

محاسبه و پهنه‌بندی تبخیر- تعرق با استفاده از الگوریتم سبال (SEBAL) در غرب ایران (دشت میان‌دربند)

هوشنگ قمرنیا^{۱*} - سید وحیدالدین رضوانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۶

چکیده

امروزه سنجش از دور در علوم مختلف از جمله جغرافیا، زیست‌شناسی، هواشناسی، کشاورزی، مدیریت منابع آب و غیره کاربرد دارد. دسترسی آسان و ارزان به داده‌ها، دقت بالای آنها، رقمی، جامع و گسترده بودن تصاویر و برخورداری از تنوع طیفی فراوان از جمله ویژگی‌هایی است که باعث برتری سنجش از دور، نسبت به دیگر روش‌های تامین اطلاعات شده است. بنابراین با استفاده از الگوریتم‌های موجود در سنجش از دور که مربوط به تبخیر- تعرق می‌باشند، می‌توان گام بزرگی را در مدیریت منابع آب برداشت. از جمله این الگوریتم‌ها، سبال است که عبارت است از یک الگوریتم سنجش از دور، که تعادل انرژی سطحی لحظه‌ای را برای هر پیکسل از یک تصویر ماهواره‌ای محاسبه می‌کند. در این پژوهش با استفاده از این الگوریتم برای محاسبه آلبیدوی سطح، دمای سطحی و شاخص وضعیت پوشش گیاهی از داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی و اطلاعات هواشناسی مانند درجه حرارت، ساعات آفتابی، باد، فشار بخار اشباع، رطوبت خاک و غیره استفاده شده و در نهایت تبخیر- تعرق در دشت میان‌دربند واقع در غرب ایران، محاسبه شد و نقشه‌های تبخیر- تعرق تهیه گردید. همچنین تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از روش مرسوم فائو برای محصول گندم در این دشت محاسبه شد و با روش سبال مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که همبستگی بالایی (۰/۸۴) بین این دو روش وجود دارد و الگوریتم سبال، از توانایی بالایی در تعیین تبخیر- تعرق برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق گیاه، سنجش از دور، سبال، میان‌دربند، فائو

مقدمه

تعرق با استفاده از لایسیمتر برای کاربرد پیوسته در فاصله‌های مناسب در منطقه، بسیار پرخرج و وقت‌گیر است. همچنین چون این اندازه‌گیری‌ها نقطه‌ای است، به خاطر شرایط متغیر آب و هوایی و منطقه‌ای، قابل تعمیم به حوضه‌های بزرگ نمی‌باشد، بنابراین تخمین بوسیله سنجش از دور در زمین‌های وسیع، بسیار کارآمدتر می‌باشد (۱ و ۳). با استفاده از الگوریتم‌های موجود در سنجش از دور که مربوط به تبخیر- تعرق می‌باشند، می‌توان گام بزرگی را در مدیریت منابع آب برداشت. از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان به الگوریتم سبال اشاره نمود. سبال یک الگوریتم سنجش از دور است که تعادل انرژی سطحی لحظه‌ای را برای هر پیکسل از یک تصویر ماهواره‌ای انجام می‌دهد (۱۲). از عوامل ارجحیت الگوریتم سبال نسبت به دیگر الگوریتم‌های سنجش از دور این است که سبال شامل الگوریتم آنالیز تصاویر ماهواره‌ای بر مبنای اصول فیزیکی است و از شبیه‌سازی ماهواره‌ای استفاده می‌کند و نیاز به حداقل اطلاعات هواشناسی از اندازه‌گیری‌های زمینی یا مدل‌های هوایی دارد (۱۲). ضمناً امکان استفاده از سبال برای تصاویر دارای باندهای مادون قرمز

محاسبه مقادیر تبخیر- تعرق به منظور برنامه ریزی‌های مربوط به نیاز آبی محصولات کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. روش‌هایی که برای برآورد تبخیر- تعرق به کار گرفته می‌شود در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند، که عبارتند از: روش‌های مستقیم و روش‌های غیر مستقیم یا محاسباتی (۵). معمول‌ترین روش مستقیم برآورد تبخیر- تعرق استفاده از اصل بیلان جرمی در یک حجم کنترل شده از خاک است. از میان روش‌های غیر مستقیم تبخیر- تعرق گیاه نیز می‌توان به روش ذکر شده در نشریه‌ی فائو ۵۶ اشاره کرد. در این روش ابتدا تبخیر- تعرق پتانسیل با استفاده از روش استاندارد پنمن-مانتیت محاسبه شده و سپس با استفاده از ضریب گیاهی به تبخیر- تعرق واقعی گیاه تبدیل می‌شود (۹). روش‌های اندازه‌گیری تبخیر-

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه

* - نویسنده مسئول: (Email: hghamarnia@razi.ac.ir)

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه کردستان

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه در برگیرنده اراضی دشت میان‌دری در پائین دست سد انحرافی رازآور است که آب آن از طریق سد گاوشان تامین می‌شود. مختصات جغرافیایی این دشت بین طول‌های جغرافیایی شرقی ۴۹° ۴۶' تا ۴۷° ۰۳' و عرض‌های شمالی ۲۵° ۳۴' تا ۴۱° ۳۴' قرار گرفته است. دشت میان‌دری یکی از دشت‌های حاصلخیز در محدوده استان کرمانشاه (واقع در غرب ایران) میباشد. در شکل ۱ سیمای کلی منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است.

در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای برداشت شده به وسیله سنجنده مودیس برای ۱۵ روز استفاده گردید. تصاویر مودیس دارای ۳۶ باند است که باندهای ۲۰۱، ۲۵۰ متری و در محدوده طیفی ۸۷۶-۶۲۰ نانومتر و باندهای ۳، ۷، ۵۰۰ متری و در محدوده طیفی ۲۱۵۵-۴۵۹ نانومتر و باندهای ۸ تا ۳۶ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر و در محدوده طیفی ۳۸۵-۱۴۰۵ نانومتر قرار می‌گیرند (۲۰ و ۲۲).

روش مرسوم برآورد تبخیر- تعرق واقعی

روش پنمن-مانتیت فائو به عنوان یک روش استاندارد در محاسبه‌ی تبخیر- تعرق مرجع به وسیله‌ی بسیاری از محققین مورد تایید قرار گرفته است. معادله‌ی پنمن-مانتیت به صورت رابطه ۱ بیان می‌شود (۹).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d U_2)} \quad (1)$$

که در آن:

ET_0 = تبخیر- تعرق مرجع [mm/day] یا [mm/hr] = R_n تابش خالص در سطح گیاه [MJ m⁻² d⁻¹] یا [MJ m⁻² hr⁻¹]، G = شار گرمایی خاک [MJ m⁻² d⁻¹] یا [MJ m⁻² hr⁻¹]، T = میانگین دمای هوا در ارتفاع دو متری [°C]، U_2 = سرعت باد در ارتفاع دو متری [m s⁻¹]، e_s = فشار بخار اشباع [kPa]، e_a = فشار بخار واقعی [kPa]، Δ = شیب منحنی فشار بخار [kPa °C⁻¹]، γ = ضریب ثابت سایکرومتری [kPa °C⁻¹]، C_n = ضریب ثابتی که با توجه به نوع گیاه مرجع و دوره‌ی محاسباتی تعیین می‌شود و C_d = ضریب ثابتی که با توجه به نوع گیاه مرجع و دوره‌ی محاسباتی تعیین می‌شود.

در طراحی سیستم‌های آبیاری برای تعیین تبخیر- تعرق عموماً از روش‌های غیر مستقیم یا محاسبه‌ای استفاده می‌شود. این روش‌ها بر اساس رابطه ۲ استوارند (۹):

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (2)$$

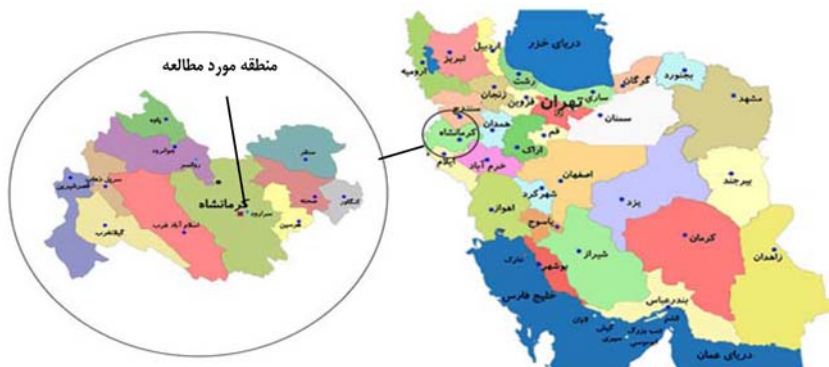
که در آن:

حرارتی نیز وجود دارد (۱۵). سنجنده مودیس توسط ناسا در سال ۱۹۹۹ میلادی بر ماهواره ترا^۱ و در سال ۲۰۰۲ بر ماهواره آکوا^۲ نصب شد (۲۱). سنجنده مودیس نسبت به برخی سنجنده‌های دیگر از نظر قدرت تفکیک مکانی، زمانی و طیفی وضعیت مطلوبتری دارد، به طوری که قدرت تفکیک مکانی سنجنده AVHRR از ماهواره نوا^۳ ۱/۰۹ کیلومتر و تعداد باندهای حرارتی تی ام لندست فقط یک باند است. در جدول ۱ سنجنده‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است. باستانسن و همکاران (۱۳) به بررسی دقت سبال در شرایط مختلف آب و هوایی و در مقیاس مزرعه‌ای و حوزه‌ای پرداختند. برای شرایط رطوبت خاک و شرایط گیاهی رایج در منطقه، صحت در مقیاس مزرعه‌ای ۸۵ درصد برای دوره یک روزه و تا ۹۵ درصد برای دوره فصلی گزارش شده است. دقت تعیین تبخیر- تعرق سالیانه نیز در حوزه‌های بزرگ به طور متوسط ۹۶ درصد بیان شده است. جیا و همکاران (۱۶) در تحقیقی مقدار تبخیر- تعرق روزانه و سالیانه را با استفاده از داده‌های مودیس در دلتای رودخانه زرد در چین تخمین زدند. این مطالعه نشان داد که در این منطقه نوسانات معنی دار ET در یک زمان معین و برای گونه‌های مختلف گیاهی در فصول مختلف وجود دارد. ثنائی‌نژاد و همکاران (۳) نیز مقدار تبخیر- تعرق را با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس برای سه روز از سال و در منطقه‌ای در مشهد برآورد نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که تصاویر مودیس و الگوریتم سبال توانایی خوبی در برآورد مقدار تبخیر- تعرق واقعی در مقیاس روزانه دارند. پورمحمدی و همکاران (۲) مقدار تبخیر- تعرق واقعی را با استفاده از تصاویر مودیس و الگوریتم سبال در منطقه‌ای در استان یزد تعیین و پهنه‌بندی نمودند. نتایج حاصل از این پژوهش ضمن نشان دادن تغییرات مکانی تبخیر- تعرق صورت گرفته از کاربری‌های مختلف اراضی، منعکس کننده تغییرات قابل توجه این عامل در کاربری‌های مختلف حوضه بود. سان و همکاران (۲۳) و جیا و همکاران (۱۷) مقدار تبخیر- تعرق را با استفاده از روش سبال و به ترتیب با استفاده از تصاویر مودیس و لندست، در دو منطقه واقع در کشور چین برآورد نمودند و نشان دادند که به کارگیری الگوریتم سبال می‌تواند نقش مهمی را در تصمیم‌گیری‌های منابع آب ایفا کند. هدف از این پژوهش در ابتدا محاسبه‌ی تبخیر- تعرق واقعی در دشت میان‌دری کرمانشاه با استفاده از تصاویر مودیس و الگوریتم سبال بوده است و همچنین مقدار تبخیر- تعرق گیاه گندم برای پنج روز از سال برای اراضی این دشت مورد محاسبه قرار گرفته و نتایج حاصله با روش پنمن مانیتیت مقایسه گردید.

- 1- Terra
- 2- Aqua
- 3- NOAA

جدول ۱- مقایسه سنجنده‌های تی ام لندست، مودیس و AVHRR (۲۲)

سنجنده	قدرت تفکیک مکانی (m)	محدوده طیفی (μm)	فراوانی تصاویر
تی ام لندست	۳۰-۶۰	۰/۴۵-۱۲/۵	هر ۱۶ روز
مودیس	۲۵۰-۱۰۰۰	۰/۴-۱۴/۴	هر ۱ یا ۲ روز
AVHRR	۱۰۹۰	۰/۵۸-۱۲/۴	هر ۱ یا ۲ روز



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان کرمانشاه

جدول ۲- مقادیر ضریب گیاهی گندم

June 17, 2008	June 16, 2008	May 26, 2008	May 24, 2008	May 21, 2008
0.49	0.51	0.91	0.95	1.01

بیان کامل انرژی را حل می کند (رابطه ۳) (۲، ۳، ۸ و ۱۷).

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (3)$$

که در آن:

λET : شار گرمای نامحسوس (انرژی) که برای تبخیر آب به کار می رود، R_n : تشعشع خالص در سطح (Wm^{-2})، G : شار گرمای خاک (Wm^{-2})، H : شار گرمای محسوس به هوا است. (Wm^{-2})
 R_n برای هر پیکسل با استفاده از آلبیدو و قابلیت انتقال که از باندهای موج کوتاه و نشر موج بلند که از باندهای حرارتی بدست می آیند، محاسبه می شود. به عبارت دیگر مقدار تابش خالص از توازن شار تابش در سطح زمین (Wm^{-2}) به دست می آید که عبارتند از تابش طول موج کوتاه ورودی ($R_{s\downarrow}$) که بخشی از این انرژی تابش توسط سطوح مختلف منعکس می شود ($R_{s\uparrow}$)، تابش طول موج بلند ورودی از اتمسفر ($R_{L\downarrow}$) و تابش طول موج گسیل شده از سطح ($R_{L\uparrow}$). بنابراین تابش خالص لحظه ای در واحد سطح به صورت رابطه ۴ محاسبه می شود. در رابطه ی بالا α آلبیدوی سطحی و ϵ_0 قابلیت انتشار حرارتی سطح (بدون واحد) است (۳، ۸، ۱۰ و ۱۱).

$$R_n = R_{s\uparrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0) R_{L\downarrow} \quad (4)$$

ET_0 = تبخیر- تعرق گیاه مرجع (mm)، ET_c = تبخیر- تعرق واقعی گیاه K_c (mm)، ضریب گیاهی

با توجه به اینکه این دشت تا اواخر خرداد ماه پوشیده از گندم است، لذا تبخیر- تعرق واقعی گندم با استفاده از روش ذکر شده در نشریه شماره ۵۶ فائو برای روزهای ۲۱، ۲۴ و ۲۶ ماه می و ۱۶ و ۱۷ ماه ژوئن مورد محاسبه قرار گرفت و با نتایج به دست آمده از الگوریتم سبال مورد مقایسه قرار گرفت. ضرایب گیاهی برای محصول گندم نیز، برای هر روز از دوره کشت آن، با توجه به روش ارائه شده در نشریه شماره ۵۶ فائو محاسبه شده است. این ضرایب در جدول ۲ آمده است.

برآورد تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از روش سبال

سبال یک مدل پردازش تصویر است که تبخیر- تعرق و دیگر تبدیلات انرژی در سطح زمین را با استفاده از داده های تصاویر رقومی که توسط ماهواره های سنجنش از دوری که تشعشعات مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی را اندازه می گیرند، محاسبه می کند. الگوریتم سبال یک بیان کامل از تشعشع و انرژی سطوح به همراه جریان گرمای محسوس و زبری اترودینامیک سطوح تهیه می کند. تبخیر- تعرق به عنوان جزئی از انرژی در هر پیکسل محاسبه می شود. به عبارت دیگر روش سبال شامل الگوریتم مناسبی است که

است. مقدار این شاخص برای سطوحی که دارای پوشش گیاهی است از ۰ تا ۱ و برای آب و ابر هم معمولاً کمتر از صفر است (۳). G : شار گرمای خاک، مقداری از انرژی خالص صرف تبخیر آب از خاک، مقداری صرف گرم کردن هوا و بقیه در زمین یا آب ذخیره می‌شود. شار گرمای خاک در مقایسه با دیگر ترم‌های معادله تعادل انرژی کوچک می‌باشد و اغلب در محاسبه تبخیر- تعرق نادیده گرفته می‌شود. با این حال الگوریتم سبال مقدار G را به صورت معادله تجربی زیر در نظر می‌گیرد (رابطه ۸):

$$G = T_s \left(0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2 \right) \left(1 - 0.98NDVI^4 \right) \frac{R_n}{\alpha} \quad (۸)$$

در این رابطه G شار گرمای خاک (Wm^{-2})، مقدار تشعشع خالص (Wm^{-2})، $NDVI$ شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده، α آلبیدوی سطح و T_s نیز دمای سطح ($^{\circ}C$) است که با استفاده از باندهای ۳۱ و ۳۲ محاسبه می‌گردد (۳). بدین منظور دمای درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ (T_{b32} و T_{b31})، بر حسب درجه کلونین، از روش‌های مرسوم به دست می‌آید و سپس دمای سطحی با استفاده از رابطه ۹ محاسبه و با توجه به DEM اصلاح می‌گردد (۱۹ و ۲۰):

$$T_s = 0.39T_{b31}^2 + 2.34T_{b31} - 0.78T_{b32} - 1.34T_{b32} + 0.39T_{b32}^2 + 0.56 \quad (۹)$$

سبال محاسبات تبخیر- تعرق را برای لحظه عبور ماهواره انجام می‌دهد. تبخیر- تعرق برای دوره های ۲۴ ساعته تصاویر، بر اساس استفاده از کسر تبخیر که در یک فضای پیکسل در پیکسل محاسبه می‌شود، طراحی شده است. کسر تبخیر به صورت نسبت تبخیر- تعرق به $R_n - G$ است (رابطه ۱۰). فرضیه استفاده شده در روش سبال، ثابت بودن جزء تبخیری در طول روز و یا به عبارت دیگر برابری جزء تبخیر لحظه‌ای و روزانه است. با به دست آمدن جزء تبخیری برای هر یک از روزهای دارای تصویر، تبخیر- تعرق واقعی ۲۴ ساعته (روزانه) با توجه به رابطه‌ی ۱۱ به دست می‌آید (۴).

$$\Lambda = \frac{\lambda E}{R_n - G} \quad (۱۰)$$

$$ET_{a-day} = \frac{\Lambda \times R_{n-day}}{28.588} \quad (۱۱)$$

که در آن:

R_{n-day} : تشعشع خالص روزانه، G : شار گرمایی خاک، λ : گرمای نهان تبخیر (ژول بر کیلوگرم)، ET_{a-day} : تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته (میلیمتر بر روز)

نتایج و بحث

هدف اصلی این پژوهش تخمین تبخیر- تعرق واقعی گیاه است،

و شار گرمای خاک (G) با استفاده از شاخص‌های گیاهی که از ترکیب باندها و تشعشع خالص بدست می‌آیند، محاسبه می‌شود. شار گرمای محسوس (H) با توجه به چندین فاکتور تعیین می‌شود (رابطه‌ی ۵) که عبارتند از: دمای سطح و سرعت باد که از داده‌های زمینی می‌باشند، زبری سطح که محاسبه شده و اختلاف دمای سطح- هوا، که از شاخص‌های گیاهی تعیین می‌شود. باقی محاسبات به صورت ویژه برای هر پیکسل در تصویر محاسبه می‌شوند. محاسبات گرمای محسوس با استفاده از تصحیح ثبات اتمسفری مانین-ابوکوف اصلاح می‌شود (۴ و ۸).

$$H = \frac{\rho \times c_p \times dT}{r_{ah}} \quad (۵)$$

که در آن، ρ چگالی هوا (kg/m^3)، c_p گرمای ویژه هوا ($J/kg/K$)، dT اختلاف دمای نزدیک سطح (K) و r_{ah} مقاومت آئروودینامیک انتقال گرما (s/m) است.

پارامترهای محاسباتی الگوریتم سبال

RA_{24} : تابش های ماوراء زمینی ۲۴ ساعته، تشعشع خورشیدی رسیده به سطح افقی بالای اتمسفر زمین است که در تعیین تشعشع عمودی خورشیدی به سطح زمین، موثر می‌باشد. RA_{24} تابعی از عرض جغرافیایی و تاریخ است (۱۴).

α (آلبیدو): نسبتی از تشعشعات بازتابیده شده ورودی در سطح می‌باشد. باید توجه داشت که تشعشع ورودی در بالای اتمسفر بیشتر از سطح زمین است، زیرا قسمتی از تشعشع توسط هوا جذب یا منعکس می‌شود. آلبیدوی سطحی با تصحیح مقدار آلبیدوی بالای جو (α_{toa}) به منظور اعمال اثرات ناشی از عبور از اتمسفر محاسبه می‌شود (رابطه‌ی ۶).

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} \times \alpha_{path-radiance}}{\tau_{sw}} \quad (۶)$$

که در آن α_{toa} آلبیدوی بالای جو، $\alpha_{path-radiance}$ آلبیدوی معادل تابش مسیر و τ_{sw} ضریب شفافیت اتمسفری است (۸ و ۲۱).

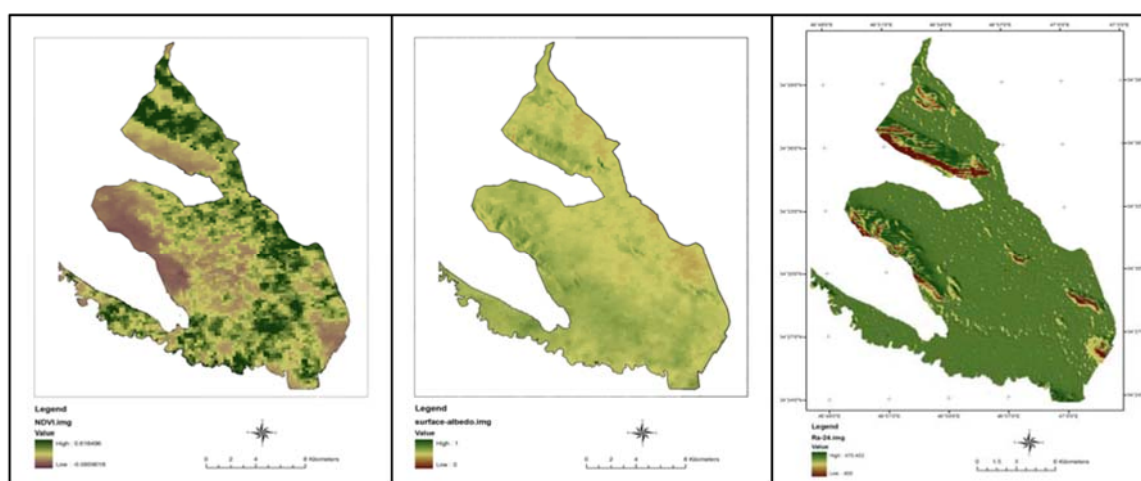
$NDVI$: شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال شده، مقدار پوشش گیاهی در سطح زمین را مشخص می‌کند. توسط نقشه های $NDVI$ زمین های با پوشش متراکم را می‌توان از زمین های بایر تشخیص داد. $NDVI$ همچنین در تعیین آب و یخ هم مورد استفاده قرار می‌گیرد. $NDVI$ با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌شود که در آن ρ_1 انعکاس طیفی (بازتاب پذیری) باند مادون قرمز نزدیک و ρ_2 انعکاس طیفی (بازتاب پذیری) باند قرمز است (۲).

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (۷)$$

شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال شده در محدوده‌ی -۱ تا +۱

برای قسمت‌های کوهستانی مقادیر منفی به دست آمده است که می‌توان آن را به وجود برف در قله‌ها و کوهپای اطراف نسبت داد. NDVI گیاه متراکم ۰/۷ و برای خاک لخت خشک ۰/۰۲۵ بیان شده و با توجه به اینکه مقدار NDVI در منطقه بین این دو مقدار می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که تراکم گیاهی در این دشت در حد متوسط می‌باشد. البته در بعضی از پیکسل‌ها مقدار NDVI حدود ۰/۶ است که نشان دهنده تراکم بالای گیاهی در این پیکسل می‌باشد در حالی که همین مقدار تحت تاثیر ناهمگنی کشت و خرده مالک بودن زمین های کشاورزی می‌باشد که این دو در اثر ایجاد جاده ها و عدم تطابق زمان و نوع و شرایط کشت ها، باعث کاهش تراکم گیاهی می‌شوند. به طوری که ممکن است یک پیکسل در یک زمان شامل کشت متراکم، جاده دسترسی به زمین، کشت کم تراکم و همچنین زمین دیوم باشد. پراکندگی NDVI در منطقه نامنظم بوده و مسئله مهمی که در اینجا وجود دارد، عدم همگن بودن کاربری اراضی و وجود روستاها و جاده ها و دیگر عوارض در منطقه می‌باشد که مقدار NDVI را تحت تاثیر خود قرار داده است. به علاوه این عوارض، دمای سطحی منطقه را نیز تحت تاثیر خود قرار می‌دهند. اکثر قریب به اتفاق این عوارض باعث بالا رفتن دمای محیط شده و همچنین تبخیر- تعرق گیاه را هم تحت شعاع قرار می‌دهند. شکل ۶ نیز دمای سطح در تاریخ May 26, 2008 را در منطقه نشان می‌دهد. در این مرحله دمای سطحی با توجه به تصویر و قابلیت نشر زیر قرمز حرارتی محاسبه شده و سپس با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی منطقه، اصلاح شده است. قابلیت نشر زیر قرمز حرارتی با توجه به NDVI و آلبيدوی سطحی محاسبه می‌شود. اشکال ۷ و ۸ نیز به ترتیب میزان تشعشع خالص و شارگرمایی خاک را در تاریخ May 26, 2008 نشان می‌دهند.

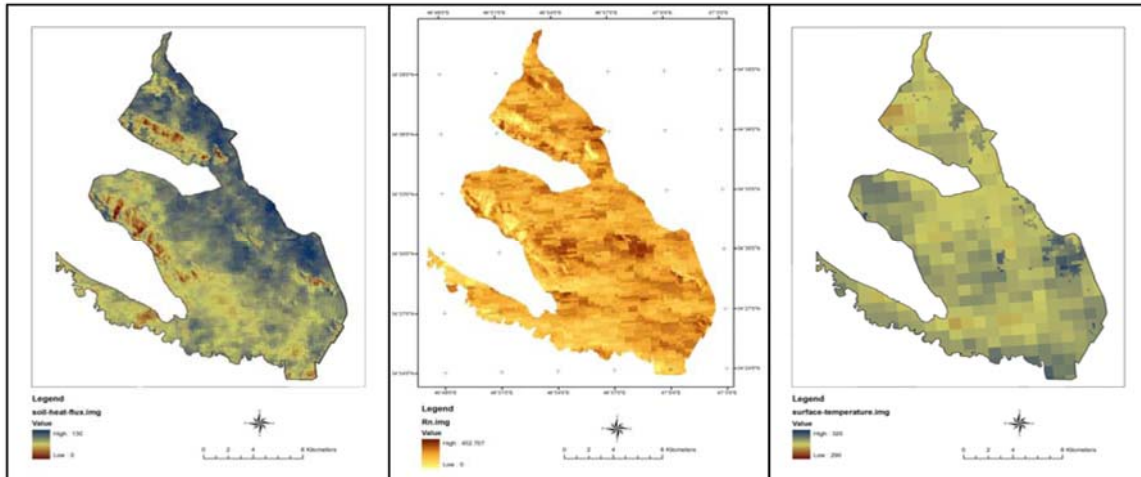
بنابراین برای سایر پارامترهای محاسبه شده در الگوریتم سبال تنها به ذکر یک نمونه (در تاریخ May 26, 2008) اکتفا شده و میزان تبخیر- تعرق گیاه به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۳ تابش‌های ماورای زمینی ۲۴ ساعته را نشان می‌دهد. آلبيدوی سطحی نیز با توجه به معادلات مربوط محاسبه شده است. شکل ۴ نقشه پهنه بندی آلبيدوی سطحی را نشان می‌دهد. واضح است که این مقادیر در محدوده موجود در منابع مختلف قرار گرفته که این امر موجب تایید الگوریتم سبال می‌گردد. این مقادیر با استفاده از باندهای ۱ و ۲ مودیس بدست آمده است. همچنین می‌توان از باندهای ۳، ۴، ۵، ۷، ۲ مودیس هم علاوه بر باندهای ۱ و ۲ جهت تعیین آلبيدو استفاده نمود. با استفاده از هر دو روش در این منطقه، مقادیر مشابهی بدست آمد. در منطقه مورد مطالعه، کشت پاییزه در ماه اکتبر آغاز شده، در ماه‌های آوریل و می به حداکثر تراکم می‌رسد و در این ماه برداشت محصولات آغاز می‌شود. از آن پس کشت محصولات بهاره آغاز شده که زمان برداشت آنها ماه آگوست می‌باشد (۶). این روند تغییر تراکم گیاهی به وضوح در NDVI مشهود است. زمینهای شامل پوشش گیاهی متراکم دارای مقادیر مثبت NDVI از ۰/۳ تا ۰/۸ هستند. در حالی که مناطق برفی و ابری دارای مقدار منفی می‌باشند. سطح آزاد آب که انعکاس نسبتاً کمی در هر دو باند دارد، مقادیر پایین مثبت یا حتی منفی را شامل می‌شوند. خاکهایی که عموماً انعکاس طیف زیرقرمز نزدیک آنها بالاتر از طیف قرمز است، مقادیر مثبت پایین ۰/۱ تا ۰/۲ را می‌گیرند. به عنوان مثال شکل ۵ نقشه پهنه بندی مقادیر NDVI در تاریخ May 26, 2008 در منطقه را نشان می‌دهد. مقدار NDVI برای آب و برف و یخ منفی می‌باشد و با توجه به اینکه در این دشت پیکسلی که شامل این عوارض باشد، موجود نیست، مقدار منفی هم در محدوده دشت بدست نیامد و تنها در بعضی از روزها و



شکل ۵- تفاوت شاخص گیاهی نرمال شده

شکل ۴- آلبيدوی سطحی

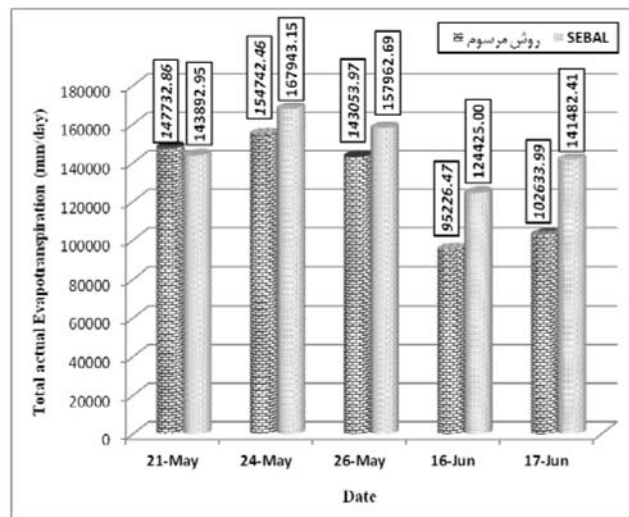
شکل ۳- تابش های ماوراء زمینی ۲۴ ساعته



شکل ۸- شار گرمایی خاک

شکل ۷- تشعشع خالص

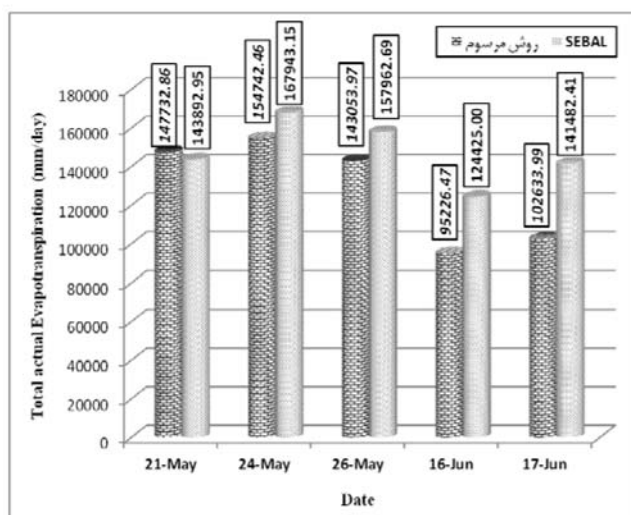
شکل ۶- دمای سطح



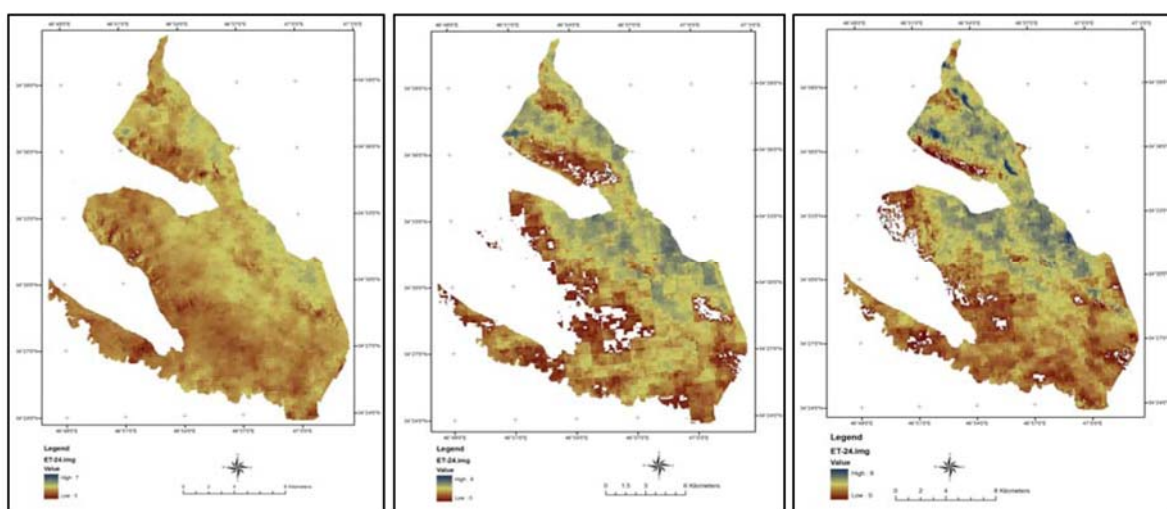
شکل ۹- نمودار مجموع تبخیر و تفرق واقعی در هر روز از سطح دشت میان دریند

جدول ۳- مقادیر متوسط تبخیر- تفرق واقعی و کل تبخیر- تفرق

Date	Average of Actual Evapotranspiration (mm/day)	Total actual Evapotranspiration (mm/day)
May 21	7.82	143892.95
May 24	7.92	167943.15
May 26	7.56	157962.69
June 16	7.77	124425.00
June 17	5.74	141482.41
June 24	5.64	133545.51
June 25	6.28	106041.41
July 8	5.44	80439.02
July 13	5.28	48957.35
July 15	4.99	25890.17
July 19	4.89	70017.68
July 29	4.49	44953.32
August 11	3.96	28097.62
August 13	3.92	64714.71
August 18	3.95	39973.09



شکل ۱۰- نمودار مقایسه تبخیر- تعرق محاسبه شده با استفاده از روش مرسوم فائو ۵۶ و الگوریتم سبال



شکل ۱۱- تبخیر- تعرق واقعی در ۲۱ می شکل ۱۲- تبخیر- تعرق واقعی در ۲۴ می شکل ۱۳- تبخیر- تعرق واقعی در ۲۶ می

قرار دارد محاسبه گردید. شکل ۱۰ مقایسه بین تبخیر- تعرق محاسبه شده با استفاده از روش مرسوم فائو ۵۶ و الگوریتم سبال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود این دو روش نتایج مشابه یکدیگر را به دست می‌دهند. از طرفی ضریب همبستگی روش سبال با روش مرسوم معادل با ۰/۸۴ بر آورد می‌شود. شکل‌های ۱۱ تا ۱۵ نیز به ترتیب نقشه تبخیر- تعرق محاسباتی برای پنج روز از سال را که محصول گندم بر روی زمین قرار دارد، نشان می‌دهند.

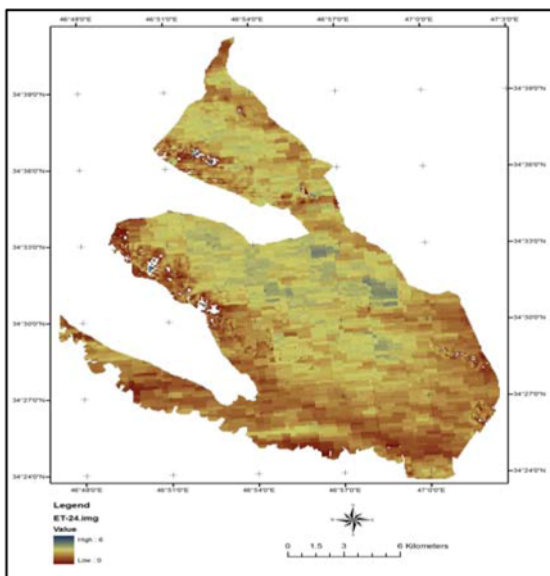
نتیجه‌گیری

الگوریتم سبال معادله کامل بیلان انرژی را به منظور محاسبه تبخیر- تعرق واقعی گیاه، حل میکند و پارامترهای محاسبه شده در آن از قبیل: دمای سطحی، NDVI در محدوده خاصی تعریف شده‌اند

مقادیر متوسط تبخیر- تعرق واقعی و کل تبخیر- تعرق روزانه از سطح در دشت میان دربند در ۱۵ روز مختلف محاسبه شده، که در جدول ۳ آمده است. در شکل ۹ نیز مجموع تبخیر- تعرق واقعی در هر روز از سطح دشت نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، میزان تبخیر- تعرق روندی رو به کاهش داشته است. با توجه به این موضوع که بیش از ۵۰ درصد سطح زیر کشت منطقه مورد مطالعه را غلات تشکیل می‌دهند و این محصولات تا اواخر خرداد ماه بر روی زمین قرار داشته و بعد از آن برداشت می‌شوند، می‌توان روند کاهشی تبخیر- تعرق را منطقی دانست و به کاهش پوشش گیاهی نسبت داد.

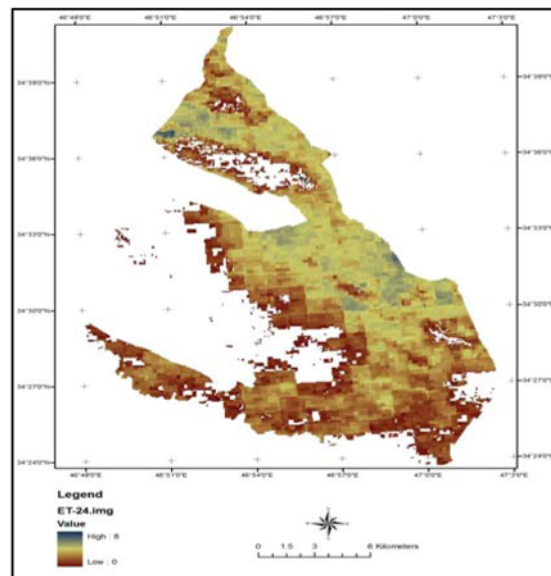
از سوی دیگر تبخیر- تعرق واقعی گندم با استفاده از روش مرسوم فائو ۵۶ برای روزهایی از سال که این محصول بر روی زمین

خورشیدی، طول روز، رطوبت هوا و همچنین عدم کالیبره کردن ضرابی مانند ضریب تشنگ تبخیر، ضریب گیاهی برای هر منطقه، برآورد تبخیر- تعرق به روشهای معمول خطای بسیاری دارد. در این راستا می‌توان روش‌های نوینی همانند استفاده تصاویر ماهواره‌ای، را مد نظر داشت و تبخیر- تعرق گیاه را برای دشتهای مختلف در مقیاس وسیع و همچنین مقیاس نقطه‌ای محاسبه نمود. واضح است که با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی مناسب با وسعت و همگنی مزارع منطقه و در فواصل زمانی مناسب، می‌توان اقدام به ترسیم نقشه‌های تبخیر- تعرق واقعی گیاه برای هر منطقه، در طول فصل رشد نمود.



شکل ۱۵- تبخیر- تعرق واقعی در ۱۷ ژوئن

و قابل قبول هستند. محاسبات نشان داد که نتایج حاصل با محدوده‌های قابل قبولی که در منابع و آمارهای موجود اعلام شده، مطابقت داشته است و این الگوریتم را مورد تایید قرار می‌دهند.



شکل ۱۴- تبخیر- تعرق واقعی در ۱۶ ژوئن

همچنین در مقایسه با روش مرسوم فائو، مشاهده شد که سیال با نتایج قابل قبولی، تبخیر- تعرق واقعی را محاسبه نموده و این نیز دلیلی بر مناسب بودن این روش در محاسبه تبخیر- تعرق می باشد. با توجه به نقشه‌های تبخیر- تعرق گیاه که توسط سیال ارائه می‌شود میتوان به این نتیجه رسید که با توجه به شرایط مزرعه مانند نزدیکی به منطقه مسکونی، جاده، منبع آب سطحی و زیرسطحی و غیره مقدار تبخیر- تعرق گیاه متفاوت بوده و در نتیجه نیاز آبیاری گوناگونی برای به یک گیاه باید در نظر گرفت. به دلیل خطاهای موجود در جمع آوری داده های آب و هوایی از جمله سرعت باد، دمای هوا، تشعشع

منابع

- ۱- اکبری م،، سیف ز. و زارع ایبانه ح. ۱۳۹۰. برآورد میزان تبخیر- تعرق واقعی و پتانسیل در شرایط اقلیمی مختلف با استفاده از سنجش از دور. آب و خاک. ۲۵(۴): ۸۳۵-۸۴۴.
- ۲- پورمحمدی س،، دستورانی م،، مختاری م. و رحیمیان م. ۱۳۸۹. تعیین و پهنه بندی تبخیر- تعرق واقعی توسط تکنیک سنجش از دور و الگوریتم سیال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز منشاد در استان یزد). علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۲۱(۴): ۲۱-۳۰.
- ۳- ثنایی نژاد س.ح،، نوری س. و هاشمی نیا س.م. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر- تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره ای در منطقه مشهد. آب و خاک. ۲۵(۳): ۵۴۰-۵۴۷.
- ۴- دستورانی م،، پورمحمدی س. و رحیمیان م. ۱۳۹۱. تخمین تبخیر- تعرق واقعی باغات پسته منطقه اردکان به کمک سنجش از دور. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶(۱): ۱-۱۲.
- ۵- علیزاده ا. و کمالی غ. ۱۳۸۶. نیاز آبی گیاهان در ایران. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع). مشهد.

- ۶- عمادزاده م. ۱۳۸۶. کاربرد سنجش ازدور در تخمین کارایی آب در مقیاس حوضه ای (مطالعه موردی در زیر حوضه قره سو)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
- ۷- مباشری م. ۱۳۸۵. مبانی فیزیک در سنجش از دور و فناوری ماهواره ای، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. تهران.
- ۸- مباشری م، خاوریان ح، ضیائیان پ. و کمالی غ. ۱۳۸۶. برآورد تبخیر- تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره Terra سنجنده MODIS در منطقه عمومی گرگان. مدرس علوم انسانی. ۱۱(۱):۱۲۱-۱۴۲.
- 9- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56.
- 10- Allen R., Tasumi M., Trezza R., Waters R., and Bastiaanssen W. 2002. SEBAL Advanced Training and User's Manual (1st ed.). University of Idaho.
- 11- Allen R.G., Morse A., and Tasumi A. 2003. Application of SEBAL for Western US water rights regulation and planning., ICID Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions, 17 sept. 2003.
- 12- Bastiaanssen W.G.M., Ahmad M.D., and Chemin Y. 2002. Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. *Water Resource Research*. 38(12): 1-9.
- 13- Bastiaanssen W.G.M., Noordman E.J.M., Pelgrum H., Davids G., Thoreson B.P., and Allen R.G. 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131(1):55-93.
- 14- Burman R., and Pochop L.O. 1994 Evaporation, evapotranspiration and climatic data. *Developments in atmospheric science*(22). Elsevier, Amsterdam. 278p.
- 15- Hong S.H., Hendrickx J.M.H., and Borchers B. 2005. Effect of scaling transfer between evapotranspiration maps derived from LandSat 7 and MODIS images. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering*, SPIE. 5811:147-158.
- 16- Jia L., Xi G., Liu S., Huang C., Yan Y. and Liu Y. 2009. Regional estimation of daily to annual regional evapotranspiration with MODIS data in the Yellow River Delta wetland. *Hydrology and Earth System Science*., 13, 1775- 1787.
- 17- Jia D., Kaishan S., Zongming W., Bai Z. and Dianwei L. 2013. Evapotranspiration Estimation Based on MODIS Products and Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL) Model in Sanjiang Plain, Northeast China. *China Geographical Science*. 23(1): 73-91.
- 18- Kosa P., and Pongput K. 2008. Comparison of evapotranspiration simulated by the Penman- Monteith method with the surface energy balance method. *The 6th Regional Symposium on Infrastructure Development*.
- 19- Kumar Sen P. 2004. Diagnosing irrigation water resources with multi sensor remote sensing and GIS techniques (A case study of the Roxo Dam irrigation system, Portugal). Master of science thesis. International institute for geo information science and earth observation. Enschede, The Netherlands.
- 20- Mokhtari M.H. 2005. Agricultural drought impact assessment using remote sensing (a case study Borkhar district- Iran). Master of science thesis. International Institute for Geo-information science and earth observation. Enschede, The Netherlands.
- 21- MODIS Home Page: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specs.html>
- 22- Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer user guide. Iranian Space Agency.
- 23- Sun Z., Wei B., Su W., Shen W., Wang C., You D. and Liu Z. 2011. Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. *Mathematical and Computer Modelling* 54: 1086-1092.

Calculation and Zoning of Evapotranspiration using SEBAL method In the West of Iran (Miandarband Plain)

H. Ghamarnia^{1*} - S. V. Rezvani²

Received: 11-04-2013

Accepted: 05-02-2014

Abstract

Today, remote sensing is used in various sciences, such as: geography, biology, meteorology, agriculture, water resources management and etc. Easy and inexpensive data access and data precision, digital and extensive and comprehensive of images that having the frequency spectrum, are some advantages of remote sensing, than other methods of providing information. Therefore, by using algorithms in remote sensing that having the evaporation and transpiration, you can have a big step in the management of water resources. Among of these algorithms, SEBAL is a remote sensing algorithm that calculating surface energy balance for each pixel of a satellite image at each moment. In this study, surface albedo, surface temperature and vegetation status index were calculated by using this algorithm and multi-spectral satellite data and meteorological information such as degree of temperature, hours of sunshine, wind, saturated vapor pressure, soil humidity and etc. Finally evapotranspiration of Miandarband plain (west of Iran) was determined and the evapotranspiration maps were prepared. Also, the actual evapotranspiration computed for wheat using FAO conventional method and was compared with SEBAL method. The results showed that there was a high correlation (0.84) between these two methods.

Keywords: Plant evapotranspiration, Remote sensing, SEBAL, Miandarband, FAO

1 - Associate Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
(* - Corresponding Author Email: hghamarnia@razi.ac.ir)

2 - Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Kurdistan University, Sanandaj, Iran