



## تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی انار در مراحل مختلف رشد با استفاده از تکنیک دورسنجی و بیلان رطوبتی (مطالعه موردی ساوه)

حسین جعفری<sup>۱</sup>، علی اکبر نوروزی<sup>۲</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷

مقاله برگرفته از طرح پژوهشی

### 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 بعضا توزیع نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی برآورد تبخیر-تعرق با دقت کافی امکانپذیر نمی‌باشد. بنابراین استفاده از روش‌هایی از جمله 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 درخت انار با روش‌های مستقیم و غیرمستقیم برای منطقه ساوه در مراحل مختلف فنولوژیک در دو فصل زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ اقدام گردید. در روش مستقیم از روش اندازه‌گیری اجزای بیلان رطوبتی و در روش غیرمستقیم با کمک گرفتن از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، تبخیر-تعرق واقعی درختان با الگوریتم سبال تعیین گردید. سپس ضریب گیاهی بر اساس تبخیر-تعرق به دست آمده از دو روش و تعیین تبخیر-تعرق سطح مرجع بر مبنای داده‌های هواشناسی روز دریافت تصویر، تعیین و نتایج به دست آمده مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی به دست آمده در روش دورسنجی در مراحل مختلف رشد انار تطابق مناسبی با داده‌های بیلان رطوبتی داشت به طوری که ضریب همبستگی در تبخیر-تعرق برای سال اول و دوم به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۷۹ و در مجموع دو سال ۰/۶۳ و برای ضریب گیاهی این ضریب به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۹۴ و در مجموع دو سال ۰/۹۴ بود.

واژه های کلیدی: الگوریتم سبال، دورسنجی، انار، کارایی مصرف آب و نیاز آبی

۱-استادیار، عضو هیئت علمی، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، ۰۹۳۹۵۴۴۴۷۷۵، jafari52\_h@yahoo.com. (نویسنده مسئول)

۲-دانشیار، عضو هیئت علمی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، noroozi@itc.nl، ۰۹۱۲۳۲۷۷۲۹۳



## مقدمه

انار با نام علمی *Punica granatum L.* یکی از اعضای تیره انار (*unicaceae*) است که خاستگاه آن را ایران و کشورهای همجوارش دانسته‌اند. تعداد ارقام این گیاه مثمر، بسیار متعدد گزارش شده است و بالغ بر ۱۰۰۰ رقم برشمرده‌اند. در حالی که این رقم بر مبنای آخرین گزارش‌ها در کشور، بیش از ۷۶۰ رقم است. میوه خوراکی در این گیاه نوعی سته به نام بالوستا است (طباطبایی و مرادی عاشور، ۱۳۹۳). به دلیل ارزش غذایی بالای انار در تامین ویتامین‌ها و املاح ضروری و همچنین خواص آنتی‌اکسیدانی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این میوه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌گرمسیری و مدیترانه‌ای دارای رشد و باردهی خوبی است. تقریباً در کلیه استان‌های کشور، ارقام بسیار متنوعی از انار مشاهده می‌شود که بصورت اهلی، وحشی یا زینتی در قطعات کوچک و بزرگ در باغستانها، دشتها، کوهپایه‌ها و جنگل‌ها بطور انبوه و یا پراکنده وجود دارد. به طوری که ایران بعد از هند دارای بالاترین سطح زیر کشت و تولید انار در جهان می‌باشد علاوه بر آن عربستان سعودی، افغانستان، آذربایجان، ترکمنستان، هندوستان، ترکیه، مصر، اسپانیا و کالیفرنای آمریکا جزء کشورها و مناطقی هستند که تولید و مصرف انار در آنها دارای اهمیت اقتصادی بالایی می‌باشند (طباطبایی و مرادی عاشور، ۱۳۹۳). در کشور ایران از لحاظ مساحت ۱۰/۸ درصد و از لحاظ میزان تولید ۱۵/۳ درصد از کل محصولات باغی نواحی نیمه‌گرمسیری اعم از بارور و نیمه بارور به انار اختصاص دارد. همچنین در میان محصولات باغی، انار با تولید ۱/۰۹ میلیون تن، دارای رتبه پنجم از لحاظ میزان تولید می‌باشد. براساس آمار رسمی وزارت جهادکشاورزی، سطح زیرکشت باغات انار در سال ۱۳۹۴ حدود ۷۰۶۳۰ هکتار و میزان تولید آن ۱۰۸۰۲۷۰ تن با متوسط ۱۵۴۸۲ کیلوگرم در هکتار بود بر این اساس بیشترین سطح زیرکشت مربوط به استان فارس و بعد از آن به ترتیب مرکزی، اصفهان،

خراسان رضوی، جنوبی و یزد قرار گرفته‌اند. همچنین میزان تولید محصول انار در این سال ۹۰۸۵۵۰ تن بوده که بیشترین میزان تولید به ترتیب مربوط به استان‌های فارس، مرکزی، یزد و اصفهان می‌باشد. مقدار تولید انار در استان مرکزی در این سال ۱۴۴۵۰۵ تن بود (آمارنامه کشاورزی ۱۳۹۴) که از لحاظ سطح زیر کشت ۹۷ درصد و از لحاظ تولید ۹۸ درصد انار استان در این شهر تولید می‌شود. بنابراین می‌توان شهرستان ساوه را منطقه‌ای مستعد برای تولید انار دانست. اما علی‌رغم توانایی بالای خاک این شهرستان در تولید انار، اطلاعات جامعی از مقادیر نیاز آبی یا تبخیر- تعرق واقعی این درخت منطبق با مراحل رشد فیزیولوژیک موجود نیست. از طرفی با تغییر شرایط اقلیمی در دهه‌های اخیر 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، وجود ندارد. لذا 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 (برنامه‌های توسعه‌ای و مدیریت بهره‌برداری) برای سیاست‌گذار و بهره‌بردار فراهم شود. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برآورد تبخیر- تعرق محصولات مختلف از جمله انار 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. در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های توازن انرژی یا باقیمانده بیلان انرژی مانند الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین (*surface energy balance algorithm for land*) یا اختصاراً (*SEBAL*) برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور استفاده می‌گردد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۶). الگوریتم سیال روشی است که بر پایه روابط تجربی و فیزیکی، میزان تبخیر- تعرق واقعی



درصد و برای یک فصل تا ۹۵ درصد افزایش یافت. دقت تبخیر و تعرق سالانه برای حوضه‌های بزرگ با استفاده از این روش به طور میانگین ۹۶ درصد بود. به طور کلی، استفاده از این روش برای برآورد تبخیر-تعرق در مقیاس‌های بزرگ و دوره‌های بلند مدت نتایج بهتری به همراه داشت (Sun Z. et al., 2011). تعیین و پهنه‌بندی تبخیر-تعرق واقعی توسط تکنیک سنجش از دور و الگوریتم سبال در حوضه آبخیز منشاد در استان یزد نشان داد که با استفاده از الگوریتم توازن انرژی (سبال) می‌توان تبخیر و 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 و نقشه تبخیر و تعرق آنها را ارائه داد (پورمحمدی و رحیمیان، ۱۳۸۹).

نتایج بررسی الگوریتم سبال در مقایسه با داده‌های لایسیمتری، نشان از تطبیق مناسب آنها با یکدیگر دارد. مجموعه خطای نسبی در منطقه کیمبرلی در طول فصل رشد، ۴/۲ درصد بوده است. در منطقه دشت رودخانه اسنیک به دلیل کوچک بودن مزرعه و امکان تاثیر سایر مناطق همجوار در برابر دمای سطح زمین، متفاوت بودن زمان آبیاری لایسیمتری با سایر نقاط مزرعه، استفاده از داده‌های هواشناسی به طور متوسط روزانه، از دلایل اختلاف مقدار تبخیر و تعرق محاسبه شده با مقدار لایسیمتری بوده است (Tasumi et al., 2003). در تحقیق دیگر در دره رودخانه بیر ایالات متحده مشخص شد که نتایج الگوریتم SEBAL در مقیاس تبخیر و تعرق ماهانه ۱۶ درصد و فصلی ۴/۳ درصد با مقادیر لایسیمتری تفاوت دارد (Allen et al., 2003). به منظور صحت‌یابی الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای تبخیر-تعرق در مزارع بزرگ در کشورهای چین، هند، اسپانیا و پاکستان صورت گرفت 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

را با حداقل داده‌های زمینی برآورد می‌کند و الگوریتم آن اولین بار توسط Bastiaanssen و همکاران ۱۹۹۸ ارائه شد. این الگوریتم در سال ۲۰۰۲ توسط Allen و همکاران اصلاح شد به طوری که الگوریتم اصلاح شده جدید با الگوریتم توازن انرژی متریک که توسط Allen و همکاران (۲۰۰۷) ارائه شده، شباهت‌های بسیاری دارد (Allen et al., 2007). الگوریتم سبال تا کنون در بیش از ۳۰ کشور به طور کاربردی استفاده شده است (Bastiaanssen, 2005). مطالعات زیادی انجام شده که همه نشان دهنده کارایی روش سبال در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای و حوضه‌های بزرگ می‌باشد (Almhab et al., 2008; Bastiaanssen et al., 2005; Hafeez et al., 2002; Jacob et al., 2002; Shu et al., 2006; Wang et al., 2005).

طی پژوهشی الگوریتم SEBAL در حوضه گدیز ترکیه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست مورد آزمایش قرار گرفت. در این آزمایش از داده‌های صحرائی جهت تعیین رابطه اختلاف دمای سطح و دمای هوا استفاده شد نتایج نشان داد که جزء تبخیر در ماه ژوئن به دلیل تابش خورشیدی بیشتر و به تبع انرژی خالص در دسترس بیشتر، منجر به کاهش شار گرمای نهان می‌شود (Bastiaanssen, 2000). پارامترهای ورودی الگوریتم SEBAL برای اولین بار جهت کالیبراسیون ارزیابی تبخیر و تعرق و قابلیت تولید آب با چهار ایستگاه اندازه‌گیری شار گرمایی و هفت ایستگاه کلیماتولوژی در مقاطع میانی رود سانفرانسیسکو در برزیل مورد استفاده قرار گرفت. مقدار ضریب تبیین ۰/۷۵ تا ۰/۹۹ در تمامی پارامترها به دست آمد که نشان از قابلیت بالای الگوریتم SEBAL در محاسبه تبخیر و تعرق دارد (Teixeira, et al., 2009). مقدار تبخیر-تعرق با استفاده از روش سبال و استفاده از تصاویر لندست، در دو منطقه واقع در کشور چین برآورد گردید دقت تبخیر و تعرق برآورد شده در روش سبال برای یک روز و در مقیاس ۱۰۰ هکتار ۸۵

نتایج به دست آمده در منطقه‌ای در کشور اسلونی روی موضوع بیلان آبی به کمک تصاویر ماهواره‌ای و داده‌برداری‌های زمینی برای دو دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۰۰-۱۹۷۱، حکایت از انطباق روش‌های زمینی و ماهواره‌ای داشت. هر دو روش مذکور، بیلان آبی منطقه مطالعاتی را مثبت برآورد نمودند (Frantar et al., 2006).

الگوریتم سبال توسط داده‌های هواشناسی و روابط معمول تعیین تبخیر-تعرق نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج پژوهش 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، حاکی از آن بود 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 (رحیمیان و پورمحمدی، ۱۳۹۱). در تحقیقی دیگر الگوریتم SEBAL میزان تبخیر و تعرق را بین ۰/۵-۱ میلی‌متر در روز کمتر از روش پنمن-مانتیت برآورد نمود (میریعقوبزاده و همکاران، ۱۳۹۳). در استفاده از الگوریتم سبال برای محاسبه آلبیدوی سطح، دمای سطحی و شاخص وضعیت پوشش گیاهی از داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی و اطلاعات هواشناسی مانند درجه حرارت، ساعات آفتابی، باد، فشار بخار اشباع، رطوبت خاک و در نهایت تبخیر-تعرق دشت میان دربند واقع در غرب ایران را محاسبه و نقشه‌های تبخیر-تعرق آن تهیه گردید. در این مطالعه همچنین تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از روش مرسوم فائو برای محصول گندم محاسبه شد و با روش سبال مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که همبستگی بالایی (۰/۸۴) بین این دو روش وجود دارد و الگوریتم

گونه واسنجی با داده‌های مزرعه‌ای مطابقت دارد (Bastiaanssen et al. 1998). 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 لایسیمتر کمتر از ده درصد اعلام شد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱). در ارزیابی میزان تبخیر و تعرق واقعی به دست آمده از الگوریتم SEBAL در ایالت تگزاس آمریکا با استفاده از داده‌های لایسیمتری، میزان مربعات خطای به دست آمده از الگوریتم SEBAL برابر ۰/۱۵ میلی‌متر در روز بود (George et al. 2013). با استفاده از الگوریتم سبال تبخیر-تعرق ۴ ساله منطقه Flumen دشت Ebro در شمال شرقی اسپانیا مورد بررسی و با مقادیر لایسیمتری مقایسه گردید. 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 روش سبال برای چمن انحراف ۰/۳ میلی‌متر در روز در مقابل اندازه‌گیری‌های لایسیمتری و انحراف ۰/۳۶ میلی‌متر در روز در مقابل روش پنمن - مانیتیت داشت. همچنین در این مطالعه تبخیر-تعرق حقیقی گیاه ذرت و گندم و تبخیر-تعرق حقیقی به دست آمده از روش لایسیمتر تطابق خوبی برای مزارع تحقیقاتی (با انحراف  $\pm 6$  میلی‌متر در روز) داشت و بین مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده دشت بوسیله سبال و پنمن-مانیتیت در مقیاس ناحیه-ای خطای ۲۰ درصد به دست آمد (Ramos et al. 2009). نتایج ارزیابی مدل SEBAL در تخمین تبخیر-تعرق گندم در حوزه آبخیز زنجانرود با استفاده از تصاویر سنجنده‌های MODIS و TM، نشان داد که مدل SEBAL از کارایی مناسبی در تخمین تبخیر-تعرق واقعی اراضی زیر کشت گندم آبی و دیم برخوردار است (سیمایی و همکاران، ۱۳۹۲).



داده‌های حاصل از همسان‌سازی و به روز رسانی اطلاعات در دو ماهواره نتایج بسیار نزدیک به هم را نشان دادند. اختلافات مقادیر تبخیر تعرق حاصل از دو ماهواره ناشی از اختلافات ذاتی و فنی در ویژگی‌های فضایی، طیفی و وضوح رادیومتریک بین تصویرسازی حسگرهای دو ماهواره است (Hong et al, 2009). با استفاده از روش SEBS و تصویر Landsat5 تبخیر و تعرق دشت کربایگان (استان فارس) محاسبه شد. در این مطالعه از تصاویر مربوط به سالهای ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ استفاده شد و تبخیر و تعرق بدست آمده از مدل با تبخیر و تعرق بدست آمده از داده‌های هواشناسی مقایسه گردید نتایج نشان داد که مدل در برآورد زمانی و مکانی تبخیر و تعرق توانایی مطلوبی دارد (Pakparvar et al., 2014). در مطالعه‌ای از تکنیک سنجش از دور و الگوریتم متریک برای برآورد تبخیر- تعرق چمن و مرتع و همچنین توزیع زمانی و مکانی تبخیر- تعرق و پوشش گیاهی در منطقه مونتین در شمال پرتغال استفاده شد. نتایج این مطالعه که با استفاده از ۴ تصویر لندست انجام شد نشان داد که تبخیر تعرق برآورد شده از سنجش از دور می‌تواند نتایج مطلوبی برای مدیریت منابع آب و حفاظت محیط زیست منطقه ارائه دهد (pocs et al., 2013).

با عنایت نتایج تحقیقات ذکر شده، اولاً به دلیل تطابق مناسب نتایج حاصل از استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در تعیین تبخیر- تعرق واقعی و ضریب گیاهی محصولات زراعی با سایر روش‌های معمول مثل استفاده از لایسیمتر و روابط تجربی، ثانیاً وجود مشکلات موجود در روش‌های معمول تعیین تبخیر- تعرق واقعی مثل نقطه‌ای بودن، وقت‌گیر بودن، هزینه زیاد داشتن و غیره ثالثاً به دلیل وجود تفاوت فیزیولوژیکی در محصولات باغی مثل سن، اندازه، سیستم توسعه ریشه و غیره در مقایسه با گیاهان زراعی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند در تعیین تبخیر- تعرق واقعی و ضریب گیاهی درختان بسیار مناسب

سبال از توانایی بالایی در تعیین تبخیر- تعرق برخوردار است (قمرنیا و رضوانی، ۱۳۹۳). برای ارزیابی عملکرد بیوماس و تبخیر- تعرق دو محصول چغندر قند و ذرت، از مدل سبال برای محاسبه تبخیر- تعرق در دشت برخوردار استان اصفهان استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که تبخیر- تعرق محاسبه شده توسط مدل سبال برای چغندر قند حدود ۲۰ درصد پایین‌تر و برای ذرت ۱۵ درصد بالاتر از مدل پنمن - مانیتث بوده است (Mokhtari, 2005). در مقایسه تبخیر- تعرق حاصل از الگوریتم سبال با مقادیر تبخیر- تعرق پتانسیل محاسبه شده به وسیله فرمول پنمن - مانیتث، که به صورت ماهیانه برای زیر حوضه قره‌سو محاسبه شد مشخص شد که غیر از ماه‌های آوریل، می، آگوست و سپتامبر، در سایر ماه‌ها اختلاف زیادی بین مقادیر سبال و رابطه پنمن- مانیتث وجود دارد (Emadzadeh, 1386) در پژوهشی که در حوضه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه انجام گرفت، تبخیر و تعرق واقعی گیاه با استفاده از معادله توازن انرژی و به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای لندست و داده‌های هواشناسی (معادله هارگریوز) محاسبه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بین دو روش معادله توازن انرژی (تصاویر ماهواره‌ای) و معادله هارگریوز (استفاده از ضرایب گیاهی مناسب) در برآورد تبخیر و تعرق همبستگی بالایی ( $R^2=0/99$ ) وجود دارد (اصغر زاده و ثنایی نژاد، ۱۳۸۵). در برآورد میزان تبخیر- تعرق واقعی گیاهان تحت تنش‌های محیطی، توسط الگوریتم سبال، همبستگی حدود ۸۵٪ بین تبخیر و تعرق به دست آمده از الگوریتم سبال با تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده از معادله پنمن-مانیتث به دست آمد (پورمحمدی و رحیمیان، ۱۳۸۹). در آزمایشی دیگر ضمن محاسبه تبخیر تعرق با استفاده از الگوریتم سبال برای تصاویر دو ماهواره لندست و مودیس به ارزیابی این تصاویر و مقایسه آنها با یکدیگر نیز پرداخته شد. نتایج نشان داد که اگرچه ماهواره لندست به دلیل وضوح بیشتر مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد، ولی

جمع‌آوری داده‌های هواشناسی و اطلاعات محلی در خصوص مراحل رشد درخت انار، با استفاده از رابطه (۱) شاخص (GDD) محاسبه و مراحل مختلف رشد آن بر اساس این شاخص تعیین گردید. دمای پایه در این منطقه برای شروع رشد انار، ۱۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد (نظری‌پور و همکاران، ۱۳۹۲).

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

$T_{max}$ ،  $T_{min}$  و  $T_{base}$  به ترتیب دمای ماکزیمم و مینیمم و پایه (درجه سانتیگراد) است.

جهت تعیین تبخیر- تعرق واقعی درخت انار در مراحل مختلف رشد از روش‌های مستقیم و غیرمستقیم استفاده گردید. در روش مستقیم از بیلان رطوبت در ناحیه ریشه درخت استفاده شد.

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

که در آن  $ET_c$ ،  $\Delta M$ ،  $D$ ،  $P$ ،  $I$  به ترتیب مقدار آب آبیاری، بارندگی، نفوذ عمقی، تغییرات رطوبت در دو آبیاری متوالی و تبخیر- تعرق واقعی انار بر حسب میلی‌متر می‌باشند. جهت تعیین اجزای بیلان رطوبتی (رابطه ۲)، از سنسورهای رطوبت در دو جهت، ردیف کاشت درختان و عمود بر آن در چهار عمق نصب شد و با نمونه‌گیری از خاک و تعیین درصد رطوبت و محاسبه حجم نفوذ عمقی در هر بازه زمانی میزان تبخیر- تعرق واقعی درخت محاسبه گردید. حجم آب آبیاری توسط کنتور حجمی و تغییرات رطوبت یا  $\Delta M$  با تعیین درصد رطوبت دو نمونه خاک قبل از دو آبیاری متوالی که در بازه زمانی بین آن‌دو، تصویر دریافت شد تعیین گردید. آبیاری هر ۳ الی ۴ روز یک بار و بین ۸ تا ۱۲ ساعت صورت گرفت. عمق توسعه ریشه درخت با حفر پروفیل ۰/۸ متر تعیین شد. با توجه به اینکه سیستم آبیاری مورد استفاده قطره‌ای بود از خروج رطوبت به صورت جانبی صرف‌نظر شد.

در روش غیر مستقیم، تبخیر و تعرق به دو روش تعیین گردید ۱- کمک گرفتن از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم سبال ۲- استفاده از رابطه پنمن-مانیتیت با داده‌های هواشناسی درازمدت. در روش

باشد و بر این اساس مبادرت به تعیین تبخیر- تعرق درخت انار در این پژوهش گردید.

## مواد و روش‌ها

به منظور تعیین تبخیر- تعرق واقعی درخت انار در مراحل مختلف رشد، در دو فصل زراعی ۹۴-۹۵ و ۹۴-۹۳، باغی در حدود ۳۰ هکتار در ایستگاه تحقیقات برکه وابسته به مرکز تحقیقات ملی انار ساوه انتخاب گردید. ساوه با ارتفاع ۱۱۰۸ متر از سطح دریا دارای طول جغرافیای ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۰۳ دقیقه شمالی می‌باشد. میانگین دمای سالانه ۱۸/۲ درجه سانتی‌گراد بوده است. بالاترین دما ۴۳/۶ پایین‌ترین دما ۱۱- درجه سانتیگراد بارندگی سالیانه ۲۱۱ میلی‌متر رطوبت نسبی سالانه ۳۶ درصد ساعات آفتابی سالیانه ۳۱۵۰ ساعت در تقسیم بندی اقلیمی شهرستان ساوه دارای اقلیم نیمه خشک با تابستانهای گرم و زمستانهای کمی سرد نامگذاری شده است. اقلیم ساوه براساس طبقه بندی دمارتن خشک و طبقه بندی آمبرژه معتدل می‌باشد (طباطبایی و مرادی‌عاشور، ۱۳۹۳).

جهت جلوگیری از تاثیر مزارع و باغات اطراف در تبخیر- تعرق انار، در وسط ایستگاه تحقیقاتی ۳۶ درخت با سن حدود ۱۰ سال انتخاب و برای انجام آبیاری آنها سیستم آبیاری قطره‌ای، با نصب کنتور در ابتدای خط برای ثبت حجم آب آبیاری اجرا گردید. سه نمونه از خاک محل آزمایش تا عمق ۹۰ سانتیمتری برداشت (جدول ۱) و برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال گردید. با عنایت 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 (جعفری و همکاران، ۱۳۹۶) و با توجه به متغیر بودن درجه حرارت و طول روز، از شاخص درجه- روز- رشد (GDD) برای تعیین دقیق مراحل مختلف فنولوژی انار استفاده شد. به این منظور با



مقاومت آئروودینامیکی انتقال گرما (ثانیه بر متر). شار گرمایی خاک (G) شدت ذخیره گرما در خاک و گیاه بر اساس هدایت می‌باشد. سبیل ابتدا نسبت  $G/R_n$  را با استفاده از معادله تجربی زیر که توسط باستیانسن توسعه داده شده است محاسبه می‌کند.

$$\frac{G}{R_n} \quad (۵)$$
$$= \frac{T_s}{\alpha(0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)}$$
$$\times \frac{1}{(1 - 0.98NDVI^4)}$$

که  $T_a$  دمای سطح زمین (درجه سانتیگراد)،  $\alpha$  آلبدوی سطح و NDVI شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده می‌باشد. سپس با معلوم بودن  $R_n$  مقدار G محاسبه می‌شود.

مقدار تبخیر- تعرق سطح مرجع از معادله پنمن-مانتیث فائو (۵۶) به شرح زیر محاسبه شد.

$$ET_o = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T + 273.16} \right) U_2 (e_a - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۶)$$

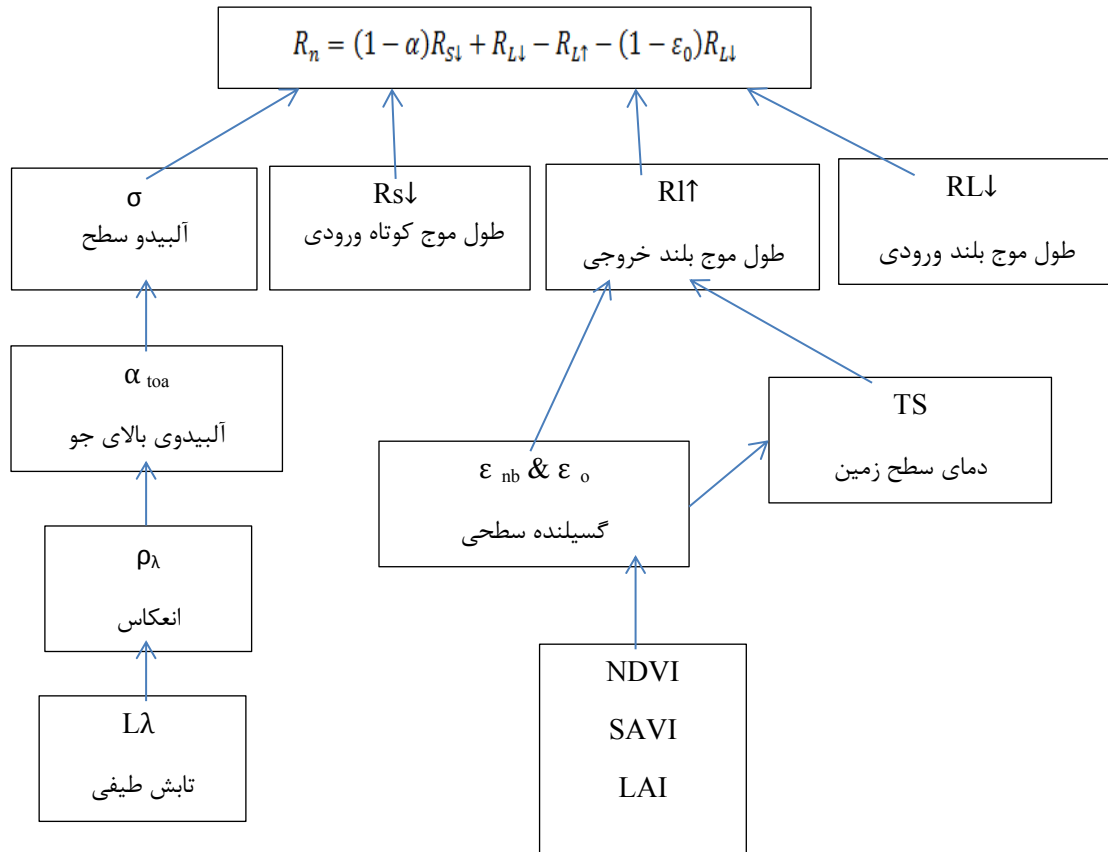
الگوریتم سبیل از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ استفاده شد که علت انتخاب آن قدرت تفکیک مکانی متوسط و در دسترس بودن این تصاویر بود. در این روش از نرم-افزار ENVI برای پردازش تصویری و ERDAS جهت اجرای الگوریتم سبیل در تعیین تبخیر- تعرق واقعی استفاده شد. اساس روش سبیل استفاده از معادله توازن انرژی و محاسبه مقدار شار لحظه‌ای گرمای نهان تبخیر به عنوان باقی‌مانده این معادله برای هر پیکسل است.

$$\lambda ET_{inst} = R_n - G - H \quad (۳)$$

در این معادله  $\lambda ET_{inst}$  شار گرمای نهان تبخیر  $(w/m^2)$ ،  $R_n$  میزان تابش خالص خورشیدی  $(w/m^2)$ ،  $G$  شار گرمای خاک  $(w/m^2)$  و  $H$  شار گرمای محسوس  $(w/m^2)$  می‌باشد. برای محاسبه پارامترهای معادله فوق سلسله‌مراحلی در قالب الگوریتم سبیل تنظیم شده که مراحل گام به گام آن برای محاسبه  $R_n$  به صورت شماتیک مطابق شکل (۱) می‌باشد. شار گرمایی محسوس شدت هدر رفت گرما در هوا به وسیله جابجایی و هدایت در اثر اختلاف دما می‌باشد و از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$H = (\rho \times C_p \times dt) / r_{ah} \quad (۴)$$

$\rho$  چگالی هوا (کیلوگرم بر متر مکعب)  $C_p$  گرمای ویژه هوا (۱۰۰۴ ژول بر کیلوگرم درجه کلون)  $dt$  اختلاف دما  $T_1 - T_2$  (کلون) بین دو ارتفاع  $Z_1$  و  $Z_2$  و  $r_{ah}$



شکل ۱- مراحل محاسبات در الگوریتم سبیل

حداقل درجه حرارت، دمای متوسط، رطوبت نسبی حداکثر، حداقل و متوسط، ساعات آفتابی و سرعت باد استفاده شد. اطلاعات هواشناسی از ایستگاه خودکار نصب شده درون باغ دریافت شد. برای این منظور در یک صفحه گسترده اکسل کلیه پارامترهای رابطه پنمن-مانتیت اعم از تعیین گرمای نهان تبخیر  $\lambda$ ، تعیین شیب منحنی فشار بخار اشباع در میانگین درجه حرارت (کیلو پاسکال بر درجه سانتیگراد)  $\Delta$ ، تعیین ضریب رطوبتی یا ثابت سایکرومتری  $\gamma$ ، تعیین فشار بخار اشباع  $e_s$ ، تعیین فشار واقعی بخار  $e_a$ ، کمبود فشار بخار  $(e_s - e_a)$ ، تعیین مقدار تابش برون زمینی  $R_a$ ، تعداد ساعات روشنایی روز  $N$ ، تابش خالص، شار گرما به داخل خاک (در روش پنمن-مانتیت به دلیل پوشش کامل گیاه مرجع مقدار آن صفر فرض می‌شود)

که در آن  $ET_0$  تبخیر-تعرق گیاه مرجع (میلیمتر بر روز برای دوره‌های روزانه)،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار اشباع در میانگین درجه حرارت (کیلو پاسکال بر درجه سانتیگراد)، تابش خالص در سطح گیاه (مگا ژول بر متر مربع بر روز)،  $G$  چگالی شار حرارتی خاک (مگا ژول بر متر مربع بر روز)،  $\gamma$  ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سانتیگراد)،  $T$  متوسط درجه حرارت روزانه (درجه سانتیگراد)،  $U_2$  متوسط سرعت باد روزانه در ارتفاع ۲ 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). برای ارزیابی دقیق الگوریتم سبیل در برآورد تبخیر-تعرق واقعی، از داده‌های هواشناسی روز دریافت تصویر از ماهواره، شامل حداکثر درجه حرارت،





در انتها به منظور ارزیابی و بررسی روشهای مورد استفاده در برآورد تبخیر و تعرق، از معیارهای متداول آماری نظیر ضریب تعیین (Determination Coefficient) و میانگین انحراف خطا (Mean Bias Error, MBE) استفاده شد. ضریب تعیین برای تعیین همبستگی بین مقادیر واقعی و برآورد شده و میانگین خطای مطلق برای تعیین مقادیر خطای برآورد شده، به کار برده می‌شوند روابط مربوطه به صورت زیر هستند:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 (\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2)} \quad (7)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i) \quad (8)$$

در این روابط  $X_i$  و  $Y_i$  به ترتیب آمین داده از تبخیر و تعرق از روش مستقیم و غیر مستقیم و  $X$  و  $Y$  به ترتیب میانگین داده‌های برآورد شده از روش مستقیم و غیر مستقیم و  $n$  تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش مطابق جدول ۱ می‌باشد.

و سرعت باد در ارتفاع ۲ متری با استفاده از روابط مربوط به هر یک محاسبه و مقدار تبخیر- تعرق مرجع برآورد گردید.

با محاسبه تبخیر- تعرق سطح مرجع، ضریب گیاهی به دو روش محاسبه گردید ۱- حاصل تقسیم تبخیر- تعرق واقعی حاصل از برداشت میدانی و بیلان رطوبتی بر تبخیر- تعرق سطح مرجع متناظر در مراحل مختلف رشد ۲- حاصل تقسیم تبخیر- تعرق واقعی به دست آمده از الگوریتم سبال بر تبخیر- تعرق سطح مرجع متناظر در مراحل مختلف رشد.

چون ماهواره هر ۱۶ روز یک بار از منطقه اجرای طرح عبور می‌کرد و امکان دریافت تصاویر برای تمام مراحل رشد درخت انار وجود نداشت بناچار برای ارزیابی دقیق عملکرد تصاویر ماهواره‌ای کلیه محاسبات، اندازه‌گیری‌ها و تحلیل‌ها در روز عبور ماهواره از منطقه، صورت گرفت. در روش بیلان رطوبتی اجزا بیلان رطوبتی در بین دو آبیاری که ماهواره از منطقه می‌گذشت اندازه‌گیری و ابتدا تبخیر- تعرق واقعی انار بین دو آبیاری محاسبه و با تقسیم آن بر دور آبیاری، میزان تبخیر- تعرق بر حسب میلی‌متر بر روز حاصل شد و با روش الگوریتم سبال مقایسه گردید.

جدول ۱- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

| عمق نمونه | SAR  | So4 | Hco3 | k sol. | Na sol. | Ca+Mg sol. | EC   | pH  | $\rho$              |
|-----------|------|-----|------|--------|---------|------------|------|-----|---------------------|
| ۰-۳۰      | ۱۴/۵ | ۳/۷ | ۳    | ۰/۲    | ۱۰      | ۲۶         | ۳/۴۱ | ۷/۷ | gr.cm <sup>-3</sup> |
| 30-60     | ۷/۲  | ۳/۱ | ۳/۶  | ۰/۱    | ۱۱      | ۱۷         | ۲/۸  | ۷/۸ | ds.m <sup>-1</sup>  |
| 60-90     | ۷/۵  | ۳/۶ | ۵    | ۰/۱    | ۱۳      | ۱۳         | ۲/۵  | ۷/۸ | meq.l <sup>-1</sup> |



گردید. نتیجه مقایسه مقادیر ضریب گیاهی و تبخیر- تعرق به دست آمده در روش الگوریتم سبال با مقادیر ضرایب گیاهی و تبخیر - تعرق واقعی به دست آمده به روش بیلان رطوبتی (شاهد) بوسیله آماره‌های MBE و  $R^2$  به شرح جدول ۵ می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌گردد ضریب همبستگی بین تبخیر و تعرق به دست آمده در روش سبال و برداشت میدانی یا بیلان رطوبتی در سال اول و دوم و در مجموع دو سال به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۷۹ و ۰/۶۳ حاصل شد و نشان داد که روش سبال برآورد نزدیکی نسبت به روش برداشت میدانی به عنوان شاهد در تعیین تبخیر- تعرق واقعی انار داشته و در حد جزئی کمتر از آن برآورد نموده است. علامت منفی MBE و مقدار کم آن گویای این مطلب است (به ترتیب ۰/۱۷، -۰/۰۷ و -۰/۳۰ - برای سال اول، دوم و مجموع دو سال). همچنین جزء در مرحله شروع رشد روند افزایشی و یا کاهش‌ی مقدار تبخیر- تعرق انار در مراحل رشد در روش سبال متناسب با روش بیلان رطوبتی در طول دوره رشد بود یعنی در مراحل که تبخیر- تعرق در روش بیلان رطوبتی سیر صعودی داشت در روش سبال نیز سیر صعودی داشته است.

**جدول ۳- تبخیر و تعرق به روش بیلان رطوبتی و**

**الگوریتم سبال**

| تاریخ دریافت تصویر | مرجع | واقعی (بیلان رطوبتی) | واقعی (الگوریتم سبال) |
|--------------------|------|----------------------|-----------------------|
| ۹۴/۱/۳۱            | ۵/۸  | ۲/۹                  | ۲/۳                   |
| ۱۲/۱/۱۶            | ۶/۳  | ۳/۲                  | ۲/۴                   |
| ۱۴/۱/۱۸            | ۷/۲  | ۳/۵                  | ۲/۵                   |
| ۱۵/۱/۱۹            | ۷/۵  | ۳/۲                  | ۲/۲                   |
| ۱۶/۲/۲۰            | ۵/۲  | ۳/۴                  | ۲/۳                   |
| ۱۷/۲/۲۱            | ۲    | ۱/۷                  | ۱/۶                   |
| ۹۵/۱/۱۲            | ۲/۸  | ۲/۵                  | ۲/۶                   |
| ۱۲/۲/۳             | ۳    | ۲/۴                  | ۲/۲                   |
| ۱۲/۱/۱۹            | ۵/۹  | ۴                    | ۳/۸                   |
| ۱۳/۱/۵             | ۶/۱  | ۳                    | ۲/۴                   |
| ۱۳/۲/۲۰            | ۶/۷  | ۳/۲                  | ۲/۶                   |
| ۱۴/۲/۲۶            | ۶/۷  | ۲/۹                  | ۲/۵                   |
| ۱۵/۲/۲۲            | ۵/۸  | ۳/۲                  | ۲/۶                   |
| ۱۶/۲/۲۶            | ۴/۵  | ۳                    | ۲                     |

درجه- روز- رشد انار با ثبت مراحل مختلف رشد درخت انار و میانگین دمای روزانه هوا، در مجموع از ابتدای دوره رشد تا رسیدگی میوه ۳۴۴۸ درجه- روز به صورت تجمعی برآورد شد. درجه حرارت مورد نیاز در هر مرحله از رشد انار با استفاده از رابطه ۱ مطابق جدول ۲ به دست آمد. همچنین تاریخ دریافت تصاویر برای هر یک از این مراحل در این جدول درج شده است. با استفاده از سنسورهای نصب شده در خاک و همچنین حفر پروفیل کوچک در اطراف درخت، توسعه جبهه پیاز رطوبتی تا فاصله یک متری از ساقه درخت و ۲۰ سانتیمتر پایین تر از عمق توسعه ریشه (یک متر) مشاهده شد.

**جدول ۲- درجه - روز- رشد در مراحل مختلف رشد**

| مراحل رشد                   | تاریخ          | تاریخ تصاویر | درجه- روز |
|-----------------------------|----------------|--------------|-----------|
| شروع رشد                    | اول فروردین    | ۱/۲          | -         |
| تورم جوانه                  | اواسط فروردین  | ۱/۱۸         | ۴۸        |
| جوانه‌اولین برگ تا رشد کامل | اواخر فروردین  | ۱/۳۱         | ۹۰        |
| ظهور جوانه گل تا باز شدن    | اوایل اردیبهشت | ۲/۳          | ۱۳۷       |
| باز شدن گل و ریزش گلبرگ     | اواسط اردیبهشت | ۲/۱۶         | ۹۴        |
| ظهور میوه                   | اواخر اردیبهشت | ۲/۱۹         | ۱۳۳       |
| میوه اولیه (جوان)           | اوایل خرداد    | ۳/۵          | ۱۹۴       |
| رشد میوه                    | اوایل شهریور   | ۶/۲۵         | ۱۹۹۷      |
| رسیدن میوه                  | اواخر مهر      | ۷/۲۱         | ۷۵۵       |

میانگین تبخیر - تعرق مرجع محاسبه شده از رابطه پنمن مانیتث بر اساس داده‌های هواشناسی روز عبور ماهواره همراه با تبخیر- تعرق واقعی به دست آمده از روش بیلان رطوبتی و الگوریتم سبال در روزهای دریافت تصویر بر حسب میلی‌متر در روز به شرح جدول ۳ برآورد گردید. همچنین ضریب گیاهی بدست آمده بر اساس بیلان رطوبتی و الگوریتم سبال در هر یک از مراحل رشد به شرح جدول ۴ حاصل



جدول ۵- مقایسه پارامترهای آماری

| تبخیر- تعرق روش<br>سبال |       | سال اجرا     | ETC روش<br>بیان رطوبتی |
|-------------------------|-------|--------------|------------------------|
| R <sup>2</sup>          | MBE   |              |                        |
| ۰/۸۳                    | -۰/۱۷ | ۹۲-۹۳        |                        |
| ۰/۷۹                    | -۰/۰۷ | ۹۳-۹۴        |                        |
| ۰/۶۳                    | -۰/۳۰ | هر دو<br>سال |                        |
| Kc روش سبال             |       | سال اجرا     | Kc روش بیان<br>رطوبتی  |
| R <sup>2</sup>          | MBE   |              |                        |
| ۰/۹۷                    | -۰/۱۲ | ۹۲-۹۳        |                        |
| ۰/۹۴                    | -۰/۰۸ | ۹۳-۹۴        |                        |
| ۰/۹۴                    | -۰/۰۲ | هر دو<br>سال |                        |

بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان بیان نمود که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برآورد تبخیر و تعرق انار، در مقایسه با روش برداشت میدانی قابل اتکا بوده و با توجه به مشکلاتی که در روش‌های بیان رطوبتی (مثل نقطه‌ای بودن، زمان‌بر بودن، هزینه بالا داشتن، آسیب دیدن درخت، نیاز به ابزار دقیق و تقریباً عدم امکان استفاده از لایسیمتر) وجود دارد و مزایایی که استفاده از ماهواره (تحت پوشش دادن سطح وسیعی از مزارع یا باغات، ارزان و سریع بودن) در برآورد تبخیر و تعرق دارد می‌توان با پذیرفتن خطای کم نتایج قابل قبولی دریافت نمود. اما مشکل اصلی در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ این است که ماهواره هر ۱۶ روز یک بار و در مکانهایی که تصاویر دارای همپوشانی هستند هر ۸ روز یکبار از نقطه محل اجرای طرح عبور می‌نماید و با استفاده از این تصاویر مقدار تبخیر و تعرق درخت انار فقط در این روزها قابل برآورد است و در سایر روزها که امکان دریافت تصاویر نیست امکان تعیین تبخیر و تعرق نیز وجود ندارد بنابراین با این روش نمی‌توان برای تمام روزهای دوره رشد انار، تبخیر- تعرق را برآورد نمود. از طرف دیگر اگر در لحظه عبور ماهواره آسمان بالای محل اجرای طرح ابری یا نیمه‌ابری باشد باز هم تصاویر دریافت شده قابل استفاده

ضریب همبستگی بین ضریب گیاهی انار حاصل از روش بیان رطوبتی و ضریب گیاهی حاصل از روش سبال در فصل زراعی اول و دوم و در مجموع دو سال به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۴ و ۰/۹۴ به دست آمد و نشان داد که با کمک گرفتن از تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از الگوریتم سبال می‌توان ضریب گیاهی انار را در مراحل مختلف رشد با دقت قابل قبولی برآورد نمود.

جدول ۴- ضریب گیاهی به روش‌های مختلف

| Kc<br>سبال | Kc بی‌ان رطوبتی | تاریخ دریافت تصویر |
|------------|-----------------|--------------------|
| ۰/۴۰       | ۰/۵۰            | ۹۴/۱/۳۱            |
| ۰/۳۸       | ۰/۵۱            | ۱/۲/۱۶             |
| ۰/۳۵       | ۰/۴۹            | ۱/۴/۱۸             |
| ۰/۲۹       | ۰/۴۳            | ۱/۵/۱۹             |
| ۰/۴۴       | ۰/۶۵            | ۱/۶/۲۰             |
| ۰/۸۰       | ۰/۸۵            | ۱/۷/۲۱             |
| ۰/۹۳       | ۰/۸۹            | ۹۵/۱/۲             |
| ۰/۷۳       | ۰/۸۰            | ۱/۲/۳              |
| ۰/۶۴       | ۰/۶۸            | ۱/۲/۱۹             |
| ۰/۳۹       | ۰/۴۹            | ۱/۳/۵              |
| ۰/۳۷       | ۰/۴۸            | ۱/۳/۲۰             |
| ۰/۴۵       | ۰/۴۳            | ۱/۴/۲۶             |
| ۰/۴۴       | ۰/۵۵            | ۱/۵/۲۲             |
| ۰/۵۴       | ۰/۶۷            | ۱/۶/۲۶             |



بهترین روش در برآورد تبخیر و تعرق انار در مقایسه با روش لایسیمتری و رابطه پنمن-مانیت می‌باشد که نتایج پژوهش (Teixeira, et al., 2009) و (Sun Z. et al., 2011)، در زمینه قابلیت بالای الگوریتم سبال در محاسبه تبخیر و تعرق، نتایج تحقیقات (Tasumi et al., 2003) و (Allen et al., 2003)، (George et al., 2013)، (Ramos et al., 2009) و (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱) در زمینه تطبیق مناسب داده‌های لایسیمتری و الگوریتم سبال و نتایج پژوهش (رحیمیان و پورمحمدی، ۱۳۹۱)، (میرعقوبزاده و همکاران، ۱۳۹۳)، (قمرنیا و رضوانی، ۱۳۹۳)، (اصغر زاده و ثنایی نژاد، ۱۳۸۵)، (Mokhtari, 2005)، (Emadzadeh, 1386) و (Pakparvar et al., 2014) در زمینه همبستگی بین مقدار تبخیر و تعرق برآورد شده از طریق رابطه پنمن-مانیت و الگوریتم سبال نیز این موضوع را تایید می‌کنند.

برای تعیین نیاز آبی نیست همچنین ماهواره حدود ساعت ۱۱ از خاک ایران عبور می‌کند و بدیهی است که میزان تبخیر و تعرقی که محاسبه می‌نماید مربوط به همین ساعت است که کلیه تحلیل‌ها و پیشنهادات بر اساس آن صورت می‌گیرد، در صورتی که زمان پیک تبخیر و تعرق انار بین ساعت ۱۴ تا ۱۶ هر روز است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در فعالیت‌های پژوهشی آینده یا از پهپادهای مجهز به دوربین‌های مادون قرمز استفاده شود که بتوان بدون مزاحمت ابر، هر لحظه و به هر تعداد که نیاز بود مبادرت به تصویربرداری و جمع-آوری اطلاعات شود و یا در آینده از ماهواره‌هایی استفاده شود که بتواند در هر مرحله از رشد تصاویر بیشتری با رزولوشن و دقت تصویر لندست ۸ ارسال نماید. با این وجود در این پژوهش نشان داده شد که در این منطقه در شرایط حاضر و با توجه به نتایج بدست آمده، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با مزایایی که دارد

## منابع

- احمدی، ک.، ح.قلی‌زاده، ح. ر. عبادزاده، ف. حاتمی، ر. حسین‌پور، ر. کاظمی‌فرد و ه. عبدشاه. ۱۳۹۵. آمارنامه جهاد کشاورزی ۱۳۹۴. جلد سوم محصولات باغبانی. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.
- اصغر زاده، ح. و ثنایی نژاد، ح. ۱۳۸۵. برآورد تبخیر و تعرق گیاهان با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. پورمحمدی، س. و رحیمیان، م. ح. ۱۳۸۹. تامین آب مورد نیاز جهت 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.
- جعفری، ح.، پ. افراسیاب، م. دلبری و م. طاهری. ۱۳۹۶. ارزیابی و تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی زیتون در مراحل مختلف رشد با استفاده از تکنیک دورسنجی در منطقه طارم. مجله پژوهش آب کشاورزی.
- 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.
- سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی. ۱۳۹۵. آمارنامه استان مرکزی. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۵۸ صفحه.
- سیمایی، ا.، همایی، م. و نوروزی، ع. ا. ۱۳۹۲. ارزیابی مدل SEBAL برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات سنجنده‌های TM و MODIS. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. شماره چهارم.



طباطبایی، س. ض. و ب. مرادی عاشور. ۱۳۹۳. برنامه توسعه، تجهیز و تبدیل ایستگاه تحقیقات انار ساوه به مرکز ملی تحقیقات انار کشور. ۲۳ صفحه.

قمرنیا، ه. و رضوانی، س. و. ۱۳۹۳. محاسبه پهنه‌بندی 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. ۸۱-۷۲.

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.

میرجلیلی، س. ع. ۱۳۹۴. مروری بر ترکیبات بیوشیمیایی و خواص دارویی انار. فصلنامه گیاهان دارویی. سال چهاردهم، دوره چهارم، شماره مسلسل پنجاه و ششم. ۲۲ صفحه.

میریعیقوب‌زاده، ک. سلیمانی، م. حبیب‌نژاد، ر.، شاهدی، ک. عباسپور، ک. و اخوان، س. ۱۳۹۳. تعیین و ارزیابی تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور مطالعه موردی حوضه آبخیز تمر، گلستان. فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال چهارم. شماره پانزدهم.

نظری‌پور، ه. ج. خ. دستجردی و ع. براتیان. ۱۳۹۲. پتانسیل یابی اقلیمی کشت انار در کوه‌دشت. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه اصفهان. دانشکده جغرافیا.

Allen R., Morse A., and Tasumi M. 2003. Application of SEBAL for western US water rights regulation and planning. Proceedings of the International Conference on Irrigation and Drainage, Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions; Montpellier, France.

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.

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 Lumpur, 350-355.

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.

Bastiaanssen, W.G.M. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hydrology, 229: 87-100

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.

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.

Emadzadeh, M. 2008, Application of remote sensing in estimating water use efficiency in basin- cale: case study in the Gharaso basin. M.sc Thesis, Sharif University of Technology, Tehran.

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.

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 .



- 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
- Hong, S. 2009. "Up-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from LANDSAT (30 m) to MODIS (250 m) scale." *Journal of Hydrology* 370: 122-138.
- 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.
- Mokhtari, M.H. 2005, *Agricultural Drought Impact Assessment Using Remote Sensing: A Case study Borkhar district –Iran*. M.sc Thesis, ITC, Enschede, The Netherlands
- Pakparvar, M. W. Cornelis, L. S. Pereira, D. Gabriels, H. Hosseinimarandi, M. Edraki and S. A. Kowsar. 2014. Remote sensing estimation of actual evapotranspiration and crop coefficients for a multiple land use arid landscape of southern Iran with limited available data. *Journal of Hydroinformatics* | 16.6 | 2014.
- Pôças, I., M. cunha, L. S. Pereira, R. G. Allen. 2013. Using remote sensing energy balance and evapotranspiration to characterize montane landscape vegetation with focus on grass and pasture lands. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 71. Pages 159-172
- 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.
- 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
- 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 LakeWetland of China. *Mathematical and Computer Modelling* 54: 1086–1092.
- 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
- 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.
- Wang, J., R. Kimura and W. Bastiaanssen. 2005. "Monitoring ET with remote sensing and the management of water resources on a basin scale". The 11thCEReS International Symposium on Remote Sensing Japan.



## Determine of evapotranspiration and crop coefficient of pomegranate in different stages of growth using remote sensing techniques and water balance method in saveh

Hossein Jafari<sup>1</sup>, Aliakbar Noroozi<sup>2</sup>

### Abstract

In horticultural plants, determining of evapotranspiration because of problems in the direct measurement such as installing large lysimeter and length during tree growth, estimated indirectly on the basis of meteorological data. With regard to the spatial variability of meteorological parameters and sometimes inappropriate distribution of meteorological stations estimating evapotranspiration is not possible with sufficient accuracy. Therefore, use of procedures such as the methods remote sensing based that consider these changes may be best. In this study, evapotranspiration pomegranate trees measure and were determined with direct and indirect methods in Tarom district of Zanjan at different physiological growth stages and In 1393 and 1394 growing seasons. In the direct method were measured Water balance components and the indirect method were determined with the help of satellite images actual evapotranspiration trees with SEBAL algorithm. Then The crop coefficient was determined using evapotranspiration obtained by the two methods and determination of the reference evapotranspiration based on meteorological data of day of receiving the image, and the results are compared and evaluated. The correlation coefficient in evapotranspiration for first and second year was 0.83 and 0.79 respectively and a total of two years was 0.63, respectively, and about of crop coefficient this coefficient was 0.97 and 0.94 and a total of two years was 0.94.

**Key words:** Algorithm SEBAL, Remote Sensing, Pomegranate, Water use Efficiency and Water Requirement

<sup>1</sup> Assistant Professor, Scientific member of Department of Soil and Irrigation Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization n, Karaj, Iran, 09395444775, jafari52\_h@yahoo.com, (Corresponding Author)

<sup>2</sup> Associate Professor, Scientific member of Soil and Watershed Conservation, Agricultural Education and Promotion Research Organization, Karaj, Iran, 09123277293, noroozi@itc.nl