

تخمین تبخیر- تعرق پوشش جنگلی بلوط با استفاده از الگوریتم سبال در منطقه رباط ماهیدشت کرمانشاه

همایون حصادی^{۱*}، عبدالکریم بهنیا^۲، علی محمد آخوندعلی^۲، سید محمود کاشفی پور^۲، پیمان دانش کار آراسته^۳

و علیرضا کریمی^۴

*- نویسنده مسئول، مربی پژوهش، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. پست الکترونیک: hhesadi@gmail.com

۲- استاد، دانشکده مهندسی و علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۴- کارشناس ارشد منابع آب، شرکت آب و فاضلاب استان فارس، شیراز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۱

چکیده

پوشش جنگلی بلوط (*Quercus spp.*) یکی از مهم ترین بوم سازگان های زنده در غرب کشور و استان کرمانشاه است. از نیازهای مهم مدیریتی این پوشش می توان به برآورد تبخیر- تعرق یا نیاز آبی اشاره کرد. استفاده از سنجش ازدور، یکی از روش های کاربردی در برآورد تبخیر- تعرق پوشش گیاهی در سطوح مختلف است. در پژوهش پیش رو از الگوریتم سبال و چهار تصویر ماهواره لندست ۵ مربوط به تیر و مردادماه ۱۳۸۹ (ژوئن و ژوئیه و اوت سال ۲۰۱۰ میلادی) برای برآورد مقدار تبخیر- تعرق پوشش جنگلی در منطقه رباط ماهیدشت در استان کرمانشاه استفاده شد. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل، محدوده جنگلی منطقه رباط ماهیدشت استخراج شد و با نقشه تبخیر- تعرق تطبیق داده شد. براساس نتایج، مقدار میانگین تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته پوشش جنگلی در بازه زمانی مورد مطالعه بین ۳/۴ تا ۵/۰۹ میلی متر متغیر بود که بیانگر نیاز آبی قابل توجه این پوشش است. ضریب همبستگی بین تبخیر- تعرق برآورد شده با سبال و اندازه گیری شده با لایسی متر ۰/۹۹۶۷ و اختلاف مطلق بین آن ها ۰/۵۳ میلی متر در روز به دست آمد که نشان دهنده خطای کمتر از ۱۰ درصد و عملکرد قابل قبول الگوریتم سبال است. این الگوریتم در صورت وجود توالی مناسب تصاویر و داده های سنجنده های دیگر مانند تصاویر سنتینل می تواند برای طبقه بندی تراکمی و بررسی سلامتی جنگل ها استفاده شود.

واژه های کلیدی: جنگل های زاگرس، رابطه بیلان انرژی، سنتینل، سنجنده TM.

مقدمه

Q. infectoria (Lindl.)، مازودار (*Q. brantii* Oliv.) و ویول (*Q. libani* Oliv.) تشکیل شده اند (Sagheb Talebi et al., 2014). اقلیم زاگرس، مدیترانه ای نیمه خشک با زمستان های سرد است (Heshmati et al., 2017b). بارندگی این منطقه از ۶۰۰ میلی متر در قسمت های

جنگل های زاگرس با وسعت شش میلیون هکتار و پراکنش در ۱۱ استان کشور حدود ۴۰ درصد جنگل های ایران را به خود اختصاص داده اند. نزدیک به ۷۰ درصد تیپ های جنگلی این ناحیه از سه گونه بلوط ایرانی

برای برآورد تبخیر- تعرق و شارهای گرمایی در سطح به‌کار می‌رود و نتایج رضایت‌بخشی برای آن گزارش شده است (Miryaghoubzadeh *et al.*, 2014). هدف از پژوهش پیش‌رو، برآورد تبخیر- تعرق پوشش جنگلی با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره لندست ۵ و اجرای الگوریتم سبال در منطقه رباط‌ماهیدشت کرمانشاه بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش پیش‌رو در منطقه رباط ماهیدشت در استان کرمانشاه انجام شد. این منطقه با مساحت ۹۹۲۳۵ هکتار در عرض جغرافیایی ۵' ۳۴° تا ۳۲' ۳۴° شمالی و طول جغرافیایی ۳۱' ۴۶° تا ۶' ۴۷° شرقی قرار دارد (شکل ۱). رباط ماهیدشت منطقه‌ای کوهستانی است که نزدیک به ۳۵ درصد آن را کوه و تپه تشکیل می‌دهد. مرتفع‌ترین قله در مرز باختری و در ارتفاعات کوه قلعه‌غازی با ارتفاع ۲۳۶۷ متر از سطح دریا قرار دارد. شیب عمومی منطقه ۸/۶ درصد و جهت عمومی آن شمال‌غربی است.

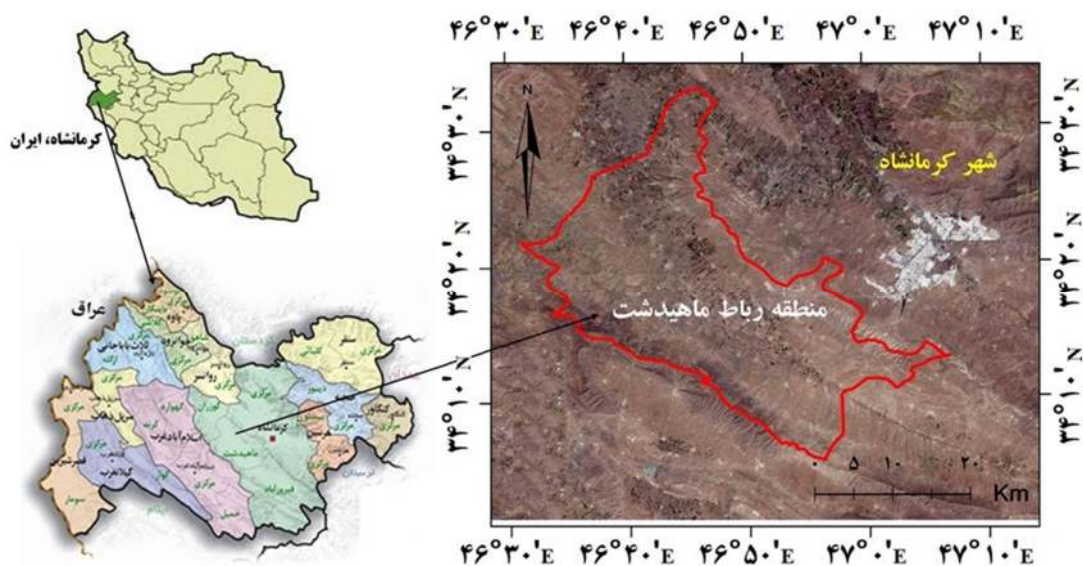
جنگل‌های منطقه رباط ماهیدشت با مساحت ۱۰۱۶۵ هکتار، بخشی از جنگل‌های بلوط زاگرس هستند که در جهت کلی شمال‌غرب به جنوب‌شرق گسترده شده‌اند. نتایج آماربرداری این منطقه در شیب‌های شمال تا شمال شرقی و در دامنه ارتفاعی ۱۷۵۰ تا ۱۸۵۰ متر از سطح دریا نشان می‌دهند که شیب آن بین ۲۸ تا ۴۱ درصد است. شیب‌های تند با بافت خوب و تحدب زیاد در این منطقه، تبخیر- تعرق بیشتری دارند. pH و بافت خاک منطقه مورد مطالعه به ترتیب هفت تا ۷/۴ و رسی- لومی هستند. متوسط تعداد کل پایه‌های درختی و درختچه‌ای در این منطقه ۳۰۷ اصله در هکتار هستند که بیشتر آنها از گونه‌های بلوط ایرانی، زالزالک (*Crataegus meyeri*) و راناس (*Cerasus microcarpa*) تشکیل شده‌اند. متوسط تاج‌پوشش درختان جنگلی حدود ۲۶ درصد است (Khan Hasani, 2001). این منطقه براساس تقسیم‌بندی دومارتن اصلاح‌شده، اقلیم مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک سرد دارد (Kazemi & Sharifi, 2017).

شمالی تا ۳۰۰ میلی‌متر در جنوب غرب نوسان دارد. جنگل‌های بلوط زاگرس که دربرگیرنده ۴۰ درصد منابع آب شیرین کشور هستند، نقش مهمی در تغذیه آب‌های زیرزمینی، پایداری کشاورزی، حفاظت خاک و کنترل سیل ایفا می‌کنند (Heshmati *et al.*, 2017a). این بوم‌سازگان‌ها از نظر تفرج، تولید و غنی کردن خاک، تعدیل آب‌وهوا، تولید دارو و صمغ، جذب مواد آلاینده هوا، کنترل زیستی آفات و تولید اکسیژن نیز بسیار اهمیت دارند. در سال‌های اخیر، بخش قابل‌توجهی از این منابع ارزشمند خشک شده‌اند (Heshmati *et al.*, 2018). از دلایل اصلی خشکیدگی درختان در این ناحیه رویشی می‌توان به تغییر اقلیم (کاهش بارندگی و افزایش در دما و طول دوره خشکی) و بروز تنش‌های خشکی شدید اشاره کرد که باعث شده‌اند درختان نتوانند آب مورد نیاز خود را به اندازه کافی جذب کنند و از نظر فیزیولوژیکی ضعیف شوند (Hosseini *et al.*, 2015).

به‌کارگیری روش‌هایی که بتوانند نیاز آبی (تبخیر- تعرق) پوشش جنگلی را برآورد کنند، اهمیت زیادی در پایش آب‌شناسی، بوم‌شناسی و مدیریت منابع آب دارد. تبخیر- تعرق نقش مهمی در چرخه آب‌شناسی و معادله‌های انرژی در سطح زمین و توازن آن‌ها ایفا می‌کند و برآورد آن در زمینه‌های مختلف ضروری است (Miryaghoubzadeh *et al.*, 2014). استفاده از سنجش‌ازدور، امکان پایش مداوم این عامل را فراهم می‌کند. این فناوری بسیار مفید برای بررسی پوشش گیاهی از گذشته تاکنون نسبت به روش‌های دیگر ارجحیت داده شده است (Saberfar *et al.*, 2018). سنجش‌ازدور با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و کمترین استفاده از داده‌های زمینی و الگوریتم‌های متعدد، برآورد دقیقی از مقدار تبخیر- تعرق در مناطق بسیار وسیع ارائه می‌کند (Bastiaanssen & Chandrapalan, 2003; Kazemini, 2017).

یکی از الگوریتم‌های مورد استفاده در تجزیه‌وتحلیل تصاویر ماهواره‌ای برای برآورد تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی محصولات مختلف، الگوریتم سبال یا توازن انرژی سطح زمین (SEBAL: Surface Energy Balance Algorithm for Land) است (Ghamarnia *et al.*, 2017). این الگوریتم جدید

(2019).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های ۲۰ ساله (۱۳۶۹-۱۳۸۸) ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه (۳۵' ۳۴° عرض شمالی و ۱۵' ۴۷° طول شرقی) در مجاورت منطقه مورد مطالعه استفاده شد. براساس بررسی انجام‌شده، متغیرهای اقلیمی در منطقه رباط ماهیدشت بدین شرح هستند:

دمای هوا: متوسط دمای ماهانه و سالانه در ایستگاه

سینوپتیک کرمانشاه با پایه آماری ۲۰ ساله در جدول ۱ ارائه شده است.

بارندگی: متوسط بارندگی ماهانه و سالانه منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- متوسط دمای ماهانه و سالانه در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
متوسط دما (درجه سانتیگراد)	۱۷/۴	۱۱/۹	۶/۳	۳/۳	۲/۴	۵/۹	۱۱/۳	۱۵/۵	۲۰/۸	۲۵/۹	۲۴/۲	۲۳/۲	۱۴/۲

جدول ۲- متوسط بارندگی ماهانه و سالانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
متوسط بارندگی (میلی‌متر)	۲۷/۲	۵۹	۷۳/۲	۶۶/۱	۶۵/۳	۹۴	۶۲/۳	۲۷/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۳	۰/۶	۴۷۷

درصد باد غالب در ماه‌های مختلف برای ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه تهیه شد (جدول ۳).

سرعت و جهت باد: فرآیند انتقال بخار، وابستگی زیادی به باد و آشفتنگی هوا دارد که مقدار زیادی از بخار را از سطح تبخیر منتقل می‌کند. از این رو، متوسط سرعت، جهت و

جدول ۳- متوسط سرعت، جهت و درصد باد غالب در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
جهت باد غالب	غربی	جنوب شرقی	جنوب شرقی	جنوب شرقی	جنوب شرقی	جنوب شرقی	غربی	غربی	غربی	غربی	غربی	غربی
سرعت باد غالب (متر بر ثانیه)	۳/۹	۳/۹	۴/۱	۴	۴/۳	۴/۲	۴/۴	۴/۳	۴/۳	۴	۴/۳	۴
درصد باد غالب	۱۳	۱۴	۱۳	۱۳	۱۵	۱۴	۱۳	۱۸	۲۰	۲۵	۱۹	۲۲
درصد باد آرام	۵۰	۴۸	۵۲	۵۰	۴۱	۳۸	۳۶	۳۸	۳۶	۴۰	۳۹	۴۳
درصد باد در جهت‌های دیگر	۳۷	۳۸	۳۵	۳۷	۴۴	۴۸	۵۱	۴۴	۴۴	۳۵	۴۲	۳۵

رطوبت نسبی: رطوبت هوا، معرف آب موجود در اتمسفر است. تفاوت بین فشار بخار آب در سطح تبخیر- تعرق و هوای اطراف، عامل تعیین‌کننده انتقال بخار است. جدول ۴، درصد رطوبت نسبی را در ایستگاه کرمانشاه نشان می‌دهد.

جدول ۴- درصد رطوبت نسبی ماهانه و سالانه در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
رطوبت نسبی (درصد)	۴۲	۶۰	۷۱	۷۳/۵	۷۰	۶۴	۶۰	۵۲	۳۳	۲۷	۲۶/۵	۲۹	۵۱

تبخیر: مقدار تبخیر از تشت تبخیر نشان‌دهنده پتانسیل منطقه برای بخار کردن ارتفاع مشخصی از آب است که به آن تبخیر پتانسیل نیز گفته می‌شود (جدول ۵).

جدول ۵- میانگین ماهانه و سالانه تبخیر پتانسیل در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
میانگین تبخیر پتانسیل (میلی‌متر)	۹۹/۲	۱۰۱/۶	۲۲/۹	۰	۰	۰	۱۰۰/۸	۱۹۴/۸	۲۹۱	۳۵۶/۳	۳۵۹/۳	۲۹۳/۱	۱۹۱۹/۲

جدول ۶- اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه در تاریخ‌های تصویرهای استفاده‌شده

تاریخ	کمینه دما (درجه سانتیگراد)	بیشینه دما (درجه سانتیگراد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	تبخیر تشنگ (میلی‌متر)	رطوبت نسبی (درصد)	بارندگی (میلی‌متر)
۱۳۸۹/۰۴/۰۴	۱۲/۶	۲۹/۶	۱/۳۵	۱۰/۳	۱۳	۵۱
۱۳۸۹/۰۴/۲۰	۱۴/۸	۴۱/۴	۲/۴۲	۱۴/۲	۸	۳۵
۱۳۸۹/۰۵/۰۵	۱۳/۲	۳۷/۶	۲	۱۱/۹	۱۳	۴۵
۱۳۸۹/۰۵/۲۱	۱۲/۶	۳۸/۴	۱/۷۵	۱۲/۵	۱۰	۳۴

تصویرهای مورد استفاده

در پژوهش پیش‌رو از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ مربوط به سال ۱۳۸۹ شمسی (۲۰۱۰ میلادی) که از وبگاه سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (www.usgs.gov) اخذ شده بود، استفاده شد. این تصاویر در چهار تاریخ تصویربرداری متوالی از چهار تیر تا ۲۱ مرداد سال ۱۳۸۹ انتخاب و استفاده شدند. تصاویر انتخاب‌شده، بدون پوشش ابر بوده، کیفیت مناسبی داشتند و اطلاعات آن‌ها قابل دسترس بود. به‌منظور صحت‌سنجی نتایج اجرای الگوریتم سبال از داده‌های اندازه‌گیری‌شده توسط یک دستگاه لایسی متر زهکش‌دار نصب‌شده در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ماهیدشت کرمانشاه استفاده شد. داده‌های

سنجنده سنتینل ۲ مربوط به تیرماه ۱۳۹۷ شمسی که از نظر بازه زمانی فصلی با تصاویر لندست، هم‌پوشانی مناسبی داشتند و طبقه‌بندی کاربری‌های منطقه با استفاده از آن‌ها انجام شده بود، برای تعیین پراکنش توده‌های جنگلی در محدوده رباط ماهیدشت استفاده شدند (جدول ۷). به این منظور، ترکیب باندی ۸۴۳ سنجنده سنتینل به‌کار برده شد که آشکارسازی پوشش گیاهی را به‌خوبی انجام می‌دهد. مرز محدوده جنگلی ابتدا با روش طبقه‌بندی بیشینه درست‌نمایی (Maximum Likelihood) تعیین شد. درنهایت، از تصاویر نرم‌افزار Google Earth و بازدید میدانی برای کنترل مرز دقیق توده‌های جنگلی و تعیین کاربری‌های دربرگیرنده محدوده استفاده شد.

جدول ۷- مشخصات ماهواره و تاریخ تصویربرداری مورد استفاده در پژوهش

نوع اطلاعات ماهواره‌ای سنجنده	تاریخ تصویربرداری (میلادی، شمسی)	تعداد باند	قدرت تفکیک (متر)
لندست ۵ (TM)	۲۰۱۰/۰۷/۱۱ - ۲۰۱۰/۰۷/۲۷	۶ باند انعکاسی	۳۰ متر
فریم ۳۶ - ۱۶۷	۱۳۸۹/۰۴/۲۰ - ۱۳۸۹/۰۵/۰۵	۱ باند حرارتی	۱۲۰ متر
سنتینل ۲	۲۰۱۸/۰۶/۲۳، SPD، فریم ۲۰۱۸/۰۷/۰۳، SPC	۱۳ باند	۵ باند ۱۰ متر ۶ باند ۲۰ متر ۲ باند ۶۰ متر

الگوریتم سبال

الگوریتم سبال بر مبنای مدل پردازش تصاویر ماهواره‌ای است که در ۲۵ مرحله محاسباتی، تبادل انرژی بین سطح و اتمسفر، تبخیر- تعرق لحظه‌ای و تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته را محاسبه می‌کند. در این روش، از اطلاعاتی مانند آلبدو، NDVI، LAI، دمای سطح و تشعشع خالص استفاده می‌شود. رابطه کلی مدل به شکل رابطه ۱ است.

$$ET = R_n - G - H \quad (1) \text{ رابطه}$$

که در آن: ET بیانگر تبخیر- تعرق لحظه‌ای (هنگام گذر

ماهواره برحسب میلی‌متر)، R_n تشعشع خالص، G شار حرارتی خاک و H نشان‌دهنده شار گرمای محسوس هوا (همگی برحسب وات بر متر مربع) هستند. R_n از طریق رابطه (۲) محاسبه شد.

رابطه (۲)

$$R_n = (1 - \alpha) \times R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0) \times R_{L\downarrow}$$

که در آن: α آلبدو سطحی (بدون بعد)، $R_{s\downarrow}$ تشعشع موج کوتاه ارسال‌شده از خورشید، $R_{L\downarrow}$ تشعشع موج بلند به سمت زمین، $R_{L\uparrow}$ تشعشع موج بلند منعکس‌شده از زمین به اتمسفر (همگی برحسب وات بر متر مربع) و ϵ_0 گسیلندگی اتمسفری (بدون بعد) هستند.

در این پژوهش از رابطه ۳ که یک معادله تجربی برای برآورد مقدار شار گرمای خاک (G) است (Tasumi *et al.*،)

$$G = R_n \times \left(\frac{T_s - 273}{\alpha} \right) \times (0.0038 \times \alpha + 0.0074 \times \alpha^2) \times (1 - 0.98 \times NDVI^4) \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن: NDVI شاخص گیاهی نرمال شده، T_s دمای سطح (برحسب درجه کلونین) و α آلبیدو سطح است. رابطه ۴ نیز برای محاسبه شار محسوس (H) برحسب وات بر متر مربع به کار می رود:

$$H = \frac{\rho \times C_p \times dT}{r_{ah}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن: ρ چگالی هوا (کیلوگرم بر متر مکعب) را نشان می دهد که تابعی از فشار اتمسفری است. C_p برابر با عدد ثابت ۱۰۰۴ و بیانگر ظرفیت گرمایی هوا (ژول بر کیلوگرم بر درجه کلونین) است. dT نشان دهنده اختلاف دما بین دو ارتفاع Z_1 و Z_2 و r_{ah} نیز بیانگر مقاومت آیرودینامیکی در برابر انتقال گرما (ثانیه بر متر) هستند.

پس از محاسبه پارامترهای الگوریتم سبال، تبخیر- تعرق لحظه ای (ET_{inst}) برحسب میلی متر بر ساعت با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می شود.

$$ET_{inst} = \frac{\lambda \times ET}{\lambda} \times 3600 \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن: λ بیانگر گرمای نهان تبخیر (ژول بر کیلوگرم) است. از عدد ۳۶۰۰ نیز به منظور تبدیل تبخیر- تعرق از ثانیه به ساعت استفاده شد. در نهایت، تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته (ET_{24}) از رابطه ۶ به دست آمد (Karimi *et al.*، 2013):

$$ET_{24} = \frac{86400 \times \lambda \times (R_{n24} - G_{24})}{\lambda} \quad \text{رابطه (۶)}$$

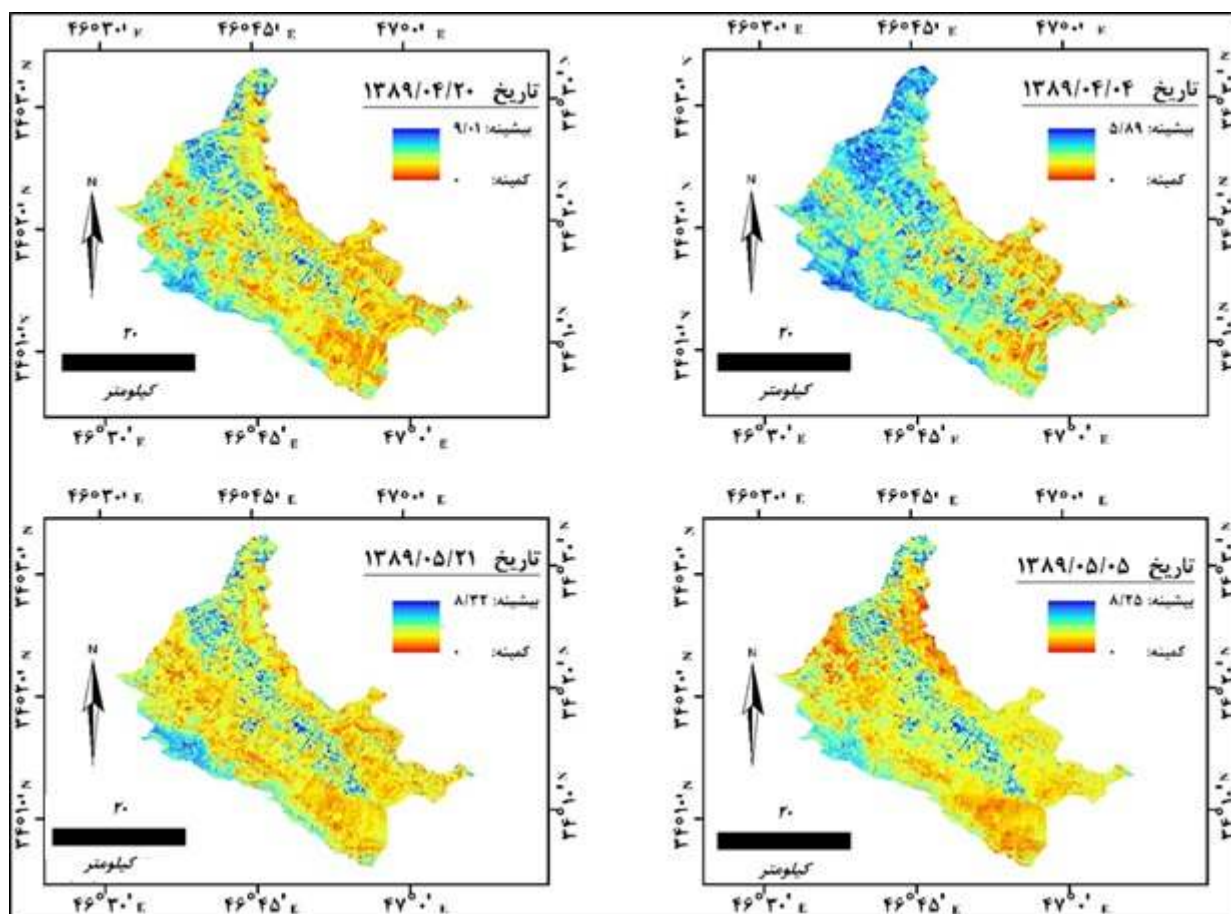
(2000)، استفاده شد.

که در آن: R_{n24} تشعشع خالص ۲۴ ساعته (وات بر متر مربع)، G_{24} شار حرارتی روزانه خاک (وات بر متر مربع)، λ پارامتر کسر تبخیر، عدد ۸۶۴۰۰ تعداد ثانیه های ۲۴ ساعت و λ گرمای نهان تبخیر (ژول بر کیلوگرم) هستند. گرمای نهان تبخیر موجب می شود تا تبخیر- تعرق واقعی ۲۴ ساعته برحسب میلی متر بر روز بیان شود.

نتایج

تبخیر- تعرق در منطقه رباط ماهیدشت

در ابتدا برای آماده سازی تصاویر ماهواره لندست، تصحیح رادیومتری که شامل دو مرحله تبدیل ارزش رقومی (Digital Number) به تابش طیفی و سپس، تبدیل تابش طیفی به بازتاب طیفی است، انجام شد. سپس، با اجرای مراحل ۲۵ گانه الگوریتم سبال، تصاویر لندست در چهار تاریخ ذکر شده پردازش شد. در نهایت، نقشه تبخیر- تعرق در محدوده رباط ماهیدشت تهیه شد (شکل ۲). براساس نتایج به دست آمده، بیشترین تبخیر- تعرق در بازه مورد مطالعه مربوط به کشت های آبی با مقدار نه میلی متر در روز بود. مقایسه نتایج الگوریتم سبال با داده های اندازه گیری شده با لایسی متر نشان داد که بیشینه خطای برآورد الگوریتم سبال نسبت به لایسی متر ۹/۷۹ درصد است. متوسط این خطا در چهار تاریخ مورد بررسی نزدیک به ۰/۵۳ میلی متر در روز (جدول ۸) و ضریب همبستگی بین دو سری ۰/۹۹۶۷ به دست آمد. از آنجایی که دقت برآوردی الگوریتم سبال به مقدار زیادی به واقعیت زمینی نزدیک بود، بنابراین می توان گفت که برآورد سبال در حد قابل قبولی، امکان استفاده برای تحلیل های مربوط به تبخیر- تعرق در کل منطقه پوشش جنگلی را دارد.



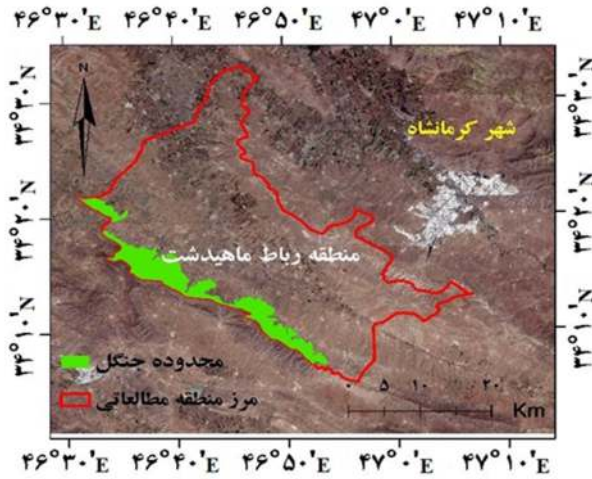
شکل ۲- نقشه‌های تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته (میلی‌متر) منطقه رباط‌ماهیدشت در چهار تاریخ تصویربرداری ماهواره لندست ۵

جدول ۸- مقایسه برآورد تبخیر- تعرق روزانه در رباط ماهیدشت توسط لایسی‌متر و الگوریتم SEBAL با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ (TM)

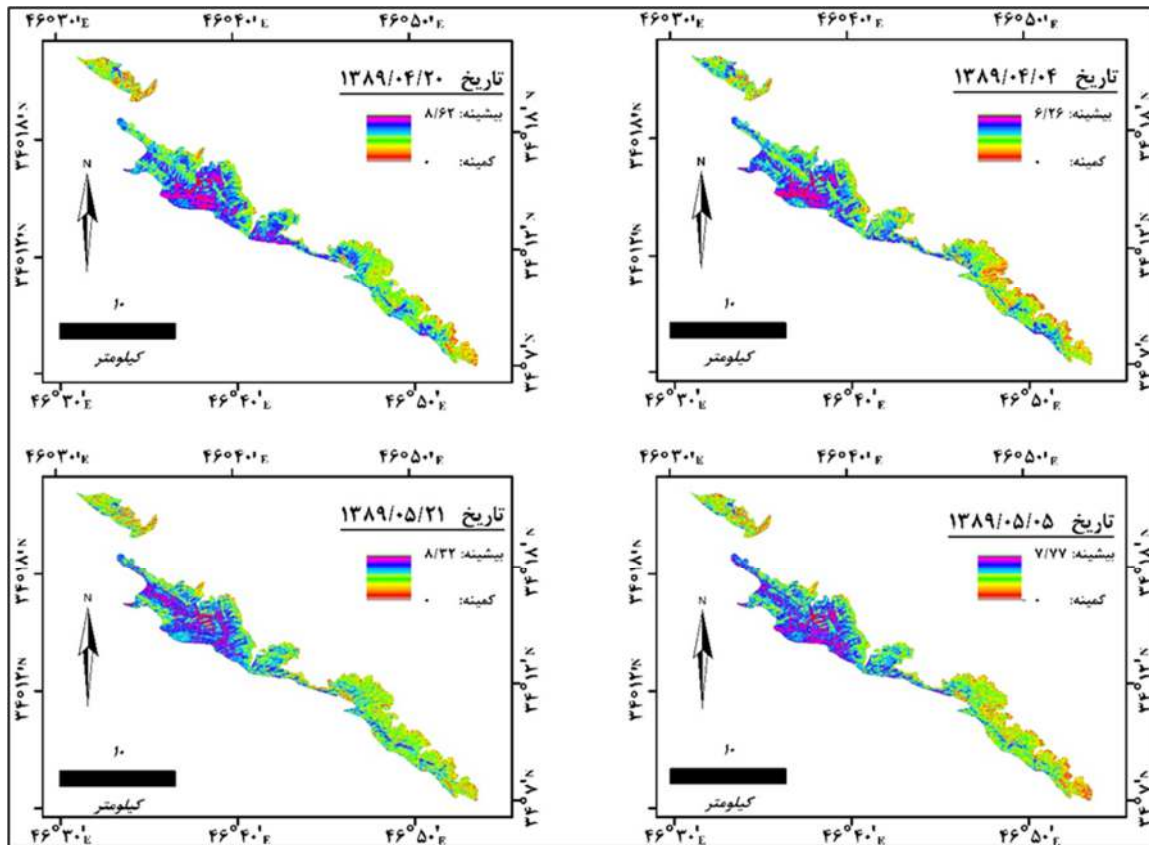
تاریخ	تبخیر- تعرق برآوردی لایسی‌متر (میلی‌متر در روز)	تبخیر- تعرق برآورد شده از سبال (میلی‌متر در روز)	اختلاف مطلق بین دو برآورد (میلی‌متر بر روز)	درصد خطای متوسط اختلاف مطلق برآورد (میلی‌متر در روز)
۱۳۸۹/۰۴/۰۴	۴/۱۳	۳/۹۷	۰/۱۶	۳/۸۷
۱۳۸۹/۰۴/۲۰	۷/۷۴	۷/۲	۰/۵۴	۲/۹۷
۱۳۸۹/۰۵/۰۵	۷/۴۵	۶/۷۲	۰/۷۳	۹/۷۹
۱۳۸۹/۰۵/۲۱	۸/۰۵	۷/۳۵	۰/۷	۸/۶۹

بلوط، نقشه تبخیر- تعرق منطقه رباط ماهیدشت در چهار تاریخ تصویربرداری مربوط به تیر و مردادماه ۱۳۸۹ برش داده شد (شکل ۴).

یکی از مهم‌ترین پوشش‌های گیاهی در استان کرمانشاه و منطقه رباط‌ماهیدشت، پوشش جنگلی بلوط است. شکل ۳ مرز محدوده جنگلی تعیین شده در منطقه رباط ماهیدشت را نشان می‌دهد. برای برآورد تبخیر- تعرق پوشش جنگلی



شکل ۳- محدوده جنگلی تعیین شده در منطقه رباط ماهیدشت بر روی تصویر ماهواره سنتینل ۲



شکل ۴- نقشه‌های تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته پوشش جنگلی (میلی متر) در منطقه رباط ماهیدشت در چهار تاریخ تصویربرداری ماهواره

لندست ۵

به مناطق مجاور بیشتر بوده و با مزارع خوب آبیاری شده (پلی‌گون‌های بنفش در شکل ۲ در محدوده غیرجنگلی)

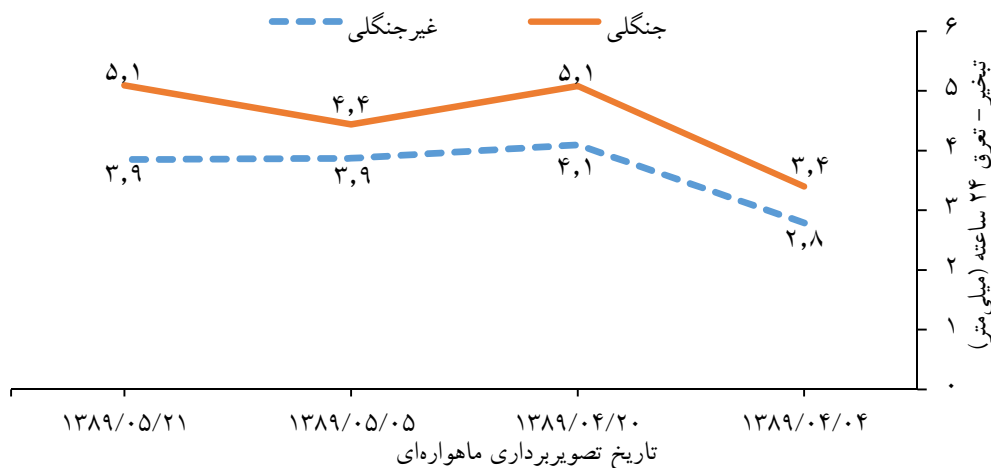
همان‌گونه که از شکل ۴ و نیز جدول ۹ قابل استنباط است، مقدار بیشینه تبخیر- تعرق در پوشش جنگلی نسبت

پوشش جنگلی به مقدار ۰/۸۵ میلی‌متر در روز، بیشتر از مناطق غیرجنگلی بود (جدول ۹). همچنین، مقایسه تبخیر- تعرق بین جنگل و کاربری‌های دیگر در شکل ۵ نشان داده شده است.

برابری می‌کند. به‌طور کلی، در هر چهار تاریخ مورد بررسی، مقدار تبخیر- تعرق در سطح پوشش جنگلی قابل توجه بود. مقایسه تبخیر- تعرق پوشش جنگلی با مناطق دیگر در هر چهار تاریخ نشان می‌دهد که متوسط تبخیر- تعرق در

جدول ۹- مقایسه تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته بین مناطق جنگلی و غیرجنگلی رباط ماهیدشت

۱۳۸۹/۰۵/۲۱		۱۳۸۹/۰۵/۰۵		۱۳۸۹/۰۴/۲۰		۱۳۸۹/۰۴/۰۴		تبخیر- تعرق
جنگل	منطقه بدون جنگل	جنگل	منطقه بدون جنگل	جنگل	منطقه بدون جنگل	جنگل	منطقه بدون جنگل	(میلی‌متر)
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	کمینه
۸/۳۱	۸/۳۲	۷/۷۷	۸/۲۴	۸/۶۲	۹/۰۱	۶/۲۶	۵/۹۴	بیشینه
۵/۰۹	۳/۸۵	۴/۴۴	۳/۸۷	۵/۰۸	۴/۱	۳/۴	۲/۷۹	متوسط
۱/۲۲	۱/۲۴	۰/۹	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۱۹	۰/۷۴	۰/۹۷	انحراف معیار



شکل ۵- مقایسه تبخیر- تعرق ۲۴ ساعته بین مناطق جنگلی و غیرجنگلی رباط ماهیدشت در چهار تاریخ تصویربرداری

شادابی و بقا درختان جنگلی وارد کند. می‌توان گفت که تنش کمبود رطوبت (به‌ویژه رطوبت خاک) در سال‌های اخیر از مهم‌ترین عوامل بروز پدیده زوال در جنگل‌های زاگرس بوده است (Azami, 2017). نقشه‌های تهیه‌شده در پژوهش پیش‌رو نشان‌دهنده تغییرات بارز مقدار تبخیر- تعرق در سطح منطقه رباط ماهیدشت هستند، به‌طوری‌که با گذشت زمان از اوایل تیرماه به‌سمت اواخر مردادماه و برداشت عمده محصولات زراعی در دشت ماهیدشت، مقدار تبخیر- تعرق در منطقه

بحث

بررسی شرایط کلی و توان بوم‌شناختی توده‌های جنگلی زاگرس نشان‌دهنده ضعف این رویشگاه است که به‌طور تدریجی در چند قرن اخیر به‌وجود آمده و روند آن، افزایش یافته است (Hosseinzade & Pourhashemi, 2017). خشکی و کاهش رطوبت طی چند دهه گذشته به‌شکل محسوسی بر کیفیت و شادابی جنگل‌های بلوط تأثیر گذاشته است. کاهش رطوبت خاک می‌تواند صدمه جدی به رشد،

کمتر بود که احتمال زیاد تنش خشکی در سال‌های خشک را نشان می‌دهد. جنگل‌های بلوط در منطقه رباط ماهیدشت و کل زاگرس نیز طی دو دهه گذشته با تنش‌های دوره‌ای مواجه بوده‌اند که نتیجه آن، بروز خشکیدگی‌های وسیع در این بوم‌سازگان‌ها است. نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره لندست ۵ می‌توان نقشه‌های تبخیر- تعرق را با دقت مناسب و برای پوشش‌های مختلف گیاهی تهیه کرد. مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری مستقیم با استفاده از لایسی‌متر و نقشه‌های به‌دست‌آمده از الگوریتم سبال در منطقه رباط ماهیدشت، همخوانی و دقت خوب روش سبال را تأیید کرد، به طوری که در چهار تاریخ تصویربرداری، اختلاف برآورد الگوریتم سبال در مقایسه با لایسی‌متر حدود ۰/۵۳ میلی‌متر در روز با ضریب تعیین ۰/۹۹۶۷ به‌دست آمد که نشان‌دهنده تفاوت نه درصدی برآورد بین دو روش است. Malekpour و همکاران (۲۰۱۷)، نتایج مشابهی را برای دشت قزوین گزارش کردند. آن‌ها با اجرای الگوریتم سبال و مقایسه با داده‌های لایسی‌متر زهکش‌دار، ضریب همبستگی و میانگین تفاضل مطلق را به ترتیب ۰/۹۹۴۸ و ۰/۴۴۶ میلی‌متر در روز به‌دست آوردند. به‌طور کلی، این نتایج بیانگر کارایی مناسب روش سنجش‌ازدور در تخمین تبخیر- تعرق هستند.

منابع مورد استفاده

- Azami, A., 2017. Derivation of soil water budget in the oak stands of Ilam province. Final report of Research Project, Published by Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 55p (In Persian).
- Bahrami, S., Sarami, R. and Khodadad, M., 2019. Survey of land surface temperature changes and evapotranspiration in relation to the standardized vegetation index using GIS (Case study: Minoodasht city). Mapping and Geospatial Information Journal of Guilan, 4(3): 24-33 (In Persian).
- Bastiaanssen, W.G.M. and Chandrapala, L., 2003. Water balance variability across Sri Lanka for assessing agricultural and environmental water use. Agricultural Water Management 58(2): 171-92.
- Ghamarnia, H., Gholamian, S.M. and Kamali, N., 2017. Estimating of crop coefficient and actual evapotranspiration of corn using Landsat8 images

دشتی کم شده است. مقدار تبخیر- تعرق در محدوده جنگلی، ارتباط مشخصی بین ارتفاع جنگل و مقدار تبخیر- تعرق نشان داد، به طوری که افزایش ارتفاع از سطح دریا در پوشش جنگلی سبب افزایش تبخیر- تعرق نیز شد. دمای سطحی زمین در جهت مخالف با تبخیر- تعرق تغییر می‌کند و رابطه‌های معنی‌داری بین سایه دامنه، ارتفاع از سطح دریا و توان بوم‌شناختی با مقدار و شدت خشکیدگی در توده‌های جنگلی وجود دارند (Najafifar, 2016; Bahrami et al., 2019). Hosseinzadeh و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی زوال جنگل‌های ایلام گزارش کردند که اثرات متقابل جهت دامنه و ارتفاع از سطح دریا بر خشکیدگی درختان بلوط، معنی‌دار هستند. نکته مهم دیگر آن است که پوشش جنگلی بلوط در صورت وجود رطوبت کافی، نیاز آبی قابل توجهی دارد. چنان‌که در بازه زمانی مورد بررسی در پژوهش پیش‌رو، مقدار تبخیر- تعرق واقعی پوشش جنگلی حدود ۳۵۶ میلی‌متر (برای حدود ۵۰ روز) برآورد شد که نشان می‌دهد مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل در پوشش جنگلی طی دوره فعالیت سالانه گیاه نسبت به اراضی زراعی و مرتعی بیشتر است. مناطق با پوشش گیاهی مترکم و دمای سطحی کم، تبخیر- تعرق بیشتری نسبت به مناطق دیگر دارند (Bahrami et al., 2019).

باتوجه به گسترده‌گی جنگل‌های زاگرس در مناطق اغلب نیمه‌خشک، پوشش جنگلی بلوط زاگرس با کمبود آب در دسترس مواجه است که می‌تواند سبب رشد کند و در موارد شدیدتر، خشکیدگی این بوم‌سازگان‌ها شود. در صورت وقوع خشک‌سالی در یک رویشگاه، درختان به تناسب وضع فیزیولوژیک خود به تنش خشکی پاسخ می‌دهند. پایه‌های درختی برای جبران کمبود رطوبت هوا و خاک و جلوگیری از هدررفت آب برگ، سطح برگ خود را کاهش داده یا به ضخامت آن می‌افزایند (Hosseini, 2015). روابط حاکم بر وضعیت آب و مقدار جذب آب توسط درخت، یکی از شاخص‌های سلامت درختان است. براساس نتایج پژوهش Thomas و Hartmann (۱۹۹۶)، محتوای نسبی آب در برگ درختان آسیب‌دیده بلوط (*Q. robur*) در جنگل‌های آلمان نسبت به درختان سالم آن حتی در دوره‌های با بارندگی کافی،

- climates of Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 10(4): 645-658 (In Persian).
- Kazemina, A., 2017. Application of remote sensing and GIS in the investigating vegetation coverage. *Geospatial Engineering Journal*, 9(1): 75-85 (In Persian).
 - Khan Hasani, M., 2001. Study of forest ecosystems of Zagross (Kermanshah province). Final Report of Research Project, Published by Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 82p (In Persian).
 - Malekpour, M., Babazadeh, H., Kaveh, F., and Ebrahimi Pak, N.A., 2017. Estimation of actual evapotranspiration and water productivity of wheat using SEBAL algorithm and Landsat 5TM images. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(4): 569-583 (In Persian).
 - Miryaghoubzadeh, M., Solaimani, K., Habibnejad Roshan, M., Shahedi, K., Abbaspour, K. and Akhavan, S., 2014. Estimation and assessment of actual evapotranspiration using remote sensing data (Case study: Tamar basin, Golestan province, Iran). *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 4(15): 89-102 (In Persian).
 - Najafifar, A., 2016. Effects of topography and site ecological capability in droughtness of oak forests, Ilam province. Final Report of Research Project, Published by Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 80p (In Persian).
 - Saberfar, R., Falahatkar, S. and Kia, S.H., 2018. Analysis of vegetation indices change in sensors of Landsat satellite (Case study: Persian juniper fields of east Golestan National Park and Ghorkhod Protected Area). *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 9(1): 71-91 (In Persian).
 - Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T. and Pourhashemi, M., 2014. *Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future*. Springer, Dordrecht, 152p.
 - Tasumi, M., Allen, R.G. and Bastiaanssen, W.G.M., 2000. The theoretical basis of SEBAL: 46-69. In: Morse, A., Tasumi, M., Allen, R.G. and Kramber, W. (Eds.). *Application of the SEBAL Methodology for Estimating Consumptive Use of Water and Streamflow Depletion in the Bear River Basin of Idaho Through Remote Sensing*. Final report to the Raytheon Systems Company, Earth Observation System Data and Information System Project, Department of Water Resources and University Idaho, Idaho, 107p.
 - Thomas, F.M. and Hartmann, G., 1996. Soil and tree water relations in mature oak stands of northern Germany differing in the degree of decline. *Annals of Forest Science*, 53(2-3): 697-720.
 - (Case study: Sarab Nilufar plain in Kermanshah). *Iran-Water Resources Research*, 12(4): 94-108 (In Persian).
 - Heshmati, M., Gheitouri, M., Sheikhvaisi, M., Arabkhedri, M. and Hoseini, M., 2017b. Combating the forest mortality crises in Zagros regions, Iran through adaptive approaches solutions. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 6(3): 125-141 (In Persian).
 - Heshmati, M., Gheitoury, M., Parvizi, Y., Ahmadi, M., Shikhveisi, M., Arabkhedri, M., ... and Shademani, A., 2017a. Effect of runoff harvesting trough crescent shaped bounds on oak dieback curtailing and increasing soil organic carbon in the Zagros Forest, Kermanshah, Iran. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 5(1): 1-8 (In Persian).
 - Heshmati, M., Gheitury, M., Parvizi, Y., Ahmadi, M., Sheikhvaisi, M., Soleimani, H., ... and Mohammadishokoh, A., 2018. Assessment of the effects of micro-catchment runoff harvesting system and forest preservation on moisture storage and understory ground cover in the Zagros forest, Kermanshah. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12(40): 95-104 (In Persian).
 - Hosseini, A., 2015. Leaf morphological and physiological responses of Persian oak trees in oak decline affected stands. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 23(2): 288-298 (In Persian).
 - Hosseini, Gh., Rahimi, M., Kartoolinejad, D. and Jafari, M., 2015. A review of climate factors affecting forest tree decline. *Proceedings of 1st National Conference on Geography, Tourism, Natural Resources and Sustainable Development*. Tehran, Iran, 19 Feb. 2015: 10p (In Persian).
 - Hosseinzade, J. and Pourhashemi, M., 2017. Emergence of desiccation within Zagros forests decline. *Journal of Iran Nature*, 2(4): 18-21 (In Persian).
 - Hosseinzadeh, J., Aazami, A. and Mohammadpour, M., 2015. Influence of topography on Brant's oak decline in Meleh-Siah Forest, Ilam Province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(1): 190-197 (In Persian).
 - Karimi, A., Farhadi Bansouleh, B. and Hesadi, H., 2013. Estimation of regional evapotranspiration using Landsat TM images and SEBAL algorithm. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(6): 353-364 (In Persian).
 - Kazemi, R. and Sharifi, F., 2019. Investigation and analysis of factors affecting base flow in different

Estimation of evapotranspiration of oak forest cover using SEBAL algorithm in the Robat Mahidasht region of Kermanshah, Iran

H. Hesadi ^{1*}, A. Behnia ², A.M. Akhoond-Ali ², S.M. Kashefi Pour ², P. Daneshkar Arasteh ³
and A.R. Karimi ⁴

1*- Corresponding author, Senior Research Expert, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran
E-mail: hhesadi@gmail.com

2- Prof., Faculty of Water Science and Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3- Associate Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

4- M.Sc. of Water Resources, Fars Province Water and Wastewater Company, Shiraz, Iran

Received: 10.01.2020

Accepted: 15.03.2021

Abstract

Oak (*Quercus* spp.) forest cover is one of the most important living ecosystems in the western region of Iran and the Kermanshah Province. One of the important managerial needs of this cover is the water requirement of the oak plant. Currently, determining the amount of water required by the oak plant is one of the main priorities of the country's natural resources sector. Among the practical methods for estimating the evapotranspiration of vegetation (water requirement) at different levels are remote sensing techniques. In this study, in order to determine the rate of evapotranspiration of forest cover in the Robat Mahidasht region in the Kermanshah Province, the SEBAL algorithm and four images of Landsat 5 in the period of June, July, and August of 2010 were used. Then, using Sentinel satellite images, the forest areas of the Robat-Mahidasht region were extracted and matched with the calculated evapotranspiration map. Based on the obtained results, the average rate of 24-hour evapotranspiration of forest cover in the desired time period has varied between 3.4 to 5.09 mm. The correlation coefficient between the estimation of evapotranspiration by SEBAL and lysimetric measurement in Mahidasht region was about 0.9967 and the absolute difference between them was about 0.53 mm per day, which indicates an error of less than 10%. The estimation of SEBAL algorithm is acceptable. Remote sensing technique and the SEBAL algorithm can be used in the compression classification and even the health of forests if there is a suitable sequence of images and with the help of satellite data of other sensors such as Sentinel images.

Keywords: Energy balance equation, Sentinel, TM sensor, Zagros forests.