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا شرایط دیگری نیز لازم می باشد.

شکل ۲ و ۳ موقعیت پیکسل های گرم و سرد را در منطقه مورد مطالعه در دو زمان مختلف (٥ مه و ۷ ژوئن ۲۰۰۳) نشان می‌دهد که با استفاده از باندهای ۱ و ۲ (با قدرت تفکیک مکانی ۲٥۰ متر) ترکیب رنگی ۱، ۲ و ۱ از آن تهیه شده است.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]



شکل (۲) منطقه مورد مطالعه در تاریخ ۵ مه ۲۰۰۳



شکل (۳) منطقه مورد مطالعه در تاریخ ۷ ژوئن ۲۰۰۳

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از سبال این قسمت مربوط به روش است بنابراین به جای خود انتقال یابد

پارامترهای مورد نیاز در الگوریتم سبال، با استفاده از تصویر MODIS محاسبه گردید. در این تحقیق پیکسل سرد از بین مزارع گندم خوب آبیاری شده با پوشش کامل و پیکسل گرم از میان اراضی کشاورزی شخم زده و خشک انتخاب شدند. در اکثر مقالات و کارهای انجام شده از باندهای ۱ و۲ تصویر MODIS برای برآورد آلبیدوی سطحی باند پهن استفاده شده است. این امر بدلیل مشابهت موجود بین باندهای ۱ و ۲ تصویر MODIS و AVHRR صورت گرفته است. با این وجود کار اخیر انجام شده توسط [7] نشان داد که با استفاده از باندهای ۱ تا ۵ و ۷ تصویر MODIS برآورد بهتری از آلبیدوی سطحی باند پهن حاصل می‌شود [6].

در این مطالعه از هر دو روش یعنی هم با استفاده از باندهای ۱و۲ و هم با استفاده از باندهای ۱ تا ۵ و ۷ اقدام به برآورد آلبیدوی سطحی باند پهن کرده و متعاقب آن ET را برآورد شده است که در این مقاله آنها را بترتیب روش اول و روش دوم می‌نامیم .

۳-۱-۱- برآورد مقادیر آلبیدوی سطحی (α)

مقادیر آلبیدوی سطحی محاسبه شده برای پیکسل های سرد و گرم در جدول (٤)ترتیب شماره جداول رعایت شود یعنی ابتدا ۱ و ... نشان داده شده است. از آنجاکه آلبیدوی خاک با افزایش رطوبت کاهش می-یابد، کاهش مقادیر α در تاریخ ۷ ژوئن می‌تواند بخاطر مرطوب بودن زمین بعلت بارندگی روز قبل از آن باشد. همچنین مقدار آلبیدو برای محصولات زراعی در عرضهای ۲۲ تا ۵۲ درجه بین ۰/۲۲ تا ۰/۲٦ می باشد [8] که با مقادیر بدست آمده برای پیکسل سرد با استفاده از روش دوم در هر دو تاریخ مطابقت دارد. همچنین با توجه به اینکه پیکسل سرد شامل محصول گندم و پیکسل گرم هم خاک بدون پوشش می‌باشد مقادیر آلبیدوی بدست آمده با محدوده مقادیر بدست آمده از متون مختلف (جدول ۲) مقایسه گردید [9].

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

جدول(۱) مقایسه مقادیر α بدست آمده از سبال برای پیکسل های سرد و گرم

		پیکسل سرد	پیکسل گرم
۵ مه	روش اول	۰/۳۱۰	۰/۳٤۰
	روش دوم	۰/۲۲۷	۰/۲٥٤
۷ ژوئن	روش اول	۰/۲۷٥	۰/۲۳۹
	روش دوم	۰/۲۲۰	۰/۲۲۳

جدول(۲) مقادیر α موجود در متون برای غلات و خاک [9]

	محدوده آلبیدوی ممکنه		
	حداقل	حداکثر	میانگین
گندم (یا بطور کلی غلات)	۰/۱	۰/۲٦	۰/۱۸
خاک	۰/۰٥	۰/۳۱	۰/۱۸

با مقایسه جداول (۱) و (۲) مشاهده می شود که در هر دو تاریخ مقدار α بدست آمده از روش دوم در محدوده مقادیر ممکنه برای آن پیکسل قرار دارد در حالیکه در روش اول عموماً مقادیر آلبیدو بیشتر از حد معمول برآورد شده است. این امر نشاندهنده اینست که در حالت کلی آلبیدوی بدست آمده از روش دوم نسبت به روش اول به واقعیت نزدیکتر است.

۳-۱-۲- برآورد مقادیرتابش سطحی خالص (R_n)

همانگونه که در جدول (۳) مشاهده می‌شود در هر دو تاریخ مقادیر R_n حاصل از روش دوم بیشتر از روش اول می‌باشد که علت آن برآورد کمتر مقادیر آلبیدوی سطحی است. در تصویر ۷ ژوئن مقدار R_n حاصله از روش اول از لحاظ منطقی درست بنظر نمی‌رسد زیرا اولاً میزان R_n باید در پیکسل سرد بیشتر از پیکسل گرم باشد و دلیل آن اینست که پوشش گیاهی باعث ذخیره انرژی شده و اتلاف آن را کاهش می‌دهد،

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

ثانیاً اختلاف مقدار R_n بین پیکسل سرد و گرم نیز بسیار کم می‌باشد که این نیز خود دلیلی بـر نقـص روش اول می‌باشد.

جدول (۳) مقایسه مقادیر R_n (Wm^{-2}) بدست آمده برای پیکسل های سرد و گرم

	روش اول		روش دوم	
	پیکسل سرد	پیکسل گرم	پیکسل سرد	پیکسل گرم
۵ مه	۵۰۱/۳	٤٦٥/٧	۵۷۱/۱	۵۳٦/۲
۷ ژوئن	۵۷۲/۲	۵۷۳/۱	٦۲٤/۸	۵۸۷/۸

۳-۱-۳- شار گرمای خاک (G)

افزایش دمای سطح خاک باعث افزایش تفاوت دمای بین خاک سطحی و زیر سطحی می‌شود که ایـن نیـز بنوبه خود باعث افزایش مقدار شار گرمای خاک می‌شود که علت اصلی افـزایش مقـدار G در پیکـسل گـرم نسبت به پیکسل سرد و همچنین افزایش G در ۷ ژوئن نسبت به ۵ می ، می‌باشد.

جدول(٤) مقایسه مقادیر G (Wm^{-2}) بدست آمده برای پیکسل های سرد و گرم

	روش اول		روش دوم	
	پیکسل سرد	پیکسل گرم	پیکسل سرد	پیکسل گرم
۵ مه	٦۲/٤	۸۳/۵	٦٤/٤	۸۷/۳
۷ ژوئن	۱۰۰/٦	۱۲۷	۱۰۲/۱	۱۲۷/٦

۳-۱-۴- برآورد مقادیر شار گرمای محسوس (H)

همانگونه که در جدول (۵) دیده می شود با استفاده از روش دوم مقدار H در هـر دو پیکـسل بیـشتر از روش اول برآورد شده است که علت آن برآورد بیشتر شار تابش خالص وهمچنین شار گرمای خاک در اثر

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

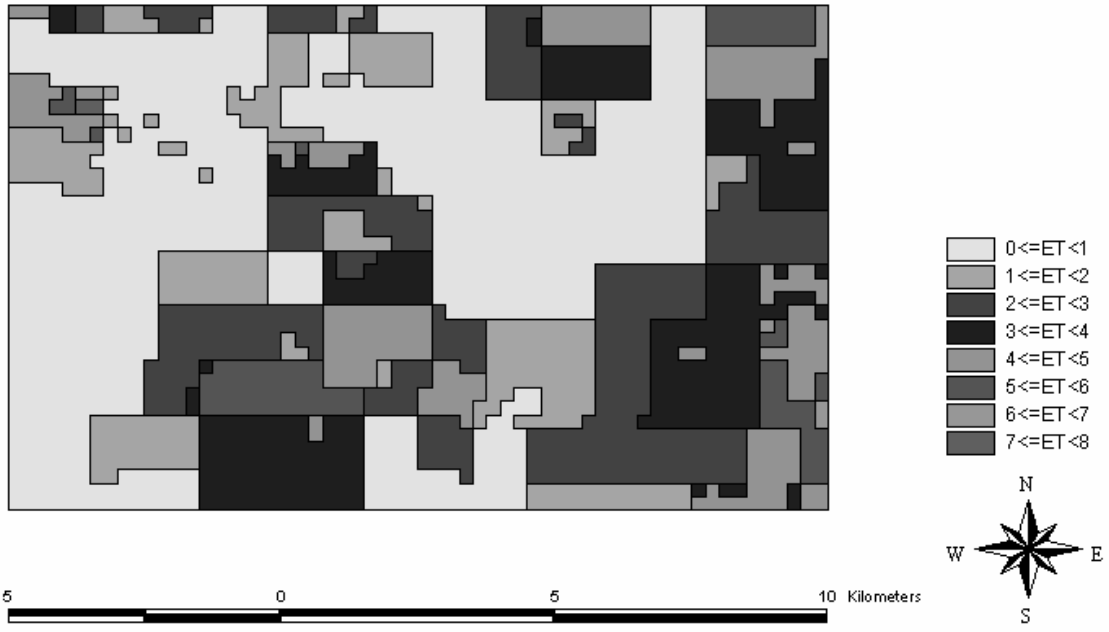
برآورد کمتر آلبیدوی سطحی می‌باشد. همچنین بعلت بیشتر بودن دمای پیکسل گرم، اختلاف دمای بین سطح و هوای روی آن بیشتر شده که باعث افزایش شار گرمای محسوس در پیکسل گرم می‌شود.

جدول(۵) مقایسه H بدست آمده برای پیکسل های سرد و گرم [10]

	۵ مه		۷ ژوئن	
	پیکسل سرد	پیکسل گرم	پیکسل سرد	پیکسل گرم
روش اول	۸۳	۳۸۲	۱۷۸	۲۴۲
روش دوم	۱۵۱	۴۴۹	۲۳۰	۲۵۷

۳-۱-۵- برآورد تبخیر و تعرق روزانه

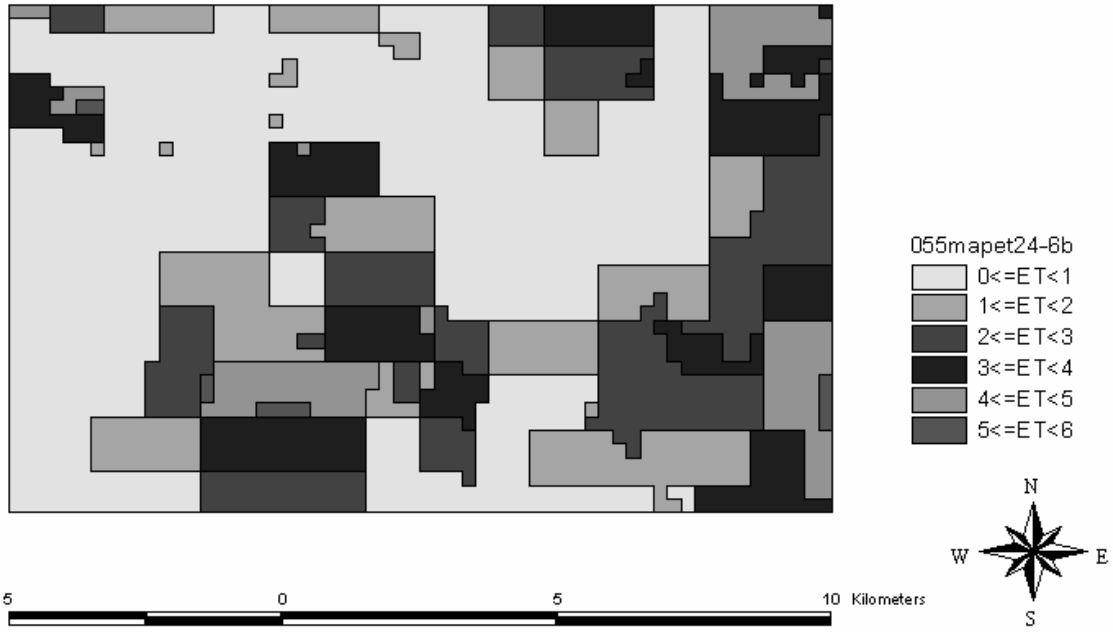
خروجی نهایی سبال که در مورد این تحقیق، نقشه های تبخیر و تعرق روزانه است در تصاویر زیر نشان داده شده اند.



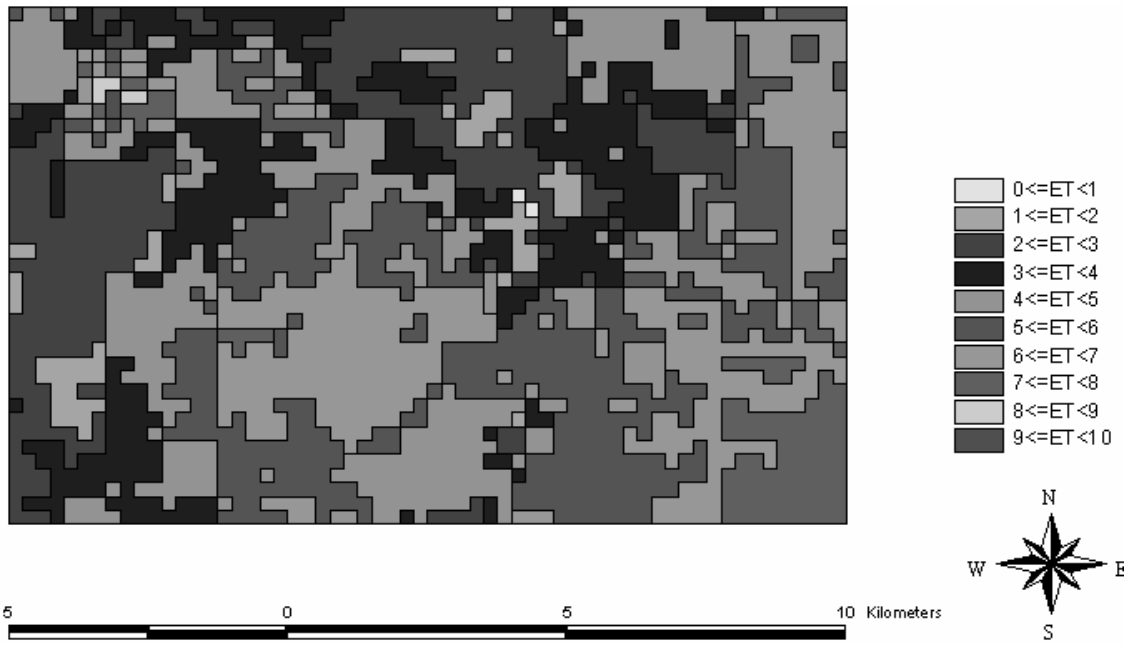
تصویر (٤) نقشه تبخیر و تعرق ۲٤ ساعته (میلیمتر در روز) با استفاده از روش اول برای روز ۵ مه ۲۰۰۳

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

همه تصاویر به شکل تغییر یابند

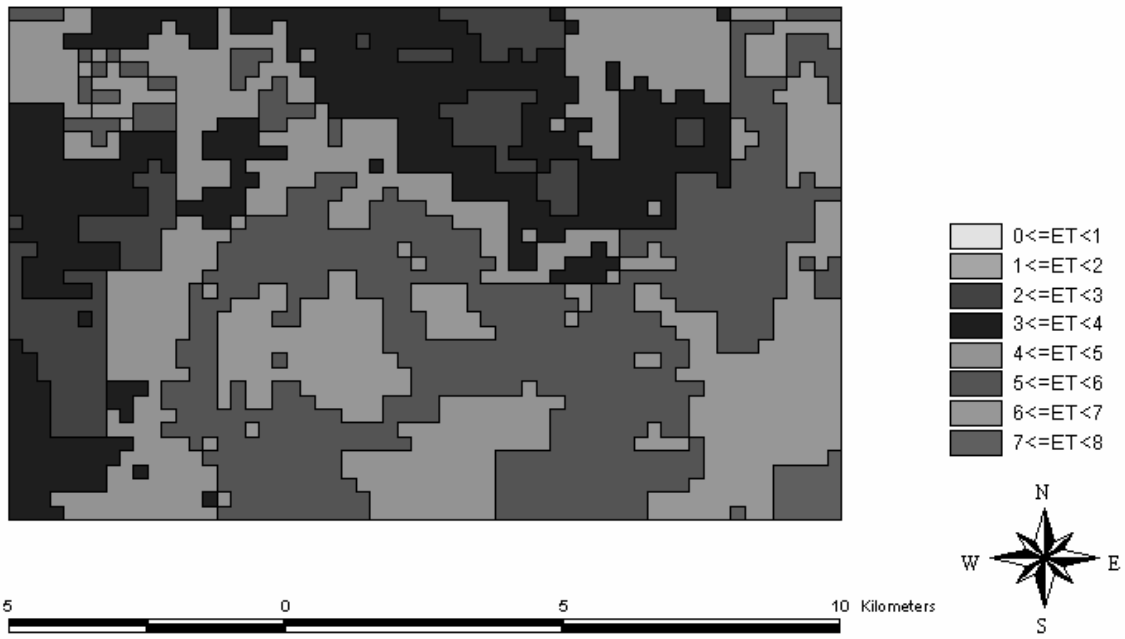


تصویر (۵) نقشه تبخیر و تعرق ۲٤ ساعته (میلیمتر در روز) با استفاده از روش دوم برای روز ۵ مه ۲۰۰۳



[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

تصویر (٦) نقشه تبخیر و تعرق ٢٤ ساعته (میلیمتر در روز) با استفاده از روش اول برای روز ٧ ژوئن ٢٠٠٣



تصویر (٧) نقشه تبخیر و تعرق ٢٤ ساعته (میلیمتر در روز) با استفاده از روش دوم برای روز ٧ ژوئن ٢٠٠٣

با مقایسه اشکال فوق نتایج زیر حاصل می شود:

١- تبخیر و تعرق در روز ٧ ژوئن بیشتر از ٥ می، می باشد که علت آن مرطوب بودن منطقه بعلت بارندگی شدید روز قبل است.

٢- تبخیر و تعرق حاصل از روش دوم مقادیر منطقی‌تری را نسبت به روش اول نشان می دهند. بدین دلیل که مقادیر حداکثر در روش دوم نسبت به روش اول کمتر می باشد (به مقادیر اندازه گیری شده از تشتک تبخیر نزدیکتر است). همچنین در نقشه ET تهیه شده با استفاده از روش دوم در روز ٧ ژوئن (که بارندگی روز قبل سرتاسر منطقه را مرطوب کرده است) مقادیر حداقل بالاتری نسبت به روش اول نشان می‌دهند.

٣-٢- ارزیابی دقت مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق مقایسه با داده های کمکی

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

در پروژه تحقیقاتی‌ای که تحت عنوان بهینه سازی سند ملی الگوی مصرف آب کشاورزی ایران توسط [11] با همکاری سازمان هواشناسی کشور و وزارت جهاد کشاورزی صورت گرفته است، مقادیر تبخیر و تعرق واقعی ۱۰ روزه بر اساس آمار طولانی مدت ایستگاههای سینوپتیک هواشناسی (آمار ۳۰ ساله) با استفاده از روش فائو- پنمن- مانتیس برای هر دشت خاص و برای محصولات زراعی و باغی مختلف محاسبه شده است. بر اساس این گزارش مقدار ET برای دهه دوم اردیبهشت که تصویر ۵ می (۱۵ اردیبهشت) در این محدوده قرار دارد، برای محصول گندم در دشت گرگان-گنبد، ۲۶ میلیمتر بوده است. در دهه دوم خرداد که تصویر ۷ ژوئن (۱۷ خرداد) در آن واقع است، عددی برای ET گزارش نشده است. حداکثر مقادیر ۲۴ ساعته ET حاصل از سبال برای مزارع گندم در ۵ مه ۴/۸ میلیمتر بدست آمد و مقدار متوسط ۲/۶ میلیمتر در روز برای همین محدوده زمانی با تقسیم مقدار ET ده روزه حاصل از کار [11] به عدد ۱۰ بدست آمد. اصولاً با توجه به اینکه مقدار ۲/۶ میلیمتر، متوسط ۱۰ روزه می باشد که خود آن نیز حاصل در نظر گرفتن شرایط متوسط پارامترهای هواشناسی در درازمدت است نمی توان این مقادیر را با نتایج حاصل از سبال که از پارامترهای هواشناسی اندازه گیری شده در همان روز استفاده می کند، مقایسه کرد. اما می توان گفت از آنجا که مقدار حاصل از سبال برای روز ۵ مه (بخصوص در روش دوم) بسیار کمتر از مقدار تبخیر و تعرق ۱۰ روزه حاصل از این گزارش (۲۶ میلیمتر) می باشد، نتایج حاصل از سبال در محدوده قابل قبولی قرار دارند.

از طرفی مقادیر حاصل از تشتک تبخیر که در ایستگاه هواشناسی به ثبت رسیده است نیز با مقادیر حاصل از سبال مقایسه گردید. بر این اساس برای تشتک تبخیر مقادیر ۴/۷ و ۴/۲ بترتیب برای روزهای ۵ می و ۷ ژوئن به ثبت رسید و مقادیر ۷ و ۹/۳ میلیمتر نیز حداکثر مقادیر ۲۴ ساعته ET حاصل از سبال در منطقه مورد مطالعه می باشند. هر چند مقادیر حاصل از سبال حداکثر اختلاف حدود دو برابر را نسبت به تشتک تبخیر نشان می دهد اما با توجه به اینکه در مورد تشتک تبخیر مواردی چون:

۱- عدم تعویض آب تشتک موجب افزایش املاح موجود در آن شده که بر مقدار تبخیر و تعرق تاثیر می گذارد و باعث کاهش مقدار آن می گردد

۲- عدم احتساب تعرق،

می‌توانند موجب خطا در اندازه گیری تبخیر و تعرق شوند، مقادیر واقعی بایستی به مقدار بدست آمده از سبال نزدیکتر باشد.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

۳-۳- منابع خطا

منابع عمده خطا در این تحقیق عبارتند از:

۱- خطای ناشی از عدم تطابق قدرت تفکیک مکانی باندهای حرارتی و انعکاسی

شاید بتوان گفت این خطا در بحث مربوط به برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر MODIS، مهمترین خطا می باشد. در مورد پوششهای وسیع همگن (شبیه منطقه مورد مطالعه) این خطا محدود به نواحی مرزی زمینهای کشت شده و بایر می شود در حالیکه اگر منطقه دارای پوشش ناهمگن یا مزارع با قطعات کوچک بود این خطا در تمامی پیکسل ها تاثیر می گذاشت. بدین ترتیب مزارعی که در حواشی زمینهای بایر خشک (که دمای بالایی دارند) قرار دارند تحت تاثیر قرار گرفته و دمای بالایی را از خود نشان می دهند که این به نوبه خود موجب افزایش برآورد شار گرمای محسوس و درنتیجه کاهش برآورد تبخیر و تعرق می گردد. هرچند این عدم تطابق در اکثر سنجنده ها بعلت خاصیت ذاتی باندهای ترمال وجود دارد اما در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا از قبیل لندست، اندازه پیکسل غالباً متناسب با وسعت مزارع کشاورزی بوده و تبخیر و تعرقی که بر اساس اندازه باندهای انعکاسی برای هر پیکسل برآورد می شود تا حد زیادی با واقعیت انطباق دارد.

۲- خطای ناشی از تصحیحات هندسی

این خطا تقریباً در تمامی پروژه هایی که به مختصات جغرافیایی نیاز دارند وجود دارد. در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی پایین از قبیل MODIS که امکان یافتن نقاط برداشت شده زمینی بر روی تصویر چندان ساده نیست، تاکید بیشتر بر روی تصحیحات با پارامترهای مداری است [12] که آن هم در بهترین حالت دقتی در حدود ۱/۵ پیکسل دارد [13].

۳- خطای مربوط به کالیبره نبودن پارامترهای سبال در منطقه مورد مطالعه

بعلت نبود وسایل لازم جهت اندازه گیریهای زمینی امکان کالیبره کردن پارامترهای موجود در سبال از قبیل شاخص سطح برگ، آلبیدوی سطحی، دمای سطحی و شارهای تابش خالص، گرمای خاک، گرمای محسوس و دیگر پارامترها، در منطقه وجود نداشت.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

٤- خطای ناشی از انتخاب ایستگاه هواشناسی استفاده شده

در الگوریتم سبال ما نیاز به داده های هواشناسی ساعتی داریم که این داده ها تنها در ایستگاههای هواشناسی سینوپتیک اندازه گیری و ثبت می شوند بهمین علت ما ناچاراً از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک هاشم آباد گرگان استفاده کردیم در حالیکه این اطلاعات دقیقاً شرایط مزرعه را نشان نمی دهد که این خود موجب خطا در محاسبه تبخیر و تعرق مرجع و شار گرمای محسوس می شود.

٥- عدم اطمینان از صحت داده های هواشناسی استفاده شده

این خطا بیشتر متوجه تابش خورشیدی ثبت شده و مقدار تبخیر از تشتک تبخیر اندازه گیری شده در ایستگاه است. در مورد تابش خورشیدی مواردی چون درست کار نکردن دستگاه و تمیز نبودن دستگاه در هنگام قرائت می باشد. در مورد تشتک تبخیر نیز مواردی چون عدم تعویض آب تشتک موجب افزایش املاح موجود در آن شده که بر مقدار تبخیر و تعرق تاثیر می گذارد.

٦- خطای مربوط به برآورد تبخیر و تعرق پیکسل سرد

همانطور که قبلاً بیان شد در الگوریتم سبال از مزرعه یونجه خوب آبیاری شده بعنوان پیکسل سرد استفاده می شود در حالیکه در منطقه مورد مطالعه بعلت نبود مزرعه یونجه وسیع، از مزرعه گندم بعنوان پیکسل سرد استفاده شد. در برآورد تبخیر و تعرق این پیکسل نیز از رابطه $ET_{cold} = K_c * ET_{crop}$ استفاده گردید در حالیکه این رابطه، ET را تحت شرایط اگرونومیکی استاندارد و عدم محدودیت آبی برآورد می کند. بعلت عدم آگاهی از زمان های آبیاری در منطقه، برای مشخص کردن پیکسل سرد از شرط پایین بودن دما استفاده شد. این شرط تنها این امر را بیان می کند که احتمالاً پیکسل مورد نظر نسبت به سایر پیکسل ها مرطوب تر است. در شرایط عدم آبیاری کامل، ضریب محصول واقعی کمتر از مقدار استفاده شده خواهد بود.

٧- خطای مربوط به برآورد تبخیر و تعرق پیکسل گرم در تصویر ٧ ژوئن

بعلت مرطوب بودن زمین در این تاریخ، پیکسل گرم دارای تبخیر بوده که باید در نظر گرفته شود. برآورد دقیقی از $\mathrm{ET}_{\mathrm{bair\ soil}}$ در این تاریخ با استفاده از مدل بیلان آب روزانه صورت می گیرد در حالیکه بعلت عدم داده های مورد نیاز، این امر میسر نگردید.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

۴- نتیجه گیری

با توجه به نبود اطلاعات زمینی نمی توان اظهار نظر دقیقی از نتایج بدست آمده بعمل آورد. لیکن بعضی نتایج که در حالت کلی منطقی به نظر می رسند را در اینجا عنوان می کنیم.

۱- نتایج بدست آمده از دو روش بیان شده در برآورد آلبیدوی سطحی که با مقایسه مقادیر موجود در متون مختلف صورت گرفت، نشان می دهد که با استفاده از باندهای ۱ تا ۵ و۷ تصویر MODIS نسبت به استفاده تنها از باندهای ۱ و ۲، برآورد دقیقتری از آلبیدوی سطحی بدست می آید.

۲- در الگوریتم سبال بعلت استفاده از پیکسل های سرد و گرم برای تعیین مقدار تبخیر و تعرق سایر پیکسل ها، محدوده مقادیر حاصله بطور نسبی منطقی بوده هر چند ممکن است با مقادیر حقیقی تفاوت داشته باشند.

۳- با استفاده از نقشه های بدست آمده (حتی بدون کالیبره کردن مدل) می توان نواحی مختلف موجود در منطقه را از لحاظ داشتن تبخیر و تعرق بیشتر یا کمتر نسبت به سایر نواحی بطور نسبی مشخص کرد.

تشکر و قدردانی:

در اینجا لازم می دانیم تا از کارکنان محترم سازمان فضائی بخصوص سرکار خانم زمانی (قسمت اخذ تصاویر)، آقای جلالی (قسمت فنی)، سرکار خانم چگینی (قسمت مراجعات) جهت در اختیار گذاشتن تصاویر MODIS تشکر و قدردانی بنماییم. از کارکنان محترم معاونت پشتیبانی اداره هواشناسی کشور قسمت جهت در اختیار قرار دادن آمار و اطلاعات هواشناسی تشکر و قدردانی می نماییم. از ریاست وکارکنان محترم اداره هواشناسی هاشم آباد گرگان جهت در اختیار قرار دادن اطلاعات و مهیا کردن اسباب ایاب و ذهاب به منطقه مورد مطالعه قدردانی و تشکر ویژه می نماییم. همچنین از مدیر محترم گروه سنجش از دور دانشگاه تربیت مدرس جناب آقای دکتر فرج زاده و مسئول محترم آزمایشگاه GIS آقای مهندس علوی جهت مهیا کردن امکانات لازم برای تحقیق، تشکر وقدردانی می شود.

منابع:

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

1- Bastiaanssen, W.G.M. and M. Menenti, 1989

Mapping groundwater losses in the Western Desert of Egypt with satellite measurements of surface reflectance and surface temperature, in (ed.) J.C. Hooghart, Water Management and Remote Sensing, TNO Committee on Hydrological Research, proceedings and information no. 42: 61-89

2- Bastiaanssen, W.G.M., Meneti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. Journal of Hydrology 212-213 (1998) 198-212.

۳- مباشری، محمدرضا؛ خاوریان نهزک، حسن ۱۳۸٤" تجزِیه و تحلیل روشهای استفاده از ماهواره در تعیین میزان تبخیر و تعرق" مجله علمی-پژوهشی علوم جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم تهران جلد۳ شماره ۳ و ٤.

4- Allen, R., Waters, R., Tasumi, M., Trezza, R., Bastianssen, W., 2002. SEBAL, Surface Energy Balance Algorithms for Land. Idaho Implementation. Advanced Training and Users Manual, version 1.0.

5- Allen R., 1998, Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER 56.

6- Timmermans, W.J., Gieske, A.S., Wolski, P., Arneth, A., Parodi, G.N., 2003. Determination of water and heat fluxes with MODIS imagery Maun, Botswana.

7- Liang, S., 2002. A Direct Algorithm for Estimating Land Surface Broadband Albedos From MODIS Imagery. IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 41, NO. 1.

8- Evett, S. R., 1998, “Energy and Water Balances at Soil-Plant-Atmosphere Interfaces.” ERRATA, Chapter 5 of the CRC Handbook of Soil Science. published by CRC USDA-ARS, Bushland, TX.

۹- هاشمی نیا، مجید، ۱۳۷۸، تبخیر، تبخیر-تعرق و داده‌های اقلیمی، چاپ، نشر آموزش کشاورزی وابسته به معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

۱۰- خاوریان نهزک، حسن. ۱۳۸۳"برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS " پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۱۱- علیزاده، ا، ۱۳۸۲، بهینه سازی سند ملی الگوی مصرف آب کشاورزی ایران ((نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی ایران))، جلد ۳: استان گلستان، سازمان هواشناسی کشور- وزارت جهاد کشاورزی، تهران.

۱۲- شاهرخی، م، ۱۳۸۲، تصحیح هندسی تصاویر سنجنده MODIS با استفاده از پارامترهای مداری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران.

۱۳- موقتی، س، ۱۳۸۲، بررسی امکان سنجش آلودگی هوای تهران با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]

Evapo-Transpiration Assessment Using Terra/MODIS Images in the Gorgan General District

Mobasheri, Mohammad Reza[1]; Khavarian, Hassan[2];
Ziaeian, Parviz[3]; Kamaly, Gholamali[4]

Abstract

Assessment of Evapo-Transpiration (ET) in the cases such as Irrigation programming, water basin evaporation determination, water balance calculation, water runoff estimation and climatological studies are important. It is possible to determine ET by field measurements. However these methods only can determine ET for the regions with the limited areas. This limitation has made the use of remote sensing techniques reliable for assessment of ET in a vast area.

In this work, the amount of ET has been evaluated in an army wheat field located in the Golestan Province (North of the Iran) for May 5th and June 7th, 2003 using MODIS images. Surface albedo affects in the outcome of SEBAL that we estimate it using two methods, one using 1 and 2 bands of MODIS image (old method) and the other using 1 to 5 and 7 bands of MODIS image (new method). The comparison of the results of SEBAL to the results of other works showed the accuracy of the estimation of surface albedo using the new method is better than the old method. Also, the accuracy of SEBAL outcomes are relatively satisfactory and can be improved by further detailed studies.

Keywords: Remote Sensing, Evapo-Transpiration, SEBAL, Surface Heat Flux, Terra/MODIS, Gorgan

[1] Assistant Professor Remote Sensing Department, KNToosi University of Technology, Tehran, I.R. Iran
Mobasheri@kntu.ac.ir
[2] M.A. in Remote Sensing & GIS from Tarbiat Modares University
[3]Assistant Professor Faculty of Earth Science, Shahid Beheshty University, Tehran, I.R. Iran
[4] Assistant Professor Meteorology Research Center, Tehran, I.R. Iran

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-28]