

بر آورد تبخیر- تعرق واقعی ذرت با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و مدل سبال در منطقه خوزستان

خلیل ولیزاده کامران^۱

مریم لنگ باف^۲

چکیده

این مطالعه با هدف تعیین تبخیر- تعرق واقعی گیاه ذرت که از گیاهان اصلی اراضی کشاورزی شمال خوزستان است، با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در چهار گذر ماهواره‌ای شامل: ۲۲ مرداد، ۲۳ شهریور، ۲۴ مهر و ۲۶ آبان ماه ۱۳۹۲ و داده‌های هواشناسی مورد نیاز و بر اساس معادله بیلان انرژی سطح (سبال) صورت گرفته است. نتایج نشان داد، که مقدار تبخیر- تعرق واقعی محاسبه شده از مدل سبال برای گیاه ذرت در مرحله ابتدایی رشد، مرحله توسعه، مرحله میانی و پایانی رشد بترتیب ۵/۰۴، ۸/۲۳، ۵/۵۵ و ۱/۴۶ میلی‌متر در روز است. مقادیر حاصل از سنجش از دور، برای ارزیابی با روش‌های فائو- پنمن- مانتیث و تشتک تبخیر مورد مقایسه قرار گرفت و مشاهده شد که RMSE و MAE نسبت به روش فائو- پنمن - مانتیث بترتیب ۰/۴۵ و ۰/۱۸ میلی‌متر در روز است. نتایج حاصل حاکی از آن بود که سبال قادر است پاسخ‌های معتبری را با صحت و دقت کافی در زمان نسبتاً کوتاهی ارائه نماید و می‌تواند به عنوان روشی کارآمد و سودمند در سازماندهی منابع آب و بهینه‌سازی مصرف در تأمین نیاز آبی گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.

^۱ - دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

Email: valizadeh@tabrizu.ac.ir

^۲ - دانش آموخته سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور دانشگاه تبریز

واژگان کلیدی: تبخیر - تعرق، خوزستان، سبال، سنجش از دور، لندست ۸

مقدمه

یکی از پر مصرف‌ترین بخش‌ها در زمینه منابع آب شیرین، کشاورزی است. از آنجا که منابع آب دچار محدودیت جدی هستند، بخش کشاورزی ناچار است تا آب را با راندمان بالاتر و به صورت مؤثرتری مورد بهره‌برداری قرار دهد (هاشمی‌نیا، ۱۳۸۵: ۵). یکی از روش‌هایی که باعث بهبود مدیریت بهره‌برداری آب و در نهایت افزایش راندمان آب مصرفی می‌شود، برآورد دقیق تبخیر - تعرق یا تخمین میزان آب مصرفی گیاهان می‌باشد (لی و همکاران، ۲۰۰۳: ۱). اطلاعات مکانی - زمانی در مورد تبخیر - تعرق^۱ به کاربران در فهم تخلیه و تهی شدن آب ناشی از تبخیر و برقراری رابطه بین کاربری زمین، تخصیص آب و مصرف آب کمک می‌کند (باستینسن^۲، ۲۰۰۵: ۸۵). در بسیاری از مناطق جهانی زمین، تبخیر - تعرق دومین عنصر از چرخه آب (بعد از بارش) است و برآورد دقیق آن در مقیاس منطقه‌ای، برای طراحی راهکارهای مناسب مدیریت لازم است (شیائو^۳، ۲۰۱۱: ۲۴). تبخیر - تعرق تابع مقدار انرژی در دسترس پوشش گیاهی و تبادل آن است. به دلیل این وابستگی، با استفاده از اصل بقای انرژی قابل برآورد است (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۷: ۱۲). با توجه به محدود بودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کشور و بالا بودن هزینه جمع‌آوری اطلاعات زمینی، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای از مزیت‌های پایین بودن هزینه جمع‌آوری داده‌ها با ماهواره در مقایسه با روش‌های میدانی، امکان برداشت داده‌ها از تمامی سطوح منطقه در یک زمان، داشتن اطلاعات به هنگام، پایش افقی پارامترهای هواشناسی و زیست محیطی برخوردار است. توانایی علم سنجش از دور^۴ در

^۱ . Evapotranspiration

^۲ . Bastiaanssen

^۳ . Xiao et al

^۴ . Remote Sensing

اندازه‌گیری برخی از پارامترهای زمینی، تأثیر مهمی در برآورد تبخیر - تعرق واقعی، داشته است. این پارامترها شامل دمای سطحی، رطوبت سطح خاک، آلبیدوی سطحی، پوشش گیاهی، و تابش ورودی خورشیدی است. (مباشری، ۱۳۸۵: ۲۴). تصاویر ماهواره‌ای دارای اطلاعاتی از یک سطح زمین در باندهای مختلف بویژه مرئی، مادون قرمز و مادون قرمز حرارتی است که از ترکیب و مدل‌سازی آن‌ها می‌توان به برآورد تبخیر - تعرق واقعی دست یافت (ولیزاده کامران، ۱۳۹۰: ۳۳). مدل سبال^۱ یکی از الگوریتم‌های سنجش از دور است که تبخیر - تعرق گیاه را بر اساس تعادل لحظه‌ای انرژی در سطح هر پیکسل از یک تصویر ماهواره‌ای محاسبه می‌نماید (کریمی، ۱۳۹۰: ۳۵۳). آلن^۲ و همکاران، در تحقیقی که در مقیاس حوضه آبخیز رودخانه بیردر آمریکا با استفاده از مدل سبال و تصاویر لندست به برآورد تبخیر - تعرق واقعی انجام داده‌اند نقشه‌های پهنه‌بندی ماهانه تبخیر - تعرق با کمک مدل سبال تهیه نموده‌اند که توزیع مکانی تبخیر - تعرق را، بخوبی نشان داد. این محققان برای اعتبار سنجی داده‌های مدل سبال از اندازه‌گیری‌های زمینی لایسیمیتری استفاده کردند. نتایج حاکی از وجود تفاوت‌های ماهانه با متوسط $\pm 16\%$ درصد و تفاوت‌های فصلی با متوسط $\pm 4\%$ درصد به علت خطاهای تصادفی، بود. باستینسن و همکاران، در تحقیقی به منظور ارزیابی طرح‌های ذخیره‌سازی آب، در حوضچه یاکیما (ایالت واشنگتن) به برآورد تبخیر - تعرق واقعی با استفاده از روش سنجش از دور (سبال) پرداختند. مطالعه آن‌ها تحت شرایط آب و هوایی مختلف و در طیف وسیعی از شرایط متفاوت رطوبت خاک و جوامع گیاهی در مقیاس میدانی و مقیاس حوضه آبخیز، صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که دقت ۸۵٪ در مقیاس میدانی (برآورد یک روز) و بر مبنای برآورد فصلی دقت ۹۵٪ وجود دارد. همچنین معلوم شد که دقت تبخیر - تعرق سالانه آبریزهای بزرگ بطور متوسط ۹۵٪ است. ولیزاده کامران، با استفاده از تصاویر لندست ETM+، به برآورد تبخیر- تعرق واقعی و تحلیل ارتباط آن با کاربری زمین در محیط GIS در منطقه مشکین شهر پرداخته به این نتایج رسید که بیشترین مقدار تبخیر - تعرق واقعی در کاربری، مراتع خوب و کمترین آن در

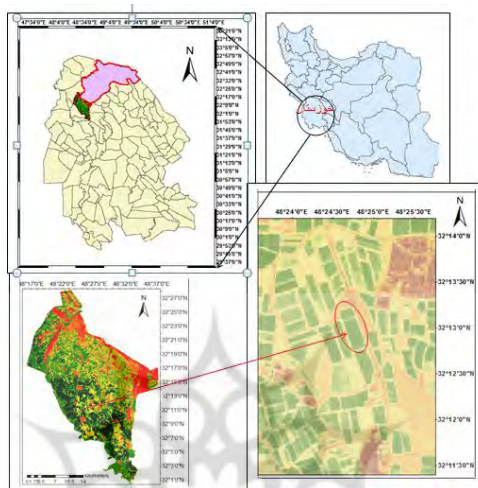
¹ - Surface Energy Balance Algorithm for land (SEBAL)

² - Allen et al

اراضی شهری و ساخته شده اتفاق می‌افتد. کریمی و همکاران، با استفاده از مدل سبال تبخیر - تعرق واقعی گیاه ذرت را در دشت ماهیدشت کرمانشاه با استفاده از ۴ تصویر ماهواره لندست ۵ مورد بررسی قرار دادند و حداکثر درصد خطا بین تبخیر - تعرق محاسبه شده برای محصول ذرت با مدل سبال و مقادیر اندازه‌گیری شده در لایسیمتر را کمتر از ۱۰ درصد تعیین کرده‌اند. سهیلی‌فر و همکاران، با استفاده از مدل سبال به محاسبه تبخیر-تعرق گروه دیگری از غلات (نیسکر) در اراضی کشت و صنعت نیسکر میرزا کوچک خان در جنوب استان خوزستان پرداخته و با مقایسه برآوردهای حاصل نشان دادند، که نتایج مدل سبال در فصل رشد گیاه از همبستگی نسبتاً خوبی ($R^2 = 0.77$) با نتایج حاصل پمن - ماتیت برخوردار است. نتایج تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که با استفاده از تکنیک سنجش از دور، می‌توان تبخیر - تعرق واقعی گیاه را با دقت خوبی برآورد نمود. با توجه به پیشینه تحقیق در تحقیق جاری برای تعیین تبخیر - تعرق واقعی گیاه ذرت و جلوگیری از هدر رفت آب، با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به برآورد تبخیر - تعرق در چهار دوره کشت گیاه ذرت (مرحله ابتدایی رشد، مرحله توسعه، مرحله میانی و پایانی رشد) در منطقه مورد مطالعه پرداخته شد، تا ضمن ارزیابی الگوریتم بیلان انرژی سطح زمین (سبال) در دوره‌های مختلف رشد گیاه ذرت، و همچنین در همین راستا با اتخاذ برنامه‌ریزی‌های مناسب از هدر روی آب و خسارات وارد بر محصولات جلوگیری نمود و روش‌های مدیریتی مناسبی برای سازماندهی منابع آب در آینده پیش گرفت.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی، در ناحیه دشت دزفول که در ابتدای دشت وسیع و حاصلخیز خوزستان است، واقع می‌شود، و در حد فاصل طول شرقی ۴۸ درجه، ۱۷ دقیقه الی ۴۸ درجه، ۳۷ دقیقه و عرض شمالی ۳۲ درجه، ۱ دقیقه الی ۳۲ درجه، ۲۷ دقیقه قرار گرفته است. روستاهایی که در ناحیه مطالعاتی، قرار گرفته‌اند شامل دهستان‌های شمس آباد و قبله‌ای از بخش مرکزی و دهستان‌های خیبر و سادات از بخش چغامیش، شهرستان دزفول می‌باشند. منطقه مورد مطالعه حدود ۷۳۵ کیلومتر مربع مساحت دارد و در قسمت شمال استان خوزستان و هم مرز با استان لرستان قرار گرفته است.



شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای (شهریور ماه ۱۳۹۲) محدوده مورد مطالعه و مزرعه ذرت (بیضی قرمز) به همراه موقعیت فرارگیری، در نقشه ایران و استان خوزستان

مواد و روش‌ها

براساس تحقیق جاری، از داده‌ها و امکانات نرم افزاری و سخت افزاری، شامل باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز حرارتی از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT 8، سنجنده OLI^۱ و TIRS^۲ مربوط به ۲۲ مرداد، ۲۳ شهریور، ۲۴ مهر و ۲۶ آبان ماه ۱۳۹۲، (کشت ذرت در منطقه مطالعاتی در سال دو بار و به صورت کشت‌های بهاره و پاییزه است. قطعه مزرعه پژوهشی از نوع ذرت دان‌ها ی و کشت پاییزه می‌باشد. در استان خوزستان تاریخ کاشت ارقام دیررس، نیمه دوم تیرماه حداکثر تا ۳۰ تیر و ارقام متوسط رس حداکثر تا ۵ مرداد و ارقام زود رس حداکثر تا ۱۰ مرداد قابل کشت است.)، آمار داده‌های هواشناسی روزانه و ۲۴ ساعتی ایستگاه سینوپتیک صفی‌آباد شهرستان دزفول و استخراج اطلاعات از Header file یک تصویر ماهواره‌ای حاوی اطلاعات مهمی برای پردازش

¹ - Operational Land Imager

² - Thermal InfraRed Sensor

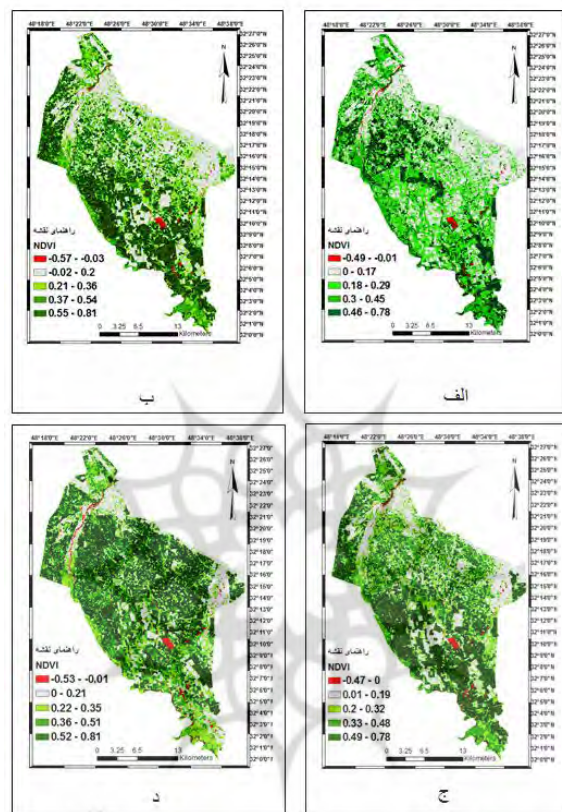
سپال است: زاویه تابش، فاصله نسبی زمین تا خورشید، ...) استفاده شد. در روند تحقیق و به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های مندرج در فوق، از نرم افزارهای تخصصی پردازش تصاویر ماهواره‌ای شامل: ERDAS Imaging 2011 جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ منطقه مطالعاتی، ENVI4.8 برای متصورسازی، تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم افزار ArcGIS10.2 برای اعمال روش‌های کارتوگرافی و ترسیم و طبقه‌بندی نقشه‌های تبخیر - تعرق و نرم افزار REF-ET جهت محاسبه تبخیر- تعرق گیاه مرجع استفاده شد.

الگوریتم توازن انرژی برای سطح زمین (سپال)، شار گرمای سطحی را به صورت لحظه ای و هم به صورت ۲۴ ساعته محاسبه می‌کند. شار گرمای نهان، انرژی مورد نیاز برای تبخیر- تعرق واقعی را نشان می‌دهد و به صورت باقیمانده معادله توازن انرژی سطحی محاسبه می‌شود. در برآوردهای سنجش از دور از آلبدوی سطحی، دمای سطحی و گسیلمندی سطحی در ناحیه مادون قرمز حرارتی، جهت محاسبه تغییرات مکانی در تابش موج کوتاه انعکاس یافته و تابش موج بلند گسیل یافته به خارج از سطح زمین استفاده می‌شود. ترکیب تابش موج کوتاه و موج بلند، امکان محاسبه تابش خالص جذب شده سطحی برای هرپیکسل تصویر را فراهم می‌کند. تابش خالص در محاسبه شارهای گرمای خاک، محسوس و نهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. شار گرمای خاک، انرژی استفاده شده برای گرم کردن خاک است و با استفاده از یک معادله تجربی که با تابش خالص، دمای سطح، آلبدوی سطحی و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده ارتباط دارد، محاسبه می‌شود. 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 (پیکسل گرم) و یک سطح مرطوب که در آن شار گرمای محسوس بسیار جزئی است (پیکسل سرد). مقاومت ائرودینامیکی از پروفیل لگاریتمی باد بین ارتفاع اختلاط (ارتفاعی که اختلاط جو به دلیل آشفتگی تا آن ارتفاع رخ میدهد و سرعت باد ثابت است)، طول زبری سطح برای انتقال تکانه ای محاسبه می‌شود. ترکیب مقاومت ائرودینامیکی با حداکثر و حداقل شار گرمای محسوس در سطوحی از زمین که بطور خاصی انتخاب شده‌اند، ارزیابی محدودی 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. در نتیجه برآورد اولیه‌ای از شار گرمای محسوس بدست می‌آید که با وارد شدن در فرآیند تکرار، مقدار بهینه شار گرمای محسوس حاصل خواهد شد. در نهایت با استفاده از شار گرمای نهان تبخیر به دست آمده، کسر تبخیر- تعرق لحظه‌ای که مشابه ضریب محصول می‌باشد، بدست می‌آید. همچنین از آنجا که کسر تبخیر با کسر تبخیر ۲۴ ساعته مشابه است قادر خواهیم بود که شار گرمای ۲۴ ساعته، ماهانه و فصلی را برآورد نماییم.

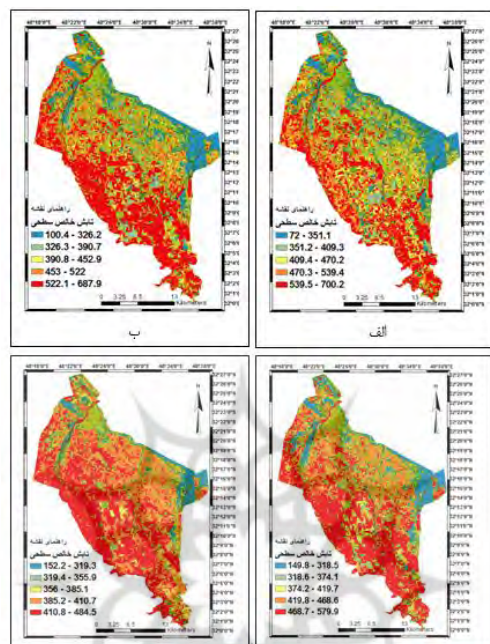
یافته‌ها و بحث

بسیاری از مطالعات گویای رابطه میزان انرژی انعکاسی در باندهای قرمز و مادون قرمز با میزان پوشش گیاهی در سطح زمین بوده‌اند. در گیاهان سالم میزان انرژی انعکاسی در طیف قرمز با رشد و توسعه گیاه کاهش می‌یابد که علت آن جذب انرژی طیف الکترومغناطیسی توسط کلروفیل موجود در برگ گیاه در طی عمل فتوسنتز است اما از طرف دیگر میزان انرژی انعکاسی در طیف مادون قرمز نزدیک به علت ساختار مزوفیل برگ افزایش خواهد یافت (علوی پناه، ۱۳۸۵: ۱۷۰). با توجه به (شکل ۲) تغییرات NDVI منطقه مورد مطالعه در ۲۲ مرداد ماه بین ۰/۴۹- تا ۰/۷۸+ و ۲۳ شهریور ماه بین ۰/۵۷- تا ۰/۸۱+، ۲۴ مهر ماه بین ۰/۴۷- تا ۰/۷۸+ و برای ۲۶ آبان ماه بین ۰/۵۳- تا ۰/۸۱+ می‌باشند. کشت پاییزه در منطقه مطالعاتی در ماه مرداد آغاز شده و در ماه‌های آبان و آذر به حداکثر خود می‌رسد و برداشت محصولات آغاز می‌شود. این روند تغییر تراکم به وضوح در نقشه NDVI قابل مشاهده است. کمترین مقدار NDVI در سطوح آبی (رودخانه دز و حوضچه‌های ماهی) با رنگ قرمز در نقشه‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۲- نقشه NDVI منطقه مطالعاتی، الف: ۲۲ مرداد ماه، ب: ۲۳ شهریور ماه، ج: ۲۴ مهر ماه، د: ۲۶ آبان ماه

نوع و وضعیت سطح زمین در دوره‌های غیر رشد و رشد گیاهان، دامنه تغییرات تبخیر- تعرق گیاه را تعیین می‌کند. تغییرات تابش خالص در منطقه مطالعاتی در ۵ کلاس طبقه‌بندی و نشان داده شده است. باتوجه به (شکل ۳) مناطقی که دارای پوشش گیاهی انبوه هستند و یا مزارعی که در مرحله توسعه رشد هستند بدلیل استفاده از تابش خالص جهت تبخیر - تعرق و فتوسنتز نسبت به سایر نقاط، تابش خالص بیشتری نشان می‌دهند.



شکل ۳- نقشه تابش خالص سطحی در منطقه مطالعاتی، الف: ۲۲ مرداد ماه، ب: ۲۳ شهریور ماه، ج: ۲۴ مهر ماه، د: ۲۶ آبان ماه

جدول ۱- مقایسه نتایج تبخیر - تعرق روزانه، با حداکثر مقادیر تخمین زده شده بوسیله مدل سببال و روش‌های تجربی فائو- پنمن مانیتث و روش تشتک تبخیر در مزرعه ذرت.

تصاویر	MAE		RMSE		تشتک تبخیر (میلی - متر در روز)	ET_{f-PM} ($\frac{mm}{day}$)	ET_{sebal} ($\frac{mm}{day}$)	
	EVA ($\frac{mm}{day}$)	ET_{f-PM} ($\frac{mm}{day}$)	EVA ($\frac{mm}{day}$)	ET_{f-PM} ($\frac{mm}{day}$)				
۲۲ مرداد ۱۳۹۲	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۲	۴/۸۸	۵/۱۶	۵/۰۴	
۲۳ شهریور ۱۳۹۲	۰/۸۷	۰/۲۲	۰/۸۷	۰/۲۲	۷/۳۴	۸/۰۱	۸/۲۳	
۲۴ مهر ۱۳۹۲	۱/۵	۰/۲۷	۱/۵	۰/۲۷	۴/۰۴	۵/۲۸	۵/۵۵	
۲۶ آبان ۱۳۹۲	۰/۷	۰/۱۴	۰/۷	۰/۱۴	۰/۷۶	۱/۶	۱/۴۶	
ارزیابی خطای کل	۰/۸	۰/۱۸	۰/۹۳	۰/۴۵				

با توجه به جدول (۱) مقدار تبخیر- تعرق واقعی روزانه بر اساس مدل سبال در مزرعه ذرت در مرحله ابتدایی رشد ۵/۰۴، مرحله رشد و توسعه گیاه ۸/۲۳، مرحله میانی ۵/۵۵ و مرحله میانی تا مرحله رشد نهایی ۱/۴۶ میلی‌متر در روز تخمین زده می‌شود. برای گذر ماهواره در تاریخ ۲۲ مرداد ماه (دوره رشد اولیه) همبستگی بالایی بین مقادیر بدست آمده از روش‌ها دیده می‌شود. شایان ذکر است که در قسمتی از مزرعه مطالعاتی، افزایش تبخیر- تعرق اتفاق می‌افتد که این تاثیر احتمالاً در اثر پوشش گیاهی (مزرعه ذرت) کنار آن است، که تاریخ کاشت آن زودتر می‌باشد، وجود این مزرعه باعث افزایش تبخیر- تعرق (بدلایل بوجود آمدن جریان‌های ادوکسیون)، در پیکسل‌های مزرعه مطالعاتی، شده است. برای گذر ماهواره در ۲۳ شهریور ماه: در این مرحله گیاه به حداکثر رشد خود رسیده و مرحله رشد و توسعه را طی می‌کند و پوشش گیاهی حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد سطح زمین را در بر می‌گیرد لذا حداکثر نیاز آبی و تبخیر- تعرق رخ می‌دهد. با توجه به تاریخ دوره‌های آبیاری، مزرعه در فاصله زمانی کمتر از ۴۸ ساعت از گذر ماهواره، مورد آبیاری قرار گرفته و همین امر باعث افزایش تبخیر- تعرق واقعی در مقایسه با مقادیر برآورد شده با روش پنمن- ماتیت و روش تشتک تبخیر شده است. همین‌طور برای گذر ماهواره در ۲۴ مهر ماه مزرعه ذرت دو بار آبیاری شده که در کل افزایش تبخیر- تعرق واقعی را در برابر تبخیر- تعرق پتانسیل نمایان می‌سازد. برای گذر ماهواره در ۲۶ آبان ماه، بطور کلی در این ماه با کاهش دمای هوا تبخیر کم شده ولی همچنان در مزرعه ذرت تبخیر- تعرق با توجه به دوره رشد صورت می‌گیرد و به همین دلیل اختلاف بیشتری را با مقادیر تشتک تبخیر نشان می‌دهد. میانگین مقدار خطا RMSE و MAE مقادیر تبخیر- تعرق بدست آمده از مدل سبال در مقایسه با روش فائو- پنمن- ماتیت به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۱۸ میلی‌متر در روز محاسبه شده است. با روش تشتک تبخیر میانگین مقدار خطا RMSE و MAE بترتیب ۰/۹۳ و ۰/۸ میلی‌متر در روز بدست آمد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که، بین مقادیر الگوریتم سنجش از دور (سبال) و روش فائو- پنمن- ماتیت و روش تشتک تبخیر در مزرعه ذرت، مقادیر تخمین زده شده به وسیله مدل سبال و

روش فائو- پنمن- مانیتث تطابق خوبی وجود دارد. با توجه به جدول (۱) میزان تفاوت بین مقادیر سبال و روش فائو-پنمن-مانیتث در مزرعه ذرت کمتر از $0/27$ میلی‌متر در روز است که بیشترین تفاوت مربوط به تاریخ ۲۴ مهر ماه می‌باشد که در مجموع مقادیر سبال و روش پنمن-مانیتث دارای میانگین تفاضل مطلق $0/18$ میلی‌متر در روز می‌باشد. در تحقیقاتی که در گذشته به عمل آمده (راموس و همکاران، ۲۰۰۹: ۶۳۸) بین مقادیر تبخیر-تعرق ذرت اندازه‌گیری شده به وسیله SEBAL و لایسیمتر میانگین تفاضل مطلق $0/6$ را و (کریمی، ۱۳۹۰، ۷۳)، $0/53$ میلی‌متر در روز را به دست آوردند با توجه به این که مقایسه آن‌ها با لایسیمتر صورت پذیرفته با نتایج این تحقیق اختلاف کمی را نشان می‌دهند. همچنین (سهیلی‌فر و همکاران، ۱۳۹۲، ۱۶۱) نیز بین مقادیر اندازه‌گیری شده بوسیله سبال و روش پنمن-مانیتث برای گیاه نیشکر RMSE، $0/66$ را به دست آوردند که با نتایج این مطالعه با مقدار $0/45$ میلی‌متر در روز همخوانی دارد. از نتایج این پژوهش می‌توان دریافت که با استفاده از مدل سبال می‌توان تبخیر-تعرق واقعی و نتیجتاً نیاز آبی گیاهان زراعی و حتی باغی و مرتعی را در سطوح وسیعی محاسبه نمود که این دلیلی بر مناسب بودن این مدل برای تخمین تبخیر-تعرق واقعی در سطوح مختلف مزرعه و شبکه‌های آبیاری می‌باشد. از این رو سنجش از دور با بهره‌گیری از الگوریتم‌های متعدد با ارائه تخمینی از میزان ET با حداقل استفاده از داده‌های زمینی، دارای پتانسیلی بسیار بالا برای اصلاح مدیریت منابع آبیاری در مناطق بسیار وسیع می‌باشد.

منابع

- سهیلی‌فر، زهرا، میرلطفی، سیدمجید، ناصری، عبدعلی، عصار، مصطفی، برآورد تبخیر - تعرق واقعی نیشکر با استفاده از داده‌های سنجش از دور در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک‌خان. *نشریه دانش آب و خاک*، جلد ۲۳، شماره ۱، ۱۳۹۲، صفحات ۱۵۱ تا ۱۶۳.
- جهانبخش اصل، سعید. رضایی بنفشه، مجید، اسمعیل پور، مرضیه. تدینی، معصومه. (۱۳۹۱). ارزیابی مدل‌های برآورد تبخیر تعرق پتانسیل و توزیع مکانی سالانه آن در حوضه جنوبی رود ارس. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دوره ۱۶، شماره ۴۰، صص ۵۶-۲۵.
- علیزاده، امین، (۱۳۸۵). *طراحی سیستم‌های آبیاری (جلد اول)*، طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع). صفحات: ۴۵۲.
- کریمی، علیرضا، (۱۳۹۰). *ارزیابی الگوریتم‌های سنجش از دور (SEBAL و SEBS) جهت محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای*. پایاننامه ارشد، دانشکده پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی.
- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، (۱۳۸۷). *تبخیر - تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان)*. شماره انتشار ۱۲۲.
- مباحثی، محمدرضا، (۱۳۸۵). *برآورد میزان تبخیر - تعرق در دشت‌های مرکزی و شمالی خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ سنجنده ETM+ طرح‌های پژوهشی*. سازمان آب و برق خوزستان. معاونت مطالعات پایه و طرح‌های جامع منابع آب.
- ولیزاده کامران، خلیل، (۱۳۹۰). *برآورد تبخیر - تعرق واقعی با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر ماهواره‌ای و GIS*. رساله‌ی دکتری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- ولیزاده کامران، خلیل، (۱۳۹۳). *برآورد تبخیر تعرق پتانسیل در آذربایجان شرقی به روش استفنز با استفاده از GIS*. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دوره ۱۸، شماره ۴۹، صص ۳۱۷-۳۳۴.
- ولیزاده کامران، خلیل، (۱۳۹۴). *برآورد تبخیر تعرق واقعی به روش سبال کوهستانی در منطقه مشگین شهر*. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دوره ۱۹، شماره ۵۳، صص ۳۸۲-۳۵۳.

- هاشمی نیا، سیدمجید، (۱۳۸۵). *مدیریت آب در کشاورزی*. انتشارات دانشگاه فردوسی (مشهد). صفحات: ۵۳۶

- Allen, R.G, Bastiaanssen ,W.G.M, Tasumi M, Mors A (2001). Evapotranspiration on the Watershed Scale Using the SEBAL Model and landsat images.Paper number:01-2224.An ASAE meeting Presentation.
- Allen R.G, Bastiaanssen W.G.M, Tasumi M, Trezza R, Waters R, (2002). Surface Energy Balance Algorithms for Land(SEBAL); Advanced Training and Users Manual.
- 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 Resource Management under Actual Field Conditions.1(85): 0733-9437
- Li, Y.L., Cui, J.Y., Zhang, T.H. and Zhao, H.L, (2003). Measurement of evapotranspiration of irrigation spring wheat and maize in a semi-arid region of North China. Agricultural Water Management, 61: 1-12.
- Ramos, J.G, Cratchley, C.R, Kay, J.A, Casterd, M.A, Martinez-cob, A, and Dominguez, R, (2009). Evaluation of Satellite evapotranspiration estimates Using ground – meteorological data available for the Flumen District in to the Ebro Valley of N.E Spain. Agricultural Water Management, 96(2009) 638-652
- Xiao-chun, ZHANG, Jing-Wei WU, Hua-yi WU, Yong LI. (2011). Simplified SEBAL method for estimating vast areal evapotranspiration with MODIS data.4(1): 24-35