

ارزیابی و تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی زیتون در مراحل مختلف رشد با استفاده از تکنیک دورسنجی در طارم زنجان

حسین جعفری، پیمان افراسیاب^{۱*}، معصومه دلبری و مهدی طاهری

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه زابل، زابل، ایران.

jafari52_h@yahoo.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

peyman.afraasiab@uoz.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه زابل، زابل، ایران.

mas_delbari@yahoo.com.

استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.

taheritekab@yahoo.com

چکیده

در گیاهان باغی تعیین تبخیر-تعرق به دلیل مشکلات موجود در اندازه‌گیری مستقیم مثل نصب لایسمتر یا ادوات دقیق و طول دوره رشد درخت، اغلب به طور غیرمستقیم و بر اساس داده‌های هواشناسی انجام می‌شود. با توجه به تغییرات مکانی پارامترهای هواشناسی و بعضاً توزیع نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی بر آورد تبخیر-تعرق با دقت کافی امکانپذیر نمی‌باشد. بنابراین استفاده از روش‌های مبتنی بر سنجش از دور که این تغییرات را در نظر می‌گیرند مطلوب‌تر است. در این تحقیق نسبت به اندازه‌گیری و تعیین تبخیر-تعرق گیاه زیتون با روش‌های مستقیم و غیرمستقیم برای منطقه طارم زنجان در مراحل مختلف فنولوژیک اقدام شد. در روش مستقیم از روش اندازه‌گیری اجزای بیلان آبی و در روش غیر مستقیم، الگوریتم سبال بر پایه بیلان انرژی و همچنین رابطه پنمن-مانتیت با اعمال ضریب گیاهی منفرد استفاده شد. نتایج نشان داد بر پایه آماره‌های صحت‌سنجی ضریب تبیین ($R^2=0/95$) و ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE=0/34$) مقدار تبخیر-تعرق برآورد شده با الگوریتم سبال از صحت بیشتری در مقایسه با روش پنمن-مانتیت با اعمال ضریب گیاهی ($R^2=0/9$) و ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE=0/83$) برخوردار بود از سوی دیگر الگوریتم سبال و تغییرات تبخیر-تعرق در طول فصل رشد را به خوبی بازنمایی نمود. همچنین برآزش مقادیر ضریب گیاهی به دست آمده از الگوریتم سبال در مقابل مقادیر حاصل از روش بیلان آبی دارای ضریب تبیین $0/86$ بود. این یافته‌ها نشان داد که از الگوریتم سبال می‌توان در برآورد تبخیر و تعرق واقعی گیاه زیتون با صحت مطلوب استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم سبال، کارایی مصرف آب، روش پنمن-مانتیت، نیاز آبی.

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل.

* - دریافت: شهریور ۱۳۹۴ و پذیرش: مهر ۱۳۹۵

مقدمه

اطلاعات جامعی از مقادیر نیاز آبی یا تبخیر-تعرق واقعی درختان مثمره منطبق با مراحل رشد فیزیولوژیک در کشور موجود نیست. از طرفی با تغییر شرایط اقلیمی کشور در دهه‌های اخیر (خزانه‌داری و همکاران، ۱۳۸۹) ممکن است مقادیر ارائه شده در کتب نیاز آبی محصولات باغی دقت کافی نداشته باشند و بر خلاف محصولات زراعی امکان استفاده از ابزارهایی نظیر لایسیمتر در برآورد تبخیر-تعرق محصولات باغی به دلیل زمان‌بر بودن و صرف هزینه زیاد، بسیار مشکل است. بنابراین نیاز است یک روش مدرن و کاربردی در تعیین تبخیر-تعرق درختان توسعه یابد تا با در اختیار داشتن مقدار نیاز آبی امکان برنامه‌ریزی از جنبه‌های مختلف (برنامه‌ای توسعه‌ای و مدیریت بهره‌برداری) برای سیاست-گذار و بهره‌بردار فراهم شود. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برآورد تبخیر-تعرق گیاهان مختلف از جمله زیتون یکی از روش‌های مدرن محسوب می‌شود که در صورت داشتن دقت کافی می‌توان با صرف هزینه و زمان کمتر میزان تبخیر-تعرق در سطح وسیعی از محصولات را برآورد نمود (اسماعیلی و ابراهیمی، ۱۳۹۲). در گیاهان باغی تعیین تبخیر-تعرق به دلیل مشکلات موجود در اندازه‌گیری مستقیم مانند نصب لایسیمتر یا استفاده از ادوات دقیق و طول دوره رشد درخت، اغلب به طور غیر-مستقیم و بر پایه داده‌های هواشناسی انجام می‌شود. با توجه به تغییرات مکانی پارامترهای هواشناسی و در برخی موارد توزیع نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی برآورد تبخیر-تعرق با دقت کافی امکانپذیر نمی‌باشد.

بنابراین استفاده از روش‌های مبتنی بر سنسجش از دور که این تغییرات را در نظر می‌گیرند می‌تواند مطلوب-تر باشد. الگوریتم بیلان انرژی سطح زمین (surface energy balance algorithm for land) یا اختصاراً (SEBAL) از مهم‌ترین روش‌های باقیمانده بیلان انرژی برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنسجش از دور است (پورمحمدی و رحیمیان، ۱۳۸۹).

الگوریتم سبال بر پایه روابط تجربی و فیزیکی، میزان تبخیر-تعرق واقعی را با حداقل داده‌های زمینی برآورد می‌کند و اولین بار توسط باستیانس و همکاران (۱۹۹۸) ارائه شد. به منظور صحت‌یابی الگوریتم سبال اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای تبخیر-تعرق در مزارع بزرگ در کشورهای چین، هند، اسپانیا و پاکستان انجام شد و تبخیر-تعرق با نتایج حاصل از الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای مقایسه شد. نتایج نشان داد در ۸۵ درصد موارد داده‌های حاصل از این الگوریتم بدون هیچ گونه واسنجی با داده‌های مزرعه‌ای مطابقت دارد (باستیانس و همکاران، ۱۹۹۸). این الگوریتم در سال ۲۰۰۲ توسط آلن و همکاران اصلاح شد به طوری که الگوریتم اصلاح شده جدید با الگوریتم توازن انرژی متریک که در ادامه توسط آلن و همکاران (۲۰۰۷) ارائه شد، شباهت‌های بسیاری دارد.

الگوریتم سبال به طور کاربردی و با کارایی مطلوب در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه-ای و حوضه‌های بزرگ استفاده شده است (المهاب و همکاران، ۲۰۰۸، حافیظ و همکاران، ۲۰۰۲، جاکوب و همکاران، ۲۰۰۲، شو و همکاران، ۲۰۰۶ و ونگ و همکاران، ۲۰۰۵). الگوریتم سبال برای اولین بار با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی چهار ایستگاه اندازه-گیری شار گرمایی و هفت ایستگاه کلیماتولوژی در ناحیه نیمه‌خشک از حوضه میانی رود سائو فرانسیکو در برزیل برای ارزیابی تبخیر-تعرق و بهره‌وری آب واسنجی و اعتبارسنجی شد. مقایسه برآورد تبخیر-تعرق روزانه با الگوریتم سبال و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای بر پایه ضریب تبیین ($R^2=0.91$) نشان از قابلیت بالای الگوریتم سبال در محاسبه تبخیر و تعرق دارد (تکسیرا و باستیانس، ۲۰۰۹). در تحقیقی دیگر مقدار تبخیر-تعرق با استفاده از الگوریتم سبال و استفاده از تصاویر لندست، در دو منطقه واقع در کشور چین برآورد شد؛ دقت تبخیر-تعرق برآورد شده در الگوریتم سبال برای یک روز و در مقیاس

۱۰۰ هکتار ۸۵ درصد بود که این دقت برای یک فصل تا ۹۵ درصد افزایش یافت. دقت تبخیر- تعرق سالانه برای حوضه‌های بزرگ با استفاده از این روش به طور میانگین ۹۶ درصد بود (سان و همکاران، ۲۰۱۳).

پورمحمدی و همکاران (۱۳۸۹) برای تعیین و پهنه‌بندی تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از سنجش از دور و الگوریتم سبال در حوضه آبخیز منشاد در استان یزد نشان دادند که با استفاده از الگوریتم سبال می‌توان تبخیر- تعرق واقعی و در نتیجه نیاز آبی گیاهان باغی و زراعی و حتی مرتعی در شرایط مختلف (تحت تنش یا بدون تنش) را در سطوح وسیعی محاسبه نمود.

تاسمی و همکاران (۲۰۰۳) در ارزیابی اعتبار الگوریتم سبال برای برآورد تبخیر- تعرق در دو منطقه از ایالات متحده، نشان دادند که با توجه به خطای نسبی ۴/۲ درصد برآورد خوبی از تبخیر- تعرق در مقایسه با داده‌های لایسیمیتری وجود دارد. کوچک بودن مزرعه و امکان تاثیر دیگر مناطق همجوار در دمای سطح زمین، متفاوت بودن زمان آبیاری لایسیمیتری با دیگر نقاط مزرعه و استفاده از داده‌های هواشناسی به طور متوسط روزانه، از دلایل اختلاف مقدار تبخیر و تعرق محاسبه شده با مقدار لایسیمیتری بوده است. این محققان اثر دمای سطح زمین، آلبیدوی سطح و تاثیر تصحیح اتمسفری را بر مقادیر محاسبه شده تبخیر- تعرق توسط سبال ناچیز دانستند؛ زیرا در حلقه درون تکرار سبال برای محاسبه شار گرمایی محسوس رابطه‌ای خطی بین اختلاف دمای هوای مجاورت سطحی و دمای سطح وجود دارد که موجب تعدیل این خطا می‌شود (تاسمی و همکاران، ۲۰۰۳). آلن و همکاران (۲۰۰۳) با برآورد مقدار تبخیر- تعرق حاصل از الگوریتم سبال در حوضه رودخانه بیر ایالات متحده آمریکا نشان دادند که در مقیاس ماهانه ۱۶ درصد و فصلی ۴/۳ درصد با مقادیر لایسیمیتری تفاوت داشت. در برآورد تبخیر- تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست در دشت ماهیدشت کرمانشاه، حداکثر درصد خطا بین تبخیر- تعرق محاسبه

شده برای محصول ذرت با الگوریتم سبال و مقادیر اندازه‌گیری شده در لایسیمیتر کمتر از ده درصد اعلام شد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱). جورج و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از داده‌های لایسیمیتر میزان تبخیر و تعرق واقعی به دست آمده از الگوریتم سبال را در ایالت تگزاس امریکا مورد ارزیابی قرار دادند. میزان ریشه میانگین مربعات خطای به دست آمده از الگوریتم سبال حاصل از این تحقیق برابر ۰/۱۵ میلی‌متر در روز بود. راموس و همکاران، (۲۰۰۹) با استفاده از الگوریتم سبال تبخیر- تعرق چهار ساله منطقه فلومن دشت ابرو در شمال شرقی اسپانیا را بررسی و با مقادیر لایسیمیتری مقایسه نمودند. نتایج به دست آمده نشان داد که الگوریتم سبال قادر به برآورد دقیق تبخیر- تعرق روزانه برای گندم، ذرت و چمن می‌باشد. در این مطالعه مقادیر تبخیر- تعرق حقیقی به دست آمده از الگوریتم سبال برای چمن دارای انحراف ۰/۳ میلی‌متر در روز در مقابل اندازه‌گیری‌های لایسیمیتری و انحراف ۰/۳۶ میلی‌متر در روز در مقابل روش پنمن - مانیت بود. همچنین در این مطالعه تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه ذرت و گندم و تبخیر- تعرق به دست آمده از روش لایسیمیتر دارای انحراف ± 6 میلی‌متر در روز بود.

نتایج به دست آمده در مطالعه‌ای در کشور اسلونی بر روی موضوع بیلان آبی به کمک تصاویر ماهواره‌ای و داده‌برداری‌های زمینی برای دو دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۰۰-۱۹۷۱، نشان دهنده انطباق خوب بین روشهای زمینی و ماهواره‌ای بود (فرانتار و همکاران، ۲۰۰۶). الگوریتم سبال توسط داده‌های هواشناسی و روابط معمول تعیین تبخیر- تعرق نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. رحیمیان و پورمحمدی (۱۳۹۱) با برآورد تبخیر- تعرق گندم در شرایط تحت تنش به کمک سنجش از دور و الگوریتم توازن انرژی در دشت آزادگان خوزستان که به صورت نقشه‌های تبخیر- تعرق روزانه و فصلی ارائه گردید، نشان دادند که تبخیر- تعرق واقعی گندم در منطقه مطالعاتی بین ۲۱۴ تا ۴۴۰ میلی‌متر است و به دلیل قرار گرفتن تحت تنش‌های محیطی مختلف از

جمله شوری خاک، شوری آب زیرزمینی و بالا بودن سطح ایستابی، کمتر از مقادیری است که تحت عنوان تبخیر-تعرق استاندارد گندم در منطقه توسط روابط تجربی به دست آمده (۵۸۰ میلیمتر) و توصیه شده است. نتایج تحقیق میر یعقوبزاده و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که الگوریتم سبال مقدار تبخیر و تعرق را بین ۱-۰/۵ میلیمتر در روز کمتر از روش نشریه فائو-۵۶ (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) برآورد می‌نماید. قمرنیا و رضوانی (۱۳۹۳) با استفاده از الگوریتم سبال تبخیر-تعرق در دشت میان‌دربند واقع در غرب ایران را برآورد و نتایج را با روش نشریه فائو - ۵۶ برای محصول گندم مقایسه نمودند. 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. مختاری (۲۰۰۵) برای ارزیابی عملکرد بیوماس و تبخیر-تعرق چغندر قند و ذرت، از الگوریتم سبال در دشت برخوار استان اصفهان استفاده کرد.

نتایج این مطالعه نشان داد که تبخیر-تعرق محاسبه شده با استفاده از الگوریتم سبال برای چغندر قند حدود ۲۰ درصد پایین‌تر و برای ذرت ۱۵ درصد بالاتر بوده است. امدادزاده (۱۳۸۶) با برآورد تبخیر-تعرق ماهیانه حاصل از الگوریتم سبال برای زیر حوضه قره‌سو و مقایسه آن با مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه شده به وسیله فرمول پنمن - مانتیث نشان داد که غیر از ماه‌های آوریل، می، آگوست و سپتامبر، در دیگر ماه‌ها اختلاف زیادی بین مقادیر سبال و رابطه پنمن-مانتیث وجود دارد. اصغرزاده و ثنائی‌نژاد (۱۳۸۵) در برآورد تبخیر و تعرق واقعی گیاه با استفاده از معادله توازن انرژی و به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای در حوضه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه نشان داد که بین دو روش معادله توازن انرژی (تصاویر ماهواره‌ای) و تلفیق معادله تجربی هارگریوز-سامانی و استفاده از ضرایب گیاهی مناسب در برآورد تبخیر-تعرق همبستگی بالایی ($R^2=0/99$) وجود دارد. پورمحمدی و رحیمیان (۱۳۸۹) با استفاده از الگوریتم سبال برای برآورد

میزان تبخیر-تعرق واقعی گیاهان تحت تنش‌های محیطی، در دشت آزادگان واقع در استان خوزستان نشان دادند که بین تبخیر و تعرق به دست آمده از الگوریتم سبال با تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده از روش نشریه فائو ۵۶ همبستگی ۸۵٪ وجود دارد. میرموسوی و همکاران (۱۳۹۱) مقدار نیاز آبی گیاه زیتون به روش پنمن-مانتیث-فائو در پنج ایستگاه هواشناسی منتخب در استان کرمانشاه شامل کرمانشاه، کنگاور، اسلام‌آباد غرب، سرپل‌ذهاب و روانسر را به ترتیب ۸۱۰/۵، ۶۹۹/۷، ۷۲۰/۱، ۷۸۶/۳ و ۹۲۳/۳ میلیمتر برآورد کردند.

اسماعیلی و ابراهیمی (۱۳۹۲) در تحقیقی تحت عنوان تعیین نیاز آبی درخت زیتون در سه نقطه کشور (گنبد کاووس، شیراز و منجیل) با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 و روش نشریه فائو ۵۶ نیاز آبیاری خالص زیتون را برای این مناطق به ترتیب ۲۳۱۴، ۴۹۸۶ و ۵۸۲۱ مترمکعب در سال برآورد کردند فرناندز (۲۰۰۸) مقادیر ضریب گیاهی Kc گیاه زیتون را در مراحل مختلف رشد ۰/۷۷-۰/۶۳ گزارش کرد.

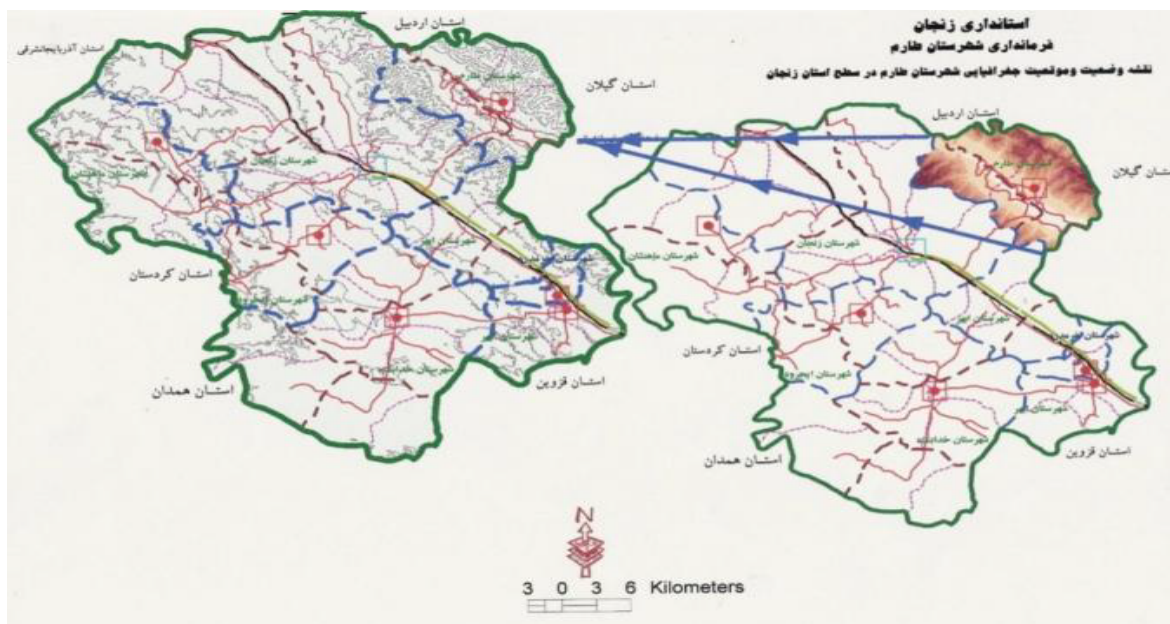
به علت مشکلات موجود در روشهای مستقیم تعیین تبخیر-تعرق از جمله ویژه مکان بودن، زمان‌بر، هزینه زیاد و همچنین وجود تفاوت فیزیولوژیکی در گیاهان باغی مانند سن، اندازه، سیستم توسعه ریشه و غیره در مقایسه با گیاهان زراعی، امکان استفاده از روش‌های مستقیم و در برآورد صحیح تبخیر-تعرق گیاهان باغی در مقیاس ناحیه‌ای کم است. از سوی دیگر بر پایه بررسی منابع انجام شده از الگوریتم سبال در برآورد تبخیر-تعرق در گیاه زیتون در ایران استفاده نشده است؛ بنابراین تعیین تبخیر-تعرق واقعی گیاه زیتون با استفاده از الگوریتم سبال و تعیین ضریب گیاهی آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از اهداف این مطالعه بود.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین تبخیر-تعرق واقعی گیاه زیتون در مراحل مختلف رشد در فصل زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در

ارتفاعی معادل ۳۰۰ متر از سطح دریا انتخاب شد. این ناحیه بر پایه طبقه بندی اقلیمی دمارتن گسترش یافته (خلیلی، ۱۳۷۶) در اشکوب نیمه خشک قرار می‌گیرد. محل اجرای آزمایش در شکل یک نشان داده شده است.

منطقه طارم زنجان باغی در حدود ۵۰ هکتار وابسته به مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان با مختصات طول جغرافیای ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی در دره قزل اوزن و



شکل ۱ - نقشه وضعیت و موقعیت جغرافیایی شهرستان طارم در سطح استان زنجان

شروع نمو زیتون صفر و دمای آستانه بالا ۳۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲).

$$GDD = \sum \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_{base} \quad (1)$$

که در آن:

T_{max} , T_{min} و T_{base} به ترتیب دمای بیشینه و کمینه هوا و پایه (درجه سانتیگراد) است.

برای تعیین تبخیر- تعرق واقعی گیاه زیتون در مراحل مختلف رشد از روش‌های مستقیم و غیرمستقیم استفاده شد. در روش مستقیم از بیلان رطوبت در ناحیه ریشه درخت استفاده شد. برای تعیین اجزای بیلان آبی (رابطه (۲))، حسگرهای اندازه‌گیری رطوبت خاک در دو جهت، ردیف کاشت درختان و عمود بر آن در چهار عمق نصب شد. در هر بازه زمانی با اندازه‌گیری اجزای بیلان آبی در ناحیه ریشه درخت، میزان تبخیر- تعرق واقعی درخت محاسبه گردید.

$$ET_c = I + P - D - \Delta M \quad (2)$$

برای جلوگیری از تاثیر مزارع و باغات اطراف در تبخیر- تعرق گیاه زیتون، در وسط ایستگاه تحقیقاتی ۳۶ درخت با رقم اسپانیا و سن حدود ۱۰ سال انتخاب و از طریق سامانه آبیاری قطره‌ای و نصب کنتور در ابتدای خط اندازه‌گیری شد. سه نمونه مرکب از خاک محل آزمایش برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال گردید. با توجه به تاثیر رژیم حرارتی بر مراحل مختلف نمو گیاهان و طبق اصل ثبات حرارتی، هر گیاه زمانی به مرحله خاصی از نمو خود می‌رسد که مقدار مشخص حرارت از محیط دریافت نماید و با توجه به متغیر بودن دما و طول روز، از شاخص درجه-روز-رشد (GDD) برای تعیین دقیق مراحل مختلف فنولوژی زیتون استفاده شد. به این منظور با جمع‌آوری داده‌های هواشناسی و اطلاعات محلی در خصوص مراحل رشد گیاه زیتون، با استفاده از رابطه (۱) شاخص (GDD) محاسبه و مراحل مختلف فنولوژی و رشد زیتون بر اساس این شاخص تعیین گردید. دمای پایه در این منطقه برای

که در آن:

ET_c و $\Delta M, D, P, I$ به ترتیب حجم آب آبیاری، بارندگی، نفوذ عمقی، تغییرات رطوبت خاک در دو آبیاری متوالی و تبخیر-تعرق واقعی گیاه زیتون بر حسب میلیمتر می‌باشند. در طول دوره رشد با مصرف سموم مرتبط با آفات و بیماری‌ها مبارزه گردید. علاوه بر آن در این گیاهان با کودهای مناسب تنش حاصل‌خیزی وجود نداشت. آبیاری هر سه الی چهار روز یک بار و بین ۸ تا ۱۲ ساعت انجام گرفت. عمق توسعه ریشه درخت با حفر پروفیل ۰/۷ متر تعیین شد. با توجه به اینکه سامانه آبیاری مورد استفاده قطره‌ای بود از خروج آب به صورت جانبی صرف‌نظر شد. حجم آب آبیاری توسط کنتور حجمی و تغییرات رطوبت خاک با تعیین درصد رطوبت در دو نمونه خاک قبل از دو آبیاری متوالی که در بازه زمانی بین آن‌ها، تصویر ماهواره‌ای دریافت می‌شد، تعیین گردید. با پایش رطوبت خاک از طریق حسگرهای رطوبت خاک و همچنین نمونه‌برداری از خاک و تعیین درصد رطوبت آن، مقدار نفوذ عمقی مشخص شد. با استفاده از رابطه ۲ مقدار تبخیر-تعرق واقعی بین دو آبیاری متوالی با تقسیم این مقدار به تعداد روز بین دو آبیاری در روز عبور ماهواره به دست آمد و به عنوان معیار برای ارزیابی روش‌های الگوریتم سبال و پنمن-مانتیش‌شریه فائو ۵۶ با اعمال ضریب گیاهی منفرد قرار گرفت.

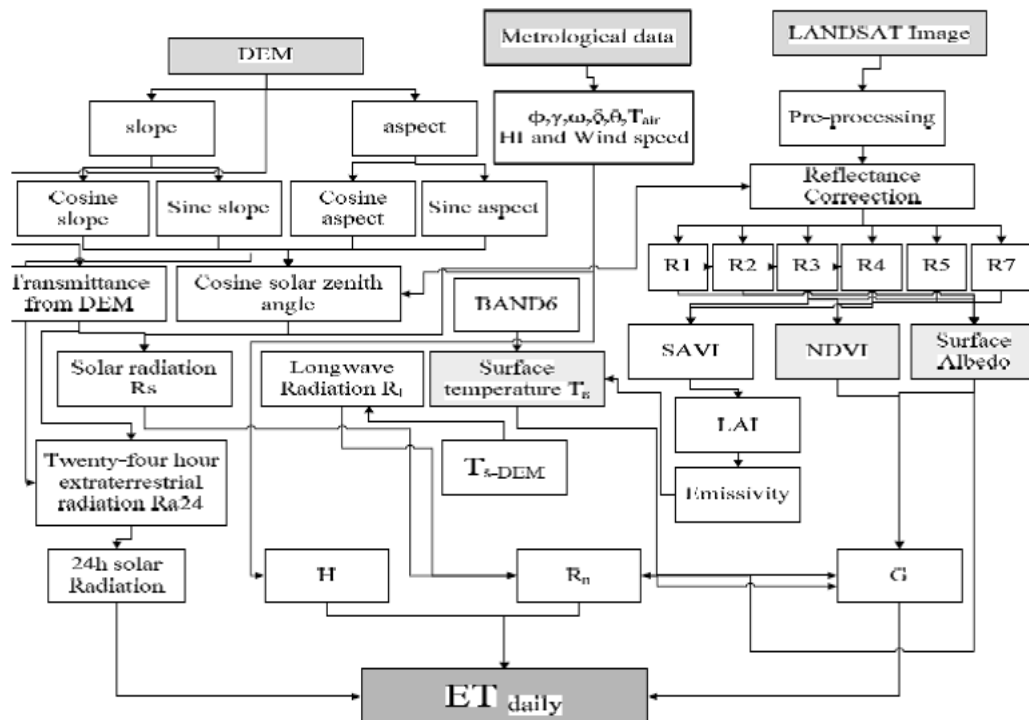
در روش غیر مستقیم، تبخیر و تعرق به دو روش تعیین گردید: ۱- کمک گرفتن از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم سبال. علت انتخاب تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، قدرت تفکیک مکانی متوسط این تصاویر و سهولت در دسترس بودن آن بود. ۲- تلفیق استفاده از رابطه پنمن-مانتیش‌شریه فائو ۵۶ با ضرایب گیاهی منفرد برای تعیین تبخیر-تعرق (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) در روز عبور ماهواره. اساس روش الگوریتم سبال

استفاده از معادله توازن انرژی (معادله ۳) و محاسبه مقدار شار لحظه‌ای گرمای نهان تبخیر به عنوان باقی‌مانده این معادله برای هر پیکسل است.

$$\lambda ET_{inst} = R_n - G - H \quad (3)$$

در این معادله λET_{inst} شار لحظه‌ای گرمای نهان تبخیر R_n میزان تابش خالص خورشیدی (w/m^2) ، G شار گرمای خاک (w/m^2) و H شار گرمای محسوس (w/m^2) است. برای محاسبه پارامترهای معادله فوق سلسله‌مراحلی در قالب الگوریتم سبال تنظیم شده که روند نمای مراحل آن در شکل (۲) نشان داده شد. روابط مورد استفاده در این الگوریتم به دلیل گستردگی آن آورده نشد. اما به طور خلاصه در این مطالعه از نرم‌افزار ENVI برای پردازش تصویری و ERDAS برای اجرای الگوریتم سبال و تعیین تبخیر-تعرق واقعی استفاده شد؛ به اینصورت که در محیط ENVI با استفاده از پرونده داده‌های تصویر، تصویر پردازش شده و برای ورود به مدل آماده شد.

در گام اول با وارد نمودن زاویه خورشیدی، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه، ضریب آلیدو محاسبه شد. در گام دوم با وارد نمودن تصویر پردازش شده و باند ۱۰ تصویر، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص سطح برگ (LAI)، دمای سطح زمین (Tsk) بر حسب کلوین و ضریب گسیل محاسبه شد. با استفاده از این پارامترها در گام سوم مقدار R_n و G تعیین شد. در گام چهارم با تعیین پیکسل گرم و سرد و با استفاده از دمای سطح زمین، شاخص سطح برگ، تشعشع خالص و شار گرمای خاک، که از گام‌های قبلی برآورد شد بود؛ مقدار H و λET_{inst} محاسبه و در گام آخر با وارد نمودن مقدار تبخیر و تعرق ساعتی در لحظه عبور ماهواره، مقدار تبخیر و تعرق روزانه توسط الگوریتم سبال تعیین شد (واترز و همکاران، ۲۰۰۲).



شکل ۲- روند نمای کلی الگوریتم SEBAL (Almhab and Busu, 2008)

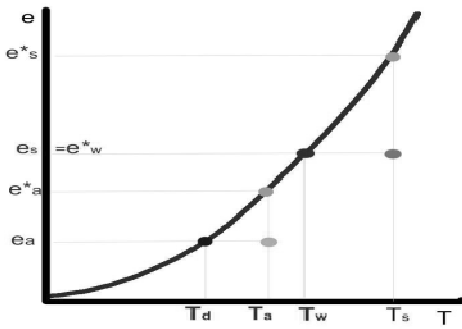
پنمن- مانیتث نشریه فائو ۵۶ برای دوره‌های روزانه با رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET_0 = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273.16} \right) U_2 (e_a - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (4)$$

که در آن:

ET_0 تبخیر- تفرق گیاه مرجع (میلیمتر بر روز)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع در میانگین درجه حرارت (کیلو پاسکال بر درجه سانتیگراد)، R_n تابش خالص در سطح گیاه (مگا ژول بر متر مربع بر روز)، G چگالی شار حرارتی خاک (مگا ژول بر متر مربع بر روز)، γ ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سانتیگراد)، T متوسط دما روزانه (درجه سانتیگراد)، U_2 متوسط سرعت باد روزانه در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e_s میانگین فشار بخار اشباع هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری (کیلو پاسکال) و e_a میانگین فشار بخار واقعی هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری (کیلو پاسکال) است. در این روش از میانگین روزانه ۱۵ ساله آمار هواشناسی (۱۳۹۴-۱۳۸۰) شامل حداکثر دما، حداقل دما، دمای متوسط، رطوبت نسبی

چون ماهواره هر ۱۶ روز یک بار از منطقه اجرای طرح عبور می‌کند و امکان دریافت تصاویر برای تمام مراحل رشد گیاه زیتون وجود نداشت، برای ارزیابی دقیق عملکرد تصاویر ماهواره‌ای در تعیین تبخیر و تفرق (الگوریتم سبال)، از نتایج روش بیلان آبی و نشریه فائو ۵۶ (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)، در همان روز عبور ماهواره استفاده شد. لازمه دریافت تصاویر در هر بار عبور ماهواره وجود هوایی صاف و بدون ابر است. به دلیل وجود ابر در ماه فروردین که متناظر با مرحله تشکیل جوانه گل بود تصویر مطلوب دریافت نشد، اما در دیگر مراحل رشد به ازاء هر مرحله یک تصویر ماهواره‌ای دریافت شد (در مجموع هفت تصویر). برای اجرای الگوریتم سبال و همچنین محاسبه اجزاء بیلان آبی نیاز به برخی اطلاعات هواشناسی، میزان رطوبت و دمای خاک بود که با نصب ایستگاه پرتابل هواشناسی (ایستگاه خودکار نصب شده در داخل باغ زیتون در مساحت ۱*۱ متر مربع) به صورت ساعتی و روزانه تهیه شد. در روش غیر مستقیم دوم مقدار تبخیر- تفرق سطح مرجع (چمن) با استفاده از معادله



شکل ۳- منحنی دما و فشار بخار

که در آن:

Δ_1 و Δ_2 شیب منحنی فشار بخار اشباع در دمای سطح زمین و نقطه شبنم می‌باشد ارتباط این مولفه‌های دمایی و فشار بخار متناظر آن در منحنی دما و فشار بخار نشان داده شده است (شکل ۳).

پس از تعیین ضریب گیاهی زیتون (K_c) در هر روز از مراحل فنولوژیک و ضرب آن در تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) نظیر روزانه، مقدار تبخیر-تعرق (ET_c) با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (آلن و همکاران ۱۹۹۸):

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (8)$$

به منظور ارزیابی صحت برآورد تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی روش‌های مورد استفاده، روش مستقیم بیان آبی به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و دیگر روش‌ها با آن مقایسه شدند. در این مقایسه‌ها از معیارهای آماری ضریب تعیین (Determination Coefficient, R^2), ریشه میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error, RMSE), میانگین خطای مطلق (Mean Absolute Error, MAE) و میانگین اریب خطا (Mean Bias Error, MBE) استفاده شد:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 (\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2)} \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (10)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (11)$$

حداکثر، حداقل و متوسط، ساعات آفتابی و سرعت باد استفاده شد. محاسبه تبخیر-تعرق مرجع در طول سال (بر حسب روز) و همچنین در روز عبور ماهواره و دریافت تصویر انجام شد.

پس از محاسبه تبخیر-تعرق سطح مرجع، ضریب گیاهی به سه روش تعیین گردید: ۱- تقسیم تبخیر-تعرق واقعی حاصل از بیان آبی بر تبخیر-تعرق سطح مرجع در مراحل مختلف رشد، ۲- تقسیم تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از الگوریتم سبال بر تبخیر-تعرق سطح مرجع متناظر در مراحل مختلف رشد و ۳- ضریب گیاهی زیتون در مراحل مختلف رشد که به صورت مستقیم از تصاویر ماهواره‌ای بر اساس اختلاف دمای سطح زمین با دمای پوشش سطح مرجع و گیاه استاندارد با رابطه زیر محاسبه شد (جیرولیمیتو و ونتورینی، ۲۰۱۴):

$$F = \frac{ET}{E_{POT}} = \frac{(T_w - T_d)\Delta_1}{(T_s - T_d)\Delta_2} \quad (5)$$

رابطه فوق در صورتی که در مخرج دمای سطح زمینی پوشیده از چمن وارد شود بیان کننده ضریب گیاهی است که در آن:

T_d : دمای نقطه شبنم که از داده‌های هواشناسی بدست می‌آید، T_s دمای سطح زمین که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تعیین می‌گردد، T_w نماینده دمایی از سطح زمین است، که در آن فشار بخار واقعی به فشار بخار اشباع می‌رسد. این دما در شرایط مزرعه و واقعی قابل اندازه‌گیری نبوده زیرا تحت تاثیر اثرات متقابل و پیچیده خاک، گیاه و اتمسفر است. بنابراین با استفاده از رابطه‌های زیر دما و فشار بخار محاسبه شد:

$$e^\circ(T) = 0.6108 \exp \left[\frac{17.27T}{T + 237.3} \right] \quad (6)$$

$$T_w = \frac{(e_s^* - e_a) - \Delta_1 T_s + \Delta_2 T_d}{\Delta_2 - \Delta_1} \quad (7)$$

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی ویژگی خاک محل آزمایش در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شد. خاک مناسب برای گیاه زیتون دارای بافت سبک می‌باشد و در خاکهای غنی از کلسیم حتی اگر بافت سنگین باشد برای رشد و سلامت گیاه زیتون مناسب است. خاک منطقه مورد مطالعه دارای بافت متوسط تا سبک بود و بنابراین برای گیاه زیتون مناسب است. PH خاک برای رشد گیاه زیتون به نسبت مناسب اما شوری آن زیاد بود.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i) \quad (12)$$

در این روابط X_i و Y_i به ترتیب I امین داده از تبخیر و تعرق روش مستقیم بیلان آبی و غیر مستقیم روش‌های برآورد \bar{X} و \bar{Y} به ترتیب میانگین داده‌های برآورد شده از روش مستقیم و غیر مستقیم و n تعداد نمونه‌ها می‌باشند.

نتایج و بحث

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی ویژگی‌های خاک محل آزمایش

pH	EC شوری	Ca+Mg sol. کلسیم+منیزیم	Na sol. سدیم	k sol. پتاسیم	SAR نسبت جذبی سدیم	عمق نمونه
	DS/m		meq/l			cm
۷/۵	۱۸/۸	۱۰۶	۷۶	۶/۷	۱۰/۴	۰-۱۰
۷/۸	۷/۳	۳۴	۳۸	۱/۷	۹/۴	۱۰-۲۰
۷/۸	۶/۳	۴۰	۲۲	۱/۱	۵	۲۰-۳۰
۷/۷	۷/۶	۴۵	۳۱	۰/۶	۶/۶	۳۰-۴۰
۷/۷	۷/۳	۴۵	۲۷	۰/۷	۵/۸	۴۰-۵۰
۷/۸	۳/۷	۲۵	۱۲	۰/۹	۳/۳	۵۰-۶۰
۷/۷	۵/۳	۳۶	۱۶	۱/۲	۳/۸	۶۰-۷۰
۷/۶	۶/۱	۴۴	۱۶	۰/۸	۳/۴	۷۰-۸۰

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی ویژگی‌های خاک محل آزمایش

ρ وزن مخصوص	بافت	PWP نقطه پژمردگی	FC ظرفیت زراعی	عمق نمونه
gr/cm3		%		cm
۱/۴۶	S-L	۷/۰۲	۱۵/۵۱	۰-۳۰
۱/۵۲	L	۶/۰۱	۱۵	۳۰-۶۰
۱/۲۹	S-L	۶/۸۱	۱۵/۹	۶۰-۹۰

صورت تجمعی تعیین شد. در جدول ۴ میانگین تبخیر - تعرق مرجع محاسبه شده از رابطه پنمن - مانیتث - فائو ۵۶ بر پایه داده‌های دراز مدت (۱۵ سال)، تبخیر - تعرق استاندارد محاسبه شده با استفاده از روش نشریه فائو ۵۶ (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)، بیلان آبی و الگوریتم سبال متناظر با روز عبور ماهواره برای گیاه زیتون نشان داده شده است.

با استفاده از حسگرهای نصب شده در خاک و همچنین حفر پروفیل کوچک در اطراف درخت، توسعه جبهه پیاز رطوبتی تا فاصله ۱/۵ متری از ساقه درخت و ۳۰ سانتی‌متر پایین تر از عمق توسعه ریشه (یک متر) مشاهده شد. درجه روز مورد نیاز برای هر مرحله از رشد گیاه زیتون به همراه تاریخ دریافت تصاویر در هر یک از این مراحل در جدول ۳ نشان داده شد. در مجموع از ابتدای دوره رشد تا رسیدگی میوه ۵۴۰۰ درجه-روز به

جدول ۳- درجه - روز رشد در مراحل مختلف نمو

مراحل رشد	تاریخ	تاریخ دریافت تصویر	درجه-روز
شروع رشد	۱۵ اسفند	۲۲ اسفند	۲۰۰
تشکیل جوانه گل	اوایل فروردین	-	۲۰۰
گلدهی	اواسط اردیبهشت	۹ اردیبهشت	۶۵۰
تمام گل (ریزش گلبرگ)	اوایل خرداد	۲۵ اردیبهشت	۲۰۰
بزرگ شدن میوه	اواخر خرداد	۲۶ خرداد	۷۵۰
سخت شدن هسته	اواسط تیر	۱۱ تیر	۶۰۰
دومین مرحله بزرگ شدن میوه هسته‌دار	مرداد	۱۲ مرداد	۱۱۰۰
رسیدگی کنسرومیوه	شهریور و مهر	۱۳ شهریور	۱۴۰۰
رسیدگی روغنی	آبان و آذر	-	۳۰۰
جمع			۵۴۰۰

برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از الگوریتم سبال نسبت به روش نشریه فائو ۵۶ از صحت بیشتری برخوردار است. ضریب تبیین (۰/۹۵) بین تبخیر و تعرق به دست آمده در بیان آبی با الگوریتم سبال نشان داد که توافق قوی بین این دو روش وجود دارد اما با توجه به میانگین اریب خطا ($MBE=+0.02$) در حد جزئی بیش‌برآورد است. همچنین روند افزایشی و یا کاهشی مقدار تبخیر-تعرق زیتون در مراحل رشد در روش سبال متناسب با روش بیان آبی در طول دوره رشد بود (جدول ۴).

علاوه بر آن ضریب گیاهی بدست آمده بر پایه بیان آبی، الگوریتم سبال و روش پیشنهادی جیرولیمیتو و ونتورینی (۲۰۱۴)، در هر یک از مراحل رشد، در جدول ۵ نشان داده شدند. مقایسه مقادیر ضریب گیاهی و تبخیر-تعرق برآورد شده با الگوریتم سبال و روش نشریه فائو ۵۶ با مقادیر ضرایب گیاهی و تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده به روش مستقیم بیان آبی (شاهد) با استفاده آماره‌های MAE ، $RMSE$ ، MBE ، R^2 در جداول ۶ و ۷ نشان داده شد. آماره‌های صحت‌سنجی نشان دادند که

جدول ۴- تبخیر-تعرق مرجع و واقعی برآورد شده به روش‌های مختلف بر حسب میلیمتر بر روز برای گیاه زیتون در ایستگاه تحقیقات

مراحل رشد	مرجع (رابطه پنمن-مانتیت فائو)	واقعی (فائو ۵۶)	واقعی (بیان آبی)	واقعی (الگوریتم سبال)
شروع رشد	۲/۱	۱/۸	۱/۴	۱/۵
گلدهی	۴/۳	۱/۹	۱/۹	۱/۶
تمام گل (ریزش گلبرگ)	۵/۳	۱/۹	۱/۹	۲/۳
بزرگ شدن میوه	۴/۳	۳/۹	۲/۴	۲/۵
سخت شدن هسته	۷/۳	۵/۱	۴/۴	۳/۷
دومین مرحله بزرگ شدن میوه هسته‌دار	۶/۴	۵/۳	۳/۹	۳/۷
رسیدگی کنسرومیوه	۵/۲	۴/۱	۳/۴	۳/۴

جدول ۵- ضریب گیاهی تعیین شده به روش‌های مختلف

مراحل رشد	بیان آبی	الگوریتم سبال	روش جیرولیمیتو و ونتورینی
شروع رشد	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۸۵
گلدهی	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۶۱
تمام گل (ریزش گلبرگ)	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۲۳
بزرگ شدن میوه	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۸۰
سخت شدن هسته	۰/۶۰	۰/۵۱	۰/۴۲
دومین مرحله بزرگ شدن میوه هسته‌دار	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۶۴
رسیدگی کنسرومیوه	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۱

روش نشریه فائو ۵۶ مقدار زیادتری نسبت به روش بیلان آبی نشان داد (جدول ۴). همچنین ضریب تبیین بین الگوریتم سبال و روش نشریه فائو ۵۶، معادل ۰/۸۸ بود و جزء در مرحله ریزش گلبرگ مقدار تبخیر و تعرق به دست آمده در روش سبال کمتر از روش فائو ۵۶ در برآورد تبخیر- تعرق بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد روش نشریه فائو ۵۶ تاثیر شرایط محیطی ناشی از شوری خاک، را در نظر نگرفته باشد. در مجموع مقدار تبخیر- تعرق در روش سبال کمتر و در روش نشریه فائو ۵۶ بیشتر از روش بیلان آبی بود.

جدول ۶- آماره‌های صحت برآورد تبخیر- تعرق واقعی نسبت به روش مستقیم بیلان آبی برای گیاه زیتون در ایستگاه تحقیقات طارم

آماره	MAE	MBE	RMSE	R ²
بیلان آبی- سبال	۰/۲۶	+۰/۰۲	۰/۳۷	۰/۹۵
بیلان آبی- فائو ۵۶	۰/۶۸	-۰/۶۵	۰/۸۳	۰/۹

بیشتر بود (جدول ۵). این نکته نشان داد که در مرحله شروع رشد (مرحله ابتدایی) تا گلدهی ضریب گیاهی به مقدار تبخیر- تعرق مرجع و دور آبیاری وابسته است و در یک دور آبیاری ثابت (دور آبیاری در تمام طول فصل ۴ روز بود) هر چه تبخیر- تعرق مرجع افزایش یابد، مقدار ضریب گیاهی کاهش می‌یابد. اختلاف ضریب گیاهی در دو مرحله شروع رشد و گلدهی در الگوریتم سبال بیشتر از بیلان آبی و روش پیشنهادی جیرولیمیتو و ونتورینی (۲۰۱۴) بود. به نظر می‌رسد بخشی از این اختلاف به فاصله زیاد تصویربرداری (۴۸ روز) و استفاده از آنها در الگوریتم سبال مرتبط باشد.

جدول ۷- آماره‌های صحت برآورد ضریب گیاهی با روش‌های مختلف نسبت به روش مستقیم بیلان آبی برای گیاه زیتون در ایستگاه تحقیقات طارم

آماره	MAE	MBE	RMSE	R ²
بیلان آبی- الگوریتم سبال	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۸۶
بیلان آبی- جیرولیمیتو و ونتورینی	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۵۳

توجه به مشکلات روش مستقیم بیلان آبی (مانند ویژه مکانی، زمان‌بری، بالا بودن هزینه، آسیب دیدن درخت، نیاز به ابزار دقیق و تقریباً عدم امکان استفاده از لایسیمتر)، محدودیت استفاده از داده‌های هواشناسی (مانند پراکندگی

برآورد بیشتر الگوریتم سبال نسبت به بیلان آبی در مرحله شروع رشد زیتون، می‌تواند به علت وجود رطوبت باقیمانده زیاد خاک (ΔM) در اثر نزولات جوی زمستان باشد که تشخیص رطوبت در زیر خاک سطحی در محدوده توسعه ریشه برای ماهواره قابل تشخیص نیست و این یکی از محدودیتهای بهره‌گیری از تصویر ماهواره در برآورد تبخیر- تعرق می‌باشد. بر پایه آماره‌های صحت‌سنجی عدم قطعیت برآورد تبخیر- تعرق با استفاده از روش نشریه فائو ۵۶ (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) بیشتر از الگوریتم سبال بود. با گرم شدن هوا و در مراحل رشدی بزرگ شدن تا رسیدگی میوه، برآورد تبخیر- تعرق به

بر پایه آماره‌های صحت‌سنجی RMSE, MBE, MAE و برآورد ضریب گیاهی با استفاده از روش جیرولیمیتو و ونتورینی نسبت به الگوریتم سبال از عدم قطعیت بیشتری برخوردار بود (جدول ۷). علاوه بر آن ضریب تبیین R² بین ضریب KC گیاه زیتون حاصل از روش بیلان آبی و KC حاصل از الگوریتم سبال ۰/۸۶ به دست آمد و نشان داد که با کمک گرفتن از تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از الگوریتم سبال می‌توان ضریب گیاهی زیتون را در مراحل مختلف رشد با صحت قابل قبولی برآورد نمود. در هر سه روش برآورد، مقدار ضریب گیاهی در ابتدای شروع رشد نسبت به مرحله گلدهی

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از الگوریتم سبال بر پایه تصاویر ماهواره‌ای در برآورد تبخیر و تعرق گیاه زیتون، از صحت مناسب برخوردار است. با

نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی و در برخی موارد در دسترس نبودن آنها در مناطق مورد نظر) و همچنین ویژه مکانی، هزینه زیاد و زمان‌بری آزمایشات تعیین ضریب گیاهی برای استفاده در روش غیر مستقیم نشریه فائو ۵۶ دارد، به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های برآورد تبخیر-تعرق مبتنی بر سنجش از دور (مانند الگوریتم سبال) با توجه به مزایای پوشش دادن سطح وسیعی از مزارع یا باغات، ارزان و سریع بودن یک راه حل جایگزین قابل قبول در شرایطی که برآورد تبخیر-تعرق گیاه زیتون در مقیاس ناحیه‌ای با گام زمانی هفته یا دهه مد نظر باشد خواهد بود.

فهرست منابع

۱. اسماعیلی، ع. و ابراهیمی، ع. ۱۳۹۲. تعیین نیاز آبی گیاه زیتون در سه نقطه کشور (گنبد کاووس، شیراز و منجیل) با استفاده از نرم افزار CROPWAT 8.0 و روش پنمن-مانتیت فائو. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی.
۲. اصغرزاده، ح. و ثنائی‌نژاد، ح. ۱۳۸۵. برآورد تبخیر و تعرق گیاهان با استفاده از داده های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳. امدادزاده، م. ۱۳۸۶. کاربرد سنجش از دور در برآورد کارایی مصرف آب در مقیاس حوضه (مطالعه موردی حوضه قره‌سو). پایان نامه فوق لیسانس. دانشگاه صنعتی شریف. تهران.
۴. حجازی‌زاده، ز.، سلیقه، م.، بلیانی، ی.، حسینی، س. م.، ماهوتچی، م. ح. ۱۳۹۲. مکان یابی کشت زیتون با استفاده از پارامترهای اقلیمی و زمینی به روش تحلیل سلسله مراتبی مطالعه موردی؛ استان فارس نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. سال سیزدهم. شماره 30.
۵. خزانه‌داری، ل. کوهی، م. زابل عباسی، ف. قندهاری، ش. و ملبوسی، ش. ۱۳۸۹. بررسی روند خشکسالی در ایران طی ۳۰ سال آینده (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹). چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم. تهران. ایران
۶. پورمحمدی، س. و رحیمیان، م. ح. ۱۳۸۹. تامین آب مورد نیاز برای حفظ تعادل اکوسامان‌های طبیعی و کشاورزی با استفاده از الگوریتم سبال (مطالعه موردی دشت آزادگان)، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس.
۷. رحیمیان، م. ح. و پورمحمدی، س. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر-تعرق گندم در شرایط تحت تنش به کمک سنجش از دور و الگوریتم توازن انرژی، (مطالعه موردی دشت آزادگان). خوزستان. مجله پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲۶ شماره ۲.
۸. قمرنیا، ه. و رضوانی، س. و. ۱۳۹۳. محاسبه پهنه-بندی تبخیر-تعرق با استفاده از الگوریتم سبال (SEBAL) در غرب ایران (دشت میاندربند). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۸. شماره ۱. ص. ۷۲-۸۱.
۹. کریمی، ع. ب. فرهادی بانسوله. ه. حصادی. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس منطقه ای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۴، جلد ۶، ص. ۳۶۴-۳۵۳

۱۰. میرموسوی، س. ح.، ح. پناهی، ح. اکبری وی. اکبرزاده. ۱۳۹۱. واسنجی روش های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET₀) و محاسبه ی نیاز آبی گیاه (ET_c) زیتون در استان کرمانشاه. جغرافیا و پایداری محیط. شماره ۳. ص. ۴۵-۶۴
۱۱. میریعقوبزاده، ک.، سلیمانی، م.، حبیب نژاد، ر.، شاهدهی، ک. عباسپور، ک. و اخوان، س. ۱۳۹۳. تعیین و ارزیابی تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از داده های سنجش از دور (مطالعه موردی حوضه آبخیز تمر). گلستان. فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال چهارم. شماره پانزدهم. ص. ۸۹-۱۰۲.
12. Allen R., Morse A., and Tasumi M. 2003. Application of SEBAL for western US waterrights regulation and planning. Proceedings of the International Conference on Irrigation and Drainage, Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions; Montpellier, France.
13. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements, irrigation and drain, paper No. 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp
14. Allen, R.G., M. Tasumi R. and Trezza. 2007. "Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) Model." J. Irrig. Drain. Eng., 133- 4- 380-394.
15. allfruits.ir/fa/accordion-a/olive.html
16. Almhab, A. and I. Busu. 2008. "Estimation of evapotranspiration with modified SEBAL model using Landsat-TM and NOAA-AVHRR images in aride mountains area". Proceedings of second Asia International Conference on Modelling & Simulation, 13-15 may, Kuala Lampur, 350-355.
17. 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.
18. Bastiaanssen, W.G.M., M. Menenti, R.A. Feddes and A.A.M Holtslag. 1998. "A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1.Formulation." J. Hydrol., 212-213, 198-212.
19. Bastiaanssen, W.G.M., E.J.M. Noordman, H. Pelgrum, G. Davids, B.P. Thoreson and R.G. Allen. 2005. "SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field condition". J. Irrig. Drain. Eng., 131(1):85-93.
20. Fernández J.E. 2008. Irrigation Management in Olive. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS).<http://www.irriqual.eu/Documentos/Fernández%20OLIVE.pdf>
21. Frantar,P., Dolinar,M., and Kurnik,B. (2006). "GIS based water balance of Slovenia, environmental agency of the republic of Slovenia. " Geophysical Research Abstracts, 8, 13.
22. Girolimetto, D., Venturini, V. 2014. Evapotranspiration and Water Stress Estimation from TIR and SWIR Bands. Agriculture, Forestry and Fisheries. Special Issue: Agriculture Ecosystems and Environment. Vol. 3, No. 6-1, pp. 36-45.
23. George, Paul, Prasanna, H. Gowda, P.V. Vara, Prasad, Terry A. Howell, Scott A. Staggenborg, [1] Christopher M.U. Neale, 2013. Lysimetric evaluation of

- SEBAL using high resolution airborne imagery from BEAREX08, *Advances in Water Resources*, in press .
24. Hafeez, M. M., Y. Chemin, N. Van De Giesen and B.A.M. Bouman. 2002. "Field evapotranspiration estimation in Central Luzon, Philippine, using different sensors: Landsat 7 ETM+, Terra MODIS and Aster". *Proceedings of Symposium on Geospatial Theory, Processing and Application*. Ottawa, Canada
 25. Jacob, F., Olioso, A. Hanocq, J.F. Hautecoeur, and M. Leroy. 2002. "Mapping surface fluxes using visible-near infrared and thermal infrared data with the SEBAL algorithm". *J. Agr*, 22: 669-680.
 26. Mokhtari, M.H. 2005, *Agricultural Drought Impact Assessment Using Remote Sensing : A Case study Borkhar district –Iran*. M.sc Thesis, ITC, Enschede, The Netherlands
 27. 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 2009 638-652.
 28. Shu., Y., Y. Lei, L. Zheng and H. Li. 2006. "An evapotranspiration (ET) model based GIS using LANDSAT data and MODIS data with improved resolution". *Journal of Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Application, and Geology VI*, 6366
 29. 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.
 30. Tasumi M., Trezza R., Allen R., and Wright J.L. 2003. *U.S validation tests on the SEBAL model for Evapotranspiration via satellite*. *CID workshop on remote sensing of ET for large regions*
 31. Teixeira, A.H., W.G.M. Bastiaanssen, M.D. Ahmad & M.G. Bos. 2009. *Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle Sao Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation, agricultural and forest meteorology*, 149, 462-476.
 32. Wang, J., R. Kimura and W. Bastiaanssen. 2005. "Monitoring ET with remote sensing and the management of water resources on a basin scale". *The 11th CEReS International Symposium on Remote Sensing Japan*.
 33. Waters, R., R. Allen, W. Bastiaanssen, M. Tasumi, R. Trezza, 2002. *Advanced Training and Users Manual of Surface Energy Balance Algorithms for Land*. Version 1.0