Archive of SID

مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال دهم، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۷
ص ۳۸۹-۴۰۲

# مقایسهٔ قابلیت داده‌های ماهواره لندست ۸ و مدل SEBAL در برآورد تبخیر و تعرق جنگل‌های خزری با مدل ترکیبی پنمن مانتیث

**احمد عباس‌نژاد الچین[۱]، علی‌اصغر درویش‌صفت[۲*] و جواد بذرافشان[۳]**

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
[۲]استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
[۳]استادیار گروه آبیاری و آبادانی بین‌رشته‌ای، دانشکدهٔ مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۳)

## چکیده

روش‌های متکی بر سنجش از دور، برای رفع محدودیت‌های روش‌های مستقیم اندازه‌گیری تبخیر و تعرق ایجاد شده‌اند. هدف تحقیق حاضر، بررسی قابلیت تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ و مدل SEBAL در برآورد تبخیر و تعرق واقعی لحظه‌ای ($ET_{INST}$) و روزانهٔ ($ET_{24}$) اکوسیستم‌های جنگلی است. برای این منظور، تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ در چهار زمان برای جنگل‌های شهرستان رامسر تهیه و پس از پردازش و محاسبات لازم از جمله شاخص NDVI، دمای سطحی، گسیلندگی و آلبیدو بر روی تصاویر، همهٔ مؤلفه‌های انرژی در سطح تبخیر و تعرق از جمله شار تابش خالص، شار گرمای خاک، شار گرمای محسوس و در نهایت شار گرمای نهان از تصاویر برآورد و برپایهٔ شار گرمای نهان مقادیر $ET_{INST}$ و $ET_{24}$ به‌صورت نقشه تهیه شد. برای اعتبارسنجی $ET_{INST}$ و $ET_{24}$ برآوردشده، داده‌های سه‌ساعتی ایستگاه سینوپتیک هواشناسی رامسر تهیه و این دو پارامتر به روش پنمن مانتیث فائو محاسبه شد. متوسط $ET_{INST}$ و $ET_{24}$ برآوردشده به‌ترتیب ۰/۴۵ و ۳/۹۸ و متوسط محاسبه‌شدهٔ این دو پارامتر به‌ترتیب ۰/۵۵ و ۴/۶۲ است. نتایج نشان داد که اختلاف به‌نسبت کم و مقدار آن در چهار تاریخ بررسی‌شده از ۸/۳۸ تا ۱۵/۱۷ درصد در مقیاس لحظه‌ای و از ۱۱/۴۱ تا ۱۸/۳۴ درصد در مقیاس روزانه است. همچنین میانگین درصد اختلاف نسبی برآوردشده برای $ET_{INST}$ و $ET_{24}$ به‌ترتیب ۱۱/۴۵ و ۱۴/۲۷ درصد است که در مجموع توانایی زیاد رویکرد به‌کاررفته در برآورد تبخیر و تعرق را نشان می‌دهد. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت رویکرد استفاده‌شده در این تحقیق قابلیت تهیهٔ نقشهٔ تبخیر و تعرق در جنگل‌های شمال ایران در فصل‌های بهار و تابستان را دارد.

**واژه‌های کلیدی:** پنمن مانتیث فائو، تبخیر و تعرق، سنجش از دور، لندست ۸، SEBAL.

## مقدمه

جنگل‌های شمال ایران، باقی‌ماندهٔ جنگل‌های دوران سوم زمین‌شناسی است و از نظر تنوع گونه‌های چوبی جزو جنگل‌های غنی محسوب می‌شود. این جنگل‌ها تأثیر مهمی در تأمین آب و ذخیرهٔ آب آشامیدنی دارد. از این‌رو کسب اطلاعات در زمینه‌های مختلف آن از جمله تبخیر و تعرق[۱] (ET)، در انتخاب راهکارهای صحیح مدیریتی برای حفظ، توسعه و

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۲۶۳۲۲۲۳۰۴۴
ایمیل: adarvish@ut.ac.ir

1. Evapotranspiration

www.SID.ir

Archive of SID


پایش این جنگل‌ها مانند تعیین نیاز آبی برای احیای مناطق مخروبه کمک‌کننده خواهد بود (Marvie Mohadjer, 2011).

تبخیر و تعرق به‌عنوان یک عامل کنترل‌کننده در چرخهٔ آب و انتقال انرژی بین بیوسفر، اتمسفر و هیدروسفر، اهمیت زیادی در هیدرولوژی، هواشناسی و کشاورزی، از جمله پیش‌بینی و برآورد سیلاب و آب‌های زیرزمینی در مقیاس منطقه‌ای، تعیین مقدار تبخیر مخازن آب، شبیه‌سازی گردش جوی و تغییرات آب‌وهوای جهان در مقیاس بزرگ و برنامه‌ریزی آبیاری در مقیاس میدانی دارد (Zhao et al., 2009). علاوه‌بر این موارد، تبخیر و تعرق پارامتری مهم در زمینه‌هایی نظیر هیدرولوژی، کشاورزی، جنگل، مرتع و منابع آب (Delgarm et al., 2015) و همچنین از اساسی‌ترین پارامترهای معادلات بودجهٔ آب و انرژی سطح زمین است (Attarod et al., 2015). روش‌ها و معادلات مختلفی در هواشناسی و هیدرولوژی برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق وجود دارد که به‌عنوان روش‌های مستقیم شناخته می‌شوند (Alizadeh, 2011)؛ اما این روش‌ها اغلب وقتگیر، پرهزینه و دشوارند. علاوه‌بر این، مقدار تبخیر و تعرق را به‌صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری می‌کنند و در نتیجه، استفاده از این روش‌ها در سطوح محلی و منطقه‌ای آسان نخواهد بود؛ چراکه تبخیر و تعرق تحت تأثیر شرایط رویشی و مدیریتی و محیطی قرار دارد و این پارامترها در زمان و مکان متغیر خواهند بود (Dominique et al., 2005).

سنجش از دور به‌عنوان علم، فن و هنر کسب اطلاعات از پدیده‌ها از راه دور، می‌تواند تأثیر مهمی در جمع‌آوری اطلاعات با هزینهٔ اندک از مناطق وسیع داشته باشد (Aronoff, 2005). پیشرفت‌های سنجش از دور، امکان برآورد تبخیر و تعرق واقعی[1] ($ET_A$) را در سطح وسیعی فراهم کرده است (Ayad et al., 2016). در تحقیقات زیادی برای تخمین ET و توزیع زمانی و مکانی آن از داده‌های ماهواره‌ای استفاده کرده‌اند. برآورد تبخیر و تعرق به کمک سنجش از دور اهمیت زیادی نسبت به روش‌های نقطه‌ای دارد، چراکه دسترسی بهتر، پوشش مناسب از لحاظ مکان و زمان، هزینهٔ کم و به‌روز بودن اطلاعات را به‌همراه دارد (Maes & steppe, 2012) و از اطلاعات پیوستهٔ آن می‌توان در برنامه‌ریزی و شرایط مدیریتی مختلف استفاده کرد (Nosrati et al., 2016). روش‌های سنجش از دوری برآورد تبخیر و تعرق به‌طور کلی به دو دستهٔ مدل‌های تک‌منبعی و دومنبعی تقسیم می‌شوند. مدل پرکاربرد SEBAL[2] از جمله مدل‌های تک‌منبعی پردازش تصویر برای محاسبهٔ تبخیر و تعرق است، که اغلب برای سطوح مسطح کاربرد دارد و در صورت به‌کارگیری برای مناطق کوهستانی باید براساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه اصلاح شود (Zhao et al., 2009).

Soheylifar et al. (2013) با استفاده از داده‌های سنجندهٔ MODIS، مطالعه‌ای با هدف برآورد و ارزیابی $ET_A$ توسط مدل SEBAL در کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان استان خوزستان انجام دادند. نتایج نشان داد که میانگین تبخیر و تعرق برآوردشده ۳/۰۴ میلی‌متر در روز است. مقایسهٔ مقدار $ET_A$ برآوردشده با مقدار $ET_A$ اندازه‌گیری‌شده به روش پنمن مانتیث نشان داد که مدل SEBAL با RMSE ۰/۶۶ میلی‌متر در روز و ضریب همبستگی ۰/۷۷ توانایی خوبی در برآورد $ET_A$ دارد.

همچنین Mushtagh et al. (2015) توانایی مدل SEBAL در برآورد $ET_A$ را با استفاده از داده‌های لندست ۵ در استان اصفهان بررسی کردند. مقایسهٔ مقادیر $ET_A$ برآوردشده با $ET_A$ مشاهده‌شده از روش پنمن مانتیث توانایی زیاد مدل سبال در برآورد $ET_A$ را نشان داد. Farhadi Bansouleh et al. (2016) توانایی مدل SEBS را در برآورد $ET_A$ با استفاده از تصاویر سنجنده TM در کرمانشاه بررسی کردند. نتایج مقایسه با $ET_A$ حاصل از دستگاه اندازه‌گیری تبخیر و تعرق (لایسیمتر) نشان داد که حداکثر اختلاف،

1. Actual evapotranspiration
2. Surface Energy Balance Algorithm for Land

www.SID.ir

Archive of SID


۰/۳۴میلی‌متر (۴/۵۶ درصد) است.

Singh & Senay (2015) با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ و ۷ مقدار $ET_A$ برآوردشده از چهار مدل METRIC, SEBAL, SEBS و SSEBop[1] را در ایالت نبراسکا (آمریکا) مقایسه کردند. نتایج نشان داد که هر چهار مدل توانایی خوبی در برآورد $ET_A$ در زمان‌ها و مکان‌های مختلف دارند. اما صحت برآورد تبخیر و تعرق از دو مدل METRIC و SSEBop کمی بیشتر از دو مدل SEBAL و SEBSبوده است. Bhattarai et al. (2012) با استفاده از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۵ صحت $ET_A$ برآوردشده از مدل SEBAL را در ایالت فلوریدای آمریکا بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل SEBAL با ضریب تعیین ($R^2$) روزانه= ۰/۸۲، ماهانه= ۰/۷۷ و ضریب کارایی نش- ساتکلیف[2] (NSE) روزانه= ۰/۸۳، ماهانه= ۰/۷۷ توانایی خوبی در برآورد $ET_A$ دارد. Ruhoff et al. (2012) با استفاده از تصویر سنجندهٔ MODIS توانایی مدلSEBAL در برآورد شار نهان و $ET_A$ در منطقه‌ای با اقلیم ساوان در برزیل را بررسی کردند. نتایج نشان داد که $R^2$ شار گرمای نهان روزانه برای کاربری‌های علفزار و کشاورزی به‌ترتیب ۰/۶۶ و ۰/۷۶ و برای $ET_A$ منطقه ۰/۸۸ است. Senay et al. (2016) برای تعیین نیاز آبی محصولات کشاورزی در ایالات متحدهٔ آمریکا، مقدار $ET_A$ را با استفاده از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ و مدل SSEBop برآورد کردند. اعتبارسنجی $ET_A$ برآوردشده، RMSE ۰/۴۸ میلی‌متر (۱۳ درصد) تا ۰/۶۰ میلی‌متر (۲۲ درصد) در مقیاس روزانه و ۰/۷۵ میلی‌متر (۲ درصد) تا ۱۳/۰۴ میلی‌متر (۳۵ درصد) در مقیاس ماهانه را نشان داد که بیانگر توانایی زیاد تصاویر لندست و مدل SSEBop در برآورد $ET_A$ است. مدل سبال یک مدل تک‌منبعی است که خاک و پوشش گیاهی را در یک سطح در نظر می‌گیرد و مقاومت آیرودینامیکی یکسانی برای آن تعریف می‌کند. در نتیجه این مدل برای مناطقی که پوشش گیاهی کل سطح را پوشانده، مانند جنگل‌های شمال مناسب‌تر است. البته چنین تحقیقاتی باید در دیگر رویشگاه‌های جنگلی ایران با مدل‌های مناسب آنها انجام گیرد.

تحقیقات در ایران و جهان توانایی زیاد مدل‌های سنجش از دوری در برآورد $ET_A$ را نشان می‌دهند، اما با توجه به اینکه تحقیقات در زمینهٔ کشاورزی و سطوح مسطح صورت گرفته، لزوم اجرای تحقیقی که قابلیت داده‌های ماهوارهٔ لندست ۸ و مدل SEBAL در برآورد تبخیر و تعرق واقعی جنگل را نشان دهد، احساس می‌شود.

## مواد و روش‌ها

### منطقهٔ پژوهش

منطقهٔ تحقیق، بخشی از حوضهٔ آبخیز شمارهٔ ۳۰ جنگل‌های شمال کشور، واقع در شهرستان رامسر، با طول جغرافیایی ´۵۰ °۳۷ تا ´۴۵ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ´۳۶ °۵۲ تا ´۳۶ °۵۶ شمالی است (شکل ۱). مساحت منطقه که نقشهٔ تبخیر و تعرق واقعی برای آن تهیه شد، ۴۴۰۰ هکتار و تغییرات ارتفاعی ۱۲۲۰ متر است که از این مساحت در حدود ۲۱۰۰ هکتار آن دارای پوشش جنگلی است. براساس آمار ادارهٔ منابع طبیعی رامسر، گونه‌های ممرز و راش بیشترین فراوانی و گونه‌های بلندمازو، توسکای ییلاقی، توسکای قشلاقی، ون، پلت و شمشاد با درصد فراوانی کمتر نسبت به ممرز و راش، گونه‌های اصلی منطقهٔ تحقیق را تشکیل می‌دهند و جنگل از تراکم به‌نسبت زیادی برخوردار است.

### روش پژوهش

#### داده‌های مورد استفاده

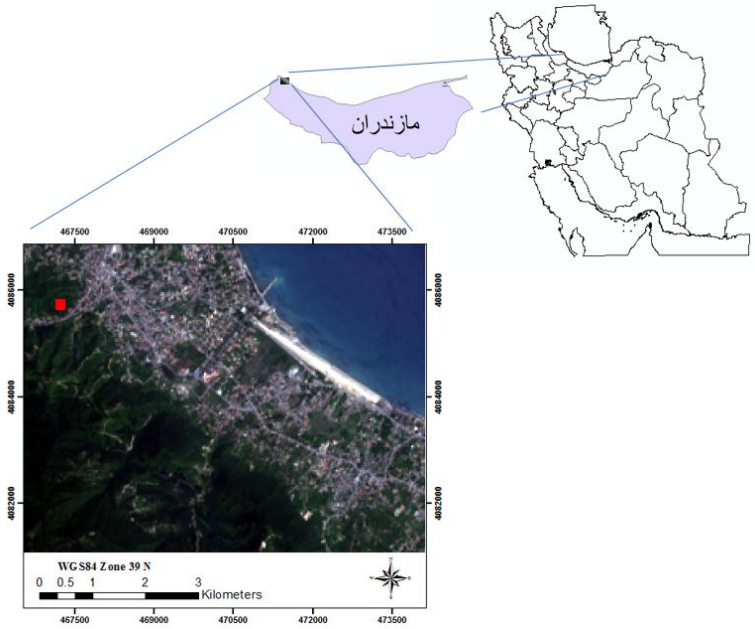
داده‌های سنجنده‌های OLI و TIRS ماهوارهٔ لندست ۸ به شمارهٔ گذر ۱۶۵ و ردیف ۳۴ با سطح تصحیحات L1T در ۴ تاریخ ۲۰۱۳/۰۶/۰۳، ۲۰۱۴/۰۵/۰۵، ۲۰۱۴/۰۸/۰۹ و ۲۰۱۵/۰۷/۲۷ از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) تهیه

1. Operational Simplified Surface Energy Balance
2. Nash–Sutcliffe Efficiency

www.SID.ir

Archive of SID


شد. انتخاب تصاویر از تاریخ‌های اواخر بهار و فصل تابستان، به‌دلیل فصل رویش این جنگل‌ها و اهمیت زیاد تبخیر و تعرق در این زمان‌ها نسبت به فصل‌های پاییز و زمستان که درختان در حال خزان و خواب زمستانی هستند، است. یک برگ نقشهٔ توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ نیز برای کنترل هندسی تصاویر و همچنین تهیهٔ مدل رقومی ارتفاع مورد نیاز در مدل استفاده شد. علاوه‌بر اینها داده‌های ۳ ساعتی ایستگاه سینوپتیک هواشناسی رامسر با طول جغرافیایی "۵۰°۳۷'۵۴ شرقی و عرض جغرافیایی "۳۶°۵۴'۵۳ شمالی که در محدودهٔ جنگل‌های رامسر قرار دارد، برای تاریخ‌های یادشده از سازمان هواشناسی کشور تهیه و در محاسبات $ET_A$ با روش پنمن مانتیث فائو استفاده شد.




شکل ۱- تصویر ترکیب رنگی حقیقی RGB(432) لندست ۸ از منطقهٔ تحقیق و موقعیت آن در ایران و استان مازندران و همچنین محل ایستگاه هواشناسی رامسر روی تصویر (نقطهٔ قرمز)

**پیش‌پردازش‌ها**

به‌منظور بررسی وضعیت هندسی تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی ۳۰ متر، لایهٔ راه‌های منطقه از نقشه‌های توپوگرافی رقومی استخراج و با قرار دادن آن روی تصاویر ماهواره‌ای، تطابق هندسی آنها بررسی شد. همچنین با مشاهدهٔ تک‌باندها و ترکیبات رنگی مختلف پس از بهبود کنتراست، ضمن بزرگنمایی، روی نمایشگر رایانه کیفیت رادیومتری تصاویر نیز بررسی شد. تجزیه‌وتحلیل رقومی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام گرفت.

**تصحیح اتمسفری**

برای تصحیح تأثیرات اتمسفری از الگوریتم معتبر و پرکاربرد FLAASH استفاده شد. در این زمینه باید ارزش‌های تصاویر (DN ها) به رادیانس تبدیل می‌شد (رابطهٔ ۱) (Ayad et al., 2016). در این الگوریتم، علاوه بر مشخصات مداری ماهواره و سنجنده، پس از تعیین مدل اتمسفری متناسب با عرض جغرافیایی منطقه، مدل مناسب هوایز (rural)، از کدهای استاندارد حاصل از برنامهٔ MODTRAN برای شرایط تعیین‌شده استفاده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID


رابطهٔ ۱ $L\lambda = (Gain \times DN) + Bias$

Lλ رادیانس (Watts/(m2*srad*µm))، DN عدد دیجیتالی هر پیکسل، $Bias$ و $Gain$ پارامترهای کالیبراسیون است. مقادیر $Bias$ و $Gain$ در فایل Header تصاویر موجود است.

**محاسبهٔ تبخیر و تعرق واقعی براساس تصاویر و مدل SEBAL**

**الگوریتم تعادل انرژی سطحی**

پارامتر اصلی محاسبهٔ تبخیر و تعرق واقعی براساس تصاویر، شار گرمای نهان است که برپایهٔ الگوریتم تعادل انرژی سطحی که معادلهٔ آن به‌صورت رابطهٔ ۲ است می‌توان آن را محاسبه کرد (Yuei & Sanjid, 2014).

رابطهٔ ۲ $\lambda ET=Rn-G-H$

Rn شار تابش خالص ($W/m^2$)، G شار گرمایی خاک برحسب ($W/m^2$)، H شار گرمای محسوس برحسب ($W/m^2$)، و $\lambda ET$ شار گرمای نهان تبخیر ($W/m^2$) است. برای اجرای الگوریتم مذکور، به متغیرهایی نیاز است که در ادامه به‌اختصار معرفی می‌شوند.

**شار گرمای خالص $R_n$**

شار تابش خالص ($R_n$) نشان‌دهندهٔ مجموع انرژی گرمایی است، که مقدار آن براساس اختلاف بین تابش ورودی و خروجی در طول موج‌های بلند و کوتاه محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۳).

رابطهٔ ۳ $R_n=(1-\alpha)R_s\downarrow+R_L\downarrow-R_L\uparrow-(1-\varepsilon_o)R_L\downarrow$

$R_s\downarrow$ تابش طول موج کوتاه ورودی ($W\cdot m^{-2}$)، $R_L\downarrow$ تابش طول موج بلند ورودی ($W\cdot m^{-2}$)، $R_L\uparrow$ تابش طول موج بلند خروجی ($W\cdot m^{-2}$)، α ضریب آلبیدوی سطحی و $\varepsilon_o$ ضریب گسیلندگی سطحی است.

**آلبیدو سطحی**

آلبیدو به بیان ساده نسبت امواج الکترومغناطیس بازتاب‌یافته از سطح جسم به امواج رسیده به جسم است که مقدار آن با استفاده از بازتاب‌های ثبت‌شده در تصاویر و ضرایب وزنی هر باند و براساس روابط تحقیق Ayad et al. (2016) برآورد می‌شود.

**گسیلندگی سطحی**

گسیلندگی سطحی عبارت است از نسبت انرژی حرارتی بازتاب‌یافته از سطح جسم به انرژی حرارتی بازتاب‌یافته از جسم سیاه در همان دما. مقدار گسیلندگی براساس شاخص سطح برگ و نوع کاربری محاسبه می‌شود. مقدار این پارامتر برای هر پیکسل با استفاده از شاخص سطح برگ و براساس رابطه‌های ۴ و ۵ محاسبه شد (Allen et al., 2002).

رابطهٔ ۴ $\varepsilon_0 = 0.95 + 0.01 \times LAI$

رابطهٔ ۵ $LAI = -\frac{\ln(\frac{0.73-SAVI}{0.5})}{0.3}$

LAI شاخص سطح برگ و SAVI شاخص گیاهی تعدیل خاک است.

رابطهٔ ۴ برای پیکسل‌هایی با شاخص سطح برگ بزرگ‌تر از سه کاربرد دارد. پیکسل‌هایی که مقدار این شاخص در آنها کمتر و مساوی سه است، $\varepsilon_0 = 0.98$ و برای مناطق پوشیده از آب (دریا، دریاچه و...) نیز $\varepsilon_0 = 0.985$ در نظر گرفته می‌شود (Allen et al., 2002).

**دمای سطح زمین**

دمای سطح زمین براساس رابطهٔ ۶ محاسبه می‌شود.

رابطهٔ ۶ $T_S = \frac{K_2}{In(\frac{\varepsilon_0 \cdot K_1}{L\lambda}+1)}$

$T_S$ دمای سطح زمین به کلوین، Lλ رادیانس باند حرارتی لندست ۸ (باندهای ۱۰ و ۱۱) و $K_1$ و $K_2$

www.SID.ir

Archive of SID


ضریب ثابت برای باندهای حرارتی تصویر است که از Header تصاویر استخراج می‌شود.

**تابش طول موج کوتاه ورودی $R_s\downarrow$**

مقدار این تابش در زمان عبور ماهواره با استفاده از رابطهٔ ۷ محاسبه می‌شود.

$$Rs\downarrow = (G_{SC} \times COS\theta \times d_r \times \tau_{sw}) \quad \text{رابطهٔ ۷}$$

$G_{SC}$ ثابت خورشیدی ۱۳۶۷ ($W{\cdot}m^{-2}$)، $\theta$ زاویهٔ تابش خورشید در لحظهٔ عبور ماهواره، dr معکوس مربع فاصلهٔ نسبی زمین تا خورشید و $\tau_{sw}$ شفافیت اتمسفر است.

**تابش طول موج بلند ورودی $R_L\downarrow$**

تابش طول موج بلند ورودی بخشی از امواج بازتاب‌یافته از زمین به‌سمت جو است که مجدداً به‌صورت شار حرارتی به‌سمت زمین بازمی‌گردند. مقدار این تابش که به محل و زمان تصویربرداری وابسته است، براساس رابطهٔ استفان بولتزمن (رابطهٔ ۸) محاسبه می‌شود (Zhao et al., 2009).

$$RL\downarrow = \varepsilon_a \times \sigma \times Ta^4 \quad \text{رابطهٔ ۸}$$

$\varepsilon_a$گسیلندگی جو، $\sigma$ ثابت استفان بولتزمن $5.67 \times 10^{-8}\ W/m^2\ /K^4$ و Ta دمای هوای نزدیک سطح زمین به کلوین است.

**تابش طول موج بلند خروجی $RL\uparrow$**

تابش طول موج بلند خروجی نیز با استفاده از معادلهٔ استفان بولتزمن ( رابطهٔ ۹) محاسبه می‌شود.

$$RL\uparrow = \varepsilon_0 \times \sigma \times Ts^4 \quad \text{رابطهٔ ۹}$$

$\varepsilon_0$گسیلندگی سطحی و Ts دمای سطح زمین به کلوین است.

**شار گرمایی خاک G**

شار گرمای خاک مقدار ذخیرهٔ گرمایی خاک و پوشش گیاهی ناشی از هدایت مولکولی آنهاست. که از نسبت آن به شار گرمای خالص و با استفاده از رابطهٔ ۱۰ محاسبه می‌شود.

رابطهٔ ۱۰

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_S}{a_s} \times (0.0038 \times a_s + 0.0074 \times {a_s}^2) \times (1 - 0.98 \times NDVI^4)$$

$G$ شار گرمای خاک ($W{\cdot}m^{-2}$)، $R_n$ شار گرمای خالص ($W{\cdot}m^{-2}$)، $a_s$ آلبیدوی سطحی و NDVI شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای است. که براساس باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۱۱).

$$NDVI = (B5-B4)/(B5+B4) \quad \text{رابطهٔ ۱۱}$$

B5 باند مادون قرمز نزدیک و B4 باند قرمز لندست ۸ است.

**شار گرمای محسوس H**

شار گرمای محسوس که بیانگر مقدار هدررفت گرما به هوا از طریق جریان همرفت و هدایت مولکولی ناشی از اختلاف دماست، از رابطهٔ ۱۲ محاسبه می‌شود.

$$H = \frac{\rho \times Cp \times dT}{r_{ah}} \quad \text{رابطهٔ ۱۲}$$

H شار گرمای محسوس ($W{\cdot}m^{-2}$)، $\rho$ چگالی هوا (kg/m3)، $C_p$ گرمای ویژهٔ هوا (۱۰۰۴ J/kg/K)، $dT$ اختلاف دمای نزدیک سطح، $T_a$ دمای هوا به کلوین و $r_{ah}$ مقاومت آیرودینامیکی است.

در رابطهٔ ۱۲ مقدار $r_{ah}$ براساس سرعت باد و زبری سطح (ارتفاع درختان) است که خود براساس شاخص NDVI محاسبه می‌شود؛ اما برای محاسبهٔ $dT$ از دو پیکسل سرد و گرم استفاده می‌شود که ارزیابی شار گرمای محسوس و نهان در آنها امکان‌پذیر است. با محاسبهٔ $dT$ برای پیکسل‌های سرد و گرم و ایجاد رابطهٔ خطی بین آنها مقدار $dT$ برای

www.SID.ir

Archive of SID


پیکسل‌های دیگر محاسبه می‌شود. شار گرمای محسوس محاسبه‌شده از رابطهٔ ۱۲ به‌عنوان شار گرمای محسوس اولیه شناخته می‌شود؛ زیرا تأثیرات نیروی ارشمیدس که به‌دلیل گرمای سطحی به‌وجود می‌آید، بر شار گرمای محسوس در نظر گرفته نشده است. برای حل این مشکل و تبدیل این شار به شار گرمای، از تئوری مونین ابوخوف (Monin-Obukhov) در یک فرایند تکراری استفاده شد.

**محاسبهٔ تبخیر و تعرق واقعی لحظه‌ای و ساعتی**

$\mathrm{ET_A}$ که از محاسبهٔ شار گرمای نهان براساس تصاویر ماهواره‌ای و به‌صورت یک نقشه تهیه می‌شود، تبخیر و تعرق واقعی لحظه‌ای ($ET_{INST}$) است. با توجه به اینکه مقدار $ET_{INST}$ بسیار کم است و نیز کوتاه‌ترین دورهٔ زمانی که ایستگاه‌های هواشناسی داده‌های هواشناسی را ثبت می‌کنند، یک ساعت است، می‌توان $\mathrm{ET_A}$ ساعتی با فرض ثابت بودن $\mathrm{ET_A}$ در مدت یک ساعت را از رابطهٔ ۱۳ محاسبه کرد.

$$ET_{INST} = 3600 \times \lambda \mathrm{ET}/\lambda \qquad \text{رابطهٔ ۱۳}$$

$ET_{INST}$ تبخیر و تعرق واقعی لحظه‌ای (mm/hr)، $\lambda$ گرمای نهان تبخیر (J/Kg)، $\lambda \mathrm{ET}$ شار گرمای نهان و ۳۶۰۰ برای تبدیل ثانیه به ساعت است.

**محاسبهٔ تبخیر و تعرق واقعی روزانه**

تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از کسر تبخیر و براساس رابطهٔ ۱۴ برآورد می‌شود.

$$ET_{24} = \frac{86400EF(R_{n24}-G_{24})}{\lambda} \qquad \text{رابطهٔ ۱۴}$$

$ET_{24}$ تبخیر و تعرق واقعی روزانه (mm/day)، EF کسر تبخیر، $R_{n24}$ تابش خالص در طول روز و $G_{24}$ شار گرمای خاک در طول روز است. مقدار شار گرمای خاک در طول روز بسیار کم و تقریباً نزدیک به صفر $G_{24} \cong 0$ است. $R_{n24}$ و EF به‌ترتیب براساس روابط ۱۵ و ۱۶ محاسبه می‌شود.

$$R_{n24} = (1-a) \times R_a \times \tau_{sw} - 100 \times \tau_{sw} \qquad \text{رابطهٔ ۱۵}$$

$$\mathrm{EF} = \frac{\mathrm{R_n - G - H}}{\mathrm{R_n - G}} \qquad \text{رابطهٔ ۱۶}$$

$R_a$ تابش فرازمینی است که از روابط متداول هواشناسی محاسبه می‌شود (Alizadeh, 2011).

**محاسبهٔ تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از داده‌های هواشناسی**

برای مقایسه و ارزیابی مقادیر تبخیر و تعرق برآوردشده از تصاویر ماهواره‌ای، باید این مقادیر به روش میدانی و با استفاده از داده‌های هواشناسی نیز محاسبه شود. برای این کار، تبخیر و تعرق مرجع ساعتی و روزانه از روش پنمن مانتیث فائو (Attarod et al., 2015) و با استفاده از ضریب منظر ($K_L$)[1] به $\mathrm{ET_A}$ در محل ایستگاه هواشناسی تبدیل شد. این ضریب براساس روش WUCOLS[2] که توسط بخش منابع آب دانشگاه کالیفرنیا توسعه‌یافته (Khosroshahi. 2013; http://toolbox.calwep.org/wiki/WUCOLS) معادل ۰/۹۳۶ محاسبه شد. براساس این روش و جدول‌های آن، مقادیری برای سه عامل گونه، تراکم و ریزاقلیم متناسب با شرایط منطقه استخراج و ضریب منظر با استفاده از رابطهٔ ۱۷ محاسبه شد.

$$k_l = k_s \times k_d \times k_{mc} \qquad \text{رابطهٔ ۱۷}$$

$k_s$ ضریب گونه، $k_d$ ضریب تراکم و $k_{mc}$ ضریب ریزاقلیم است. ضریب گونه براساس جدول WUCOLS III برابر ۰/۶، ضریب تراکم براساس تراکم درختان برابر ۱/۳ و ضریب ریزاقلیم براساس ارتفاع منطقه از سطح دریا و ارتفاع متوسط درختان برابر ۱/۲ در نظر گرفته شد.

ضرورت استفاده از ضریب منظر به‌جای ضریب گیاهی، جنگلی بودن منطقه و شرایط کاملاً متفاوت آن با مزارع و باغ‌های کشاورزی است.

1. Landscape coefficient
2. Water Use Classification of Land Scape species

www.SID.ir

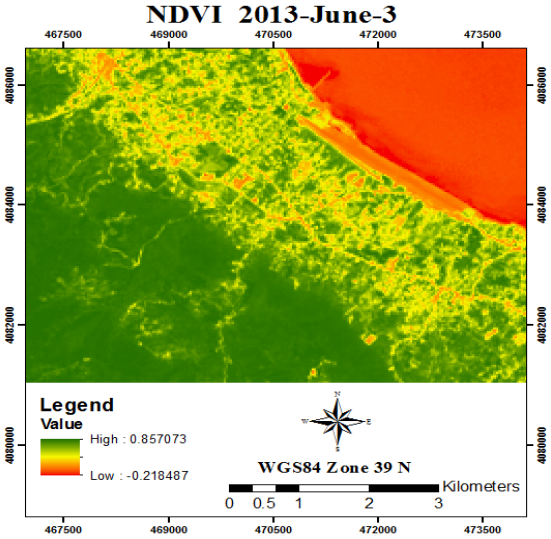
Archive of SID


### اعتبارسنجی تبخیر و تعرق برآوردشده از تصاویر ماهواره‌ای

برای اعتبارسنجی مقادیر تبخیر و تعرق برآوردشده از تصاویر ماهواره‌ای براساس مدل SEBAL، مقدار $ET_A$ در محل پیکسل مربوط به مکان ایستگاه هواشناسی از نقشهٔ تبخیر و تعرق برآوردشده استخراج و با مقدار $ET_A$ اندازه‌گیری‌شده از روش پنمن مانتیث فائو مقایسه و براساس آماره‌های اختلاف مطلق و میانگین آن (MAE)، درصد اختلاف نسبی و میانگین آن (MRE) ارزیابی شد.

### نتایج

بررسی کیفیت تصاویر نشان داد که همهٔ تصاویر مطالعه‌شده از نظر رادیومتری و هندسی از کیفیت خوبی برخوردارند و به تصحیحات تکمیلی نیاز نیست. یکی از پردازش‌های ضروری، محاسبهٔ NDVI است که یکی از تصاویر محاسبه‌شده به‌عنوان نمونه در شکل ۲ ارائه شده است.




شکل ۲- تصویر NDVI محاسبه‌شده از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۳/۰۶/۰۳

از دیگر پردازش‌های لازم برای محاسبهٔ تبخیر و تعرق به روش SEBAL، محاسبهٔ نقشهٔ دمای سطح زمین برآورد از تصویر ماهواره‌ای است که یکی از چهار نقشهٔ دمای محاسبه‌شده در شکل ۳ آمده است. این نقشه نشان می‌دهد که سطوح پوشیده از آب و مناطق مسکونی (به‌خصوص سطوح آسفالت‌شده) به‌ترتیب حداقل و حداکثر دما را در هر چهار تاریخ تصاویر دارند. این در حالی است که سطوح پوشیده از جنگل دمای متعادل‌تری نسبت به دو سطوح پوشیده از آب و مناطق مسکونی دارند. همچنین در سطح منطقهٔ جنگلی، مناطق دارای شاخص NDVI بیشتر (تراکم بیشتر پوشش درختان)، دمای سطحی کمتری از مناطق دارای شاخص NDVI کمتر دارند. علاوه بر اینها، مقایسهٔ متوسط دمای سطحی در چهار تاریخ تصاویر نشان داد که منطقهٔ تحقیق در تاریخ‌های ۲۰۱۴/۰۵/۰۵ و ۲۰۱۵/۷۰/۲۷ به‌ترتیب حداقل (۲۹۸/۰۸۵ کلوین) و حداکثر (۳۰۳/۴۷ کلوین) دمای سطح را داشته است.

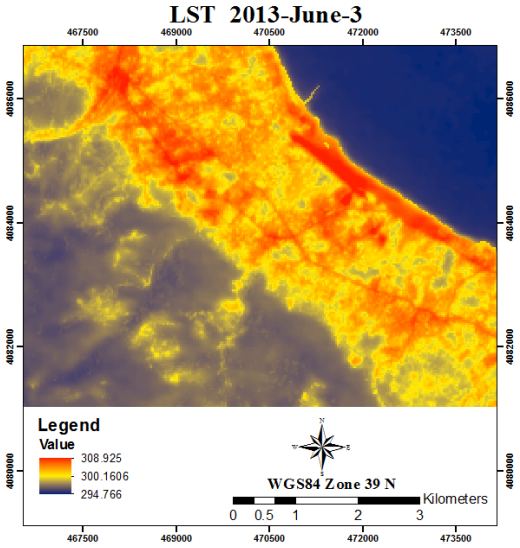
### تبخیر و تعرق واقعی برآوردی به روش مدل SEBAL

نقشه‌های $ET_A$ لحظه‌ای ($ET_{INST}$) و روزانه ($ET_{24}$) به روش SEBAL و با استفاده از تصاویر در

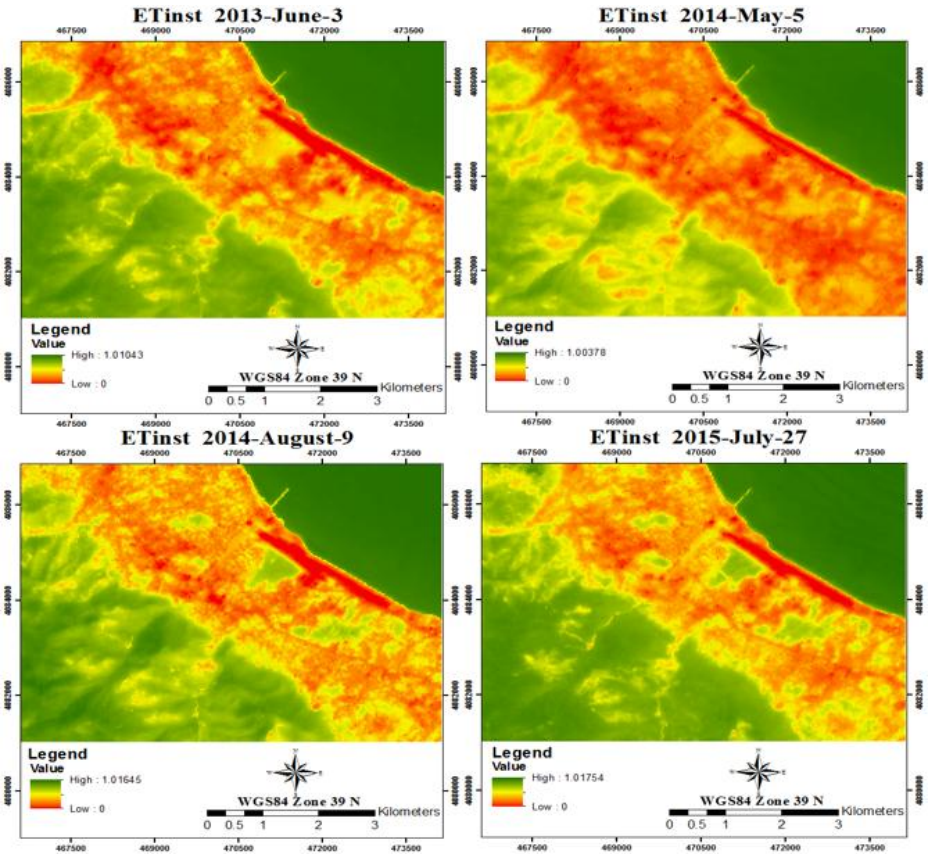
www.SID.ir

Archive of SID


چهار مقطع زمانی محاسبه شدند که نمونـه‌ای از آنهـا به‌ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده‌اند.



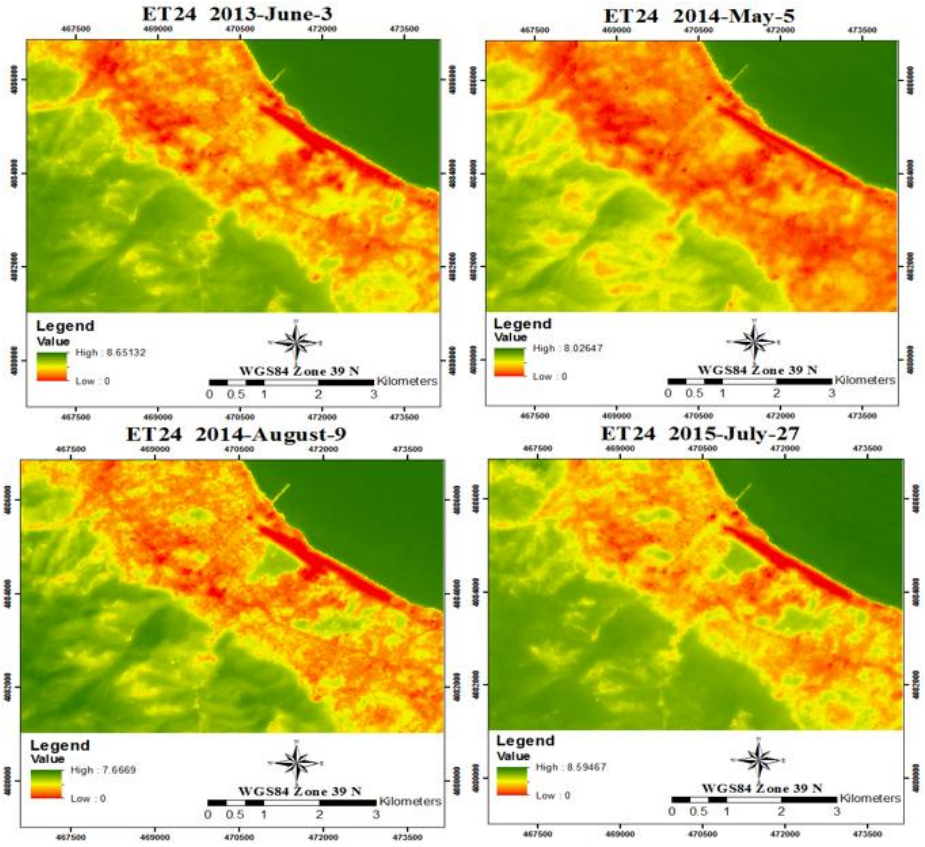

شکل ۳- نقشهٔ دمای سطح زمین(LST) برآوردشده (برحسب کلوین) از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۳/۰۶/۰۳




شکل ۴- تبخیر و تعرق لحظه‌ای محاسبه‌شده (برحسب mm/hr) از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ در تاریخ‌های ۲۰۱۴/۰۶/۰۳، ۲۰۱۴/۰۵/۰۵، ۲۰۱۴/۰۸/۰۹ و ۲۰۱۵/۰۷/۲۷

www.SID.ir

Archive of SID


شکل ۵- تبخیر و تعرق روزانه برآوردشده (برحسب mm/day) از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ در تاریخ‌های ۲۰۱۴/۰۶/۰۳، ۲۰۱۴/۰۵/۰۵، ۲۰۱۴/۰۸/۰۹ و ۲۰۱۵/۰۷/۲۷

نقشه‌های تهیه‌شده، تغییرات زمانی و مکانی $ET_A$ در سطح منطقه را نشان می‌دهد. مقایسهٔ متوسط $ET_A$ برآوردشده در سطح منطقه در مقیاس‌های لحظه‌ای و روزانه نشان می‌دهد که تبخیر و تعرق در تاریخ‌های ۲۰۱۴/۰۵/۰۵ و ۲۰۱۵/۰۷/۲۷ به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقدار خود را دارد. مقدار تبخیر و تعرق لحظه‌ای و روزانه در محل ایستگاه هواشناسی از نقشه‌های محاسبه‌شده استخراج و با مقادیر واقعی آنها مقایسه شد.

مقادیر $ET_{INST}$ و $ET_{24}$ اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده در محل ایستگاه هواشناسی در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. این جدول‌ها نشان می‌دهد که $ET_{INST}$ برآوردشده در تاریخ‌های ۲۰۱۵/۰۷/۲۷ و ۲۰۱۴/۰۸/۰۹ به‌ترتیب با درصد خطای نسبی ۸/۳۸ و ۱۵/۱۷ به‌ترتیب حداقل و حداکثر خطای نسبی را دارد. همچنین میانگین اختلاف مطلق و درصد میانگین اختلاف نسبی $ET_{INST}$ برآوردشده در چهار تاریخ به‌ترتیب ۰/۰۵۹ و ۱۱/۴۹ است. $ET_{24}$ برآوردشده نیز همانند $ET_{INST}$ برآوردشده در تاریخ‌های ۲۰۱۵/۰۷/۲۷ و ۲۰۱۴/۰۸/۰۹ به‌ترتیب با درصد خطای نسبی ۱۱/۴۱ و ۱۸/۳۳ حداقل و حداکثر مقدار خطا نسبی را دارد. همچنین $ET_{24}$ برآوردشده در چهار تاریخ با میانگین اختلاف مطلق و درصد میانگین اختلاف نسبی به‌ترتیب ۰/۶۶ و ۱۴/۲۷، توانایی زیاد سنجش از دور در برآورد $ET_{24}$ را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID


جدول ۱– نتایج مقایسهٔ $ET_{INST}$ اندازه‌گیری‌شده با $ET_{INST}$ برآوردشده در محل ایستگاه هواشناسی

| تاریخ تصاویر | $ET_{INST}$ برآوردشده (mm/hr) | $ET_{INST}$ اندازه‌گیری‌شده (mm/hr) | اختلاف مطلق (mm/hr) | درصد اختلاف نسبی |
|---|---|---|---|---|
| ۲۰۱۳/۰۶/۰۳ | ۰/۴۵۴ | ۰/۵۱۷ | ۰/۰۶۳ | ۱۲/۲۲ |
| ۲۰۱۴/۰۵/۰۵ | ۰/۳۶۰ | ۰/۴۰۱ | ۰/۰۴۰ | ۱۰/۰۴ |
| ۲۰۱۴/۰۸/۰۹ | ۰/۴۶۹ | ۰/۵۵۳ | ۰/۰۸۳ | ۱۵/۱۷ |
| ۲۰۱۵/۰۷/۲۷ | ۰/۵۲۸ | ۰/۵۷۷ | ۰/۰۴۸ | ۸/۳۷ |
| میانگین | | | ۰/۰۵۸ | ۱۱/۴۵ |

جدول ۲– نتایج مقایسهٔ $ET_{24}$ اندازه‌گیری‌شده با $ET_{24}$ برآوردشده در محل ایستگاه هواشناسی

| تاریخ تصاویر | $ET_{24}$ برآوردشده (mm/day) | $ET_{24}$ اندازه‌گیری شده (mm/day) | اختلاف مطلق (mm/day) | درصد اختلاف نسبی |
|---|---|---|---|---|
| ۲۰۱۳/۰۶/۰۳ | ۴/۱۱ | ۴/۷۳ | ۰/۶۱۹ | ۱۳/۰۷ |
| ۲۰۱۴/۰۵/۰۵ | ۳/۱۰ | ۳/۶۱ | ۰/۵۱۴ | ۱۴/۲ |
| ۲۰۱۴/۰۸/۰۹ | ۳/۸۸ | ۴/۷۵ | ۰/۸۷۱ | ۱۸/۳۳ |
| ۲۰۱۵/۰۷/۲۷ | ۴/۷۸ | ۵/۴۰ | ۰/۶۱۶ | ۱۱/۴۱ |
| میانگین | | | ۰/۶۵۵ | ۱۴/۲۶ |

**بحث**

آگاهی دقیق از مقدار تبخیر و تعرق عاملی کلیدی در مدیریت اکوسیستم‌های جنگلی محسوب می‌شود. از این‌رو در تحقیق حاضر، قابلیت تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ و مدل SEBAL در برآورد تبخیر و تعرق و تهیهٔ آن به‌صورت نقشه در جنگل‌های شهرستان رامسر در تاریخ‌های مختلف بررسی شد.

میانگین درصد اختلاف نسبی برآوردشده برای $ET_{INST}$ و $ET_{24}$ به‌ترتیب ۱۱/۴۵ (۰/۰۵۹ میلی‌متر) و ۱۴/۲۷ (۰/۶۶ میلی‌متر) درصد است که در مجموع توانایی زیاد رویکرد استفاده‌شده در برآورد را نشان می‌دهد. این نتایج با تحقیقات Bhattarai et al. (2012); Ruhoff et al. (2012); Soheylifar et al. (2013); Singh & Senay (2015) همسوست. از این‌رو با اتکا به این نتیجه می‌توان نقشه‌های تبخیر و تعرق را در سطوح بزرگ جنگلی و در مقاطع زمانی مورد نظر به‌سادگی تهیه و در مطالعات مختلف و مدیریت مختلف استفاده کرد.

نقشه‌های تبخیر و تعرق برآوردشده در این تحقیق نیز نشان می‌دهد که تبخیر و تعرق از مناطق جنگلی بیشتر از مناطق مسکونی و کمتر از سطوح آب است که دلیل آن، نبود یا کمبود آب در دسترس برای تبخیر و تعرق در مناطق مسکونی، و پتانسیل تبخیر از سطح آب است، این چنین تغییرات تبخیر و تعرق در کاربری اراضی با نتایج تحقیق Ayad et al. (2016) همسوست. مهم‌ترین دلایل تغییرات مکانی $ET_A$، تفاوت در کاربری اراضی مناطق و تغییر تراکم پوشش جنگل است؛ درحالی که مهم‌ترین دلایل تغییرات زمانی $ET_A$ به عوامل هواشناسی مانند دما و رطوبت اشباع هوا بستگی دارد. همچنین مقایسهٔ مقدار $ET_A$ در کاربری اراضی مختلف نشان می‌دهد که سطوح آب و مناطق مسکونی به‌ترتیب حداکثر و حداقل $ET_A$ را

www.SID.ir

Archive of SID


در هر چهار تاریخ دارند، درحالی که مقدار $ET_A$ در مناطق جنگلی متوسط رو به بالاست. همچنین با افزایش تراکم پوشش درختان (براساس نقشهٔ NDVI)، مقدار $ET_A$ افزایش پیدا می‌کند؛ البته تأثیر تراکم پوشش گیاهی بر $ET_A$ به‌صورت خطی نیست، چراکه تأثیر تراکم پوشش گیاهی بر عوامل مؤثر بر $ET_A$ مانند گسیلندگی از یک حد به بالا به‌صورت ثابت در می‌آید (Allen et al., 2002).

یکی از مهم‌ترین پارامترها در محاسبهٔ تبخیر و تعرق، آلبیدو است که مقدار آن در سطوح جنگلی این تحقیق نیز بین ۰/۱۴ تا ۰/۲۰ و برابر مقادیر پژوهش Allen et al. (2002) بوده است. محاسبهٔ ضرایب وزنی باندها برای محاسبهٔ آلبیدو نشان داد که با افزایش طول موج باندها، ضریب وزنی آنها کاهش می‌یابد. این نتیجه نیز با یافته‌های Silva et al. (2016) که مقدار آلبیدو را برای مناطق مختلف با استفاده از تصاویر لندست ۸ برآورد کردند همسوست. با اعتبارسنجی رویکرد بررسی‌شده در دیگر فصل‌ها و نواحی اقلیمی، تهیه و به‌کارگیری نقشه‌های تبخیر و تعرق با توان تفکیک مکانی زیاد در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع، ممکن خواهد شد. در نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت به‌کمک رویکرد استفاده‌شده در این تحقیق (تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ و مدل SEBAL) می‌توان نقشهٔ تبخیر و تعرق در جنگل‌های شمال ایران در فصل‌های بهار و تابستان را تهیه کرد.

## References


Alizadeh, A. (2011). *Principles Applied Hydrology*. Ferdowsi University of Mashha, 807 p.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper, Rome, Italia, 300.

Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R., & Bastiaanssen, W. (2002). SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). *Advance Training and User's Manual–Idaho Implementation, version, 1*, 97.

Aronoff, S. (2005). *Remote Sensing for GIS Managers* (A. A. Darvishsefat, M. Pir Bavaghar & M. Rajab Pourrahmati, Trans.). Redlands: ESRI Press.

Attarod, P., Sadghi, M.M., Fathizade, O., Motahry, M., Rahbar, S., Ahmadi, M., & Bairamzade, V. (2015). Comparison of Temperature and Radiation Methods Estimating Evapotranspiration in Gorgan FAO Penman-Monteith reference standard. *Journal Iranian Natural Resources Forest and wood products*, *68*, 359-369.

Ayad, A. F., Ahmad, H. A., Adrian, O., Anna, J., & Adriana, M. (2016). Estimation of Evapotranspiration Using SEBAL Algorithm and Landsat-8 Data—A Case Study: Tatra Mountains Region. *Journal of Geological Resource and Engineering 6*, 257-270.

Bhattarai, N., Dougherty, M., Marzen, L.J., & Kalin, L. (2012). Validation of evaporation estimates from a modified surface energy balance algorithm for land (SEBAL) model in the south-eastern United States. *Remote sensing letters*, *3*(6), 511-519.

Delgarm, S., Rahimpor, M., bakhtiari, B., & Saiary, N. (2015). Comparison of real evapotranspiration from Lysimeter data and SEBAL algorithm in Kerman Plain using Modis sensor images. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 46(2), 373-383.

Dominique, C., Bernard, S., & Albert, O. (2005). Review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: From empirical to numerical modeling approaches. *Irrigation and Drainage Systems*,*19*, 223–249.


www.SID.ir

Archive of SID


Farhadi Bansouleh, B., Karimi, A.R., & Hesadi., H. (2016). Estimation of Actual Evapotranspiration in Mahidasht using SEBS Algorithm and LANDSAT Images. *Journal of water and soil, 3 (30)*. 706-716.

Khosroshahi, M. (2013). Estimating water requirement of *Prosopis juliflora* at different habitates of Persian Gulf - Aman Sea region of Iran, *Iranian Journal of Forest and Poplar, 21*, 300-3015.

Maes, W.H. & steppe, K. (2012). Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review, *Experimental Botany, 13*(63), 4671–4712.

Marvie Mohadjer, M.R. (2011). *Silviculture*, University of Tehran Press. 418 P.

Mushtagh, N., Jafari, R., Soltani, S., & Ramezani, N. (2015). Application of Energy Balance Model and Landsat Satellite Data in TM Estimate for Evapotranspiration. *Journal of Water and Soil Science*, *19*(73), 207-218.

Nosrati, K., saravi, M.M., Ahmadi, H. & Agighi, H. (2016). Estimation of evapotranspiration in Taleghan watershed using SEBAL and MODIS model images. *Journal Iranian Natural Resources Pasture and Watershed, 68*, 385-398.

Ruhoff, A.L., Paz, A.R., Collischonn, W., Aragao, L.E., Rocha, H.R. & Malhi, Y.S. (2012). A MODIS-based energy balance to estimate evapotranspiration for clear-sky days in Brazilian tropical savannas. *Remote Sensing, 4(3)*, 703-725.

Senay, G.B., Friedrichs, M., Singh, R.K. & Velpuri, N.M. (2016). Evaluating Landsat 8 evapotranspiration for water use mapping in the Colorado River Basin. *Remote Sensing of Environment, 185*, 171-185.

Silva, B.B.D., Braga, A.C., Braga, C.C., de Oliveira, L.M., Montenegro, S.M., & Barbosa Junior, B. (2016). Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *20*(1), 3-8.

Singh, K.R., & Senay, B.G. (2015). Comparison of Four Different Energy Balance Models for Estimating Evapotranspiration in the Midwestern United States, *Water, 8*, 1-9.

Soheylifar, Z., Mirlatifi, SM., Naseri, AA., & Assari, M. (2013). Estimating Actual Evapotranspiration of Sugarcane by Remote Sensing. (A Case Study: Mirza Kochakkhan Sugarcane Agro-Industry Company Farms). *Journal of water and soil, 33(1)*, 151-163.

Yuei, A. L., & Sanjib, K. K. (2014). Evapotranspiration Estimation with Remote Sensing and Various Surface Energy Balance Algorithms—A Review. *Energies,7*,2821-2849.

Zhao, L. L., Ronglin, T., Zhengming, W., Yuyun, B., Chenghu, Z., Bohui, T., Guangjian, Y., & Xiaoyu, Z. (2009). A Review of Current Methodologies for Regional Evapotranspiration Estimation from Remotely Sensed Data. *SENSORS*, *9*:3801-3853.

www.SID.ir

*Archive of SID*

Iranian Journal of Forest
Vol. 10, No. 3, Autumn 2018
pp. 389-402

# Comparison of landsat 8 satellite data and SEBAL model for estimating evapotranspiration of Caspian forests with combined Penman Monteith

**A. Abbasnezhad Alchin[1], A.A. Darvishsefat[2]*, and J. Bazrafshan[3]**

[1] M.Sc. Student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
[2] Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
[3] Associate Prof., Faculty of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

(Received: 6 May 2018, Accepted: 5 Octobr 2018)

## Abstract

Remote sensing-based methods were developed for resolving the limits of direct measurement methods for evapotranspiration. The purpose of this study was to investigate the capability of Landsat 8 satellite imagery and the SEBAL model for estimating actual instantaneous ($ET_{INST}$) and daily ($ET_{24}$) evapotranspiration in the forest ecosystem. For this reason, Landsat 8 satellite imagery was utilized at four dates for the forests of the Ramsar city and after image processing and performing necessary calculations the map of NDVI, surface temperature, emissivity and albedo were prepared and all energy components at the surface of evapotranspiration including net radiation, soil heat flux, sensible heat flux and latent heat flux were estimated and amount of instantly ET, $ET_{INST}$ and $ET_{24}$ were conducted as a map. Accuracy of estimated $ET_{INST}$ and $ET_{24}$ were evaluated based on the three hour data from synoptic Ramsar weather station data using FAO Penman-Monteith method. Estimated average of $ET_{INST}$ and $ET_{24}$ were 0.45 and 3.98 and calculated average of these parameters were 0.55 and 4.62 respectively. Results showed that the differences are relatively small and range between 8.38 and 15.17 percent in instantaneous scale and between 11.41 and 18.34 in daily scale. Mean Relative Difference Percentage for $ET_{INST}$ and $ET_{24}$ were 11.45 and 14.27, respectively reflecting high capability of the overall ability of the approach used in this study to estimate evapotranspiration. In conclusion based on results showed that used method in this study has the capability of producing evapotranspiration map in north forests of Iran in spring and summer.

**Keywords**: Evapotranspiration, FAO Penman Monteith, Landsat 8, Remote Sensing, SEBAL.

*Corresponding author Tel: +982632223044 Email: adarvish@ut.ac.ir

*www.SID.ir*