

ارزیابی برآورد تبخیر- تعرق گیاه گندم با استفاده از الگوریتم سبال (مطالعه موردی: ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان حاجی‌آباد)

الناز زمان ثانی - دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم جغرافیایی، دانشگاه هرمزگان
اسداله خورانی* - دانشیار گروه علوم جغرافیایی، دانشگاه هرمزگان
عدنان صادقی لاری - استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه هرمزگان
جواد سدید - استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۲

چکیده

در اغلب روش‌هایی که تاکنون برای محاسبه تبخیر- تعرق ارائه شده است از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای برای تخمین این متغیر استفاده می‌شود. بنابراین، فقط در مقیاس محلی مناسب است و به سبب پویایی و تغییرات منطقه‌ای تبخیر- تعرق (ET) قابل تعمیم به حوضه‌های بزرگ نیست. یکی از مشهورترین الگوریتم‌های سنجش از دور برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) است. در این الگوریتم از طریق برآورد همه مؤلفه‌های انرژی در سطح زمین از جمله شار تابش خالص، شار گرمای خاک، و شار گرمای محسوس و با استفاده از معادله توازن انرژی به محاسبه تبخیر- تعرق اقدام می‌شود. هدف از این تحقیق ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی تبخیر- تعرق واقعی گندم در محدوده ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان حاجی‌آباد با استفاده از الگوریتم سبال و چهار تصویر لندست ۷/ سنجنده ETM⁺ در سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸۴ است. پس از مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم سبال با داده‌های لایسیمتر، مشخص شد که میانگین تفاضل مطلق بین نتایج یادشده ۰/۷ میلی‌متر در روز و ضریب همبستگی برابر ۰/۸۳ است. بررسی آماری نتایج با آزمون تی نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین نتایج حاصل از الگوریتم سبال و لایسیمتر وجود ندارد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم سبال از کارایی مناسبی برای برآورد تبخیر- تعرق در منطقه مورد مطالعه برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: الگوریتم سبال، تبخیر و تعرق، تصاویر لندست، حاجی‌آباد، گندم.

مقدمه

کشور ایران، به لحاظ اقلیمی، جزو کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان به‌شمار می‌رود؛ به طوری که از یک سو متوسط بارندگی سالانه آن حدود یک‌سوم متوسط بارندگی خشکی‌ها و کمتر از یک‌سوم بارندگی متوسط کره زمین است و از سوی دیگر میزان تبخیر آن حدود سه برابر تبخیر خشکی‌های زمین است (دین‌پژوه و جهان‌بخش، ۲۰۰۸). از طرف دیگر، با توجه به اینکه در کشور ما بخش کشاورزی حدود ۹۴ درصد کل آب مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد (زاهدی و بیاتی خطیبی، ۲۰۰۹)، با بهبود مدیریت آب در این بخش و افزایش راندمان مصرف آن، می‌توان به نحو قابل ملاحظه‌ای در مصرف آن صرفه‌جویی کرد. یکی از روش‌هایی که باعث بهبود مدیریت مصرف آب و در نهایت افزایش راندمان آب مصرفی می‌شود، برآورد تبخیر- تعرق واقعی یا برآورد میزان آب مصرفی گیاه است (توسونی و همکاران، ۲۰۰۸).

روش‌های تجربی زیادی در طی پنجاه سال گذشته برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی یا پتانسیل با استفاده از متغیرهای هواشناسی و اقلیم‌شناسی به‌وجود آمده است. اما مشکل اساسی همه آن‌ها در این است که با استفاده از این روش‌ها فقط می‌توان مناطق همگن اطراف ایستگاه‌های هواشناسی را ارزیابی کرد و تعمیم‌دادن آن‌ها به سایر مناطق مشکل است. در حال حاضر، روش‌های مبتنی بر سنجش از دور راه‌حل مناسبی برای به‌دست‌آوردن متغیرهای مختلف در مقیاس‌های زمانی و مکانی مورد نیاز به منظور برآورد تبخیر و تعرق‌اند (سانتوس و همکاران، ۲۰۰۹).

جیا و همکاران (۲۰۱۳) مقدار تبخیر- تعرق را با استفاده از روش سبال و با استفاده از تصاویر مودیس و لندست در دو منطقه واقع در کشور چین برآورد کردند و نشان دادند که به‌کارگیری الگوریتم سبال می‌تواند نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های منابع آب ایفا کند.

میربوقوب‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) به تعیین و ارزیابی تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در حوضه آبخیز تمر استان گلستان پرداختند و با استفاده از پنج تصویر سنجنده مودیس به مقایسه تبخیر- تعرق حاصل از الگوریتم سبال با روش استاندارد فائو اقدام کردند. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که الگوریتم سبال قابلیت تعیین میزان تبخیر- تعرق واقعی را در سطح وسیع بدون نیاز به داده‌های هواشناسی زیاد دارد. همچنین، نتایج نشان داد که الگوریتم سبال میزان تبخیر- تعرق را بین ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر در روز کمتر از روش پنمن مانیتیت برآورد می‌کند.

هونگ و همکاران (۲۰۰۹) تبخیر- تعرق روزانه را با استفاده از الگوریتم سبال برای دو تصویر لندست و مودیس در نیومکزیکو به‌دست آوردند. هدف آن‌ها از این مطالعه آزمون پایداری الگوریتم سبال برای سنجنده‌های مختلف ماهواره لندست و مودیس بود. نتایج نشان داد تبخیر- تعرق روزانه حاصل از تصویر لندست دارای انحراف معیار بالاتر و استانداردتر از تصاویر مودیس است؛ اما متوسط مقادیر تبخیر- تعرق روزانه برای دو تصویر خیلی مشابه بود که تفاوت این دو مقدار در دقت مکانی، هندسی، و رادیومتریکی این دو تصویر است.

کریمی و همکاران (۲۰۱۳) به برآورد تبخیر- تعرق واقعی ذرت در ماهیدشت کرمانشاه با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره لندست ۵ پرداختند. حداکثر درصد خطا بین تبخیر- تعرق محاسبه‌شده برای محصول ذرت با الگوریتم سبال و مقادیر اندازه‌گیری‌شده در لایسیمتر کمتر از ۱۰ درصد تعیین شد. نتایج نشان داده است که مقایسه بین مقادیر تخمینی به وسیله الگوریتم سبال و مقادیر اندازه‌گیری‌شده در مزرعه ذرت دقت رضایت‌بخشی (حداکثر تفاوت کمتر از ۱۰ درصد) دارد. در مجموع، مقادیر تبخیر- تعرق واقعی سبال و تبخیر- تعرق پتانسیل پنمن- مانیتیت دارای میانگین تفاضل مطلق ۰/۶۲ میلی‌متر در روز است و بیانگر آن است که بین مقادیر تخمین‌زده‌شده به وسیله الگوریتم سبال و روش پنمن- مانیتیت تطابق خوبی وجود دارد.

این‌دیا کیشان و همکاران (۲۰۱۷) به تخمین تبخیر- تعرق واقعی محصول گندم با استفاده از الگوریتم سبال و روش استاندارد شده پنمن- مانیتیت و مقایسه با نتایج لایسیمتر در منطقه بیوانی در هاریانا پرداختند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که الگوریتم سبال پتانسیل خوبی برای برآورد تبخیر- تعرق منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین، نتایج این آنالیز نشان داد مقدار بارش کافی و در دسترس بودن آب به تولید بیشتر گندم و در نتیجه افزایش تبخیر- تعرق منجر می‌شود.

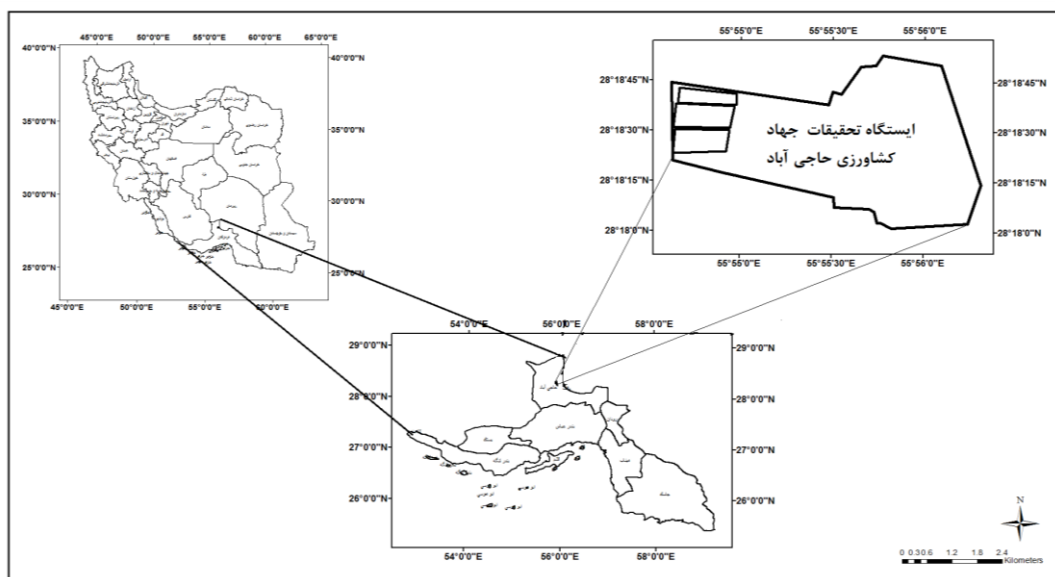
واگل و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی عملکرد پنج مدل توازن انرژی سطح زمین برای برآورد تبخیر- تعرق روزانه زیست‌توده سورگوم پرداختند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که الگوریتم‌های سبال و S-SEBI برای برآورد تبخیر- تعرق زیست‌توده سورگوم بهترین عملکرد را داشتند؛ در حالی که الگوریتم‌های متریک و SSEBop عملکرد ضعیفی داشتند.

نتایج تحقیقات انجام‌شده حاکی از آن است که با استفاده از تکنیک سنجش از دور می‌توان تبخیر- تعرق واقعی گیاه را با دقت خوبی برآورد کرد. بنابراین، در تحقیق حاضر برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه گندم به پردازش تصاویر ماهواره

لندست ۷ سنجنده⁺ ETM در منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم سبال پرداخته شد و نتایج حاصل با داده‌های لایسیمتر موجود در مرکز تحقیقات مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان حاجی‌آباد، که در ارتفاع ۹۲۰ متری از سطح دریا و به مساحت ۲۰۰ هکتار در جنوب شرقی شهرستان حاجی‌آباد واقع شده، انجام شده است (شکل ۱). در این تحقیق از روش الگوریتم سبال برای محاسبه تبخیر- تعرق، از الگوریتم مجموع درجه حرارت مؤثر برای محاسبه درجه روز گیاه گندم، و از داده‌های اخذ شده از لایسیمتر برای صحت‌سنجی تبخیر- تعرق محاسبه شده با استفاده از الگوریتم سبال استفاده شد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی مزارع گندم مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان حاجی‌آباد

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

برای اجرای این تحقیق، از تصاویر ماهواره لندست ۷/ سنجنده⁺ ETM قابل دسترس در سال ۲۰۰۵ میلادی استفاده شد. در طی فصل زراعی گندم، از چهار تصویر موجود در تاریخ‌های مشخص شده در جدول ۱ استفاده شد (جدول ۱). علت انتخاب این تصاویر قدرت تفکیک مکانی متوسط و در دسترس بودن آن‌ها بوده است. تصاویر اخذ شده دارای شرایط آب‌وهوایی مناسب و بدون پوشش ابر می‌باشند. سازمان زمین‌شناسی امریکا تصحیحات مختلف مورد نیاز این تصاویر را انجام داده و در دسترس کاربران قرار گرفته است. در این مطالعه از نرم‌افزارهای ENVI5 و ArcGIS10 برای پردازش‌های مختلف، تبدیل اعداد رقومی (DN) تصاویر به رادیانس، اجرای الگوریتم سبال، و ترسیم نقشه‌های تبخیر- تعرق استفاده شد.

جدول ۱. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق

شماره گذر	تاریخ دریافت	ماهواره/ سنجنده	شماره تصویر
p160r40	2005-01-25	ETM ⁺ , LANDSAT 7	۱
p160r40	2005-02-10	ETM ⁺ , LANDSAT 7	۲
p160r40	2005-03-30	ETM ⁺ , LANDSAT 7	۳
p160r40	2005-04-15	ETM ⁺ , LANDSAT 7	۴

داده‌های لایسیمیتری

برای مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق واقعی حاصل از روش سبال به مقادیر تبخیر-تعرق واقعی قابل اطمینان نیاز است. در این مطالعه از داده‌های لایسیمتر موجود در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان حاجی‌آباد در سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸۴ استفاده شده است (جدول ۲). برای انجام‌دادن این مقایسه، داده‌های لایسیمتر گیاه مرجع (چمن) به گیاه گندم تبدیل شد (فرشی و همکاران، ۱۹۹۷).

جدول ۲. تبخیر-تعرق محاسبه‌شده گیاه چمن توسط لایسیمتر ۱۳۸۳-۱۳۸۴ (مرادی، ۲۰۰۱)

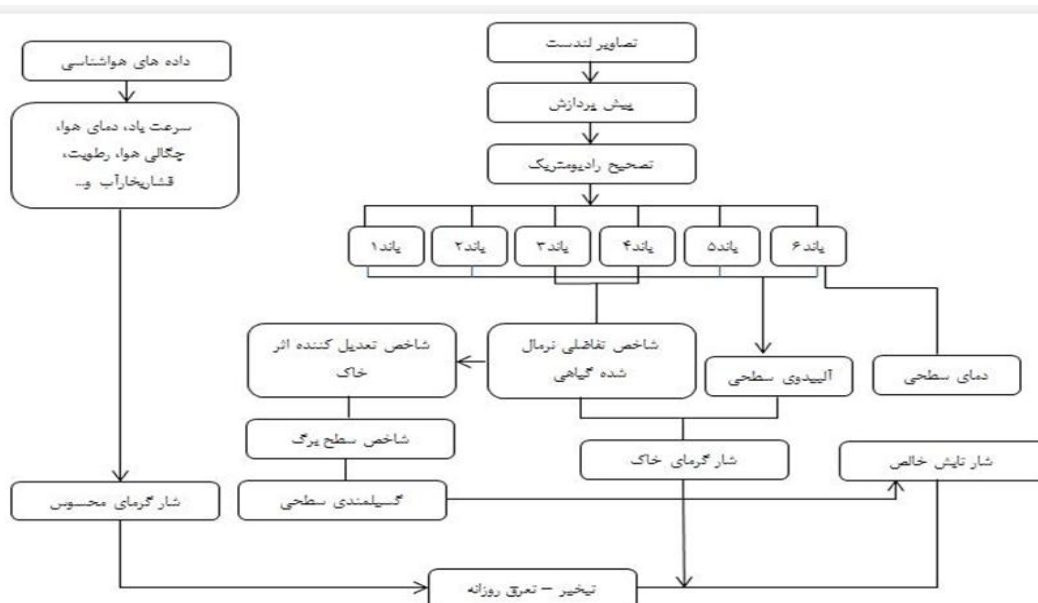
ردیف	دهه	ماه	تبخیر-تعرق	میانگین تبخیر-تعرق ماهانه
۱	۱	بهمن ۱۳۸۳	۲۲٫۸	۲۵٫۸
	۳		۲۷٫۳	
۲	۱	فروردین ۱۳۸۴	۴۶٫۵	۶۱
	۳		۶۹	

الگوریتم سبال

این الگوریتم را نخستین بار وییم باستیانسن (۲۰۰۱) در کشور هلند ابداع کرد و آلن و همکاران (۲۰۰۲) آن را بازنگری کردند. در این روش، تبخیر-تعرق واقعی از طریق تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی با استفاده از بیلان انرژی سطح محاسبه می‌شود. وقتی که تصویر ماهواره‌ای اطلاعاتی را برای زمان عبور خود فراهم می‌کند الگوریتم سبال شار تبخیر-تعرق لحظه‌ای را برای آن زمان محاسبه می‌کند (شکل ۲ روند نمای کلی الگوریتم سبال را نشان می‌دهد). شار تبخیر-تعرق برای هر پیکسل در یک تصویر به عنوان «باقی‌مانده معادله بیلان انرژی سطح» به شرح رابطه ۱ محاسبه می‌شود (آلن و همکاران، ۲۰۰۲):

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

در این معادله، λET شار گرمای نهان تبخیر (w / m^2)، R_n شار تابش خالص خورشیدی (w / m^2)، G شار گرمای خاک (w / m^2) و H شار گرمای محسوس (w / m^2) است.



شکل ۲. روند کلی الگوریتم سبال

مقدار شار تابش خالص از توازن چهار شار تابشی در سطح زمین به دست می‌آید که عبارت‌اند از: تابش موج کوتاه ورودی به عنوان تابعی از آلبدوی سطحی؛ بازتابش طول موج کوتاه خروجی؛ تابش طول موج بلند ورودی از اتمسفر به عنوان تابعی از گسیلمندی سطحی؛ و تابش طول موج بلند گسیل شده از سطح. شار تابش خالص در واحد سطح از رابطه ۲ به دست می‌آید (آلن و همکاران، ۲۰۰۲):

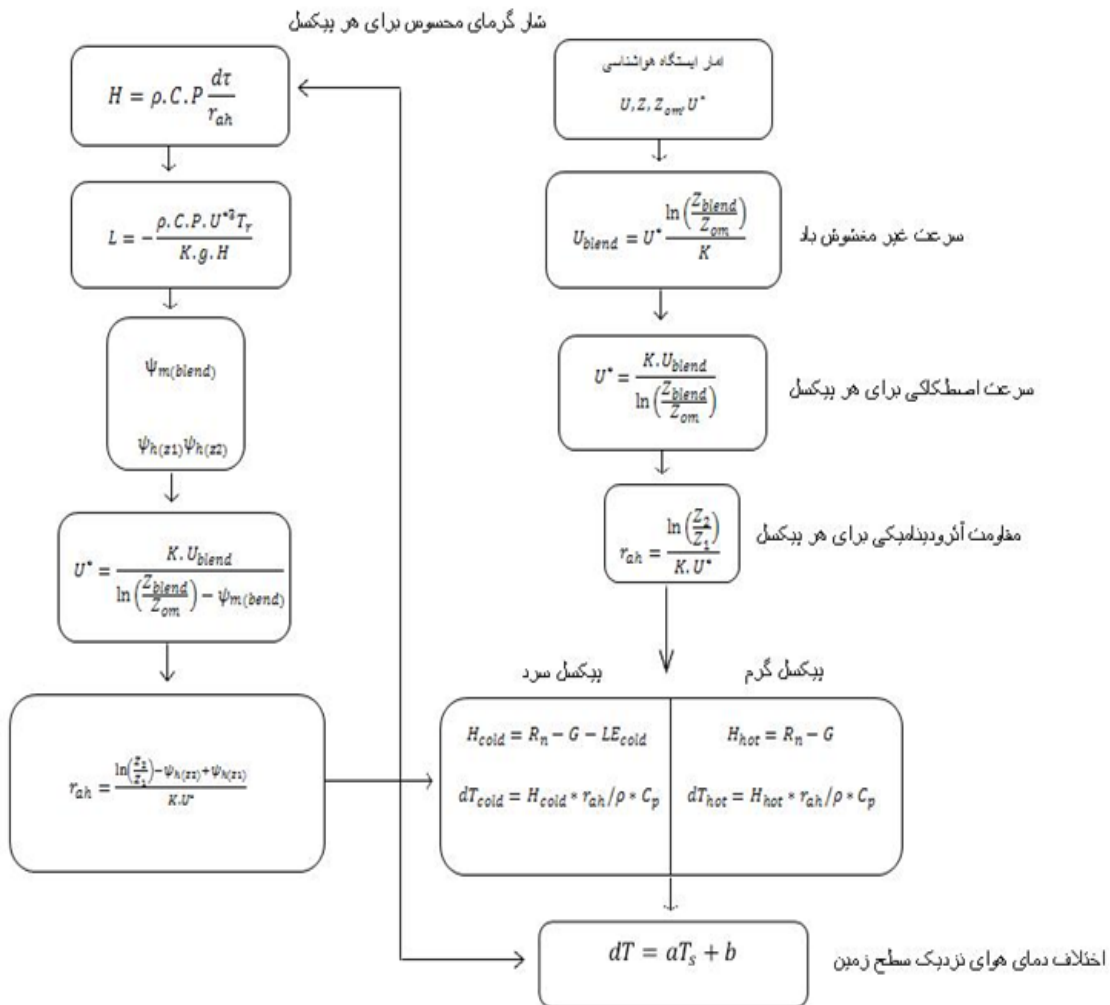
$$R_n = (1 - \alpha)R_{sl} + R_{Ll} - R_{Ll} - (1 - \epsilon_0)R_{Ll} \quad (2)$$

در این رابطه، α آلبدوی سطحی، R_{sl} تابش موج کوتاه ورودی، R_{Ll} تابش طول موج بلند ورودی از اتمسفر، R_{Ll} بازتابش طول موج بلند گسیل شده از سطح، و ϵ_0 گسیلمندی سطحی باند پهن است.

شار گرمایی خاک، میزان ذخیره گرما در داخل خاک، و پوشش گیاهی در اثر هدایت مولکولی است که تابعی از جزء پوشش گیاهی و شاخص سطح برگ است. مقدار این شار از رابطه ۳ به دست می‌آید (آلن و همکاران، ۲۰۰۲):

$$\frac{G}{R_n} = T_s / \alpha (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2) (1 - 0.98NDVI^4) \quad (3)$$

در این رابطه، T_s دمای سطح زمین ($^{\circ}C$)، α آلبدوی سطحی، و NDVI شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی، R_n شار تابش خالص ($w.m^2$)، و G شار گرمای خاک ($w.m^2$) است.



شکل ۳. نمودار اجزای شار گرمای محسوس (آلن و همکاران، ۲۰۰۲)

شار گرمای محسوس میزان هدررفت گرما از خاک به هوا به وسیله همرفت است و هدایت مولکولی به علت اختلاف درجه حرارت است که تابعی از گرادیان دما، زبری سطح، و سرعت باد است (شکل ۳ نمودار محاسبه شار گرمای محسوس را نشان می‌دهد). در رابطه ۴ دو مجهول r_{ah} و dT وجود دارد که حل آن را مشکل می‌کند. برای ساده‌تر کردن محاسبات از دو پیکسل سرد و گرم (که می‌تواند مقادیر قابل اعتمادتری برای H پیش‌بینی کرده و با استفاده از آن dT برآورد شود) و سرعت باد در ارتفاع معین استفاده می‌شود. با توجه به اینکه r_{ah} تابعی از شار گرمای محسوس است، معادله بالا دارای حل صریح نیست و باید به روش چرخه‌ای حل شود. بنابراین، در مرحله اول از توابع پایداری صرف‌نظر می‌شود. اگرچه با صرف‌نظر کردن از توابع پایداری تخمین مقاومت آئروودینامیکی صحیح نیست، این امکان ایجاد می‌شود که بتوان سایر پارامترها را یکی پس از دیگری محاسبه کرد (ولی‌زاده، ۲۰۱۱؛ آلن و همکاران، ۲۰۰۲):

$$H = \frac{\rho \times C_p \times dT}{r_{ah}} \quad (4)$$

در این رابطه، ρ چگالی هوا (Kg/m^3)، C_p گرمای ویژه هوا (1004G/Kg.K)، dT اختلاف دمای ($T_1 - T_2$) بین دو ارتفاع ($Z_1 - Z_2$)، و r_{ah} مقاومت آئروودینامیکی برای انتقال گرماس (s/m).

شار گرمای نهان میزان تلفات گرما از سطح به علت تبخیر-تعرق را نشان می‌دهد که برای هر پیکسل با توجه به رابطه ۵ محاسبه می‌شود (آلن و همکاران، ۲۰۰۲):

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (5)$$

که λET مقدار لحظه‌ای برای زمان گذر ماهواره است (w/m^2).

مقدار تبخیر-تعرق لحظه‌ای از رابطه ۶ محاسبه می‌شود (آلن و همکاران، ۲۰۰۲):

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (6)$$

که ET_{inst} تبخیر-تعرق لحظه‌ای (mm/hr)، λ گرمای نهان تبخیر یا میزان گرمای جذب‌شده موقعی که یک کیلوگرم آب بخار می‌شود (J/Kg)، و عدد ۳۶۰۰ برای تبدیل زمان از ثانیه به ساعت است.

کسر تبخیر-تعرق لحظه‌ای به تبخیر-تعرق مرجع ($ET_r F$) از رابطه ۷ محاسبه می‌شود (آلن و همکاران، ۲۰۰۲):

$$ET_r F ET_r F = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (7)$$

غالباً مقادیر روزانه ET_{24} کاربرد بیشتری نسبت به مقادیر ET لحظه‌ای دارد. سبال ET_{24} را با فرض اینکه $ET_r F$

لحظه‌ای به صورت میانگین ۲۴ ساعته است (یعنی در طول ۲۴ ساعت تقریباً ثابت است) محاسبه می‌کند. تبخیر-تعرق

۲۴ ساعته را می‌توان از رابطه ۸ محاسبه کرد (آلن و همکاران، ۲۰۰۲):

$$ET_{24} = ET_r F \times ET_{r-24} \quad (8)$$

یافته‌های پژوهش

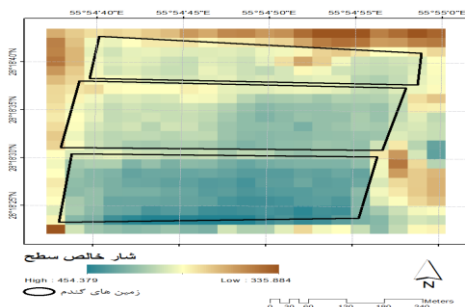
خروجی‌های الگوریتم سبال

در این مطالعه، الگوریتم سبال به روش آلن و همکاران (۲۰۰۲) اجرا و نتایج زیر استخراج شد.

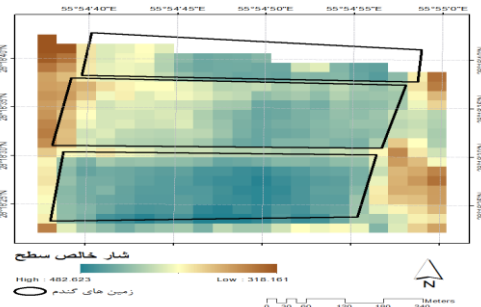
تابش سطحی خالص (R_n)

مقادیر شار تابش خالص بین ۱۰۰ تا ۷۰۰ وات بر متر مربع است که بستگی به سطح دارد. مقادیر محاسبه‌شده در این

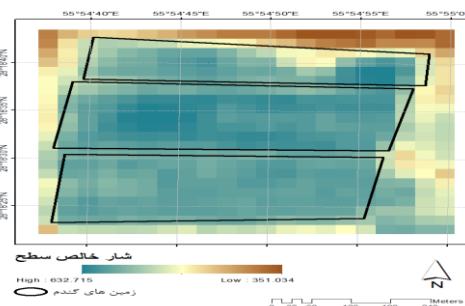
مطالعه برای این پارامتر بین ۲۳۷/۹۸ تا ۶۳۲/۷۱ وات بر متر مربع بوده است (شکل‌های ۴ تا ۷).



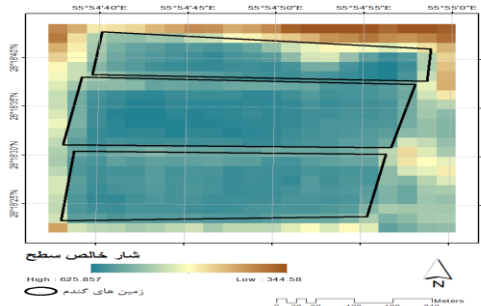
شکل ۵. شار تابش خالص تصویر ۲



شکل ۴. شار تابش خالص تصویر ۱



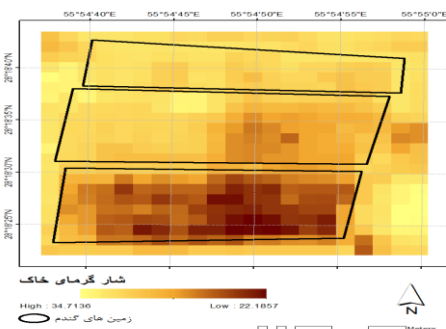
شکل ۷. شار تابش خالص تصویر ۴



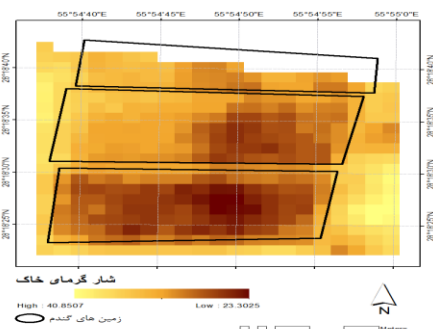
شکل ۶. شار تابش خالص تصویر ۳

شار گرمای خاک (G)

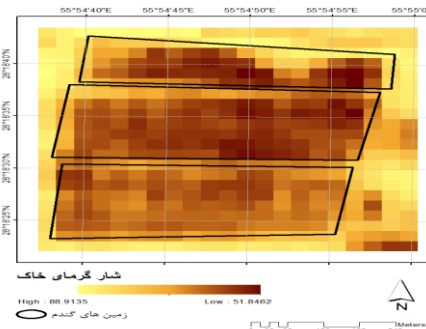
در این مطالعه شار گرمای خاک از تصویر ۱ تا ۴ به ترتیب ۰.۳، ۰.۴۴، ۰.۴۶، ۰.۹۶ وات بر متر مربع است که هر چه به ماه‌های گرم سال نزدیک‌تر می‌شویم دمای هوا و دمای سطح خاک افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار شار گرمای خاک نیز افزایش می‌یابد (شکل‌های ۸ تا ۱۱).



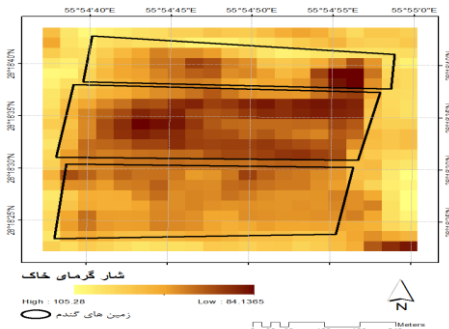
شکل ۹. شار گرمای خاک تصویر ۲



شکل ۸. شار گرمای خاک تصویر ۱



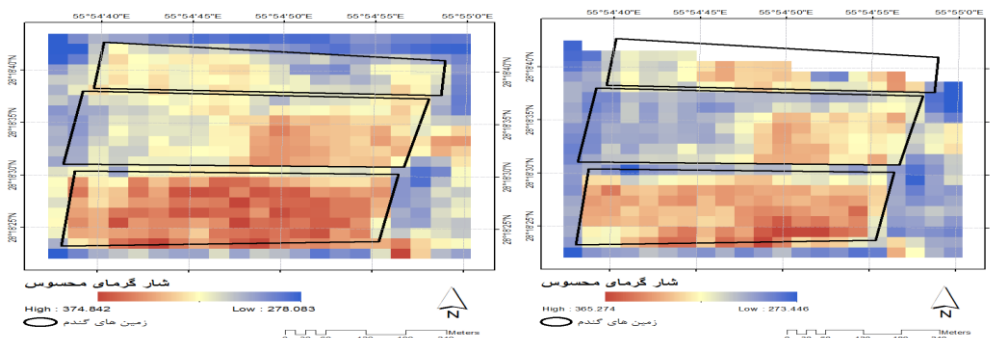
شکل ۱۱. شار گرمای خاک تصویر ۴



شکل ۱۰. شار گرمای خاک تصویر ۳

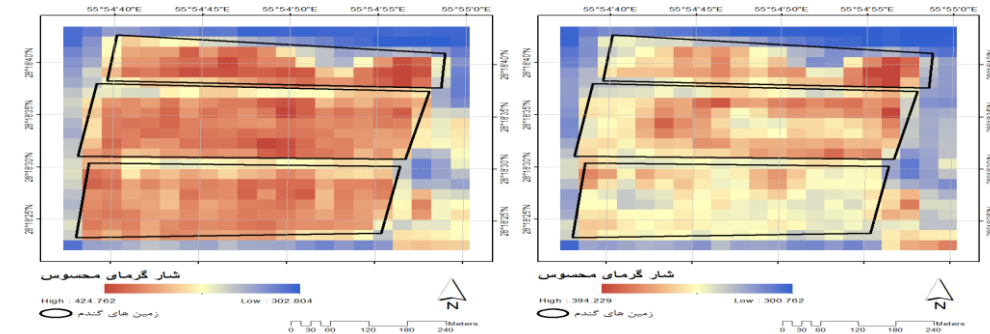
شار گرمای محسوس (H)

شار گرمای محسوس تابعی از گرادیان دما، زبری سطح، و سرعت باد است. در این مطالعه مقادیر این پارامتر بین ۲۵۳٫۲۷ تا ۴۳۳٫۵۰ محاسبه شده است (شکل‌های ۱۲ تا ۱۵).



شکل ۱۲. شار گرمای محسوس تصویر ۱

شکل ۱۳. شار گرمای محسوس تصویر ۲

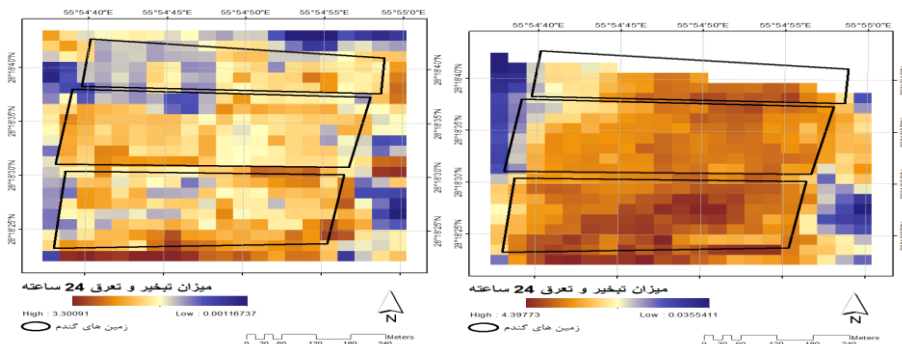


شکل ۱۴. شار گرمای محسوس تصویر ۳

شکل ۱۵. شار گرمای محسوس تصویر ۴

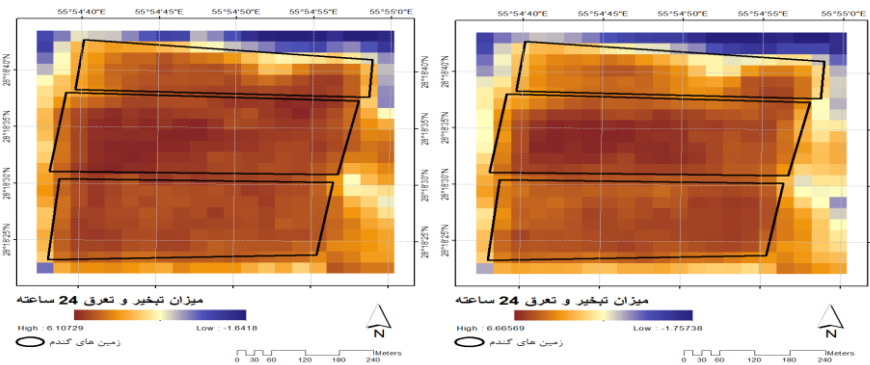
تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته (ET_{24})

از آنجا که مقدار روزانه تبخیر- تعرق کاربردی‌تر از مقادیر لحظه‌ای است، مقدار تبخیر- تعرق لحظه‌ای با استفاده از کسر تبخیر- تعرق مرجع به مقدار روزانه تبدیل می‌شود. در الگوریتم سبال برای تبدیل کردن مقادیر لحظه‌ای به مقادیر تبخیر- تعرق روزانه فرض می‌شود مقدار کسر تبخیر- تعرق مرجع به لحظه‌ای در طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز تقریباً ثابت است. در این مطالعه مقادیر این پارامتر ۳٫۶- تا ۶٫۶۶ میلی‌متر در روز محاسبه شده است (شکل‌های ۱۶ تا ۱۹).



شکل ۱۶. تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته تصویر ۱

شکل ۱۷. تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته تصویر ۲



شکل ۱۸. تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته تصویر ۳

شکل ۱۹. تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته تصویر ۴

تبدیل داده‌های لایسیمتر گیاه مرجع به گندم

در جدول ۳، با توجه به اینکه داده‌های لایسیمتر موجود در منطقه مربوط به گیاه مرجع چمن بوده است، مقادیر تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده گیاه مرجع با توجه به زمان اخذ تصویر و مرحله رشد گندم در ضریب گیاهی گندم ویژه منطقه حاجی‌آباد و همان مرحله خاص رشد ضرب و تبخیر- تعرق مرجع گیاه گندم محاسبه شد. ضرایب گیاهی گندم در مراحل مختلف رشد در نمودار ۴-۱ (فرشی و همکاران، ۱۹۹۷) و نتیجه محاسبات در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. تبدیل داده‌های لایسیمتر چمن به گندم با استفاده از ضریب گیاهی گندم در حاجی‌آباد در هر دوره از رشد

ماه	دهه	شماره تصویر	تبخیر- تعرق چمن به صورت دهه	تبخیر- تعرق گیاهی گندم	ضریب گیاهی تبخیر- تعرق گندم به تبخیر- تعرق چمن	صورت دهه	صورت روزانه
بهمن	اول	۱	۲۲,۸۰	۰,۹۲		۲۰,۹۷	۲,۰۹
	سوم	۲	۲۷,۳۰	۱,۱۰		۳۰,۰۳	۳,۰۰۳
فروردین	اول	۳	۴۶,۵۰	۱,۱۰		۵۱,۱۵	۵,۱۱
	سوم	۴	۶۹,۰۰	۱,۱۰		۷۵,۹۰	۷,۵۹

مقایسه نتایج لایسیمتر با الگوریتم سبال

پس از برآورد شارهای تابش خالص، گرمای خاک، گرمای محسوس، و گرمای نهان داده‌های به‌دست‌آمده برای تعیین میزان تبخیر- تعرق روزانه استفاده شد و نتایج حاصله با مقدار تبخیر- تعرق محاسبه‌شده توسط لایسیمتر مقایسه شد. نتایج نشان داد بیشترین تفاضل مطلق مربوط به تصویر ۴ با میزان ۲,۰۶ میلی‌متر در روز و کمترین تفاضل مربوط به تصویر ۱ با ۰,۲۱ میلی‌متر در روز بوده است. نتایج حاکی از آن است که بیشترین تفاضل نسبی مربوط به تصویر ۴ با ۲۷,۱۴ درصد و کمترین تفاضل نسبی مربوط به تصویر ۳ با مقدار ۴,۳۰ درصد است. همچنین، میانگین تفاضل مطلق ۰,۷ میلی‌متر در روز است که نشان‌دهنده همبستگی بین مقادیر محاسبه‌شده توسط الگوریتم سبال و داده‌های لایسیمتر است (نمودار ۱ و جدول ۴).



نمودار ۱. مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق روزانه محاسبه شده توسط الگوریتم سبال و لایسیمتر در مرکز تحقیقات کشاورزی حاجی آباد

جدول ۴. مقایسه تبخیر-تعرق روزانه اندازه گیری شده در مزرعه گندم با استفاده از لایسیمتر و مقادیر محاسبه شده به وسیله الگوریتم سبال

شماره تصویر	تاریخ	تبخیر-تعرق لایسیمتر (mm.day-1)	تبخیر-تعرق الگوریتم سبال (mm.day-1)	تفاضل مطلق (mm.day-1)	تفاضل نسبی (%)	میانگین تفاضل مطلق (mm.day-1)
۱	۱۳۸۳/۱۰/۰۶	۲,۰۹	۱,۸۸	۰,۲۱	۱۰,۰۴	
۲	۱۳۸۳/۱۰/۲۲	۳,۰۰	۳,۳۳	۰,۳۳	۱۱	۰,۷۰
۳	۱۳۸۴/۰۱/۱۰	۵,۱۱	۵,۳۳	۰,۲۲	۴,۳۰	
۴	۱۳۸۴/۰۱/۲۶	۷,۵۹	۵,۵۳	۲,۰۶	۲۷,۱۴	

ارزیابی عملکرد الگوریتم سبال

تحلیل‌های آماری بین مقادیر تبخیر-تعرق به دست آمده از الگوریتم سبال و لایسیمتر نشان داد که مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا برابر ۱,۰۵، ضریب همبستگی برابر با ۰,۹۱، و میانگین مطلق خطا برابر با ۰,۷۰ است و بیانگر این است که الگوریتم سبال از دقت کافی برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی برخوردار است (جدول ۵).

جدول ۵. نتایج ارزیابی عملکرد الگوریتم سبال نسبت به داده‌های لایسیمتر

RMSE	r	MAE
1.05	0.91	0.70

بحث

الگوریتم سبال از بخش‌های مختلفی تشکیل شده است. در طی این فرایند، پارامترهای متعددی از جمله شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی، دمای سطحی، و آلبیدوی سطحی با استفاده از اطلاعات تصاویر محاسبه می‌شود. قبل از بررسی نتایج

تبخیر-تعرق و مقایسه آن با داده‌های لایسیمتر، نخست صحت این پارامترها بررسی می‌شود و سپس به بررسی نتایج تبخیر-تعرق حاصل از سبال پرداخته می‌شود.

در این مطالعه برای هر چهار تصویر شاخص تفاضل نرمال‌شده گیاهی محاسبه شد. جدول ۶ آمار مربوط به این شاخص را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. مقدار میانگین شاخص تفاضل نرمال‌شده گیاهی در تصاویر ۱ و ۲ به ترتیب در حال افزایش است؛ زیرا گیاه در مرحله رشد رویشی قرار دارد و در تصویر ۳ بیشترین مقدار است که دلیل آن می‌تواند اوج سبزیگی گیاه باشد؛ زیرا بعد از آن گیاه وارد مرحله زایشی می‌شود که نتیجه آن کاهش این شاخص در تصویر ۴ است.

جدول ۷ آمار مربوط به آلبیدوی سطحی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. مقادیر حداقل و حداکثر این پارامتر به ترتیب مربوط به زمین‌های دارای پوشش گیاهی زیاد و نواحی بیابانی یا با پوشش گیاهی کم است. مقادیر میانگین آلبیدوی سطحی در هر چهار تصویر در محدوده ۰/۱۶-۰/۲۲ قرار دارد که در دامنه قابل قبول برای مزارع کشاورزی و مراتع قرار دارد (هوریگوچی، ۱۹۹۲).

جدول ۸ آمار مربوط به دمای سطحی در منطقه مورد مطالعه در تاریخ‌های یادشده را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۸، مشاهده می‌شود که در تاریخ ۱۳۸۳/۱۱/۶ با میانگین دمای سطحی ۲۴۵/۰۱ درجه کلوین کمترین و در تاریخ ۱۳۸۴/۲/۲۶ با میانگین دمای سطحی ۲۶۵/۰۲ درجه کلوین بیشترین دمای سطحی را دارند؛ این روند با دمای هوای منطقه مطابقت دارد. همچنین، با توجه به اینکه هر چه از ماه بهمن به فروردین نزدیک‌تر می‌شویم، دمای هوای منطقه نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه، این روند صعودی در دمای سطحی نیز به این دلیل است (کریمی و همکاران، ۲۰۱۳).

جدول ۶. آمار مربوط به شاخص تفاضل نرمال‌شده گیاهی (NDVI) در منطقه مورد مطالعه در تاریخ‌های یادشده

شاخص تفاضل نرمال‌شده گیاهی					
انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	شماره تصویر	تاریخ اخذ تصویر
۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۷۱	۰/۰۰	۱	۶ بهمن ۱۳۸۳
۰/۱۷۷	۰/۲۳	۰/۷۳	۰/۰۰	۲	۲۲ بهمن ۱۳۸۳
۰/۲۲	۰/۳۴	۰/۸۲	۰/۰۰	۳	۱۰ فروردین ۱۳۸۴
۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۷۲	۰/۰۰	۴	۲۶ فروردین ۱۳۸۴

جدول ۷. آمار مربوط به آلبیدوی سطحی در منطقه مورد مطالعه در تاریخ‌های یادشده

آلبیدوی سطحی					
انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	شماره تصویر	تاریخ اخذ تصویر
۰/۰۸۷	۰/۱۶۵	۰/۳۲۴	۰/۰۵۷	۱	۶ بهمن ۱۳۸۳
۰/۱۰۲	۰/۲۲۷	۰/۴۴۷	۰/۰۵۷	۲	۲۲ بهمن ۱۳۸۳
۰/۱۰۳	۰/۲۰۹	۰/۴۱۷	۰/۰۵۷	۳	۱۰ فروردین ۱۳۸۴
۰/۱۰۹	۰/۲۲۱	۰/۴۰۷	۰/۰۵۷	۴	۲۶ فروردین ۱۳۸۴

جدول ۸. آمار مربوط به دمای سطحی در منطقه مورد مطالعه در تاریخ‌های یادشده

میانگین	حداکثر	حداقل	شماره تصویر	تاریخ اخذ تصویر
۲۸۸/۰۱	۲۹۲/۵۹	۲۸۵/۸	۱	۶ بهمن ۱۳۸۳
۲۹۱/۹۱	۲۹۶/۳۸	۲۸۵/۸	۲	۲۲ بهمن ۱۳۸۳
۳۰۷/۸۹	۳۱۵/۶۸	۲۹۷/۴۴	۳	۱۰ فروردین ۱۳۸۴
۳۱۰/۰۲	۳۱۸/۸۷	۳۰۱/۰۹	۴	۲۶ فروردین ۱۳۸۴

از مقایسه مقادیر آلبیدوی سطحی و شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی می‌توان به این نتیجه رسید که بین این شاخص و آلبیدوی سطحی رابطه معکوس وجود دارد. همان‌طور که نتایج مطالعه وان و همکاران (۲۰۰۴) نیز نشان داد، شیب تغییرات دمای سطح زمین وابسته به مقدار سبزیگی است. از طرفی، مقادیر آلبیدوی سطحی در نواحی دارای پوش گیاهی کمتر از نواحی فاقد پوشش گیاهی است که نتایج حاصل از محاسبه این پارامترها در این مطالعه را تأیید می‌کند. همچنین، از مقایسه سه پارامتر یادشده می‌توان به این نتیجه رسید که مناطق دارای پوشش گیاهی کم دمای سطحی و آلبیدوی سطحی بیشتری نسبت به مناطقی که دارای پوشش گیاهی زیادند دارند که ناشی از تبخیر-تعرقی است که گیاهان انجام داده‌اند و گرمای کمتری از طریق روزنه‌ها دفع می‌شود و به جو بازمی‌گردد. نتایج مطالعه ادب و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که فعالیت‌های فتوسنتز همچنین فرایند تعرق موجب می‌شود تا دمای میکروکلیمای این مناطق کمتر از مناطق بدون پوشش گیاهی باشد؛ زیرا دفع آب در گیاه عمدتاً از طریق پدیده تعرق صورت می‌پذیرد. در این شرایط آب به صورت بخار آب و از محل روزنه‌ها به خارج از گیاه منتقل می‌شود. همچنین، نتایج مطالعه لورانتی و همکاران (۲۰۱۱) در ناحیه پوشش گیاهی توندرا نشان داد که با کاهش مقادیر شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی مقادیر آلبیدوی سطحی گیاهان افزایش می‌یابد. همچنین، تغییرات نسبی اندک در ویژگی پوشش گیاهی موجب تغییراتی در آلبیدوی سطحی، بیان انرژی، و در نهایت بازخوردهایی در اقلیم منطقه می‌شود که نتایج حاصل از محاسبه این پارامترها در این مطالعه را تأیید می‌کند.

جدول‌های ۴ و ۵ مقایسه نتایج الگوریتم سبال و داده‌های لایسیمتر را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴، کمترین تفاوت بین مقادیر تبخیر-تعرق محاسبه شده با الگوریتم سبال و لایسیمتر مربوط به تاریخ ۱۳۸۳/۱۰/۶ با ۰/۲۱ میلی‌متر در روز و بیشترین تفاوت مربوط به روز ۱۳۸۴/۱/۲۶ با ۲/۰۶ میلی‌متر در روز است. همچنین، میانگین تفاضل مطلق بین نتایج یادشده ۰/۷۰ میلی‌متر در روز است که نشان‌دهنده تطابق نسبی این الگوریتم با داده‌های لایسیمتر است و با نتایج راموس و همکاران (۲۰۰۹) (۰/۶۰ میلی‌متر در روز) همخوانی دارد.

با توجه به جدول ۵، مقدار مجذور میانگین مربعات خطا برابر ۱/۰۵ به دست آمد. نتایج تحقیق سیمایی و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان داد که الگوریتم سبال تبخیر-تعرق اراضی زیر کشت گندم آبی (۱/۲۵-۰/۴۹) را با دقتی بیشتر نسبت به اراضی دیم (۲/۴۸-۱/۳) برآورد کرده است. همچنین، مطالعه گودا و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد الگوریتم سبال تبخیر-تعرق اراضی زیر کشت آبی (۷درصد) را با خطای کمتری نسبت به اراضی دیم (۲۰درصد) برآورد می‌کند. در این تحقیق نیز تبخیر-تعرق گندم آبی با مجذور میانگین مربعات خطا ۱/۰۵ درجه محاسبه شده که در محدوده مورد نظر است.

با توجه به جدول ۵، مقدار ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۳ به دست آمد که با نتایج سهیلی‌فر و همکاران (۲۰۱۳) با ضریب همبستگی ۰/۷۷، اصغرزاده و ثنائی‌نژاد (۲۰۰۷) با ضریب همبستگی ۰/۹۹، و تیکسیرا و همکاران (۲۰۰۹) با ضریب همبستگی ۰/۹۱ همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

در آزمون آماری تی اگر مقادیر $(Pr > |t|)$ بزرگ‌تر از ۰/۰۵ باشد، نشان‌دهنده آن است که داده‌ها اختلاف معناداری با هم ندارند و از نظر آماری می‌توانند در یک گروه قرار گیرند. در این مطالعه مقادیر $(Pr > |t|)$ برابر با ۰/۷۸ بود. این تفاوت‌ها بین نتایج به دست آمده از لایسیمتر و الگوریتم سبال می‌تواند به دلایل زیر باشد: در الگوریتم سبال به علت استفاده از پیکسل‌های سرد و گرم برای تعیین مقدار تبخیر-تعرق سایر پیکسل‌ها محدوده مقادیر حاصله به طور نسبی منطقی است؛ هرچند ممکن است با مقادیر حقیقی تفاوت داشته باشد. تعیین پیکسل سرد و گرم یکی از بخش‌های حساس این الگوریتم است. به‌رغم اینکه تلاش شده است که این پیکسل‌ها درست انتخاب شوند، ممکن است دارای خطا

باشند. با توجه به اینکه پیکسل‌های سرد و گرم با توجه به دمای سطحی و شاخص پوشش گیاهی سطح برگ تعیین می‌شود، این امر باعث ایجاد خطا در برآورد شار گرمای محسوس و تبخیر- تعرق می‌شود. همچنین، در مطالعه‌ای در منطقه آیداهو، با استفاده از الگوریتم سبا (آلن و همکاران، ۲۰۰۲)، از مزرعه یونجه خوب آبیاری شده به عنوان پیکسل سرد استفاده شد؛ در حالی که در منطقه مورد مطالعه، به علت نبود مزرعه یونجه وسیع، از مزرعه گندم به عنوان پیکسل سرد استفاده شد. در برآورد تبخیر- تعرق این پیکسل نیز از رابطه $ET_{cold} = Kc * ET_{crop}$ استفاده شد؛ در حالی که این رابطه ET را تحت شرایط اگرونومیکی استاندارد و عدم محدودیت آبی برآورد می‌کند. به علت ناآگاهی از زمان‌های آبیاری در منطقه، برای مشخص کردن پیکسل سرد از شرط پایین‌بودن دما استفاده شد. این شرط بیان می‌کند که احتمالاً پیکسل مورد نظر نسبت به سایر پیکسل‌ها مرطوب‌تر است. در شرایط عدم آبیاری کامل، ضریب محصول واقعی کمتر از مقدار استفاده‌شده خواهد بود (مباشری و همکاران، ۲۰۰۹؛ کریمی و همکاران، ۲۰۱۳).

در الگوریتم سبا از داده‌های هواشناسی ساعتی (در لحظه گذر ماهواره) برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی استفاده می‌شود؛ در حالی که برای محاسبه تبخیر- تعرق گیاه مرجع از متوسط داده‌های روزانه استفاده می‌شود. از آنجا که تبخیر- تعرق تابعی از دما و سرعت باد است، تأثیر این پارامترها در لحظه گذر ماهواره نقش بسیار مهمی در برآورد تبخیر- تعرق لحظه‌ای ایفا می‌کند.

به علت کالیبره‌نبودن پارامترهای سبا در منطقه مورد مطالعه و نبود وسایل لازم برای اندازه‌گیری‌های زمینی، امکان کالیبره کردن پارامترهای موجود در سبا از قبیل شاخص سطح برگ، آلبیدوی سطحی، دمای سطحی، و شارهای تابش خالص، گرمای خاک، گرمای محسوس، و دیگر پارامترها وجود دارد (مباشری و همکاران، ۲۰۰۹). با مرور کارهای انجام‌شده و نتایج این تحقیق، مشخص شد که نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم سبا با محدوده‌های قابل قبولی که در منابع و آمارهای موجود اعلام شده مطابقت دارد. همچنین، در مقایسه با داده‌های لایسیمتر، مشاهده شد که الگوریتم سبا با نتایج قابل قبولی تبخیر- تعرق واقعی را محاسبه می‌نماید و این نیز دلیلی بر مناسب‌بودن این روش در محاسبه تبخیر- تعرق است. هانگجون و همکاران (۲۰۰۸) مصرف و بهره‌وری آب زراعی گندم زمستانه در چین شمالی را با استفاده از الگوریتم سبا و مقایسه آن با داده‌های لایسیمتر بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مدل سبا تطابق زیادی با داده‌های به‌دست‌آمده از لایسیمتر دارد. همچنین، نتایج مطالعات رحیمیان و همکاران (۲۰۱۳)، تیکسیرا و همکاران (۲۰۰۹)، کریمی و همکاران (۱۳۹۱) بیانگر منطقی بودن نتایج الگوریتم سبا در برآورد تبخیر- تعرق در حوزه‌های مورد مطالعه است. در مغایرت با نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه، آینیو (۲۰۰۳) نتایج حاصل از روش الگوریتم سبا را برای یک دوره کوتاه‌مدت (یک‌روزه) مطلوب نمی‌داند، اما بیان می‌کند که در صورتی که تصاویر از یک روز صاف و بدون ابر ثبت شوند و داده‌های زمینی مناسب باشند، می‌توان با استفاده از این روش در جاهایی که داده‌های هواشناسی مورد نیاز کم باشد، میزان تبخیر- تعرق واقعی را تخمین زد. مقایسه الگوریتم سبا و تبخیر- تعرق گیاه محاسبه‌شده توسط لایسیمتر نشان داد که اختلاف جزئی بین نتایج حاصل از الگوریتم سبا و لایسیمتر در فصل رشد وجود دارد. دلیل آن را می‌توان به این صورت بیان کرد که الگوریتم سبا از داده‌های هواشناسی ساعتی (در لحظه گذر ماهواره) برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی استفاده می‌کند؛ در حالی که برای محاسبه تبخیر- تعرق گیاه مرجع توسط لایسیمتر از متوسط داده‌های روزانه استفاده می‌شود. از آنجا که تبخیر- تعرق تابعی از دما و سرعت باد است، تأثیر این پارامترها در لحظه گذر ماهواره نقش بسیار مهمی در برآورد تبخیر- تعرق لحظه‌ای ایفا می‌کند (سهیلی فر و همکاران، ۲۰۱۳).

منابع

- Adab, H; Amirahmadi, A. and Atabati, A. (2015). Relating Vegetation Cover with Land Surface Temperature and Surface Albedo in *Warm Period of Year Using MODIS Imagery in North of Iran*, 46(4): 419-434.
- Allen, R.; Waters, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. and Bastiaanssen, W. (2002). SEBAL, Surface energy balance algorithms for land, Idaho Implementation, Advanced Training and Users Manual, version 1.0.
- Asgharzadeh, H and Sanaeinezhad, S. (2007). Estimating ET of plants using remote sensing and GIS in Tang-e-Kenesht, Kermanshah, *National Conference on Management of Irrigation and Drainage Networks*, Shadid Chamran University, Ahwaz.
- Ayenew, T. (2003). Evapotranspiration estimation thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highlands, *Journal of Hydrology*, V(279): 83-93.
- Bouwer, L.M.; Biggs, T.W.; Aerts, C.J.H. (2008). Estimates of spatial variation in evaporation using satellite-derived surface temperature and a water balance model, *Hydrological Processes*, 22: 670-682.
- Budyko, M.I. (1974). *Climate and Life*. Academic Press: Orlando, 1974.
- Dinpazhouh, Y.; Fakherifard, A.; Moghadam, M. and Jahanbakhsh, S. (2008). Investigation of reference ET in Iran Using Hargreaves method, *3rd conference of water resource management of iran*, Tabriz University
- Gowda, P.H.; Howell, T.A.; Paul, G.; Colaizzi, P.D.; Marek, T.H. and Copeland, K.S. (2011). SEBAL for Estimating Hourly ET Fluxes Over Irrigated and Dryland Cotton During BEAREX08, *Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress*.
- Farshi, A.; Shariati, M.; Ghaemi, M.; Shahabifar, M. and Tavallaei, M. (1997). Water requirement estimation of major agricultural crops of Iran, *Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO) press*, Tehran.
- Hongjun, Li; Li Zheng; Yuping Lei; Chunqiang Li; Zhijun Liu; Shengwei Zhang (2008). Estimation of water consumption and crop water productivity of winter wheat in North China Plain using remote sensing technology, *Agricultural water management*, 95: 1271-1278.
- Hong, SH.; Hendrickx, J. and Borchers, B. (2009). Up-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from Landsat (30 m) to MODIS (250 m) scale, *J. of Hydrol*, 370: 122-138.
- Horiguchi, I. (1992). *Agricultural Meteorology*, Buneidou, Tokyo, Japan.
- IndiaKishan, Singh Rawata; Anju Balab.; Sudhir Kumar Singhc.; Raj Kumar PaldaCentre (2017). Quantification of wheat crop evapotranspiration and mapping: A casestudy from Bhiwani District of Haryana, India, *Agricultural Water Management*, 187: 200-209.
- 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*. V(23). N(1). P(73-91).
- 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.
- Karimi, A.; Farhadi, B.; Bansouleh, B. and Hesadi, H. (2013). Estimation of Regional Evapotranspiration Using LANDSAT TM Images and SEBAL Algorithm, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 6(4): 353-364.
- Loranty, Michael M.; Goetz, Scott, J. and Beck, Pieter S.A. (2011). Tundra Vegetation Effects on Pan-Arctic Albedo, *Environmental Research Letters*, 6(2): 1-7.
- Miryaghoubzadeh, M.; Solaimani, K.; Habibnejad roshan, M.; Shahedi, K.; Abbaspour, K. and Akhavan, S. (2014). Estimation and assessment of actual evapotranspiration using remote sensing data (Case study: Tamar basin, Golestan province, Iran), *Irrigation & Water Engineering*, 4(15): 102-89.

- Mobasheri, M.R.; Khavarian, H.; Ziaeian, P. and Kamaly, Gh. (2009). Evapo-Transpiration Assessment Using Terra/MODIS Images in the Gorgan General District, *Human science Modares (geography)*, 11(1): 142-121.
- Moradi, A. (2001). *Determining reference evapotranspiration in HAJI ABAD, Hormozgan using lysimeter, comparing with climate based methods*, Agricultural Research, Education & Extension Organization.
- Rahimian, M. and Pourmohammadi, S. (2013). Estimation of wheat ET under stress condition based on remote sensing using SEBAL algorithm (a case study of Azadegan plain, Khoozestan), *Journal of water research in agriculture*, 26(2): 249-235.
- Santos, C.; Bezerra, B.; Silva, B. and Rao, T. (2009). Assessment of daily actual evapotranspiration estimated by remote sensing algorithms, *Anais XIV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, Simaie, E.; Homae, M. and Norouzi, A.A. (2013). Evaluating SEBAL model to estimate evapotranspiration using MODIS and TM sensors data, 2(4): 29-40.
- Simaie, E.; Homae, M. and Norouzi, A. (2013). Evaluating SEBAL model to estimate evapotranspiration using MODIS and TM sensors data, *Journal of Water and Soil Conservation*, Vol. 2, No. 4, Summer.
- Soheilifar, Z.; Mirlatifi, S.M.; Naseri, A. and Assari, M. (2013). Estimating Actual Evapotranspiration of Sugarcane by Remote Sensing (A Case Study: Mirza Kochakhan Sugarcane Agro-Industry Company Farms), 23(1): 151-163.
- Teixeira, A.H. de C; Bastiaanssen, W.G.M.; Ahmad, M.D. and Bos, M.G. (2009). Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation, *Agricultural and for est meteorology*, 149: 462- 476.
- Tsouni, A.; Kontoes, Ch.; Koutsoyiannis, D. and Mamasis, N. (2008). Estimation of Actual Evapotranspiration by Remote Sensing: Application in Thessaly Greece, *Sensors*, 5(8): 3586-3600.
- Valizadeh, K. (2011). Estimate Evapotranspiration with Remote Sensing Techniques. Ph.D. Thesis. Tabriz University. P. 179.
- Wagle, P.; Bhattarai, N.; Gowda, P.; Kakani, V. (2017). Performance of five surface energy balance models for estimating daily evapotranspiration in high biomass sorghum. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Volume 128, June 2017, Pages 192-203.
- Wan, Z.; Wang, P. and Li., X. (2004). Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index Products for Monitoring Drought in the Southern Great Plains. USA. *International Journal of Remote Sensing*, 25(1): 61-72.
- Zahedi, M. and Khatibi B., B.M. (2009). *Hydrology*, Samt, Tehran.