

تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی ذرت با استفاده از داده‌های سنجش از دور و الگوریتم سبال

محمد اسماعیل کمالی^۱، علیرضا فرید حسینی^{۲*}، حسین انصاری^۳، محمدعلی غلامی سفیدکوهی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۱۰

چکیده

در این تحقیق تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی ذرت در اراضی ایستگاه زراعی بابل در استان مازندران با استفاده از تصاویر لندست و الگوریتم سبال مدنظر قرار گرفت. لذا ۱۱ تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در طول دوره رشد ذرت تهیه شد. به‌منظور استفاده از الگوریتم سبال ابتدا داده‌های هر باند بر اساس ضرایب ارائه‌شده برای آن باند واسنجی شدند. سپس شار تابش خالص در سطح زمین و شار گرمای خاک با استفاده از تمامی شارهای تابشی ورودی و خروجی و محاسبه ضرایب آلبدو، گسیلمندی سطحی، دمای سطح زمین و شاخص‌های گیاهی SAVI، NDVI، LAI بدست آمد. شار گرمای محسوس نیز با تعیین دو پیکسل سرد و گرم و در نظر گرفتن شرایط پایداری اتمسفر محاسبه شد. در انتها نقشه‌های نیاز آبی در طول دوره رشد ذرت بدست آمد که مقایسه آن با کتاب مرجع، سند ملی آب و فائو ۵۶ بیانگر میزان RMSE برابر با ۰/۹۹، ۰/۰۹ و ۰/۶۵ میلی‌متر در روز بوده است. سپس با محاسبه تبخیر-تعرق مرجع به روش فائو-پنمن-مانتیت، مقدار ضریب گیاهی ذرت در دوره‌های مختلف رشد بدست آمد. این ضریب برای دوره میانی ۱/۲۴ بدست آمده است که ۲۸، ۸ و ۳ درصد به ترتیب با مقدار پیشنهادی کتاب مرجع، سند ملی و فائو ۵۶ اختلاف داشته است. برای نیمه اول دوره ابتدایی نیز ۰/۱ و برای نیمه دوم دوره ابتدایی ۰/۴ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: تابش خالص، تبخیر-تعرق، توازن انرژی، شار گرمای نهان، لندست

مقدمه

غیرمستقیم برآورد می‌گردد (Allen et. al., 1990). در روش مستقیم نیاز آبی را می‌توان با استفاده از دستگاه‌هایی مانند لایسیمتر و یا روش بیلان رطوبتی خاک بدست آورد. در روش غیرمستقیم نیز نیاز آبی از روش دو مرحله‌ای فائو بدست می‌آید که حاصل ضرب ضریب گیاهی محصول (Kc) در تبخیر-تعرق مرجع (ET₀) است (Allen et. al., 1990). هرچند روش مستقیم دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری نیاز آبی است، اما با توجه به هزینه‌بر بودن، زمان‌بر بودن، احتمال ورود خطای انسانی، وابسته بودن دقت اندازه‌گیری به دقت نصب لایسیمتر و نقطه‌ای بودن برآورد در روش مستقیم، اصولاً از روش غیرمستقیم جهت محاسبه نیاز آبی در برنامه‌ریزی‌های آبیاری استفاده می‌شود (شریفان و قهرمان، ۱۳۸۵). اما در روش غیرمستقیم نیاز آبی پتانسیل گیاه برآورد می‌شود که متفاوت با نیاز آبی واقعی گیاه است. همچنین در این روش، ضریب گیاهی باید با انجام آزمایش‌های محلی بدست آید. اما در ایران عموماً از مقادیر پیشنهادی کتاب مرجع "برآورد آب موردنیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور" (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶)، سند ملی آب (بی‌نام، ۱۳۷۸) و یا نشریه فائو ۵۶ (Allen et al., 1998) استفاده می‌شود که برای سالیان خیلی دور است و تحقیقات جدیدی در این زمینه انجام نشده است.

امروزه استفاده از داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای این امکان را می‌دهد که بتوان با صرف هزینه و زمان کم‌تر مقدار

به‌منظور مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی می‌توان از دو راهکار اصلی شامل ۱- ارتقاء سامانه‌های آبیاری و ۲- ارتقاء برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری استفاده نمود. ارتقاء سامانه‌های آبیاری و افزایش راندمان آبیاری یکی از روش‌های کارآمد محسوب می‌شود. اما این راهکار نیاز به سرمایه اولیه زیاد و پشتیبانی دولت دارد. لذا راهکار ارتقا برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری می‌تواند روشی مؤثر در بهبود مصرف آب در زراعت باشد که محاسبه دقیق نیاز آبی یکی از ملزومات آن است. نیاز آبی یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آب است و برابر با تبخیر-تعرق گیاه در نظر گرفته می‌شود. برآورد بیش از حد آب موردنیاز گیاه، علاوه بر هدر دادن آب آبیاری، باعث ماندابی شدن اراضی، شستشوی مواد غذایی خاک و آلوده نمودن منابع آب زیرزمینی می‌شود و برآورد کمتر نیز باعث اعمال تنش رطوبتی به گیاه و در نتیجه کاهش محصول می‌شود. نیاز آبی به دو روش مستقیم و

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

*- نویسنده مسئول: (Email: farid-h@um.ac.ir)

همکاران، ۱۳۷۶) است، برای استان مازندران فقط در یک منطقه (دشت ناز ساری) محاسبه شد. این محاسبات در سند ملی فقط برای ذرت دانه‌ای انجام شد که در یک دوره ۱۰۳ روزه، مقدار آن را ۲۶۸ میلی‌متر برآورد نمود و در کتاب مرجع فقط برای ذرت علوفه‌ای انجام شد که در یک دوره ۱۴۴ روزه مقدار آن را ۵۹۱/۲ میلی‌متر محاسبه نمود. این در حالی است که در استان مازندران دوره رشد ذرت علوفه-ای تقریباً ۹۰ روزه و دوره رشد ذرت دانه‌ای تقریباً ۱۲۰ روزه است. پژوهشی در استان خراسان نشان داده است که تبخیر-تعرق مرجع (ET0) بدست آمده تقریباً ۴۷٪ نسبت به نتایج سند ملی آب تغییر کرده است (عرفانیان و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین نتایج تحقیقی در استان فارس نشان داد که نیاز آبی گندم، جو، ذرت، چغندر، قند، آفتابگردان، لوبیا، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی تغییرات زیادی نسبت به نتایج سند ملی داشته است (فولادمنند، ۱۳۹۰). در نتیجه اطلاعات سند ملی آب و کتاب مرجع نیاز به بازبینی دارند.

در این راستا باستیانسن و همکاران میزان تبخیر-تعرق محاسباتی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای و الگوریتم سبال را در کشورهای چین، هند، اسپانیا و پاکستان را با اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای مقایسه کردند و نتایج نشان داد که در ۸۵ درصد موارد داده‌های حاصل از الگوریتم سبال با داده‌های مزرعه‌ای بدون هیچ‌گونه واسنجی مطابقت داشته است (Bastiaanssen et al., 1998). همچنین راموس و همکاران با استفاده از الگوریتم بیلان انرژی، تبخیر-تعرق واقعی روزانه برای ۳ محصول گندم، ذرت و چمن را در طی ۴ سال در منطقه Flumen شمال اسپانیا مورد بررسی قرار دادند (Ramos et al., 2009). در آن تحقیق مقادیر تبخیر-تعرق واقعی به‌دست‌آمده از روش سبال برای چمن انحراف ۰/۳ میلی‌متر در روز در مقابل اندازه‌گیری‌های لایسمتری و انحراف ۰/۳۶ میلی‌متر بر روز در مقابل روش پنمن-مانیت داشت. برای گیاه ذرت و گندم، تبخیر-تعرق حقیقی به‌دست‌آمده از روش لایسمتر انحراف $\pm 0/6$ میلی‌متر بر روز داشته است. در ایران نیز تحقیقات دیگری در این زمینه انجام شده است. در تحقیقی، امکان استفاده از دو الگوریتم سبال و متریک در برآورد تبخیر-تعرق بخشی از اراضی شهرستان مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استر مورد مقایسه قرار گرفت (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲). نتایج نشان داد هر دو مدل می‌توانند مقدار تبخیر و تعرق واقعی را متناسب با توزیع مکانی منطبق با شرایط توپوگرافیکی و پوشش گیاهی حوضه برآورد نمایند. در تحقیقی دیگر الگوریتم‌های SEBAL و S-SEBI در برآورد تبخیر-تعرق ذرت در منطقه کرج با استفاده از تصاویر مودیس با هم مقایسه شدند (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج نشان داد که الگوریتم سبال شار گرمای محسوس و در نتیجه شار گرمای نهان را نسبت به الگوریتم S-SEBI به‌مراتب بهتر برآورد می‌نماید. در تحقیقی دیگر سهیلی‌فر و همکاران (۱۳۹۲)، مقدار تبخیر-تعرق واقعی در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا

تبخیر-تعرق واقعی گیاه را در یک سطح وسیع تخمین زد که اگر شرایط آب و خاک محدودیتی در جذب آب و رشد گیاه ایجاد ننماید، این مقدار همان نیاز آبی گیاه می‌باشد. زیرا با استفاده از این روش می‌توان پارامترهایی نظیر دمای سطحی، ضریب آلیبدو و شاخص پوشش گیاهی را به‌صورت منطبق با سازگار با محیط تعیین کند. این امر ضمن مقرون‌به‌صرفه بودن، بسیار کارآمد است. زیرا عناصر اقلیمی در زمان و مکان تغییر پیدا می‌کنند و با دور شدن از محل ایستگاه-های هواشناسی، مقادیر محاسبه‌شده نیاز آبی در محل ایستگاه‌های هواشناسی به تندی یا به آرامی، به‌صورت خطی یا غیرخطی تغییر می‌کند و قابلیت انتساب خود به نقاط دور از محل اندازه‌گیری را از دست می‌دهند. برآوردهای سنجش از دور از آلیبدوی سطحی، دمای سطحی و گسیلمندی مادون قرمز حرارتی سطحی جهت محاسبه تغییرات مکانی در تابش موج کوتاه انعکاس یافته و تابش موج بلند گسیل یافته به خارج از سطح زمین استفاده می‌کند. ترکیب تابش موج کوتاه و موج بلند، امکان محاسبه تابش خالص جذب‌شده سطحی برای هر پیکسل تصویر را فراهم می‌کند که این تابش خالص در محاسبه شارهای گرمای خاک، محسوس و نهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از دریافت و انجام تصحیح‌های لازم بر روی تصاویر، ابتدا تبخیر-تعرق لحظه‌ای محصول موردنظر در زمان گذر ماهواره بدست می‌آید. سپس با توجه به داده‌های اقلیمی ایستگاه هواشناسی منطقه و محاسبه تبخیر-تعرق مرجع، میزان تبخیر-تعرق روزانه محصول بدست می‌آید.

از طرفی دیگر یکی از غلات مهم و پر محصول در تغذیه، ذرت می‌باشد که از مهم‌ترین گیاهان تأمین‌کننده انرژی و پروتئین می‌باشد. کشت ذرت با توجه به تنوع آب و هوایی در بسیاری از مناطق ایران و همچنین بعد از برداشت غلات قابل‌گسترش است. در استان مازندران کشت ذرت بیش‌تر به‌منظور تهیه علوفه است. میزان تولید علوفه در مازندران سالانه ۳/۷ میلیون تن است و این در صورتی است که نیاز علوفه استان ۵/۹ میلیون تن در سال می‌باشد. لذا استان مازندران سالانه با کمبود بیش از ۲ میلیون تن علوفه مواجه است. یکی از عمده‌ترین نیاز استان در بخش علوفه نیز ذرت علوفه‌ای است. آمار سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران نشان می‌دهد که سطح زیر کشت ذرت در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۳ به میزان ۴۵۰۰ هکتار بود که همه آن برای تهیه علوفه بوده است. میزان تولید آن نیز ۲۰۲ هزار و پانصد تن با میانگین عملکرد ۴۵ تن در هکتار بود. با توجه به کشت و رشد این گیاه در ماه‌های گرم سال، اصلی‌ترین موضوع در کشت آن، تأمین آب موردنیاز گیاه است. لذا می‌توان با برنامه‌ریزی صحیح در جهت برآورد و تأمین نیاز آبی این محصول، هم در جهت افزایش سطح زیر کشت و هم افزایش تولید و عملکرد گام‌های موثری برداشت. نیاز آبی ذرت در منابع موجود که سند ملی آب (بی‌نام، ۱۳۷۸) و کتاب مرجع "برآورد آب موردنیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور" (فرشی و

لندست ۸ توان تفکیک مکانی مناسب آن می‌باشد که فرصت خوبی را برای پایش پدیده‌های موجود در زمین فراهم می‌نماید. به‌طوریکه سیمایی و همکاران (۱۳۹۲) دقت تصاویر ماهواره‌ای لندست در تعیین تبخیر- تعرق گیاهان را ۲/۵ برابر تصاویر مودیس بیان کردند. الگوریتم مورد استفاده نیز الگوریتم سبال می‌باشد که میزان تبخیر- تعرق واقعی گیاهان را با حداقل داده‌های زمینی و بر پایه روابط تجربی و فیزیکی برآورد می‌نماید و نتایج خوبی را نیز ارائه داده است (Bastiaanssen et al., 1998).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه اراضی ایستگاه زراعی بابل در استان مازندران با مساحت ۳۰۰ هکتار می‌باشد که در محدوده مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۴/۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۲/۱ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۳۲/۳ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۱/۵ دقیقه شرقی می‌باشد (شکل ۱). اراضی موردنظر دارای پتانسیل مناسبی جهت کشت و تولید ذرت می‌باشند. اما فاقد جریان آب‌های سطحی (آب سد) است. لذا از منابع آب‌های زیرزمینی با حفر چاه‌هایی برای آبیاری این اراضی استفاده می‌شود که البته چاه‌های موجود نیز عموماً بسیار قدیمی و مستهلک است. راندمان بهره‌برداری از آب در اراضی مورد مطالعه همواره پایین است و زراعت در این اراضی با مشکل کم‌آبی همراه می‌باشد. ذرت در بلوک‌های مختلفی از این ایستگاه کشت می‌شود. این تحقیق در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ که مقارن با سال‌های میلادی ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ بوده است، انجام شد. چون تاریخ کشت در بلوک‌های مختلف متفاوت است، در هر سال یک بلوک با یک تاریخ کشت ثابت جهت تجزیه و تحلیل انتخاب شده است. زمان کاشت در بلوک‌های موردنظر در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، ۲۱ اردیبهشت و زمان برداشت در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به ترتیب ۱۰ و ۲۱ مرداد بوده است. لذا کل تصاویر ماهواره لندست ۸ که در محدوده دوره رشد ذرت بوده است، برای انجام آنالیزها استفاده شد. سری زمانی تصاویر ارسالی از ماهواره لندست ۸ هر ۱۶ روز با شفافیت ۳۰ متر می‌باشد. در نتیجه در هر سال ۵ تا ۷ تصویر در دوره رشد ذرت قرار می‌گیرند. اما در هر سال برخی از تصاویر به دلیل ابرناکی قابل استفاده نبودند که این امر مشکلی را برای استفاده از این روش در استان‌های مرطوب کشور از جمله مازندران ایجاد می‌نماید. هرچند با استفاده از تصاویر موجود این مطالعه قابل اجرا بود. ولی برای افزایش دقت و استفاده از تعداد بیش‌تری از تصاویر در دوره رشد، از تصاویر ماهواره لندست ۷ در محدوده دوره رشد ذرت که فاقد ابرناکی بود نیز استفاده شده است. مشخصات تصاویر استفاده شده به‌صورت جدول ۱ می‌باشد.

کوچک‌خان واقع در استان خوزستان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و الگوریتم سبال بدست آوردند و با تبخیر- تعرق گیاه محاسبه‌شده به روش فائو- پنمن- مانیتث در روزهای عبور ماهواره مقایسه کردند. نتایج نشان داد که میزان خطا $RMSE=0/66$ میلی‌متر بر روز برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی و $R^2=0/87$ بوده است. ازجمله کارهای دیگر، می‌توان به برآورد میزان تبخیر- تعرق واقعی و پتانسیل در شبکه آبیاری آبشار اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOAA-AVHRR و الگوریتم SEBAL (اکبری و همکاران، ۱۳۹۰)، تعیین میزان ضریب گیاهی و تبخیر- تعرق واقعی گندم در حوضه گرگان‌رود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS (غلامی و همکاران، ۱۳۸۹)، پهنه‌بندی تبخیر- تعرق واقعی در حوضه آبخیز منشاد استان یزد توسط فن سنجش از دور و الگوریتم سبال (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۹) و تعیین مقدار تبخیر- تعرق ذرت در دشت ماهیدشت -سنجایی در استان کرمانشاه با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر Landsat TM (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱) اشاره نمود.

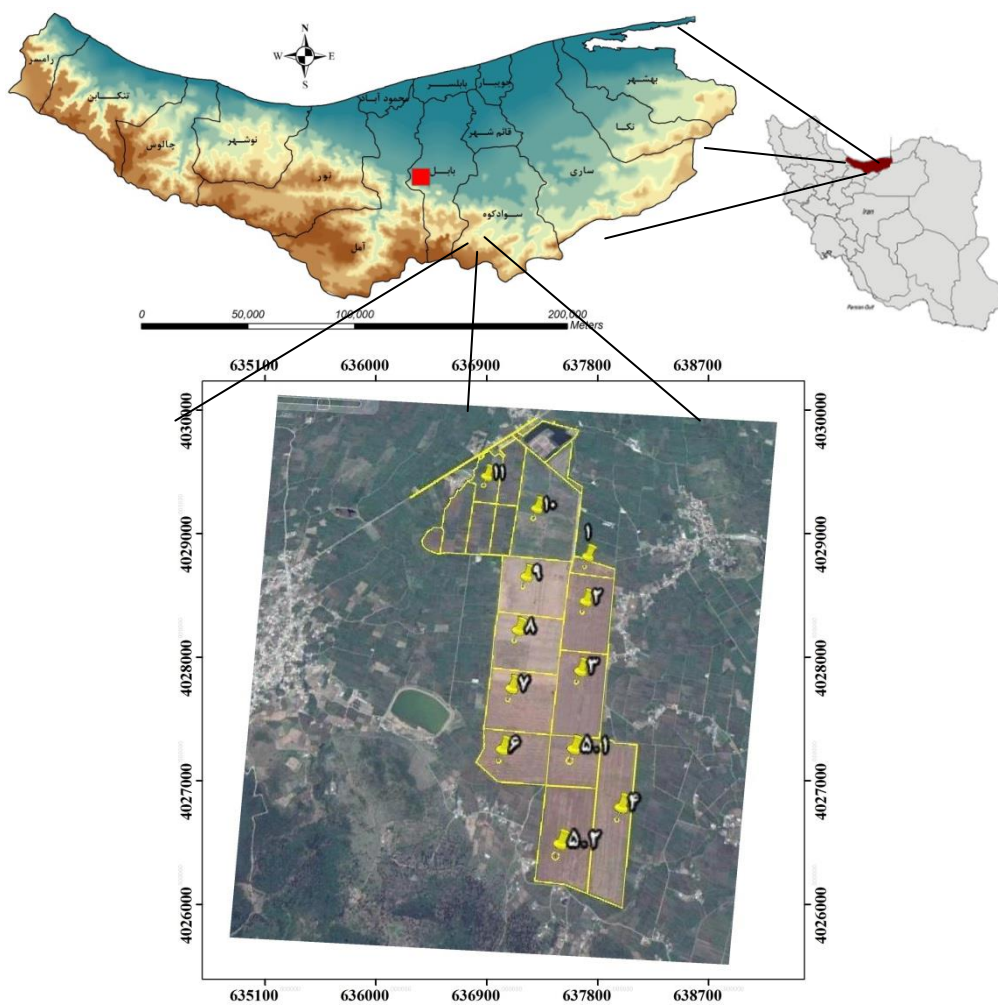
پائول و همکاران با استفاده از داده‌های لایسیتتر میزان تبخیر - تعرق واقعی بدست آمده از الگوریتم SEBAL را در تصاویر حاصل از سکوه‌های هوایی در ایالت تگزاس آمریکا مورد ارزیابی قرار دادند. میزان مربعات خطای بدست آمده از الگوریتم SEBAL حاصل از این تحقیق برابر $0/15$ میلی‌متر در روز بوده است (Paul et al., 2013). حسین و همکاران در تحقیقی برای برآورد تبخیر - تعرق واقعی در حوضه الخضیر با اقلیم خشک و نیمه‌خشک در شمال عراق از الگوریتم سبال و تصاویر سنجد لندست ۵ استفاده کردند. نتایج آنها قابلیت استفاده از الگوریتم سبال را برای این منطقه نشان داد (Hussein et al., 2015).

بالا و همکاران تبخیر- تعرق روزانه بدست آمده از تصاویر سنجد لندست ۷ و الگوریتم سبال را با استفاده از داده‌های لایسیتتری در اراضی کشاورزی موسسه تحقیقات کشاورزی هند مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد میزان ریشه میانگین مربعات خطا $0/51$ میلی‌متر در روز و میانگین قدر مطلق خطا $0/19$ بوده است که بیانگر دقت بالای الگوریتم سبال در برآورد تبخیر - تعرق روزانه در مقابل داده‌های لایسیتتری بوده است (Bala et al., 2016).

با توجه به مطالب بیان شده، در این تحقیق محاسبه نیاز آبی واقعی و ضریب گیاهی ذرت با استفاده از داده‌های سنجش از دور مدنظر قرار گرفته است که تاکنون تحقیقی در این زمینه در منطقه موردنظر انجام نشده است. تصاویر مورد استفاده در این تحقیق، تصاویر لندست ۸ می‌باشد که جدیدترین ماهواره از سری ماهواره‌های لندست می‌باشد و از تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ راه‌اندازی شد. این ماهواره حدود ۴۰۰ تصویر در روز می‌گیرد که نسبت به ۲۵۰ تصویر در روز ماهواره لندست ۷ افزایش قابل توجهی دارد. مزیت دیگر تصاویر

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق

سال زراعی	تاریخ	نوع ماهواره	دوره رشد محصول	سال زراعی	تاریخ	نوع ماهواره	دوره رشد محصول
	۹ خرداد	لندست ۸	ابتدایی		۲۷ اردیبهشت 17 May	لندست ۸	ابتدایی
	۱۷ خرداد	لندست ۷	توسعه		۲۰ خرداد 10 June	لندست ۷	توسعه
	۲۵ خرداد	لندست ۸	توسعه	۱۳۹۴	۲۸ خرداد 18 June	لندست ۸	توسعه
	۲۶ تیر 17 July	لندست ۸	میانی	(۲۰۱۵)	۶ مرداد 28 July	لندست ۷	میانی
	۳ مرداد 25 July	لندست ۷	میانی		۱۴ مرداد	لندست ۸	میانی
	۱۱ مرداد 2 Aug	لندست ۸	میانی		5 August	لندست ۸	میانی



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و بلوک‌بندی اراضی آن

ضرایب بازتاب پوشش سطح برای باندهای مختلف واسنجی شدند. منظور از واسنجی در محدوده طیفی هر باند، به دست آوردن مقدار

واسنجی تصاویر

برای برآورد تبخیر- تعرق ذرت از روی تصاویر ماهواره‌ای ابتدا

محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002):

$$R_{S\downarrow} = G_{sc} \times \cos \theta \times d_r \times \tau_{sw} \quad (5)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \times \cos \left(J \frac{2\pi}{365} \right) \quad (6)$$

که G_{sc} ثابت خورشیدی (1367 W/m^2)، θ زاویه سمت‌الرأس خورشیدی یا زاویه ورودی تابش خورشیدی (θ_{sz})، d_r معکوس مربع فاصله نسبی زمین تا خورشید، τ_{sw} شفافیت جوی و J شماره روز ژولیوسی می‌باشد.

تابش موج بلند ورودی، شار تابش حرارتی از جو به سمت پایین است که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002):

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \times \sigma \times T_a^4 \quad (7)$$

$$\varepsilon_a = 0.85 \times (-\ln \tau_{sw})^{0.09} \quad (8)$$

که ε_a گسیلمندی جو، σ ثابت استفان-بولتزمن ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$) و T_a دمای هوای نزدیک سطح ($^\circ\text{K}$) و τ_{sw} شفافیت جوی موج کوتاه می‌باشد.

تابش موج بلند خروجی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002):

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \times \sigma \times T_s^4 \quad (9)$$

$$T_s = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{\varepsilon_{NB} \times K_1}{R_c} + 1 \right)} \quad (10)$$

که ε_0 گسیلمندی سطحی عریض باند (یا گسیلمندی سطحی در محدوده وسیع) (بدون بعد)، σ ثابت استفان-بولتزمن ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$) و T_s دمای سطحی زمین ($^\circ\text{K}$)، K_1 و K_2 ضرایب واسنجی باندهای حرارتی، R_c تابش حرارتی اصلاح شده سطح زمین ($\text{W/m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$) و ε_{NB} گسیلمندی سطحی در باند کم‌پهنای حرارتی می‌باشد.

شار گرمای خاک (G)

شار گرمای خاک (G) با استفاده از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002):

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0032\alpha + 0.0062\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (11)$$

که T_s دمای سطحی (OC)، $NDVI$ شاخص پوشش گیاهی و α آلبیدو می‌باشد. اگر $NDVI < 0$ فرض می‌شود سطح زمین آب است و اگر $T_s < 4^\circ\text{C}$ و $\alpha > 0.45$ فرض می‌شود سطح زمین پوشیده از برف است که در این صورت $\frac{G}{R_n} = 0.5$ در نظر گرفته می‌شود.

تشعشع ثبت شده توسط باند موردنظر در بالای اتمسفر است. به عبارت دیگر باید باندهای تابشی (Radiance) و باندهای انعکاسی (Reflectance) تصاویر ماهواره‌ای بدست آیند. برای این منظور با استفاده از رابطه‌ی زیر تابش طیفی باندهای موردنیاز محاسبه شد (Landsat8 data users handbook., 2016):

$$L\lambda = (M_L \times Q_{cal}) + A_L \quad (1)$$

$$\rho\lambda = \frac{(M_P \times Q_{cal}) + A_P}{\sin(\theta_{SE})} \quad (2)$$

که در آن $L\lambda$ تابش طیفی برای هر باند ($\text{W}/(\text{m}^2 \times \text{srad} \times \mu\text{m})$)، ML و AL ضریب واسنجی تابشی باندهای سنجنده، Q_{cal} مقدار پیکسل‌های خام تصاویر ماهواره‌ای پیش از واسنجی که همان عدد رقومی (DN) مربوط به هر پیکسل می‌باشد، $\rho\lambda$ انعکاس طیفی هر باند، θ_{SE} زاویه خورشیدی، MP و AP ضریب واسنجی انعکاسی سنجنده می‌باشد.

الگوریتم سبال

سپس معادله اصلی الگوریتم سبال مدنظر قرار گرفت و اجزای آن محاسبه شد. این معادله که همان معادله اصلی بیلان انرژی است به صورت زیر می‌باشد (از مقدار جزئی انرژی که صرف فتوسنتز و ذخیره گرما در گیاه می‌شود صرف نظر می‌گردد) (Bastiaanssen, et al., 1998):

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

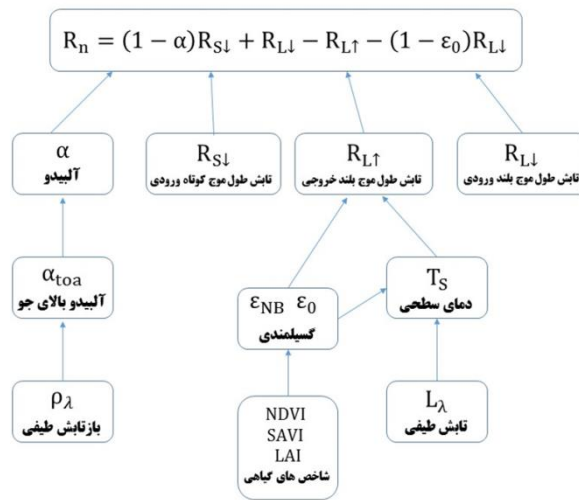
در این فرمول R_n شار تابش خالص در سطح زمین، G شار گرمای خاک، H شار گرمای محسوس و λET شار گرمای نهان یا گرمای نهان تبخیر-تعرق (که همان انرژی مورد استفاده جهت تبخیر-تعرق است) می‌باشند. برای تعیین میزان تبخیر-تعرق واقعی گیاه باید شار گرمای نهان را با استفاده از محاسبه بقیه پارامترها بدست آورد که در ادامه بیان می‌شود.

شار تابش خالص در سطح زمین (Rn)

شار تابش خالص در سطح زمین با استفاده از تمامی شارهای تابشی ورودی و خروجی از سطح به صورت زیر به دست می‌آید (Allen et al., 2002):

$$R_n = (1 - \alpha)R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (4)$$

که در آن α آلبیدوی سطحی (بی بعد)، $R_{S\downarrow}$ تابش موج کوتاه ورودی (W/m^2)، $R_{L\downarrow}$ تابش موج بلند ورودی (W/m^2)، $R_{L\uparrow}$ تابش موج بلند خروجی (W/m^2) و ε_0 گسیلمندی سطحی یا گسیلمندی حرارتی سطحی (بی بعد) می‌باشد. تابش ورودی موج کوتاه، مجموع شار تابش خورشیدی واقعی مستقیم و پراکنده است که واقعاً به زمین می‌رسد و به صورت زیر



شکل ۲- پارامترهای موردنیاز جهت محاسبه تابش خالص خورشیدی در سطح زمین

پیکسل فوق می‌توان مقادیر قابل اعتمادی برای H محاسبه نموده و به کمک آن مقادیر dT در این دو پیکسل را برآورد نمود. مقدار r_{ah} نیز به صورت زیر و با در نظر گرفتن شرایط پایداری هوا بدست می‌آید.

$$r_{ah} = \frac{\ln\left(\frac{Z_2}{Z_z}\right) - \Psi_{h(z_2)} + \Psi_{h(z_1)}}{u_* \times k} \quad (13)$$

$$U_* = \frac{k \times U_{200}}{\ln\left(\frac{200}{Z_{om}}\right) - \Psi_m(200)} \quad (14)$$

شار گرمای نهان (λET)

شار گرمای نهان، میزان تلفات گرما از سطح به علت تبخیر-تعرق را نشان می‌دهد که برای هر پیکسل با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002):

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (15)$$

که λET گرمای نهان تبخیر-تعرق یا انرژی مورد استفاده جهت تبخیر-تعرق برای زمان گذر ماهواره (برحسب وات بر مترمربع) می‌باشد که برای هر پیکسل بدست می‌آید. پس از آن برای بدست آوردن میزان لحظه‌ای ET (در لحظه تصویربرداری) به صورت عمق تبخیر از رابطه زیر استفاده می‌شود (Allen et al., 2002).

$$ET_{inst} = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (16)$$

که در آن ET_{inst} تبخیر-تعرق لحظه‌ای (mm/hr)، λ گرمای نهان بخار آب یا میزان گرمای جذب شده هنگامی که یک کیلوگرم آب بخار می‌شود (J/kg) و عدد ۳۶۰۰ برای تبدیل زمان ثانیه به ساعت می‌باشد. در مطالعات مرتبط با تبخیر-تعرق، عموماً مقادیر روزانه این

شار گرمای محسوس (H)

شار گرمای محسوس، میزان هدر رفت (یا انتقال) گرما به هوا به دلیل اختلاف دما از طریق همرفت و هدایت مولکولی تعریف می‌شود (Allen et al., 2002) که از رابطه زیر بدست آمد:

$$H = \frac{\rho_{air} \cdot C_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad (12)$$

که در آن ρ_{air} چگالی هوا (kg/m^3) است که تابع فشار و دمای هوا می‌باشد، C_p گرمای ویژه هوا ($1004 J/kg^\circ K$)، dT اختلاف دما بین دو ارتفاع Z_1 و Z_2 بر حسب ($^\circ K$) به طوری که این دو ارتفاع در الگوریتم سبال به ترتیب ۰/۱ و ۲ متر است و r_{ah} مقاومت آیرودینامیکی برای انتقال گرما (s/m) است.

در معادله فوق دو مجهول r_{ah} و dT وجود دارد که حل این معادله را دشوار می‌سازد. الگوریتم سبال برای غلبه بر این مشکل و ساده سازی محاسبات، از دو پیکسل سرد و گرم و سرعت باد در ارتفاع معین استفاده می‌کند. پیکسل گرم شامل اراضی کشاورزی خشک و بدون پوشش گیاهی است و پیکسل سرد جزء مزارع کشاورزی است که خوب آبیاری شده باشد و پوشش گیاهی متراکمی را دارد. ترکیب مقاومت آیرودینامیکی با حداکثر و حداقل شار گرمای محسوس در سطوحی از زمین که به طور خاصی انتخاب شده‌اند (پیکسل سرد و پیکسل گرم)، ارزیابی محدوده‌ای از تفاوت‌های دمای هوا در نزدیکی سطح را امکان پذیر 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 دو

نیاز آبی به صورت فرمول ۳۳ برآورد شد و به عنوان مقدار نیاز آبی آن منطقه در نظر گرفته شده است.

$$ETC_{Mean} = \frac{\sum_{i=1}^n ETC_i \times F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (19)$$

که در آن ETC_i مقدار نیاز آبی هر پیکسل و F_i مقدار فراوانی آن می‌باشد.

نتایج و بحث

پس از انجام محاسبات مورد نیاز الگوریتم سبال، نقشه‌های تبخیر-تعرق واقعی ذرت تهیه شد. باید توجه داشت که کشت قطعات مختلف، در زمان‌های مختلفی انجام شده است. اما برای تجزیه و تحلیل نتایج و نیز تعیین ضریب گیاهی، نیاز است که یک تاریخ کشت (که در این تحقیق همان ۲۱ اردیبهشت است) و قطعاتی که در این تاریخ کشت شده‌اند، مدنظر قرار گیرد. همچنین باید قطعه‌ای مدنظر قرار گیرد که مدیریت آبیاری و کشاورزی آن مناسب و کنترل شده باشد و شرایط آب و خاک محدودیتی برای رشد مناسب گیاه ایجاد نموده باشد. در نتیجه با هماهنگی مدیر زراعت ایستگاه، در هر سال نقشه‌های مربوط به یک قطعه زمین که این شرایط را دارا بود، از نقشه اصلی جدا شده و مدنظر قرار گرفت که به صورت شکل‌های ۳ تا ۹ می‌باشد.

نقشه‌ها نشان می‌دهد که مقدار نیاز آبی در دو سال کمی متفاوت می‌باشد که این می‌تواند به دلیل تغییر در شرایط آب و هوایی باشد. همچنین بیشترین مقدار نیاز آبی ذرت در سال ۱۳۹۳ به میزان ۶/۲۵ میلی‌متر در روز در تاریخ ۲۶ تیر و در سال ۱۳۹۴ به میزان ۶/۷۸ در تاریخ ۱۴ مرداد بوده است. جهت ارزیابی نیاز آبی محاسبه شده در این تحقیق، مقدار تبخیر-تعرق مرجع در روز تصویربرداری محاسبه شد و در مقادیر پیشنهادی ضریب گیاهی کتاب مرجع، سند ملی آب و فائو ۵۶ ضرب شد. نتایج نشان داد که مقدار RMSE برابر با ۰/۹۹، ۰/۰۹ و ۰/۶۵ میلی‌متر به ترتیب نسبت به کتاب مرجع، سند ملی آب و فائو ۵۶ بوده است (شکل ۱۲). در این راستا غلامی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیق خود بر روی تعیین نیاز آبی تجمعی سالانه گندم در حوضه گرگان‌رود با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس نشان دادند که مقدار RMSE برابر با ۱۸ میلی‌متر نسبت به روش فائو-پنمن-مانتیت بوده است. همچنین سهیلی فر و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیق خود بر روی تعیین تبخیر-تعرق واقعی نیشکر با استفاده از تصاویر مودیس، مقدار RMSE را ۰/۶۶ میلی‌متر در روز نسبت به روش فائو-پنمن-مانتیت بدست آوردند.

پارامتر کاربرد بیش‌تری نسبت به مقادیر لحظه‌ای آن دارد. جهت برآورد تبخیر-تعرق روزانه از تبخیر-تعرق لحظه‌ای، می‌توان از مفهوم تبخیر-تعرق واقعی روزانه با فرض آن که مقادیر لحظه‌ای کسر تبخیر-تعرق مرجع برابر با متوسط مقدار این پارامتر در طول روز باشد، محاسبه می‌گردد. برای این منظور تبخیر-تعرق گیاه مرجع در مقیاس ساعتی در لحظه گذر ماهواره (ET_{r-inst}) و همچنین میزان آن در مقیاس روزانه (ET_{r-24}) برای ایستگاه هواشناسی معرف منطقه محاسبه می‌گردد. سپس نسبت تبخیر-تعرق لحظه‌ای محاسبه شده از مدل SEBAL به تبخیر-تعرق گیاه مرجع در مقیاس ساعتی در لحظه گذر ماهواره که همان کسر تبخیر-تعرق مرجع (ET_r/F) است، تعیین و حاصل ضرب این نسبت در تبخیر-تعرق روزانه گیاه مرجع، میزان تبخیر-تعرق واقعی روزانه (ET_{act-24}) می‌باشد (Allen et al., 2002):

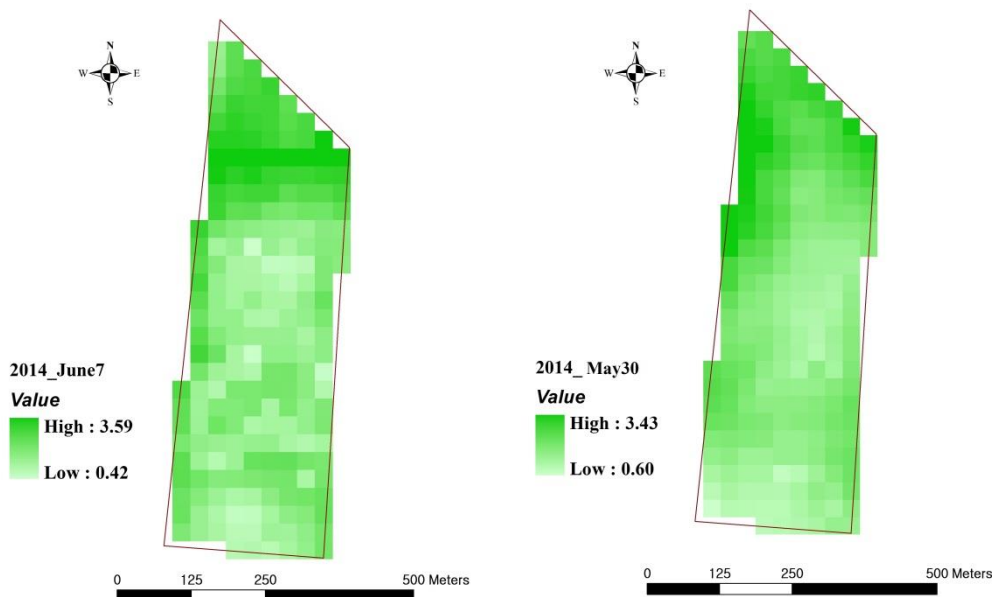
$$ET_{act-24} = ET_{r-24} \frac{ET_{inst}}{ET_{r-inst}} \quad (17)$$

که ET_{act-24} تبخیر-تعرق واقعی روزانه، ET_{r-24} تبخیر-تعرق مرجع روزانه، ET_{inst} تبخیر-تعرق لحظه‌ای هر پیکسل و ET_{r-inst} همان تبخیر-تعرق گیاه مرجع در مقیاس ساعتی در لحظه گذر ماهواره می‌باشد. مقدار ET_{act-24} در این مطالعه با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی منطقه و نرم‌افزار Ref-ET و رابطه فائو-پنمن-مانتیت برای گیاه مرجع برآورد شد.

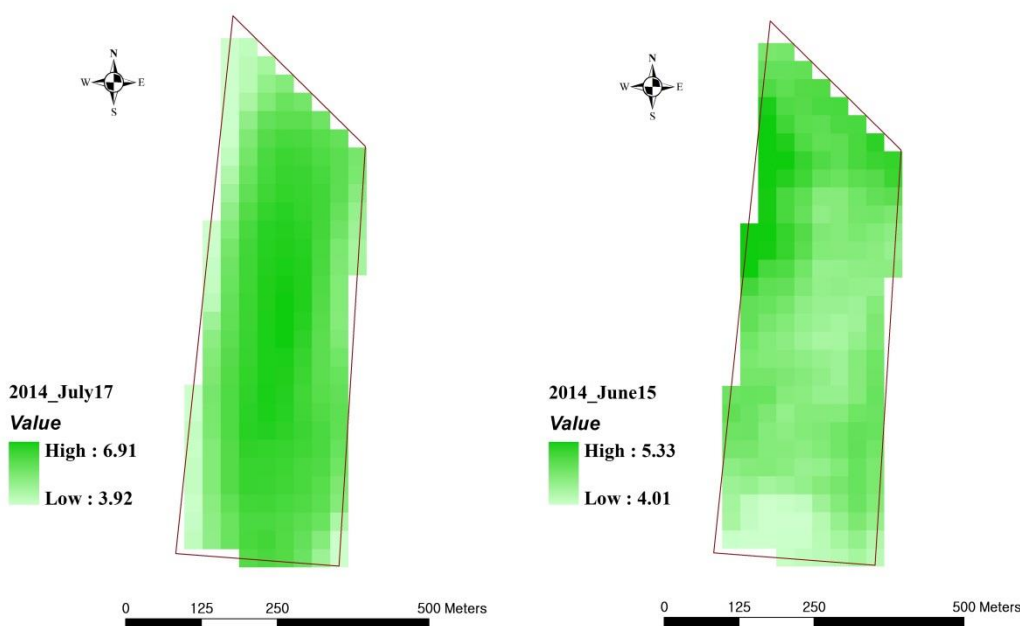
جهت ارزیابی نیاز آبی برآورد شده در این تحقیق، مقدار تبخیر-تعرق مرجع در روز تصویربرداری محاسبه شد و در مقادیر پیشنهادی ضریب گیاهی کتاب مرجع، سند ملی آب و فائو ۵۶ ضرب شد. مقایسه آن‌ها با استفاده از شاخص ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) رابطه ۱۸ محاسبه شد.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{ETC_i^* - ETC_i\}^2 \right]^{0.5} \quad (18)$$

که در این معادله ETC_i^* مقدار تبخیر-تعرق ذرت محاسبه شده با روش سنجش از دور و ETC_i مقدار تبخیر-تعرق ذرت با استفاده از ضرایب گیاهی کتاب مرجع، سند ملی آب و فائو ۵۶ می‌باشد. پس از محاسبه تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، میزان تبخیر-تعرق مرجع نیز در تاریخ‌های مورد نظر در ایستگاه هواشناسی منطقه با استفاده از داده‌های هواشناسی و به روش فائو-پنمن-مانتیت بدست آمد. از تقسیم مقادیر تبخیر-تعرق واقعی بر مقادیر تبخیر-تعرق مرجع، مقدار ضریب گیاهی ذرت بدست آمده است. سپس با استفاده از این مقادیر، نمودار ضریب گیاهی تهیه شد. از آنجایی که در تصاویر مقدار تبخیر-تعرق در مناطق مختلف متفاوت بوده است، لذا نمودار فراوانی هر نقشه ترسیم شد و میانگین



شکل ۳- نقشه نیاز آبی ذرت در تاریخ ۹ خرداد (سمت راست) و ۱۷ خرداد (سمت چپ) ۱۳۹۳



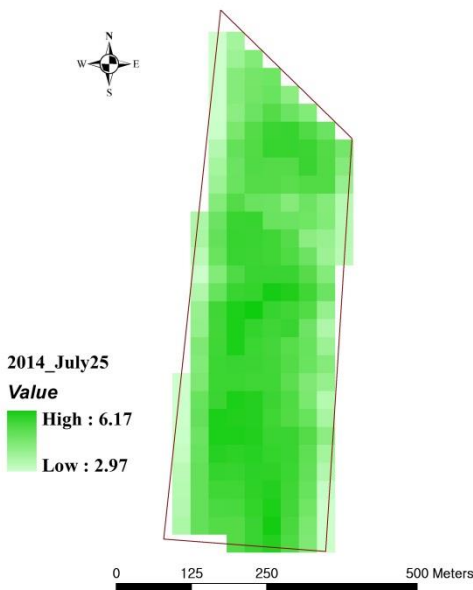
شکل ۴- نقشه نیاز آبی ذرت در تاریخ ۲۵ خرداد (سمت راست) و ۲۶ تیر (سمت چپ) ۱۳۹۳

تاریخ مربوط به تصاویر ماهواره‌ای بدست آمد. سپس از تقسیم تبخیر- تعرق واقعی ذرت به تبخیر- تعرق مرجع، مقدار ضریب گیاهی ذرت در طول دوره رشد بدست آمد (شکل ۱۰) و با ضرایب گیاهی پیشنهادی منابع دیگر مقایسه شد (شکل ۱۱). شایان ذکر است که بر طبق دستورالعمل نشریه فائو ۵۶، دوره رشد گیاه به ۴ مرحله شامل دوره‌های ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی تقسیم می‌شود. اما از آنجایی که در منطقه مورد مطالعه برداشت ذرت به صورت علوفه‌ای

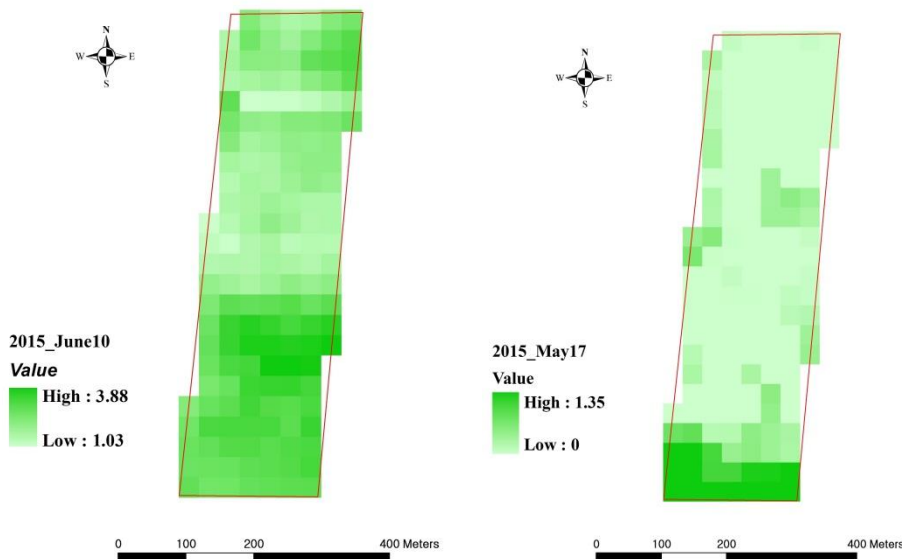
از طرفی دیگر تاسومی و همکاران بیان کردند که الگوریتم سبیل می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی نمودارهای قبلی ارائه شده برای ضرایب گیاهی باشد (Tasumi et al., 2003) که این موضوع در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور محاسبه ضریب گیاهی، مقدار تبخیر-تعرق مرجع بدست آمد. برای این منظور داده‌های هواشناسی موردنیاز از ایستگاه هواشناسی آمل تهیه شد و تبخیر-تعرق مرجع به روش فائو-پنمن-مانتیث و با استفاده از نرم‌افزار Ref-ET

نشده است. همچنین ضریب گیاهی در طول فاز رویشی گیاه تغییر یافته و افزایش می‌یابد.

می‌باشد که تقریباً ۳۰ روز زودتر از برداشت دانه‌ای است، لذا دوره انتهایی را دارا نمی‌باشد که این موضوع در کتاب مرجع در نظر گرفته



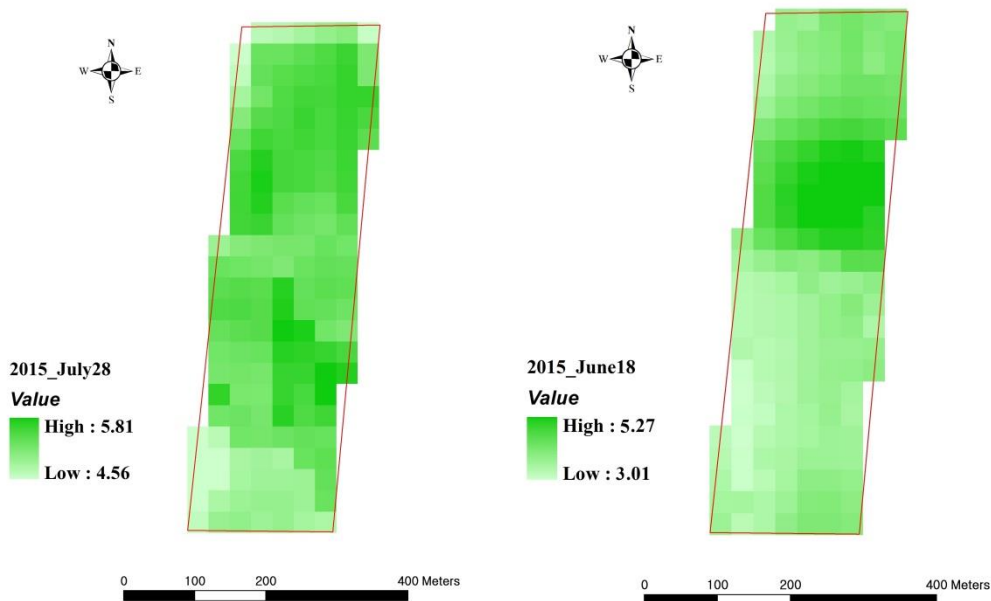
شکل ۵- نقشه نیاز آبی ذرت در تاریخ ۳ مرداد ۱۳۹۳



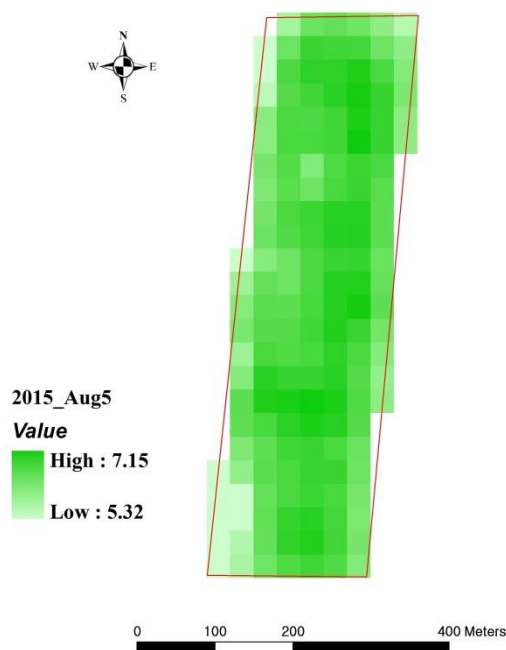
شکل ۶- نقشه نیاز آبی ذرت در تاریخ ۲۷ اردیبهشت (سمت راست) و ۲۰ خرداد (سمت چپ) ۱۳۹۴

اساس نظر کارشناسان و کشاورزان محلی به مدت ۲۰ روز می‌باشد. اما لحاظ یک مقدار ثابت برای دوره اولیه رشد صحیح به نظر نمی‌رسد و مقدار ضریب گیاهی در نیمه ابتدایی دوره اولیه با نیمه دوم آن تفاوت مشهودی دارد. لذا بر اساس نتایج این تحقیق برای نیمه ابتدایی دوره اولیه رشد مقدار ۰/۱ و برای نیمه دوم مقدار ۰/۴ پیشنهاد می‌گردد.

اما پس از اتمام رشد رویشی گیاه که هم‌زمان با آغاز دوره میانی می‌باشد، مقدار ضریب گیاهی تقریباً ثابت است که با توجه به نتایج دو سال می‌توان ضریب گیاهی ۱/۲۴ را برای این دوره پیشنهاد داد که ۲۸، ۸ و ۳ درصد به ترتیب با مقدار پیشنهادی کتاب مرجع، سند ملی و فائو ۵۶ اختلاف داشته است. همچنین طبق نشریه فائو ۵۶ طول دوره رشد در مرحله ابتدایی تا ۱۰ درصد رشد گیاه می‌باشد که بر



شکل ۷- نقشه نیاز آبی ذرت در تاریخ ۲۸ خرداد (سمت راست) و ۶ مرداد (سمت چپ) ۱۳۹۴



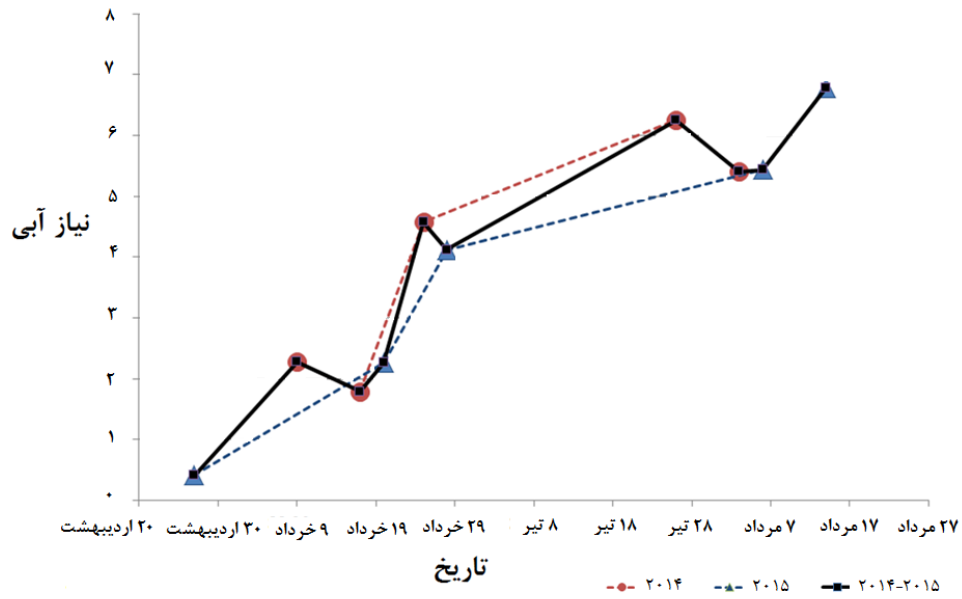
شکل ۸- نقشه نیاز آبی ذرت در تاریخ ۱۴ مرداد ۱۳۹۴

نتیجه گیری

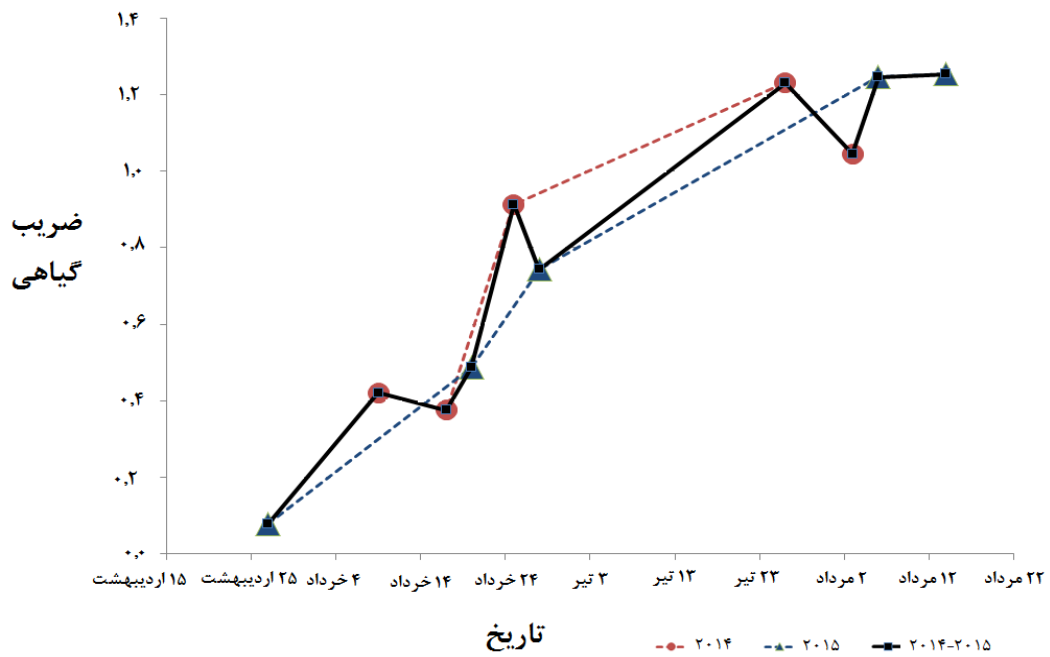
که برای ده روز ابتدایی مقدار $0/1$ ، برای ده روز دوم مقدار $0/4$ و برای دوره میانی مقدار $1/24$ بدست آمد. جهت ارزیابی نیاز آبی محاسبه شده در این تحقیق، مقدار تبخیر-تعرق مرجع در روز تصویربرداری محاسبه شد و در مقادیر پیشنهادی ضریب گیاهی کتاب مرجع، سند ملی آب و فائو ۵۶ ضرب شد. نتایج نشان داد که مقدار RMSE برابر

در این تحقیق مقدار نیاز آبی ذرت علوفه‌ای با استفاده از داده‌های سنجش از دور و الگوریتم سبال در دوره‌های مختلف رشد بدست آمد. سپس مقدار ضریب گیاهی با محاسبه تبخیر-تعرق مرجع بدست آمد

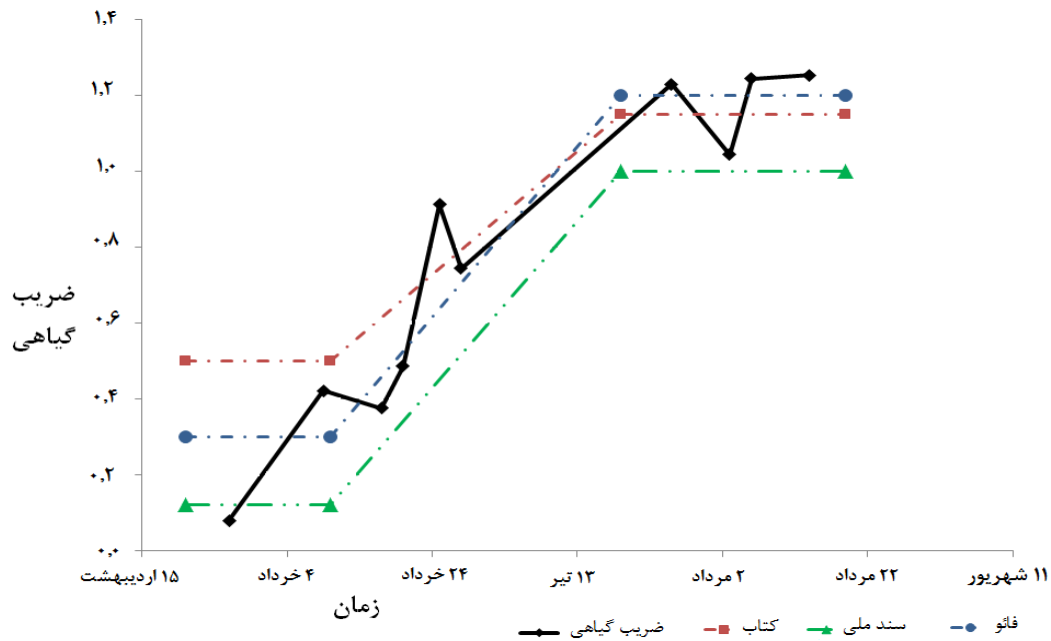
با ۰/۹۹، ۱/۰۹ و ۰/۶۵ میلی‌متر به ترتیب نسبت به کتاب مرجع، سند ملی آب و فائو ۵۶ بوده است.



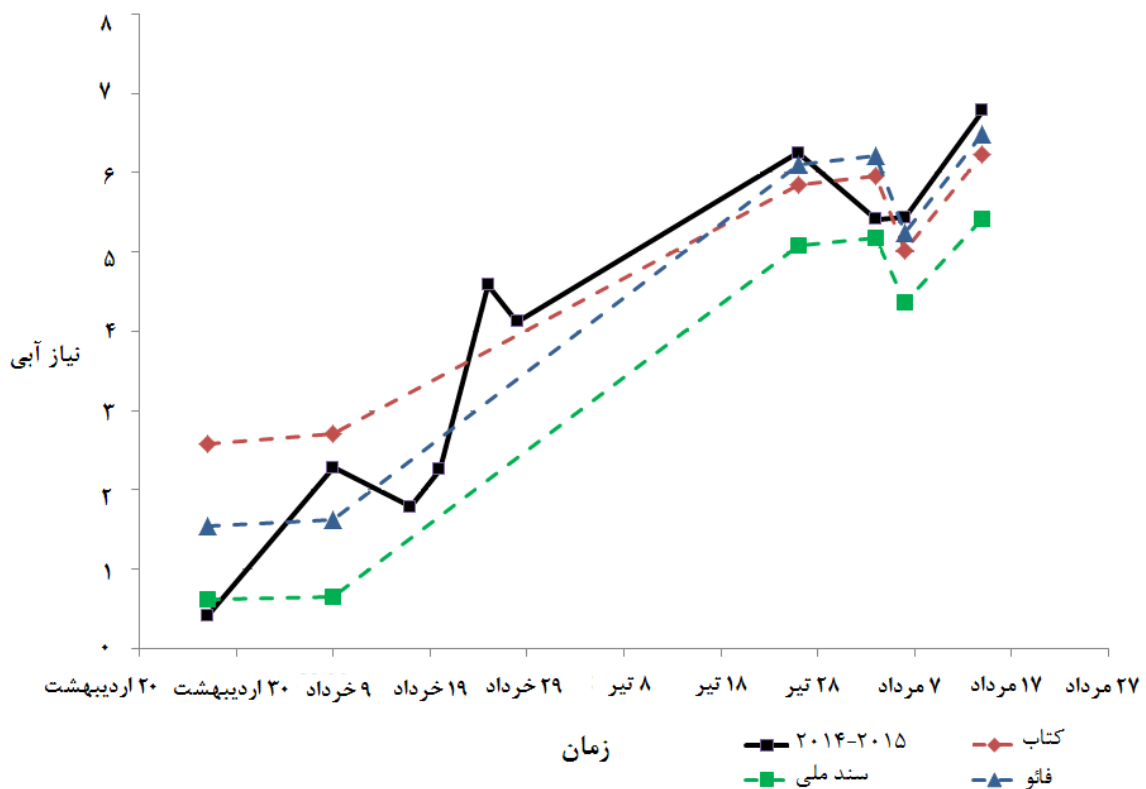
شکل ۹- نمودار نیاز آبی ذرت در طول دوره رشد در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ (میلی‌متر بر روز)



شکل ۱۰- نمودار ضریب گیاهی ذرت در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴



شکل ۱۱- مقایسه ضریب گیاهی ذرت در این تحقیق با مقادیر پیشنهادی سند ملی، کتاب مرجع و فائو



شکل ۱۲- مقایسه نیاز آبی ذرت با استفاده از ضرایب گیاهی این تحقیق و مقادیر پیشنهادی کتاب مرجع، سند ملی و فائو (میلی متر بر روز)

بسته به شرایط اقلیمی و میزان رطوبت مدنظر دانه، این دوره رشد کمی تغییر می کند. با توجه به این موضوع برداشت در سال ۱۳۹۳ در

باید توجه داشت که دوره رشد ذرت علوفه‌ای در استان مازندران تقریباً ۹۰ روزه و دوره رشد ذرت دانه‌ای تقریباً ۱۲۰ روزه است. البته

دانش آب و خاک. ۲۳: ۱. ۱۶۳-۱۵۱.

شریفان، ح. و قهرمان، ب. ۱۳۸۵. بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی تبخیر-تعرق در استان گلستان با استفاده از سیستم GIS. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. اصفهان.

عرفانیان، م.، علیزاده، ا. و محمدیان، ا. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات احتمالی نیاز کنونی آبیاری گیاهان نسبت به ارقام مندرج در سند ملی آبیاری (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۳. ۴: ۴۹۲-۴۷۸.

غلامی سفیدکوهی، م.ع.، میرلطیفی، س.م.، محمدی، ک. و علی محمدی، ع. ۱۳۸۹. برآورد ضریب گیاهی و تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از سنجش از دور، مطالعه موردی: حوضه گرگان رود. نشریه آبیاری و زهکشی. ۲. ۴: ۲۳۱-۲۲۲.

فرشی، ع.ا.، شریعتی، م.ر.، جلالی، ر.، قائمی، م.ر.، شهبابی، فر.م. و تولائی، م.م. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. جلد اول (گیاهان زراعی). انتشارات نشر آموزش کشاورزی وابسته به معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، چاپ نخست.

فولادمنده، ح.ر. ۱۳۹۰. تخمین نیاز آبیاری گیاهان زراعی مهم استان فارس در سطوح گوناگون احتمال. مجله مهندسی منابع آب. ۴: ۶۵-۷۴.

قلی زاده، ح.، عبادزاده، ح.ر.، حاتمی، ف.، حسین پور، ر.، محیطی، ض.، فضلی استبرق، م.، رضایی، م.م.، عرب، ح.، کاظمی، فرد، ر.، فضلی، ب.، عبدشاه، ه.، سفیدی، ه.، رفیعی، م. و کاظمیان، ا. ۱۳۹۳. آمارنامه محصولات زراعی (سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱). انتشارات وزارت جهاد کشاورزی (معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات)

کریمی، ع.، فرهادی بانسوله، ب. و حسادی، ه. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۴: ۳۶۴-۳۵۳.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1990. Crop evapotranspiration. Irrigation and Drainage Paper No.56. F.A.O. Rome. Italy.

Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R., and Bastiaanssen, W.G.M. 2002. Surface Energy Balance Algorithms for Land, Advance Training and Users Manual—Idaho Implementation, version 1, 97 p.

Bala, A., Rawat, K.S., Misra, A.K and Srivastava, A. 2016. Assessment and validation of evapotranspiration using SEBAL algorithm and Lysimeter data of IARI agricultural farm, India. Journal of Geocarto International, Volume. 31. 7:

تاریخ ۱۰ مرداد و در سال ۱۳۹۴ در تاریخ ۲۱ مرداد انجام شده است. این در حالی است که سند ملی آب دوره رشد ذرت دانه‌ای را ۱۰۳ روزه و کتاب مرجع دوره رشد ذرت علوفه‌ای را ۱۴۴ روزه در نظر گرفته است که مطابق با شرایط واقعی نمی‌باشد. لذا نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که منابع موجود در رابطه با مقادیر نیاز آبی گیاهان، نیاز به بازنگری و به‌روز شدن دارند. همچنین وجود منابع مختلف با مقادیر متفاوت موجب سردرگمی بهره‌برداران می‌گردد. لذا لازم است سازمان‌های مختلف ضمن انجام بحث‌های کارشناسی و قبول یک رویه واحد در محاسبات، حساسیت لازم جهت استفاده از داده‌های قابل اطمینان، کنترل دقیق داده‌های مورد استفاده و استفاده از اطلاعات کارشناسان و کشاورزان محلی را داشته باشند. محاسبات نیز در هر دوره چند ساله، به‌روز گردد. همچنین از آنجایی که دقیق‌ترین روش محاسبه نیاز آبی، روش لایسیمتری می‌باشد، همچنان پیشنهاد می‌گردد که مراکز تحقیقات کشاورزی، میزان نیاز آبی را حداقل برای محصولات مهم در هر منطقه با این روش اندازه‌گیری و محاسبه نمایند تا بتوان نتایج روش‌های جدید ارائه‌شده را با آن‌ها مقایسه نمود.

منابع

اکبری، م.، سیف‌ز و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۰. برآورد میزان تبخیر-تعرق واقعی و پتانسیل در شرایط اقلیمی مختلف با استفاده از سنجش از دور. نشریه آب و خاک. ۲۵: ۴: ۸۴۴-۸۳۵.

امیدوار، ج.، نوری، س.، داوری، ک. و فرید حسینی، ع.ر. ۱۳۹۲. برآورد تبخیر و تعرق واقعی مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از الگوریتم سبال و متریک. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۳: ۱۲: ۲۲-۱۱.

بی‌نام ۱۳۷۸. سند ملی آب کشور (ایران)، نیاز آبی گیاهان، الگوی کشت، راندمان آبیاری، وزارت جهاد کشاورزی.

پورمحمدی، س.، دستورانی، م.ت.، مختاری، م.ح. و رحیمیان، م.ح. ۱۳۸۹. تعیین و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق واقعی توسط تکنیک سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز منشاد در استان یزد). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۴: ۱۳: ۳۰-۲۱.

حسن‌پور، ب.، میرزایی، ف.، ارشد، ص. و کوثری، ه. ۱۳۹۱. مقایسه الگوریتم‌های SEBAL و S-SEBI در برآورد تبخیر و تعرق در منطقه کرج. ۲۶: ۶: ۱۳۷۱-۱۳۶۰.

سهیلی، فر.ز.، میرلطیفی، س.م.، ناصری، ع.ع. و عصار، م. ۱۳۹۲. برآورد تبخیر - تعرق واقعی نیشکر با استفاده از داده‌های سنجش از دور در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان. نشریه

- Paul, G., Gowda, P.H., Prasad, P.V.V., Howell, T.A and Staggenborg, S.A. 2013. Lysimetric evaluation of SEBAL using high resolution airborne imagery from BEAREX08. *Journal of Advances in water resources*. 59:157-168,
- Ramos, J.G., Cratchley, C.R., Kay, J.A., Casterad, M.A., Martinez-cob, A and Dominguez, R. 2009. Evaluation of satellite evapotranspiration estimates using ground-meteorological data available for the Flumen District into the Ebro valley of N.E. Spain. *Agricultural Water Management*. 96: 638-652.
- Tasumi, M., Trezza, R., Allen, R.G and Wright, J.L. 2003. U.S. validation test on the SEBAL model for evapotranspiration via satellite. ICID workshop on remote sensing of ET for large regions. (France). 739-764.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, 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: 198-212.
- Hussein, J., Kanoula, W and Merkel, B. 2015. Actual Evapotranspiration in the Al-Khazir Gomal Basin (Northern Iraq) Using the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and Water Balance. *Journal of Geosciences*. 5.2: 141-159
- Landsat 8 data users' handbook. 2016. Department of the interior U.S. geological survey. L8SDS-1574 version 2.0.

Determination of Maize Water Requirement and Crop Coefficient Using Remote Sensing Data and SEBAL Algorithm

M. I. Kamali¹, A.R. Faridhoseini^{2*}, H. Ansari³, M. A. Gholami Sefidkouhi⁴
Received: March.23, 2017 Accepted: Jul.01, 2017

Abstract

The determination of maize water requirement and crop coefficient in Babol agricultural research station in Mazandaran province using Landsat images and SEBAL algorithm was considered in the current study. Therefore, 11 satellite images of Landsat8 and Landsat7 during maize growth period in 2014 and 2015 were prepared. For using SEBAL, each band data was calibrated according to their corresponding coefficients. Then, net radiation flux on the ground surface and soil heat flux was calculated based on input and output radiation fluxes and computation of albedo, surface emissivity, ground surface temperature, and crop indices such as NDVI, SAVI and LAI. Sensible heat flux is also calculated by computation of friction velocity, aerodynamic resistance to heat transport and consideration of cold and hot pixels and atmospheric stability conditions. Finally, maize water requirement maps during growth period were prepared which had RMSE equals to 0.99, 1.09 and 0.65 mm/day compared to Reference Book, National Water Document and FAO56. Then, by computing reference evapotranspiration, maize crop coefficient in different growth stages was determined. This coefficient was 1.24 for mid stage which had 28, 8 and 3 percent difference with Reference Book, National Water Document and FAO56.

Keywords: Energy balance, Evapotranspiration, Landsat, Net radiation, Sensible heat flux

1- PhD student, Water Engineering-Irrigation and Drainage, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2- Associate professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad.

3- Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

4- Associate professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

(*- Corresponding Author, Email: farid-h@um.ac.ir)