دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

تحلیل حساسیت الگوریتم SEBAL در برآورد نیاز آبی محصولات زراعی

الهام محمودزاده[1] و صدیقه انوری[2]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه مدیریت مهندسی منابع آب، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان. ایران
۲- استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران،
(نویسنده مسوول: anvari.t@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۱۴
صفحه: ۲۱۷ تا ۲۲۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تخمین دقیق تبخیر و تعرق واقعی (ETA) یا به عبارتی نیاز آبی یک محصول طی دوره رشد، از جمله موضوعات مهم در مدیریت تخصیص آب در مزرعه و بهبود راندمان آب مصرفی در هر منطقه می‌باشد. در تحقیق حاضر ETA برای محصول سورگوم با استفاده از الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین (SEBAL) و به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای Landsat8، آمار هواشناسی و نقشه DEM منطقه محاسبه و با مقادیر اندازه‌گیری شده از لایسیمتر مقایسه گردیده است.

مواد و روش‌ها: به منظور آنالیز حساسیت، پارامترهای ورودی کلیدی الگوریتم SEBAL در دامنه 10± ، 20± ، 30±، 40± و 50± تغییر یافته و میزان تغییرات ETA با توجه به کاهش و افزایش هر کدام از این پارامترها بررسی گردید. این تغییرات برای روزهای ۲۰۶، ۲۳۸ و ۲۵۴ جولایی در هشت نقطه با تراکم‌های مختلف پوشش‌گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقادیر ETA محاسبه شده با الگوریتم SEBAL در قیاس با اندازه‌گیری‌های لایسیمتری، در سطح اطمینان ۹۵٪ قابل قبول می‌باشند. همچنین نتایج آنالیز حساسیت حاکمی از آن بود که در الگوریتم SEBAL پارامترهای دمای سطحی و تابش طول موج کوتاه ورودی دارای حساسیت بالا به خصوص در مناطق با ET پایین می‌باشد. همچنین پارامترهای آلبیدو و سرعت باد دارای حساسیت متوسط تا زیاد بوده به نحوی که پارامتر آلبیدو در ET>10 حساسیت متوسط و در ET<10 حساسیت زیادی از خود نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: در مجموع آلگوریتم SEBAL علاوه بر صرفه اقتصادی بالا نسبت به سایر روشهای متداول، کارآیی خوبی در برآورد ET داشته است. همچنین انجام آنالیز حساسیت و تعیین پارامترهای کلیدی، ضمن افزایش دقت در اندازه‌گیری آن پارامترها، می‌تواند نتایج مدلسازی را تا حد زیادی بهبود دهد.

واژه‌های کلیدی: آنالیزحساسیت، تابش طول موج کوتاه، تبخیر و تعرق، دمای سطحی، سبال، لایسیمتر، لندست۸

مقدمه

حدود ۶۴ درصد از بارش‌هایی که در روی کره زمین اتفاق می‌افتد توسط پدیده تبخیر و تعرق (ET)[1] به جو زمین باز می‌گردد. لذا مطالعه و بررسی پدیده ET، به عنوان جزء لاینفک سیکل هیدرولوژی و نیز عامل کلیدی ارتباط‌دهنده بین کره زمین، هیدروسفر و اتمسفر از اهمیت زیادی برخوردار است (۲۴).

نظر به اهمیت مسأله ET در مدیریت آبیاری، موتیگا و همکاران (۲۰) روش‌های برآورد آن را به دو گروه عمده تقسیم‌بندی نمودند: گروه اول شامل روش‌هایی است که ET را بر اساس روابط تجربی FAO-24 و FAO-56 و با استفاده از متغیرهای هواشناسی برآورد می‌نمایند. مهمترین این روابط عبارتند از روش بلانی-کریدل، تورنت-وایت، فائو- پنمن-مانتیث، هارگریوز و تشتک تبخیر (۲،۳،۴،۵،۸). در این راستا دستورانی و همکاران (۱۳) با استفاده از روش‌های تورنت-وایت و هارگریوز ET مرجع ایستگاه یزد را برآورد کرده و سپس تاثیر عدم قطعیت این روش‌ها را در شرایط تغییر اقلیم بررسی نمودند. نتایج نشان داد که روش تورنت-وایت تحت شرایط اقلیم افزایش ۰/۴ میلی‌متری در روز را برای ET به همراه داشته است. صمدیان فرد و پناهی (۲۲) ET مرجع را با روشهای درخت تصمیم و رگرسیون بردار پشتیبان برآورد نمودند. نتایج حاکی از آن بود که این روش‌ها در قیاس با روش‌های تجربی تورنت-وایت و هارگریوز، در برآورد ET نتایج بهتری داشتند. امیری و قاسمی (۶)، روش‌های مختلف ET پتانسیل شامل تورنت-وایت، بلانی-کریدل و هارگریوز-سامانی را در حوزه آبخیز مهارلو محاسبه و تغییرات زمانی-مکانی آن را در GIS بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در مجموع روش بلانی-کریدل بهترین عملکرد را نسبت به سایر روش‌ها داشته است.

گروه دوم شامل روش‌هایی می‌باشد که بر پایه اطلاعات ماهواره‌ای استوار بوده و مبانی عمده‌شان معادلات توازن انرژی در سطح زمین و مکانیزم‌های جذب آن می‌باشد (۲۰). استفاده از این روش‌ها و به کارگیری داده‌های ماهواره‌ای اغلب موجب کاهش هزینه، صرفه‌جویی در وقت و افزایش دقت نتایج می‌گردد. از بین روش‌های نامبرده، روش‌های مبتنی بر بیلان انرژی همانند الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین (SEBAL)[2] برای محاسبه ET واقعی، بیشترین کاربرد را داشته است (۹،۱۰،۱۱). مدل SEBAL تحت شرایط متنوعی در مناطق مختلف جهان شامل اسپانیا، ایتالیا، ترکیه، پاکستان، هند، سریلانکا، مصر، نیجریه، چین و ایالات متحده برای تخمین مقادیر ETA مورد ارزیابی و صحت‌سنجی قرار گرفته است که نتایج، حاکی از توانمندی مدل SEBAL بوده است (۱۱،۱۲).

از طرف دیگر، حساسیت‌سنجی یک مدل نسبت به تغییر متغیرها و پارامترهای ورودی، از موارد مهمی است که قبل از مدلسازی بایستی مورد بررسی قرار گیرد. نتایج آنالیز حساسیت مشخص می‌کند که اندازه‌گیری چه پارامترهایی از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و لذا این امر بر دقت و هزینه اندازه‌گیری آن پارامترها تاثیرگذار می‌باشد. به‌عنوان مثال، خروجی‌های آنالیز حساسیت مدلی همانند SEBAL، بر کیفیت

1- Evapotranspiration (ET)
2- Surface Energy Balance Algorithm for Land

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-15]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.11.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.217]

جمع‌آوری و پردازش داده‌های ورودی حساس‌تر بر مقادیر ET، موثر می‌باشد (۱۱).

در زمینه انجام آنالیز حساسیت الگوریتم SEBAL تحقیقات مختلفی انجام شده در این راستا ملکی‌نژاد و پورمحمدی (۱۸) پارامترهای اقلیمی موثر برET را برای فلات مرکزی ایران به روش تجزیه عاملی بررسی و مشخص گردید نقش دما، سرعت باد و میزان ابرناکی از بقیه مشهودتر بوده است. ژانگ و همکاران (۲۶) مقادیر ET مرجع (ETo) را در ۲۲ ایستگاه شمال غرب چین با روش فائو–پنمن–مونتیث محاسبه و در ادامه حساسیت مقادیر ETo ماهانه را نسبت به متغیرهای هواشناسی در چهار ایستگاه بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در ماه‌های سرد سال و در بخشهای کوهستانی منطقه، کمبود فشار بخار اشباع، حساس‌ترین پارامتر در تخمین ETo می‌باشد. لانگ و همکاران (۱۷) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS به آنالیز حساسیت پارامتر شار حرارتی محسوس (H) در الگوریتم SEBAL پرداختند. نتایج نشان داد تعداد و نحوه انتخاب پیکسل سرد وگرم از طریق تأثیر گذاشتن روی پارامترهای همبستگی a و b تاثیر بسزایی در تخمین پارامتر H دارد. سیما و تجریشی (۲۳) به‌منظور تعیین حساسیت نسبی مدل SDDE[1] به متغیرهای ورودی از روش تحلیل اثر یک عامل در یک زمان روی متغیر خروجی استفاده کردند. نتایج نشان داد متغیرهای چگالی، ساعت آفتابی، دمای سطح آب و دمای هوا بیشترین حساسیت و متغیرهای فشارهوا و آب قابل بارش از حساسیت کمتری برخوردار هستند.

با توجه به اهمیت تخمین ETA در مدیریت منابع آب به خصوص برای اراضی کشاورزی مناطق گرم و خشک، در پژوهش حاضر سعی برآنست تا با بکارگیری تصاویر ماهواره Landsat8 میزان ETA با استفاده از الگوریتم SEBAL برای محصول سورگوم کشت شده در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان محاسبه و در نهایت با مقادیر اندازه‌گیری شده از لایسیمتر، مقایسه شود. همچنین با توجه به طیف گسترده پارامترهایی که بر عملکرد الگوریتم SEBAL در تخمین ETA موثرند در ادامه سعی شده که با انجام آنالیز حساسیت، نقش پارامترهایی چون دمای سطحی، شاخص سطح برگ، تابش طول موج کوتاه، آلبیدوی سطحی و ... بر نتایج این الگوریتم بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

معرفی محدوده مطالعاتی

استان کرمان با دارا بودن بیش از ۱۱ درصد وسعت کشور، پهناورترین استان ایران و دارای طیف گسترده اقلیمی است. در بخش‌های شمالی، شمال غربی و مرکزی استان، اقلیم خشک و نیمه خشک، در حالیکه در مناطق جنوب و جنوب شرقی، اقلیم خشک و تا حدی مرطوب حاکم است. مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان در این استان و در شهر ماهان واقع شده است. این منطقه دارای آب و هوای نیمه معتدل و خشک بوده، به‌طوریکه حداقل و حداکثر دما در آن به‌ترتیب ۷- و ۳۹/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ارتفاع از سطح دریا در این منطقه ۱۹۱۰ متر بوده و از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی، این شهر جز مناطق خشک محسوب می‌شود (۱۴).

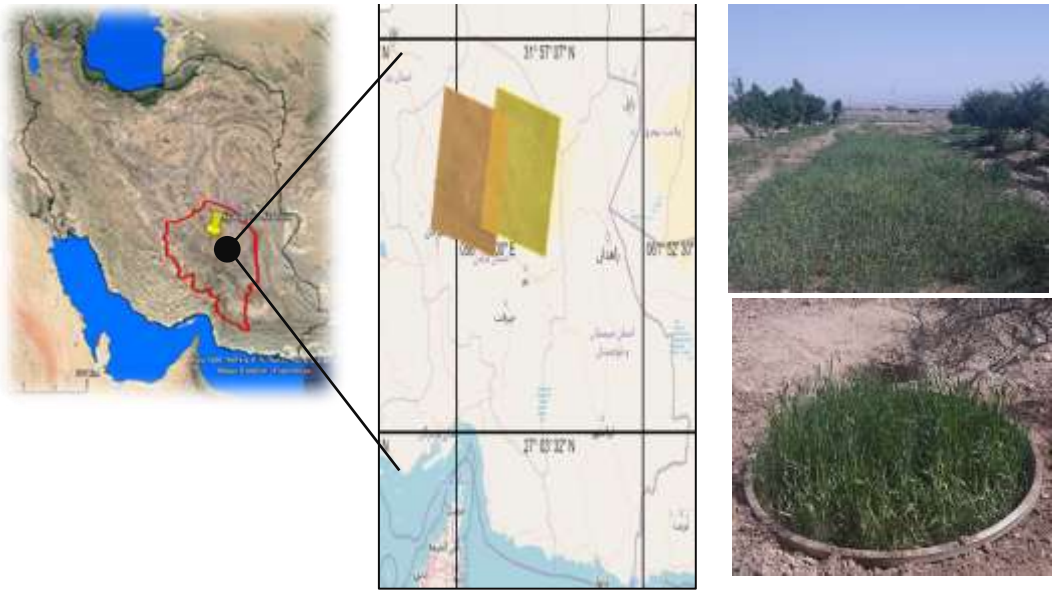
داده‌های مورد استفاده

الف) داده‌ها و اطلاعات دریافتی از تصاویر ماهواره‌ای

ماهواره لندست ۸، محصول همکاری ناسا و سازمان زمین شناسی ایالات متحده می‌باشد که در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ در مدار زمین قرار گرفته است. سنجنده‌های عملیاتی تصویرساز زمین (OLI)[2] و حرارتی مادون قرمز(TIRS)[3] دو سنجنده این ماهواره هستند که به ترتیب، اطلاعات تصویر را برای ۹ باند موج کوتاه و ۲ باند حرارتی جمع‌آوری کرده و جمعا ۱۱ باند تصویر را تشکیل می‌دهند. در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۸ با قابلیت تفکیک مکانی ۳۰ متر و تفکیک زمانی ۱۶ روز استفاده شده است. مطابق شکل ۱ با توجه به موقعیت مزرعه تحقیقاتی دانشگاه در محل قرارگیری همپوشانی تصاویر، این زمان به نصف کاهش یافته است و هر ۸ روز یک تصویر برای منطقه مطالعاتی موجود می‌باشد.

1- Salinity Dependant Daily Evaporation
2- Operational Land Imager
3- Thermal Infrared Sensor

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-15]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.11.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.217]



شکل ۱- موقعیت مکانی مزرعه تحقیقاتی و همپوشانی تصاویرلندست ۸ برای این محدوده
Figure 1. The location of research field and Landsat images overlap of for this area

ب) آمار و اطلاعات زمینی

در تحقیق حاضر بمنظور برآورد ET با استفاده از الگوریتم SEBAL از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه کرمان که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه مطالعاتی می‌باشد، استفاده شده است. مشخصات جغرافیایی و اقلیمی این ایستگاه در جدول ۱ ارائه شده است. به طور معمول در ایستگاه‌های سینوپتیک پارامترهای جوی شامل حداقل دما (Tmin)، حداکثر دما (Tmax)، سرعت باد (WS) و جهت آن، فشار هوا (P)، بارندگی (R)، تبخیر (E)، تابش خورشیدی (Rad)، دید افقی، میزان ابرناکی و نوع ابرها به صورت ساعتی ثبت و گزارش می‌شود. مقادیر برخی از این متغیرها، برای روزهای اخذ تصاویر ماهواره مطابق جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه کرمان (۱۴)
Tabel 1. Geografic and climatic information at synoptic station of Kerman airport (14)

کد ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	میانگین بارش سالانه (mm)	میانگین درجه حرارت سالانه (oC)	اقلیم
۴۰۸۴۱	۵۶/۵۷	۳۰/۱۵	۱۷۵۷/۷	۱۳۱	۱۶	نیمه خشک

جدول ۲- مقادیر برخی از متغیرهای ایستگاه سینوپتیک کرمان در زمان اخذ تصاویر ماهواره‌ای (۱۴)
Tabel 2. Values of some variables of Kerman synoptic station at the time of taking satellite images (14)

تاریخ تصویر	متوسط سرعت باد(m/s)	متوسط دما(°C)	حداکثر دما(°C)	حداقل دما(°C)
۱۳۹۷/۰۵/۰۳	۴/۳۷	۲۵/۶۵	۳۳/۹	۱۷/۴
۱۳۹۷/۰۵/۱۰	۳/۲۵	۲۶/۰۰	۳۶/۵	۱۵/۵
۱۳۹۷/۰۵/۱۹	۳/۳۷	۲۵/۶۵	۳۶/۷	۱۴/۶
۱۳۹۷/۰۵/۲۶	۳/۷ ۳	۲۵/۳۰	۳۵	۱۵/۶
۱۳۹۷/۰۶/۰۴	۴/۴۰	۳۰/۸۰	۳۸/۹	۲۲/۷
۱۳۹۷/۰۶/۱۳	۳/۵۰	۲۱/۶۰	۳۲/۶	۱۰/۶
۱۳۹۷/۰۶/۲۰	۲/۷۵	۲۵/۲۵	۳۷	۱۳/۵

در تحقیق حاضر به منظور برآورد ETA، گیاه سورگوم در لایسیمترهای نصب شده در مزرعه تحقیقاتی و زمین‌های مجاور آن مطابق شکل (۱) کاشته شد. شعاع هر لایسی‌متر ۸۰ سانتیمتر، ارتفاع آن ۲ متر و در کنار هر لایسیمتر یک حلقه چاه جهت اندازه‌گیری مقدار زه‌آب حفر گردید. بعد از نصب دو لایسی‌متر و کشت گیاه نامبرده، با توجه به دوره رشد محصول (از ۲۰۱۸/۰۷/۲۵ تا ۲۰۱۸/۰۹/۱۴) آبیاری لایسیمترها و مزرعه انجام و در ادامه برای هر دوره آبیاری، مقادیر رطوبت خاک و آب زهکشی شده، اندازه‌گیری شد. در نهایت با توجه به رابطه بیلان رطوبت خاک (۷) حجم آبی که در سطح لایسیمتر صرف ETA شده است محاسبه گردید.

ساختار مدل SEBAL و معادلات حاکم

الگوریتم SEBAL یکی از روش‌های کارآمد سنجش از دوری برای محاسبه ETA می‌باشد، که بر اساس معادلات بیلان انرژی در سطح زمین، روابط تجربی و فیزیکی و استفاده از حداقل داده زمینی کار می‌کند. مهمترین روابط حاکم بر الگوریتم SEBAL برای محاسبه ETA در جدول ۳ لیست شده است (۹،۱۰،۱۲). مطابق این جدول رابطه (۱) شار

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-15]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.11.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.217]

گرمای نهانی را بر اساس مقدار باقیمانده انرژی، محاسبه می‌نماید. در این رابطه λET شار گرمای نهان، Rn تشعشع خالص در سطح، G شار گرمای خاک و H شار گرمای محسوس به هوا برحسب w/m2 است.

جدول ۳- لیست معادلات حاکم بر الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین (۹،۱۰)
Tabel 2. The list of equations governing at Surface Energy Balance Algorithm for Land (9, 10)

نام رابطه	شماره	فرمول
شار گرمای نهان λET	(۱)	$\lambda ET = Rn - G - H$
تابش خالص خورشیدی (Rn)	(۲)	$Rn = (1-\alpha)\times Rs\downarrow + RL\downarrow - RL\uparrow - (1-\varepsilon o)\times RL\downarrow$
شار گرمای خاک (G)	(۳)	$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha}(0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1-0.98NDVI^4)$
شار گرمای محسوس (H)	(۴)	$H = \frac{\rho C_p\, dt}{r_{ah}}$
اختلاف دما (dt) بین دو ارتفاع z_1 و z_2	(۵)	$dt = aTs + b$
تبخیر-تعرق لحظه‌ای (ETinst)	(۶)	$ETinst = 3600 * \frac{\lambda ET}{\lambda \rho W}$
تبخیر- تعرق روزانه	(۷)	$ET24 = ETrF \times ETr - 24$

تابش خالص خورشیدی (Rn) بیان کننده میزان واقعی انرژی تابشی موجود در سطح زمین است. در رابطه (۲)، α آلبیدوی سطحی، Rs↓ تابش موج کوتاه، Rl↓ تابش موج بلند ورودی، Rl↑ تابش موج بلند خروجی (همگی بر حسب وات بر متر مربع) و εo گسیلمندی سطحی است. شار گرمای خاک (G) میزان ذخیره گرمای داخل خاک و پوشش گیاهی در اثر هدایت مولکولی را نشان می‌دهد. در رابطه (۳)، Ts دمای سطحی (درجه سانتی‌گراد) و NDVI شاخص پوشش گیاهی می‌باشد. شار گرمای محسوس(H) هدایت مولکولی در اثر اختلاف دماست. برای به‌دست آوردن این پارامتر دو پیکسل آستانه سرد و گرم مورد نیاز است. در الگوریتم SEBAL مقادیر H مطابق رابطه (۴)، برای پیکسل سرد و گرم محاسبه و سپس برای سایر پیکسل‌ها تخمین زده می‌شوند. پارامترهای این رابطه عبارتند از ρ چگالی هوا (kg/m^3)، Cp گرمای ویژه هوا (1004 J/kg/K)، dt اختلاف دما (T1-T2) بین دو ارتفاع z_1 و z_2 (درجه کلوین)، r_{ah} مقاومت آئرودینامیک برای انتقال گرما (s/m) می‌باشد. در الگوریتم SEBAL برای برآورد dt از فرایند تکراری استفاده می‌شود که در آن dt در دو پیکسل شاخص با استفاده از رابطه رگرسیونی (۵) برآورد و سپس این رابطه به تمامی پیکسل‌های تصویر اعمال می‌شود. در این رابطه، Ts دمای سطح زمین، dt اختلاف دما، a و b ضرایب همبستگی می‌باشند. پس از محاسبه مقادیر Rn، G و H، مقدار شار گرمای نهان تبخیر لحظه‌ای و در نهایت مقدار ET لحظه‌ای (ETinst) مطابق رابطه (۶) محاسبه می‌شود. از آنجا که مقدار روزانه ET کاربردی‌تر از مقادیر لحظه‌ای می باشد، مقدار ET لحظه‌ای با استفاده از کسر ET مرجع (ETrF) به مقدار روزانه تبدیل می‌شود. رابطه (۷) مقدار ET روزانه را با فرض اینکه ETrF لحظه‌ای مشابه با میانگین ETrF در طول۲۴ ساعت است محاسبه می‌کند، که در آن λ گرمای نهان بخار آب (J/kg) و ρ_w چگالی آب (معادل $1000 Kg/m^3$) می‌باشد. ET_{r-24} مقدار تجمعی ET_r در طول ۲۴ ساعت روز تصاویر است (۹،۱۰،۱۲).

آنالیز حساسیت الگوریتم SEBAL

آنالیز حساسیت عملی است که به ازای آن میزان و نحوه توزیع داده‌های ورودی با بیشترین تاثیر بر روی خروجی مدل مشخص شود. در واقع تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی و درک اهمیت نسبی متغیرهای مختلف موثر بر یک پدیده، سبب کاهش مراحل سعی و خطا و شناخت مهمترین پارامترهای موثر بر پدیده مورد نظر می‌گردد. نتایج آنالیز حساسیت در شناسایی پارامترهای مهم مدل، دقت و هزینه اندازه‌گیری و کیفیت جمع آوری و پردازش آنها کمک شایانی می‌کند.

کیفیت جمع‌آوری و پردازش متغیرهای ورودی الگوریتم SEBAL نقش مهمی در دقت نهایی ETA برآورد شده و در نتیجه مدیریت بهتر منابع آب کشاورزی در مزرعه می‌باشد. در این خصوص لازمست قبل از شروع مطالعه، ورودی‌های یک مدل با دقت خوبی بررسی و تحلیل شده و حسب اثرگذاری هر داده در نتایج خروجی آن مدل، هزینه و زمان لازم جهت آماده‌سازی اختصاص یابد (۲۱). روش تجزیه عاملی[1] از جمله روشهایی است که توسط برخی از محققین، در زمینه بررسی میزان اثرگذاری پارامترهای مختلف اقلیمی بر مقادیر ET استفاده شده است. این روش بیانگر ارتباط مشاهده شده بین چندین متغیر به صورت روابط نسبتاً ساده است و همچنین از روی ساختار حاکم بر متغیرهای مورد نظر، ایده‌ای مبنی بر اهمیت نسبی فاکتورهای مختلف تأثیرگذار بر روی پدیده مورد مطالعه ارائه می‌دهد. برخی از تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که روش تجزیه عاملی، می‌تواند به منظور بررسی پدیده‌های هیدرولوژیکی، هیدرواقلیمی و هیدروشیمیایی مورد استفاده قرار گیرد (۱۹).

در تحقیق حاضر، جهت بررسی میزان حساسیت خروجی‌های الگوریتم SEBAL در اثر تغییرات پارامترهای ورودی آن، ETA محاسبه شده در روزهای ۲۰۶، ۲۳۸ و ۲۵۴ جولایی (به ترتیب نماینده روزهای اولیه، میانی و اواسط دوره رشد سورگوم) مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، ابتدا

1- Factor Analysis

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-15]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.11.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.217]

الگوریتم با استفاده از داده‌های ورودی اجرا و در ادامه خروجی‌های مدل‌سازی، بعنوان نتایج مبنا قرار گرفته شد. در مرحله بعد، هر کدام از پارامترهای کلیدی ورودی الگوریتم SEBAL، بطور جداگانه، تغییر یافته و بقیه پارامترها ثابت نگه داشته شدند و الگوریتم با استفاده از شرایط جدید اجرا گردید. در این راستا پارامترهای نامبرده در دامنه ±10، ±20، ±30، ±40 و ±50 تغییر داده شده و میزان تغییرات ETA با توجه به کاهش و افزایش هر کدام از پارامترهای کلیدی بررسی شد. نتایج این تغییرات با نتایج حالت مبنا با توجه به شیب خط ترسیمی با هم مقایسه شدند. در نهایت با مشخص شدن پارامترهای حساس الگوریتم، میزان ET در نقاط مختلف تصویر با تغییر ۵۰ درصدی پارامترهای حساس محاسبه شد. به‌منظور مقایسه نتایج، قدر مطلق درصد اختلاف مقادیر هریک از پارامترهای خروجی در دو حالت جدید نسبت به مقدار همان مولفه در شرایط مبنا با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (۱،۲۱).

$$D = \left|\frac{(M-L)}{L}\right| \times 100 \qquad (۸)$$

در این رابطه D: قدرمطلق اختلاف مقادیر هریک از پارامترهای خروجی نسبت به مقدار همان مولفه در شرایط مبنا، M: مقدار بدست امده پس از تغییر پارامتر موردنظر و L: مقدار بدست آمده در شرایط مبنا. در نهایت، مطابق جدول ۴ طبقه‌بندی حساسیت پارامترهای ورودی انجام گرفت (۱۵).

جدول ۴- طبقه‌بندی حساسیت پارامترهای ورودی

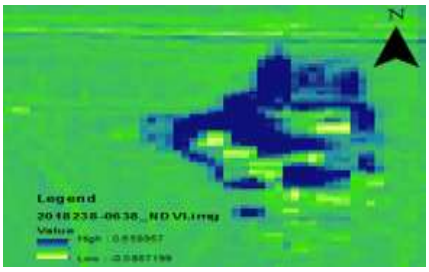
Tabel 4. Sensitivity classification of input parameters

طبقه‌بندی حساسیت	مقدار D
حساسیت ندارد	D=0
حساسیت کم	0<D<5
حساسیت متوسط	5<D<25
حساسیت زیاد	D>25

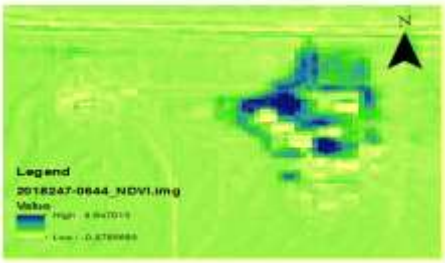
نتایج و بحث

در این بخش ابتدا به ارائه نتایج ETA محاسبه شده با الگوریتم SEBAL و مقایسه عملکرد آن با مقادیر اندازه‌گیری شده از لایسیمتر پرداخته می‌شود. از آنجا که پارامترهای مختلفی در میزان دقت ETA موثرند در نهایت، نتایج آنالیز حساسیت مولفه‌های کلیدی الگوریتم نامبرده و نقش آنها در برآورد ETA ارائه خواهد شد. بدین منظور الگوریتم SEBAL برای دوره رشد سورگوم، از تاریخ ۲۰۱۸/۷/۲۵ تا ۲۰۱۸/۹/۱۴ (روزهای ۲۰۶ تا ۲۵۴ جولایی) اجرا گردید. در این راستا از تصاویر ماهواره Landsat8 (سنجنده‌ی OLI و TIRS) برای سال ۲۰۱۸، داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه کرمان و نقشه DEM منطقه استفاده شده است. در ادامه بدلیل وجود اثرات اتمسفری و در نتیجه غیر واقعی بودن انعکاس سطحی، با استفاده از الگوریتم FLAASH، تصحیح اتمسفری بر روی تصاویر سنجنده OLI صورت گرفت. همانطوری که قبلا اشاره شد، در طول فصل رشد محصول سورگوم برای منطقه مطالعاتی، هفت تصویر که از منظر هواشناسی و ابری نبودن، شرایط مناسبی داشت دانلود گردید. تعداد ساعات آفتابی روزانه در طول دوره کشت این محصول به ندرت از ۸ ساعت کمتر می‌باشد که بیانگر آنست امکان ابری بودن تصاویر و داشتن خطا کم و تصاویر لندست مورد استفاده قابل اطمینا است. نتایج الگوریتم SEBAL یعنی ETA روزانه محصول سورگوم (بر حسب میلی‌متر در روز) برای اوایل مرداد تا اواخر شهریور ۱۳۹۷ در ادامه ارائه شده است، این نتایج در برگیرنده مهمترین خروجی‌های مدل SEBAL شامل شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و ET واقعی اشاره شده است.

الف) شاخص پوشش گیاهی (NDVI): این شاخص برای نمایش پوشش گیاهی، تولیدات گیاهی و تفکیک پوشش گیاهی بسیار مناسب بوده و از نسبت تفریق باند مادون قرمز نزدیک از باند قرمز به مجموع آن‌ها بدست می‌آید. مقادیر NDVI در سطح دانشگاه به صورت نقشه شاخص پوشش گیاهی در شکل ۲ ارائه شده است. مقدار میانگین NDVI در تاریخ ۴ شهریور برابر ۰/۱۰۶ بوده که نسبت به تاریخ‌های دیگر بیشتر است و دلیل آن وجود همزمان پوشش‌گیاهی تابستانه و بهاره در منطقه و نیز واقع شدن در دوره‌ی میانی رشد محصول سورگوم می‌باشد. در تاریخ ۲۰ شهریور به دلیل اینکه محصول سورگوم در دوره‌ی انتهایی رشد خود می‌باشد میزان NDVI کاهش یافته است.



(الف) تاریخ ۱۳۹۷/۰۶/۰۴

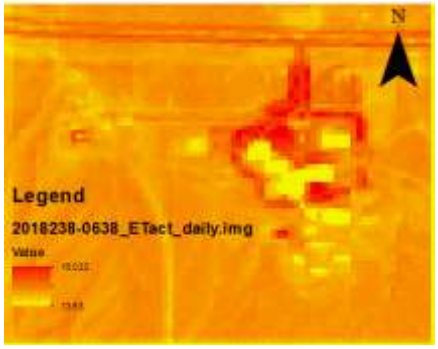


(ب) تاریخ ۱۳۹۷/۰۶/۱۳

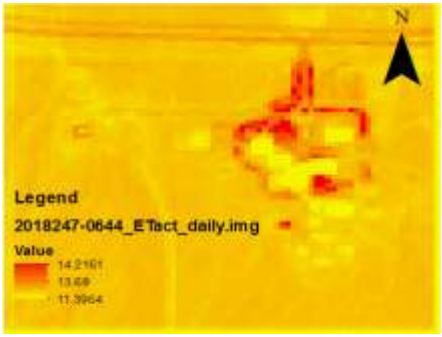
شکل ۲- تغییرات مکانی شاخص پوشش گیاهی
Figure 2. Spatial variatiov of NDVI Index

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-15]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.11.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.217]

ب) تبخیر و تعرق لحظه‌ای: نقشه پهنه‌بندی ET لحظه‌ای برای محصول سورگوم در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که متوسط ET روزانه طی دوره زمانی ۱۳۹۷/۰۵/۰۳تا ۱۳۹۷/۰۶/۲۰ روند کم و بیش افزایشی داشته و بعد از آن با کاهش روبرو بوده است که این روند مطابق با روند مشاهداتی داده‌های دما، تراکم گیاهی و سرعت باد به عنوان مولفه‌های اصلی ET است.



(الف) تاریخ ۱۳۹۷/۰۶/۰۴



(ب) تاریخ ۱۳۹۷/۰۶/۱۳

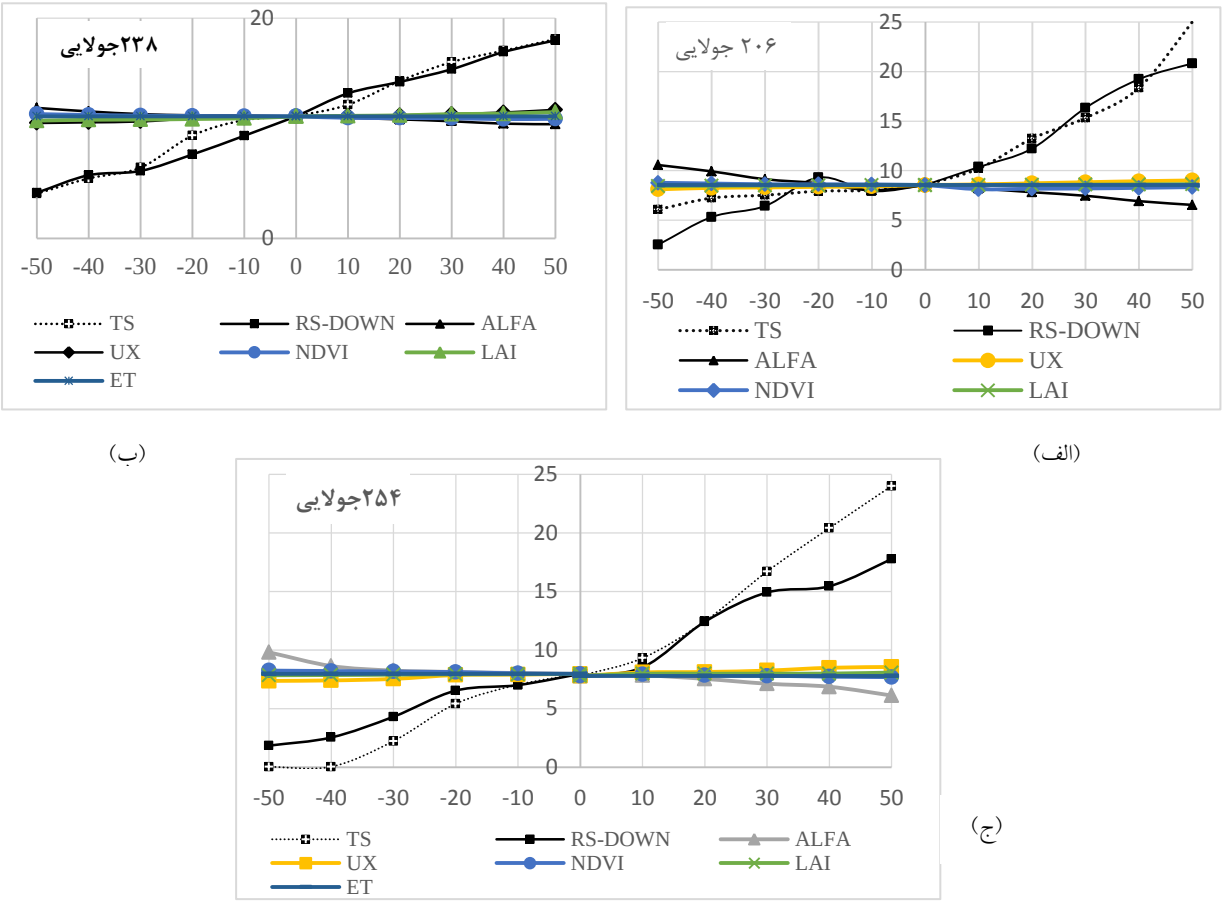
شکل ۳- تغییرات مکانی ET واقعی در منطقه مطالعاتی
Figure 3. Spatial variatiov of Actual ET in the case study

پس از برآورد المان‌هایی چون شار تابش خالص، گرمای خاک، گرمای محسوس و گرمای نهان، میزانET روزانه محاسبه و سپس با مقادیراندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر مقایسه گردید. مقایسه نتایج نشان داد که ضریب R^2 و RMSE بین مدل SEBAL و لایسیمتر به ترتیب ۰/۷۶ و ۴/۲ از عملکرد مناسب SEBAL در تخمین میزان ET اطمینان حاصل کرد.

به منظور تحلیل حساسیت، ابتدا ET منطقه مطالعاتی برای روزهای ۲۰۶، ۲۳۸ و ۲۵۴ جولایی با استفاده از الگوریتم SEBAL محاسبه شد. سپس به تغییر پارامترهای ورودی نظیر شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت باد (Ux)، آلبیدوی سطحی (α)، تابش موج کوتاه خورشیدی (Rs)، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطحی(Ts) مدل پرداخته شد. این تغییرات شامل افزایش و کاهش ±10، ±20، ±30، ±40، ±50 درصد پارامترهای ورودی مدل می‌باشد. در شکل ۴ (نمودارهای الف تا ج) تغییرات ET با توجه به کاهش و افزایش هر کدام از پارامترهای مذکور نمایش داده شده که در آنها خط افقی نشان‌دهنده ET محاسباتی با SEBAL است. در گام بعدی، هر یک از پارامترهای ذکرشده (با ثابت ماندن مقادیر سایر پارامترها) به صورت درصدی تغییر یافته و مقدار ET با توجه به تغییر پارامتر به دست آمده محاسبه گردید. سپس با ترسیم منحنی‌های حساسیت متغیرها و محاسبه شیب منحنی، حساسیت پارامترهای الگوریتم SEBAL ارزیابی شد.

همانطور در شکل ۴ مشاهده می‌کنید پارامترهای Ts و Rs دارای بیشترین شیب نسبت به ET مبنا برای محصول سورگوم می‌باشند به همین دلیل این دو پارامتر بیشترین حساسیت را برروی ET به دست آمده از الگوریتم SEBAL دارند. در همین راستا پارامترهای ذکرشده باید با دقت بالایی محاسبه شوند و تاثیر پارامترهای α و Ux در تخمین ET در مرتبه دوم قرار دارد. نتایج بررسی ها نشان داد که پارامترهای LAI، NDVI کمترین حساسیت را در تخمین ET دارند. این نشان می‌دهد در صورتی که اندازه‌گیری دقیق LAI و NDVI موجود نباشد می‌توان از روابط تجربی برای محاسبه‌ی این متغیر استفاده نمود.

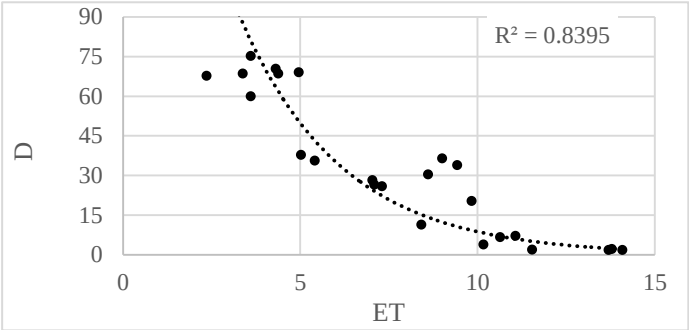
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-15]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.11.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.217]



شکل ۴- میزان تغییرات ET با تغییرات پارامترهای شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت باد (Ux)، آلبیدوی سطحی (α)، تابش موج کوتاه خورشیدی (Rs)، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطحی(Ts) : الف) روز ۲۰۶ جولایی، ب) روز ۲۳۸ جولایی، ج) روز ۲۵۴ جولایی

Figure 4. The rate of ET changes corresponding to variation of leaf area index (LAI), wind speed (Ux), surface albedo (α), shortwave radiation (Rs), normalized difference vegetation index (NDVI) and surface temperature (Ts) on a) 206 206 Julian Da, b) 238 206 Julian Day and c) 254 206 Julian Day

با مشخص شدن پارامترهای حساس مدل، در هر تصویر ۸ نقطه‌ی دیگر در مناطقی با تراکم‌های گوناگون پوشش گیاهی و ETهای متفاوت جانمایی گردید. در نهایت به منظور مشخص شدن آستانه حساسیت پارامترهای کلیدی نظیر آلبیدوی سطحی (α)، تابش موج کوتاه خورشیدی (Rs)، دمای سطحی(Ts) در ETهای مختلف، افزایش ۵۰ درصدی پارامترهای نامبرده مد نظر قرار گرفت. در شکل ۵ میزان حساسیت ET نسبت به تغییر۵۰ درصدی متغیر آلبیدوی سطحی (α) نشان داده شده است.

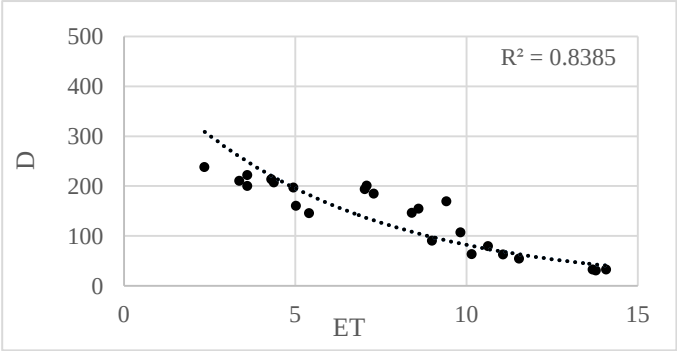


شکل ۵- حساسیت ET نسبت به ۵۰درصد افزایش در برآورد α

Figure 5. Sensitivity analysis of ET for 50% Increase of α

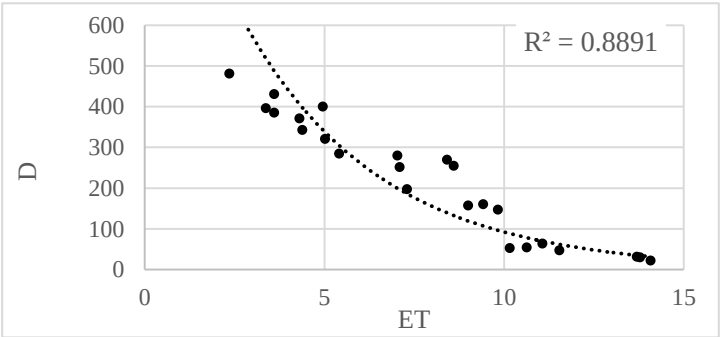
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-15]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.11.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.217]

با توجه به شکل بالا در ETهای پایین الگوریتم SEBAL نسبت به پارامتر α حساسیت بالایی از خود نشان می‌دهد و در ET بالا مدل نسبت به این متغیر دارای حساسیت متوسطی می‌باشد. لذا در الگوریتم SEBAL آلبیدوی سطحی باید با دقت بالایی محاسبه شود. نمودار تحلیل حساسیت نسبت به تابش خورشیدی در شکل ۶ ارائه شده است این نمودار نشان می‌دهد که ET حساسیت بالایی را نسبت به تابش موج کوتاه خورشیدی (Rs-down) بخصوص در نواحی با ET پایین دارد.



شکل ۶- حساسیت ET نسبت به ۵۰ درصد افزایش دربرآورد Rs_down
Figure 6. Sensitivity analysis of ET for 50% increase of Rs_down

در شکل ۷، ET حساسیت بالایی را نسبت به دمای سطحی (Ts) بخصوص در نواحی با ET پایین دارد و این نشان می‌دهد دمای سطحی باید با دقت بالایی محاسبه شود. در جدول ۵ آنالیز حساسیت پارامترهای کلیدی الگوریتم SEBAL در ETهای مختلف با توجه به افزایش۵۰ درصدی هریک از پارامترها ارائه گردیده است.



شکل ۷- حساسیت ET نسبت به ۵۰ درصد افزایش دربرآورد Ts
Figure 7. Sensitivity analysis of ET for 50% increase of Ts

همانگونه که از جدول ۵ مشاهده می‌شود مقادیر آلبیدوی سطحی در ETهای کمتر از۱۰ میلیمتر دارای حساسیت بالا و هرچه ET از مقدار ۱۰ میلی‌متر بیشتر می‌شود حساسیت الگوریتم نسبت به این پارامتر متوسط می‌شود. همچنین پارامترهای RS و TS دارای حساسیت بالا بخصوص در ET پایین می‌باشند. در مطالعه تحلیل حساسیت الگوریتم SEBAL، رمضانی خوجین و همکاران (۲۱) نشان دادند که پارامترهای رطوبت نسبی و آلبیدوی سطحی دارای حساسیت متوسط تا زیاد و پارامتر باد و شاخص سطح برگ دارای حساسیت کم تا متوسط می‌باشند. همچنین پارامترهای دمای سطحی، دمای هوا، تابش طول موج کوتاه ورودی و ساعات آفتابی بیشترین حساسیت را در محاسبه ET از خود نشان داده که نتایج تحقیق حاضر نیز تا حدی زیادی با نتایج بررسی‌های ایشان مطابقت دارد.

جدول ۵- حساسیت ET محاسبه شده به افزایش ۵۰ در صدی هر یک از پارامترهای کلیدی SEBAL
Tabel 5. The Sensitivity of calculated ET for 50% increase in key paramters of SEBAL

پارامتر	حساسیت ندارد	حساسیت کم	حساسیت متوسط	حساسیت زیاد
آلبیدو سطحی			ET>10	ET<10
تابش موج کوتاه خورشیدی				*
دمای سطح زمین				*

*: حساسیت بالا بخصوص در ET پایین

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-15]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.11.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.217]

نتیجه‌گیری کلی

محاسبه مقادیر ETA به‌منظور برنامه‌ریزی نیاز آبی محصولات کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. روش‌های مرسوم برآورد ETA عمدتا اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای را به دست می‌دهد و برای مقیاس‌های بزرگ مکانی، بسیار پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشند. در پژوهش حاضر ETA با استفاده از الگوریتم SEBAL برآورد و با مقادیر اندازه‌گیری شده از لایسمتر حجمی واقع در دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان مقایسه شده است. براساس نتایج پژوهش حاضر، میزان ETA برای مزرعه سورگوم دارای تطابق معناداری با مقادیر اندازه‌گیری شده از لایسیمتر بوده است. لذا با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان دریافت که با استفاده از الگوریتم SEBAL و آمار ماهواره Landsat 8 با قدرت تفکیک ۳۰ متر می‌توان میزان ET واقعی گیاهان را محاسبه و نقشه‌ی توزیع مکانی ETA را ارائه نمود. همچنین نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که در مدل SEBAL پارامترهای دمای سطحی و تابش طول موج کوتاه ورودی دارای حساسیت بالا به خصوص در مناطق با ET پایین و آلبیدو و سرعت باد دارای حساسیت متوسط تا زیاد می‌باشند و شاخص سطح برگ و شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی دارای حساسیت کم و متوسط می‌باشند در نتیجه داده‌های دارای حساسیت بالا باید با دقت بیشتری محاسبه گردد.

منابع

1. Akbari, M. 2004. Improvement of irrigation water management by combining satellite and field data and using SWAP simulation model. Ph.D Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran (In Persian).
2. Alizadeh, A. 2003. Principles of applied hydrology, Imam Reza University Press, 735 pp (In Persian).
3. Allen, R., R. Waters, M. Tasumi, R. Trezza W. Bastiaanssen. 2002. SEBAL, Surface energybalance algorithms for land, Idaho Implementation. Advanced Training and User's manual, version 1.0.
4. Allen, R.G. 2000. Using the FAO-56 dual crop coecient method over an irrigated region as part 5of an evapotranspiration intercomparison study, Jounal of Hydrology, 229: 27-41, doi:10.1016/s0022-1694(99): 194-8.
5. Allen, R.G. and W.O. Pruitt. 1991. FAO-24 reference Evapotranspiration factors. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 117(5): 758-773.
6. Amiri, M. and H.R. Pourghasemi. 2019. Comparing different methods of potential evapotranspiration and studying temporal and spatial changes in the Mahrlou watershed using GIS. Journal of Watershed Management Research, 10(19): 22-35.
7. Anvari S., S.J. Mousavi, S. Morid. 2017. Stochastic Dynamic Programming-Based Approach for Optimal Irrigation Scheduling under Restricted Water Availability Conditions. Journal of Irrigation and Drainage, 66(4): 492-500.
8. Babamiri. O. and Y. Dinpashoh. 2014. Comparison of Four Temperature Based Reference Crop Evapotranspiration Estimation Method at Urmia Lake Basin. Journal of Irrigation Science and Engineering, 37(1): 43-54.
9. Bastiaanssen, W.G.M., M. Menenti, R.A. Feddes, A.A.M. Holtslag, 1998a. A remotesensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL), Part 1: formulation. Journal of Hydrology, 212-213: 198-212.
10. Bastiaanssen, W.G.M., H. Pelgrum, J. Wang, Y. Ma, J. Moreno, G.J. Roerink, W. Vander. 1998b. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL), Part 2: validation. Journal of Hydrology, 212: 213-229.
11. Bastiaanssen, W. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hydrology, 229(1-2): 87-100.
12. 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 conditions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 131(1): 85-93 [Doi: 10.1061/ (ASCE) 0733-, 131:1(85)].
13. Dastorani, M.T., S. Poormohammadi, A.R. Massah Bavani and M.H. Rahimian. 2010. Evapotranspiration Condition in Yazd Station under Uncertainties of Different GHG Emission Scenarios and ET Estimation Models, Journal of Watershed Management Research, 1(2): 1-20 (In Persian).
14. Kerman Meteorological Organization, (http://www.irimo.ir).
15. Khavarian Nahzak, H. 2004. Estimation of evaporation using remote sensing, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran (In Persian).
16. Kite, G. and P. Droogers. 2000. Comparing evapotranspiration estimates from satellites, hydrological models and field data, Journal of Hydrology, 229(1-2): 1-2.
17. Long, D., V.P. Singh and Z.L. Li. 2011. How sensitive is SEBAL to changes in input variables, domain size and satellite sensor? Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 116(D21).
18. Malekinejhad, H. and S. Poormohammadi. 2008. Study the Role of Climatic Parameters in Evaporation Phenomenon at Heterogeneous Zones of Arid and Semi-Arid Regions of Iran. Water Resource Conference, Tabriz. 185 pp (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-15]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.11.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.217]

19. Matalas, D. and J. Feyen. 1990. Defining homogenous precipitation regions means of principal component analysis, Journal of Applied Meteorology, 29(9): 892-901.
20. Mutiga, J., Z. Su and T. Woldai. 2010. Using satellite remote sensing to assess evapotranspiration: Case study of the upper Ewaso Ng'iro North Basin, Kenya. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 12(S1): s100-s108.
21. Ramezani Khojeen, A., M.M. Kheirkhah Zarkesh, P. Daneshkar Arasteh, A. Moridi and R. Alimohammadi. 2016. Sensitivity Analysis of Calculated Evapotranspiration using Daily Energy Balance Model and comparing it with SEBAL Model. Iran-Water Resources Research, 185(1): 18-28 (In Persian).
22. Samadianfard, S. and S. Panahi. 2019. Estimating daily reference evapotranspiration using data mining methods of support vector regression and m5 model tree, Journal of Watershed Management Research, 9(18): 157-167 (In Persian).
23. Sima, S. and M. Tajrishi. 2015. Estimation of Urmia Lake Evaporation Using Remote Sensing Data. Iran-Water Resources Research, 109(1): 32-48.
24. Su, H., E.F. Wood, R. Wojcik and M. McCabe. 2006. Sensitivity Analysis of Regional Scale Evapotranspiration Predictions to the Forcing Data, American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, abstract.
25. Yang, Y., S. Shang and L. Jiang. 2012. Remote sensing temporal and spatial patterns of evapotranspiration and the responses to water management in a large irrigation district of North China. Agricultural and Forest Meteorology, 164: (112-122).
26. Zhang, X., S. Kang, L. Zhang and J. Lu. 2010. Spatial variation of climatology monthly crop reference evapotranspiration and sensitivity coefficients in Shiyang river basin of northwest China. Agriculture Water Management 97: 1506-1516.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-15]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.11.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.217]

Sensitivity Analysis of SEBAL Algorithm for Estimating Agricultural Irrigation Requiremants

Elham Mahmoudzadeh[1] and Sedigheh Anvari[2]

1- M.Sc. Student, Department of Water Resources Management, University of Industrial and Advanced Technology, Kerman, Iran
2- Assistant Professor, Department of Ecology, Institute of Advanced Science and Technology and Environmental Sciences, University of Industrial and Advanced Technology, Kerman, Iran,
(Corresponding Author: anvari.t@gmail.com)
Received: 20 July, 2020 Accepted: 5 October, 2020

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-11-15]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.24.11.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.24.217]

Extended Abstract

Introduction and Objective: The accurate estimation of actual evapotranspiration (ETA), i.e. crop water requirements, is an important issue for irrigation water allocation at fields and improving water efficiency. In the present study, ETA for Sorghum crop was estimated using surface energy balance algorithm for land (SEBAL) and by employing Landsat8 satellite images; meteorological data and DEM map and then compared with the measured values of lysimeter.

Material and Methods: For carrying out the sensitivity analysis, the key parameters of SEBAL algorithm was altered at the range of ± 10, ± 20, ± 30, ± 40 , ± 50 and resultantly the variation of ETA corresponding to decrease and increase of these parameters was investigated. The changes of key parameters on the days of 206, 238 and 254, based on Julian days calendar, were evaluated at eight points with different vegetation densities. Albedo parameters have moderate to high sensitivity, so that the albedo parameter has medium and high sensitivity in the areas with ET> 10 and ET <10, respectively.

Results: The results of SEBAL showed the value of accuracy indices were acceptable at a significant level of 95%, while compared with those of lysimeter measurements. The results of the sensitivity analysis also showed the surface temperature and input shortwave radiation are more sensitive especially at the areas having low ETA values. The wind speed and

Conclusion: In general, in addition to high economic efficiency compared to other conventional methods, the SEBAL algorithm has a good efficiency in estimating ET. Also, performing sensitivity analysis and determining the key input parameters, while increasing the accuracy of measuring those parameters, can greatly improve the modeling results.

Keywords: Evapotranspiration, Input Shortwave Radiation, Landsat 8, Lysimeter, SEBAL, Sensitivity Analysis, Surface temperature