

صحت‌سنجی برآورد تبخیر و تعرق از مدل‌های سیال و هارگریوز- سامانی با استفاده از داده‌های لایسیمتر

علی مرشدی^{۱*} - سید حسن طباطبایی^۲ - مهدی نادری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۲۴

چکیده

تبخیر و تعرق یکی از مؤلفه‌های مهم در معادلات انرژی در سطح زمین و توازن آب می‌باشد. در روش‌های متداول برآورد تبخیر و تعرق از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای ولی در تکنیک‌های سنجش از دور مانند سیال (SEBAL) مقدار شار تبخیر و تعرق لحظه‌ای در زمان گذر ماهواره به عنوان باقیمانده معادله توازن انرژی برای هر پیکسل محاسبه می‌شود. در این پژوهش تبخیر و تعرق برآورد شده از مدل‌های سیال و هارگریوز- سامانی (HS) با نتایج یک لایسیمتر زهکش‌دار کشت شده با یونجه در محدوده دشت شهرکرد واقع در حوزه آبخیز کارون مورد مقایسه قرار گرفتند. داده‌های ماهواره‌ای بر اساس اطلاعات سنجنده ETM+ از ماهواره Landsat 7 در هفت تاریخ گذر بود. نتایج مربوط به مدل SEBAL نشان داد مقادیر شاخص‌های RMSE، MAE و MBE نسبت به اندازه‌گیری‌های لایسیمتری به ترتیب برابر با ۱/۷۲۸، ۱/۲۷۵ و ۰/۲۷۲ میلی‌متر بر روز و شاخص توافق d نیز برابر با ۰/۷۰۰ بدست آمد و همین شاخص‌ها برای مدل هارگریوز- سامانی برابر ۱/۰۰۳، ۰/۵۸۰، ۰/۲۹۰ میلی‌متر بر روز و ۰/۹۱۷ بودند. برای مدل HS مقادیر RMSE، MAE و MBE به ترتیب برابر با ۰/۸۱۳، ۰/۴۷۷ و ۰/۲۰۶ میلی‌متر بر روز و مقدار شاخص توافق d برابر با ۰/۹۳۰ در کل دوره رشد بوده است. نتایج حاکی از کارایی مدل سیال و تکرارپذیری آن با پردازش باندهای تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. این نکته شایان توجه است که نیاز آبی و یا تبخیر و تعرق در طول دوره رشد گیاهان مختلف و متفاوت بوده و در نتیجه برای برآورد تبخیر و تعرق کل و یا سالیانه به سری زمانی کاملی از تصاویر ماهواره‌ای نیاز است.

واژه‌های کلیدی: دشت شهرکرد، لندست، معادله انرژی، یونجه

مقدمه

نظر شده است. معادله فوق باید برای سطوح گسترده و دارای پوشش گیاهی کامل و یکنواخت استفاده شود (۴).

مدل SEBAL برای برآورد ET با استفاده از حداقل اندازه‌گیری توسط ادوات زمینی ارائه شده است. این مدل برای برآورد ET در بیش از ۳۰ کشور جهان با دقت حدود ۸۵ درصد در مقیاس مزرعه‌ای و ۹۵ درصد در مقیاس روزانه و فصلی آزمون شده است (۱۰ و ۳). مختاری (۱۸) در حوضه آبخیز برخوار (شرق اصفهان) با استفاده از تصاویر ماهواره‌های MODIS و ASTER برای مقایسه مدل SEBAL با مدل پن‌من-مانتیت نتیجه گرفت تبخیر و تعرق کل برآورد شده از مدل SEBAL برای محصول چغندر قند حدود ۲۰ درصد کمتر و برای محصول ذرت حدود ۱۵ درصد بیشتر از مدل پن‌من-مانتیت بدست آمده است. به عقیده وی این تفاوت‌ها ناشی از تعداد محدود تصاویر ماهواره‌ای برای برون‌یابی ET به کل دوره رشد و فاصله ۲۴ کیلومتری ایستگاه هواشناسی برای استفاده از داده‌های آن ایستگاه می‌باشد. اکبری و همکاران (۲) با بررسی شبکه‌های مختلف

مدل SEBAL از معادله موازنه انرژی برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده می‌نماید، معادله ۱ توازن انرژی برای یک سطح تبخیر را نشان می‌دهد:

$$[\lambda ET = R_n - G - H] \quad (1)$$

در این معادله R_n شار تابش ورودی خالص به سطح مورد نظر (W/m^2) ، H شار گرمای محسوس (W/m^2) ، G شار گرمای خاک (W/m^2) و λET شار گرمای نهان تبخیر (W/m^2) می‌باشند. در معادله ۱ تنها شار قائم در نظر گرفته و از شارهای افقی انرژی صرف

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، شهرکرد

*- نویسنده مسئول: (Email: a.morshedi@areo.ir)

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

توسط سنجشگر با تفکیک مکانی مطلوب ETM+ در هفت تاریخ گذر ماهواره لندست ۷ و مدل هارگریوز- سامانی نسبت به نتایج لایسیمیتری در دشت شهرکرد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده‌ی مطالعاتی، دشت شهرکرد واقع در حوزه آبخیز کارون بوده و بین طول‌های ۵۰ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی و عرض‌های ۳۲ درجه و ۰۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی واقع شده است. این دشت از شمال و شمال غرب به ارتفاعات کلاه‌قازی، قراول‌خانه، چهل دختران و از نواحی جنوب به ارتفاعات جهان‌بین و تفه، از شرق به ارتفاعات کوه سینه و برات و از غرب به ارتفاعات کوه قلنگان و ارتفاعات مشرف به جاده فارس‌ان منتهی می‌شود. محدوده مطالعاتی دارای میانگین سالانه ۱۲/۰۲ درجه سانتیگراد می‌باشد که میانگین آن در مناطق کوهستانی ۷/۲ و در دشت‌ها ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است، همچنین متوسط بارندگی سالانه در کل حوضه آبریز ۴۰۰ میلی‌متر و اقلیم منطقه مطالعاتی نیمه مرطوب معتدل سرد است (۱۳). از وسعت ۱۲۶۲ کیلومتر مربع این دشت، حدود ۵۵۰ کیلومتر مربع آن را پهنه آبرفتی و بقیه را مناطق شهری و صنعتی تشکیل داده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه ۲۰۱۲ متر از سطح دریا می‌باشد. کاربری اراضی در بخشی از منطقه به کشاورزی، بخشی به مرتع، اراضی بایر و مناطق مسکونی اختصاص یافته است.

در این مطالعه از داده‌های یک لایسیمیتر زهکش‌دار به عمق خاک ۲/۵ متر و قطر ۳ متر (مساحت ۷/۰۶ متر مربع) کشت شده با یونجه مستقر در ایستگاه تحقیقات کشاورزی چهار تخته (به وسعت ۲۷ هکتار) متعلق به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهار محال و بختیاری (شهرکرد) استفاده شد. این لایسیمیتر (LYS_REF) در وسط قطعه زمینی به ابعاد ۲۵ × ۴۰ متر با پوشش یونجه قرار گرفته بود که با پوششی از گیاهان مختلف زراعی در اراضی مجاور نیز احاطه شده بود. از این لایسیمیتر برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق مرجع یونجه و از پوشش یونجه اطراف لایسیمیتر به عنوان پیکسل سرد استفاده شد. زمان آبیاری بر اساس خروج حدود ۵۰ درصد آب سهل‌الوصول و مقدار آن بر پایه اندازه‌گیری منظم میزان رطوبت خاک تا عمق ۱۸۰ سانتی‌متر بود. در این حالت با اندازه‌گیری رطوبت خاک لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری تا عمق ۱۸۰ سانتی‌متر بوسیله نوترون‌متر (مدل CPN503-DR) و جبران کاهش رطوبت نسبت به ظرفیت زراعی با استفاده از معادله ۲ مقدار آب (حجم) لازم برای هر لایه ۱۰ سانتی‌متری از خاک محاسبه و با در نظر گرفتن تمام لایه‌ها، آب مورد نیاز (حجم کل آب) از طریق کنتور به داخل لایسیمیتر افزوده شد.

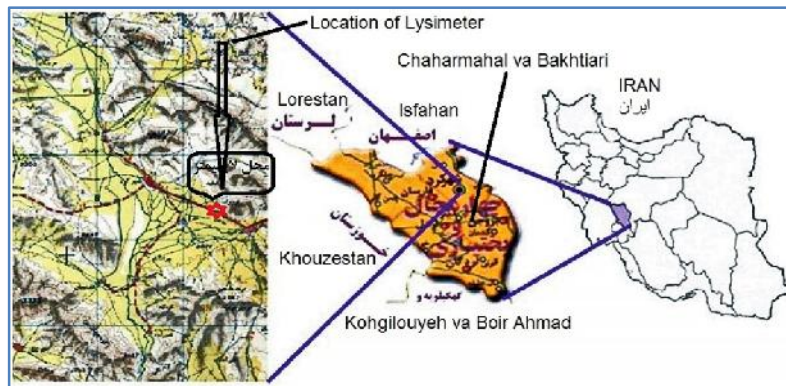
$$[d_n = \sum_{i=1}^n (FC - \theta_i) \cdot D \cdot \rho_b] \quad (2)$$

آبیاری در حوضه زاینده‌رود با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ اقدام به افزایش دقت مکانی یک سری از اطلاعات از ماهواره NOAA کردند و با پیش پردازش داده‌های مذکور و استفاده از مدل SEBAL، اجزا بیان انرژی را تعیین و تبخیر و تعرق واقعی را بدست آوردند.

فرنج و همکاران (۱۱) برآورد ET از مدل SEBAL را با نتایج ET حاصل از روش همبستگی ادی مورد مقایسه قرار داده و گزارش می‌نمایند مدل SEBAL در نواحی با کشت غیر متراکم و غیر استاندارد از دقت بالایی برخوردار می‌باشد. نتایج تحقیق جیا و همکاران (۱۲) در مقیاس حوضه‌ای نشان داد که تبخیر و تعرق حاصل از سنجش از دور حدود ۸/۳۱ درصد کمتر از ET مدل توازن آبی است و نشان‌دهنده کیفیت مطلوب برآورد ET از طریق اطلاعات سنجش می‌باشد. ویکیانگ و همکاران (۲۶) با بررسی ET برآورد شده بر مبنای سنجش از دور و مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق در منطقه مورد بررسی گزارش کردند که درصد مطلق تفاوت (APD) برابر با ۷/۵ درصد و مقدار RMSE برابر با ۰/۷۴ میلی‌متر بر روز بوده است و ضمن قابل قبول دانستن نتایج مدل ضریب تعیین (R²) را بین مقادیر اندازه‌گیری شده ET و مقادیر برآورد شده برابر با ۰/۹۵ بدست آورده‌اند.

عدلی و همکاران (۱) با استفاده از تصاویر MODIS و Landsat 7 برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی در اراضی تحت پوشش شبکه‌های آبیاری حوضه هیدرولوژیک رودخانه زاینده‌رود، نتایج مشابهی از مدل SEBAL با فرمول تجربی پن‌من-مانیتث گرفتند. سیف و همکاران (۲۲) الگوریتم بیان انرژی در سطح زمین برای تعیین تبخیر و تعرق در شبکه‌های آبیاری مفید دانستند. محسنی ساروی و همکاران (۱۷) با کاربرد مدل SEBAL در برآورد تبخیر و تعرق در حوضه آبخیز طالقان با استفاده از تصاویر MODIS نتیجه گرفتند که مقادیر برآوردی با اندازه‌گیری شده (از لایسیمیتر) دارای همبستگی بالا بوده‌اند. نوری و همکاران (۲۰) و ثنائی‌نژاد و همکاران (۲۱) با استفاده از تصاویر MODIS نتیجه گرفتند مدل SEBAL جهت برآورد تبخیر و تعرق در سطح منطقه (حوضه آبخیز مشهد) مناسب می‌باشد. مباشری و همکاران (۱۵) با استفاده از مدل SEBAL و تصاویر ماهواره لندست ۵ در دشت خوزستان تبخیر و تعرق واقعی را برآورد نموده و مدل SEBAL را مناسب ارزیابی کردند.

بیشتر پژوهش‌های صورت گرفته در ایران در ارتباط با مدل SEBAL استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی پائین بوده است. با توجه به اینکه مزارع کشاورزی در ایران دارای سطوح کوچک هستند، استفاده از تصاویر سنجنده‌های با قدرت تفکیک بالا دارای اهمیت می‌باشد اما به دلایل متفاوت در پژوهش‌های پیشین مورد استفاده قرار نگرفته است. هدف این تحقیق صحت‌سنجی برآورد تبخیر و تعرق مدل SEBAL به کمک داده‌های سنجش از دور



شکل ۱- موقعیت جغرافیائی منطقه مورد بررسی و محل نصب لایسیمتر
Figure 1- Geographical position of study area and lysimeter installation location

محدوده دشت شهرکرد از کل تصویر ماهواره‌ای جدا شد و عملیات بر روی زیرتصویر انجام شد. برای ارزیابی نتایج از معیارهای متداول آماری شامل خطای مطلق میانگین (MAE)، خطای اربیب میانگین (MBE) و جذر میانگین مربعات (RMSE) و شاخص توافق (d) استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ آمار و اطلاعات مربوط به پارامترهای هواشناسی در ساعت ۶:۳۰ بامداد و ۱۲:۳۰ ظهر روزهای گذر ماهواره را که در ایستگاه هواشناسی کشاورزی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. اطلاعات مذکور برای برآورد تبخیر و تعرق روزانه به کمک مدل هارگریوز-سامانی مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌های آماری از مقایسه بین برآوردهای ET در مدل‌های SEBAL و HS نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده در لایسیمتر مرجع (LYS_REF) در جدول ۲ ارائه شده‌اند. بر اساس نتایج این جدول کمترین (بهترین) شاخص RMSE نسبت به لایسیمتر مربوط به مدل HS بوده و برای مدل SEBAL و HS به ترتیب ۱/۷۲۸ و ۱/۰۰۳ میلی‌متر بر روز بدست آمده‌اند. همچنین کمترین (بهترین) مقادیر برای شاخص MAE برای مدل HS بوده و به ترتیب برای مدل‌های HS و SEBAL برابر با ۰/۵۸۰ و ۱/۲۷۵ میلی‌متر بر روز و برای شاخص MBE برابر با ۰/۲۷۲- و ۰/۲۹۰ میلی‌متر بر روز نسبت به لایسیمتر بدست آمده‌اند (جدول ۲). برای شاخص d بیشترین (بهترین) مقادیر d همچنان برای مدل HS بوده و برابر با ۰/۹۱۷ در مقابل ۰/۷۰۰ در مدل SEBAL بدست آمده است. بطور کلی رتبه‌بندی مدل‌های مذکور از نظر شاخص‌های MAE، RMSE، MBE و d ابتدا HS و سپس SEBAL بوده‌اند، بدین ترتیب تفاوت‌ها بسیار اندک و مدل SEBAL در برآورد ET موفق ارزیابی می‌گردد.

در این معادله d_n مقدار آب مورد نیاز گیاه بر حسب میلی‌متر، FC ظرفیت زراعی مزرعه بر حسب درصد، ρ رطوبت لایه خاک قبل از آبیاری (درصد)، D عمق خاک (عمق هر لایه) بر حسب میلی‌متر، b وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و n تعداد لایه‌های خاک می‌باشد.

داده‌های هواشناسی مورد نیاز در یک دوره ۱۸۵ روزه (اول اردیبهشت تا پایان مهر ۱۳۹۰) شامل رطوبت نسبی حداقل و حداکثر (RH_{min} و RH_{max})، دمای حداکثر و حداقل هوا (T_{min} و T_{max})، سرعت باد (U_2)، مقدار بارش، مقدار تبخیر، ساعات آفتابی، فشار هوا، نقطه شبنم، و تابش خورشیدی (R_s) از ایستگاه هواشناسی واقع در مرکز به صورت شش ساعته تهیه و به روزانه تبدیل شد. از سوی دیگر از مدل هارگریوز-سامانی (HS) به عنوان یکی از مدل‌های ریاضی برآورد تبخیر و تعرق که برای منطقه مورد نظر مناسب تشخیص داده شده بود برای مقایسه‌های آماری نیز استفاده شد (۱۹ و ۲۷).

در این تحقیق از هفت تصویر ماهواره لندست ۷ در تاریخ‌های گذر ۱۲ آوریل، ۲۸ آوریل، ۲ آگوست، ۱۸ آگوست، ۳ سپتامبر، ۱۹ سپتامبر و ۲۱ اکتبر ۲۰۱۱ (برابر با ۲۳ فروردین، ۸ اردیبهشت، ۱۱ مرداد، ۲۷ مرداد، ۱۲ شهریور، ۲۸ شهریور و ۲۹ مهر ۱۳۹۰) استفاده شد. این تصاویر به صورت زمین-مرجع و اصلاح شده از نظر اتمسفری و هندسی با استفاده از نرم‌افزار $LGPS^1$ توسط سازمان فضائی ایالات متحده در اختیار قرار گرفت. این تصاویر شامل ۸ باند مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی مربوط به ردیف ۱۶۴ و مسیر ۳۸ (در سیستم مرجع جهانی) و در قالب تصویری GeoTIF بود. محدوده هر تصویر تقریباً کل استان چهارمحال و بختیاری را پوشش می‌دهد که توسط نرم‌افزار ERDAS IMAGINE 2010

1- Landsat Ground Processing System
2- World Reference System

جدول ۱- آمار هواشناسی مربوط به روزهای گذر ماهواره لندست ۷

Table 1- Weather data at landsat 7 path-time

Pass-Time	Julian Day	Hour	T _{dry inst} (°C)	T _{wet inst} (°C)	Wind Speed (ms ⁻¹)	RH (%)	Air Pres. (mbar)	T _{max Daily} (°C)	T _{min daily} (°C)	n/N
12 Apr	102	06:30	8.8	4.2	6.0	47	790.6	19.0	6.4	0.851
		12:30	15.4	7.2	5.0	29				
28 Apr	118	06:30	2.0	0.6	0.0	73	790.6	22.4	1.8	0.737
		12:30	18.2	9.8	0.0	33				
2 Aug	214	06:30	13.0	6.6	7.0	38	793.7	31.8	12.4	0.875
		12:30	29.8	14.0	0.0	14				
18 Aug	230	06:30	16.8	1.06	3.0	47	789.4	33.8	16.0	0.483
		12:30	32.8	17.4	0.0	21				
3 Sep	246	06:30	7.6	3.6	2.0	52	791.6	30.2	7.2	0.875
		12:30	27.6	13.2	0.0	17				
19 Sep	262	06:30	9.4	5.4	0.0	55	794.8	29.2	9.2	0.880
		12:30	25.6	13.6	2.0	24				
21 Oct	294	06:30	6.0	0.0	0.0	25	791.0	21.2	2.8	0.0952
		12:30	20.4	9.6	4.0	22				

تصاویر ماهواره‌ای برای برآورد و ارزیابی ET ضروری می‌باشد. مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده از لایسیمتر و برآوردهای تبخیر و تعرق روزانه به کمک مدل SEBAL (مربوط به پیکسل سرد) و هارگریوز- سامانی بر اساس پارامترهای هواشناسی در شکل ۲ ارائه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که در ابتدا و انتهای فصل رشد، مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده از مدل SEBAL بیشتر از مقادیر متناظر در مدل HS و لایسیمتر بوده است و SEBAL در محدوده میانی دوره رشد برآوردهای کمتری نسبت به دو روش دیگر نشان داده است.

جدول ۲- شاخص‌های آماری از مقایسه ET در مدل‌های SEBAL و

HS نسبت به داده‌های لایسیمتر مرجع

Table 2- Statistical indices of ET comparison in SEBAL and HS models to reference lysimeter data

Index	Lysimeter		
	SEBAL (cold Pixel)	HS	HS ₁₈₅ **
RMSE*	1.728	1.003	0.813
MAE	1.275	0.580	0.477
MBE	-0.272	0.290	0.206
D	0.700	0.917	0.930

*مقادیر RMSE، MAE و MBE بر حسب میلی‌متر بر روز و d بدون واحد

**RMSE, MAE and MBE values in mm per day and

No-dimension for d index

HS** مربوط به تاریخ‌های گذر ماهواره و HS₁₈₅ مربوط به کل دوره رشد

HS** related to satellite pass-time and HS₁₈₅ to total growth period

این موضوع احتمالاً به دلیل عدم پوشش کامل یونجه و در نتیجه شاخص سطح برگ پائین که در برآورد صحیح مدل سبال ضروری و

ملسه و همکاران (۱۴) نیز گزارش نمودند که ET برآورد شده از مدل SEBAL نسبت به مقادیر ET برآورد شده به کمک مدل‌های نقطه‌ای مانند تشت تبخیر، تابش و پنمن-مانتیت و یا ET اندازه‌گیری شده از لایسیمتر چمن به طور متوسط حدود ۴/۶ درصد فرو برآورد نشان داده است. همچنین سینگ و همکاران (۲۳) مشاهده کردند که تبخیر و تعرق مدل SEBAL حدود ۵ درصد با مقادیر اندازه‌گیری شده تفاوت دارد. سایر پژوهشگران نیز اختلاف ET اندازه‌گیری شده و برآورد شده به کمک مدل SEBAL را ۱۰-۱ درصد (باستیانسن و همکاران، ۷)، ۱۱-۱ درصد (باستیانسن و چاندرایالا، ۸)، ۵ درصد (باستیانسن و باندارا، ۹)، ۴ درصد (۱۶) و ۴/۳ درصد (۲۴) اعلام کردند.

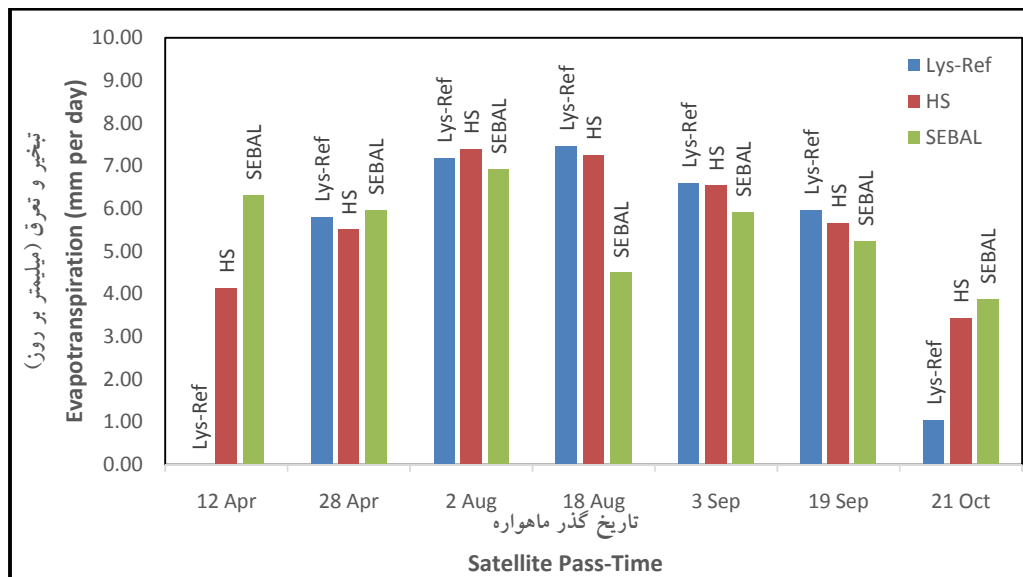
ژانگ‌پینگ و همکاران (۲۸) در برآورد ET به روش SEBAL و مقایسه با نتایج تشتک تبخیر و لایسیمتر چمن گزارش کردند که برآورد ET به روش SEBAL حدود ۱۰/۸ درصد بیش از روش تشتک تبخیر بدست آمد و مدل SEBAL را برای برآورد ET در منطقه مورد مطالعه خود مفید ارزیابی کردند. بر اساس گزارش آن محققین حداکثر برآورد ET در بخش‌های شمالی منطقه (نزدیک به دریاچه و اراضی تحت کشت آبی) و حداقل برآورد ET در بخش‌های جنوبی که مناطق مسکونی و شهری بودند ملاحظه شد. دامنه تغییرات ET در منطقه مورد بررسی آنها بین صفر تا ۸ میلی‌متر بر روز با میانگین ۴/۸۷ میلی‌متر بر روز بوده است. آمار هواشناسی در مناطق مورد بررسی در تاریخ ۱۳ آوریل سال ۲۰۰۰ تقریباً مشابه با شرایط نیمه فصل رشد در دشت شهرکرد بوده است (دمای حداقل هوا بین ۸/۵ تا ۱۰/۵، دمای حداکثر هوا بین ۲۳/۸ تا ۲۵/۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت هوا بین ۲۸ تا ۵۳ درصد مشابه با نتایج موجود در جدول ۱). آنها در پایان بحث خود پیشنهاد می‌نمایند یک سری کامل زمانی از

شرایط استاندارد از نظر تراکم و آبیاری نباشد دارای خطای کمتری نسبت به سایر مدل‌ها حتی مدل‌های جفت-منبع خواهد بود. همچنین آندرسن و همکاران (۶) با تاکید بر توصیه آلن و همکاران (۵) محدودیت کاربرد مدل سبال را در این نکته می‌دانند که اولاً فرض وجود نقاط کرانه‌ای با کنتراست بالا (یعنی پیکسل سرد و گرم) در هر تصویر وجود داشته باشد و دوماً این پیکسل‌ها با دقت مناسب شناسائی و مدل‌سازی شوند. این نقاط کرانه‌ای در تصاویر با درجه تفکیک بالا (مانند تصاویر Landsat) نسبت به تصاویر با درجه تفکیک پایین‌تر (مانند MODIS و AVHRR) بهتر شناسائی می‌شوند و البته پژوهش حاضر از این دو مورد مهم برخوردار است.

توانائی دیگر مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق به کمک داده‌های سنجش از دور مانند SEBAL، پهنه‌بندی تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای است و مطابق با آنچه در شکل ۴ (مربوط به دو تاریخ‌گذر) مشاهده می‌گردد پهنه‌بندی ET روزانه در میانه فصل رشد (۲ آگوست ۲۰۱۱ برابر با ۱۱ مرداد ۱۳۹۰) با رنگ‌های غالب زرد و سبز (۴-۶ و ۸-۶ میلی‌متر بر روز) به خوبی شدت تبخیر و تعرق را در دشت شهرکرد نسبت به پهنه‌بندی ET روزانه در اوایل فصل رشد (۲۸ آوریل ۲۰۱۱ برابر با ۸ اردیبهشت ۱۳۹۰) با رنگ غالب آبی (۴-۲ میلی‌متر بر روز) نشان می‌دهد. دامنه تغییرات تبخیر و تعرق روزانه برآورد شده از مدل سبال بین صفر تا ۸/۰۵ میلی‌متر بر روز در تاریخ ۸ اردیبهشت ۱۳۹۰ (۲۸ آوریل ۲۰۱۱) و بین صفر تا ۱۳/۹۸ میلی‌متر بر روز در تاریخ ۱۱ مرداد ۱۳۹۰ (۲ آگوست ۲۰۱۱) بوده است.

از پیش‌فرض‌های آن است، رخ داده است. به عبارت بهتر مدل سبال از دو پیکسل شاخص برای مشخص کردن شرایط مرزی در معادله توازن انرژی استفاده می‌کند که پیکسل‌های سرد و گرم شناخته می‌شوند و بایستی در محدوده منطقه مورد مطالعه قرار داشته باشند. پیکسل سرد در مزارع با پوشش گیاهی کامل یونجه و با آبیاری کامل انتخاب می‌شود که در آن دمای سطح و دمای هوای نزدیک سطح برابر فرض می‌شوند. پیکسل گرم هم در اراضی بدون پوشش گیاهی و خشک انتخاب می‌شود. البته با توجه به توانائی تفکیک مکانی سنجنده ET+ یعنی ۳۰ متر و وجود ایستگاه هواشناسی در نزدیکی لایسیمتر (حدود ۱۰۰ متر) و پوشش گیاهی گسترده یونجه با شرایط آبیاری خوب و کامل در اطراف لایسیمتر برای انتخاب پیکسل سرد در میانه فصل رشد مشکلی وجود نداشت اما در ابتدا و انتهای فصل رشد به دلیل سردی هوا و سایر ویژگی‌های منطقه، رشد یونجه مانند میانه فصل رشد نمی‌باشد و از پوشش و تراکم کمتری برخوردار است. البته در تاریخ ۱۲ آوریل داده‌های ET مربوط به لایسیمتر به دلیل آماده نبودن لایسیمتر در اول دوره رشد وجود ندارد.

در تحقیق فرنچ و همکاران (۱۱) مدل سبال با داده‌های ET حاصل از همبستگی ادی مورد مقایسه قرار گرفت و گزارش شد این مدل در نواحی با کشت غیر متراکم و غیر استاندارد از دقت بالائی برخوردار می‌باشد. وانگ و همکاران (۲۵) آنالیز حساسیت را روی چند مدل برآورد ET با استفاده از اطلاعات سنجش از دور بررسی نموده و گزارش نمودند مدل سبال در شرایطی که محصول کشت شده دارای



شکل ۲- مقایسه تبخیر و تعرق در مدل‌های مختلف نسبت به لایسیمتر مرجع
Figure 2- Comparing ET in different models to reference lysimeter

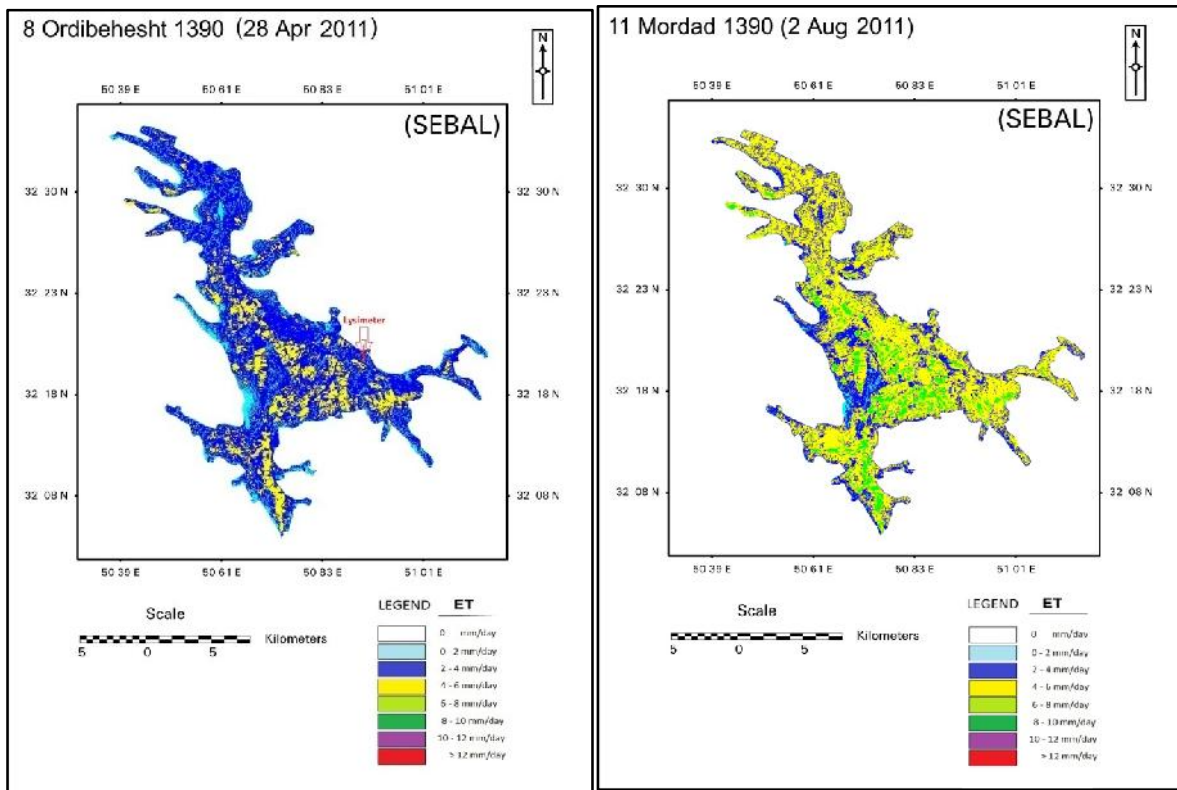
سامانی استفاده شود. البته در این پژوهش برآوردهای مدل سبال برای مناطق با توپوگرافی پیچیده و با استفاده از نقشه‌های رقومی ارتفاع (DEM) اصلاح شدند. با استفاده از مدل سبال در مناطق ناهموار، کوهستانی و مرتفع مانند دشت شهرکرد (که دارای اقلیم نیمه مرطوب معتدل سرد است) نتایج نشان داد که مدل مزبور برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی مناسب است. در این تحقیق از نتایج لایسیمیتری و محاسبات مدل هارگریوز- سامانی نیز بهره جسته شده و با نتایج مدل سبال مقایسه شده‌اند و این مقایسه‌ها حاکی از توانایی مدل سبال در برآورد تبخیر و تعرق در مقیاس محلی و منطقه‌ای است. این نتایج حاکی از کارایی مدل سبال و تکرارپذیری آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با پردازش باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی می‌باشد. این نکته شایان توجه است که نیاز آبی و یا تبخیر و تعرق در طول دوره رشد گیاهان مختلف، متغیر و متفاوت بوده و در نتیجه برای برآورد تبخیر و تعرق کل و یا سالیانه به سری زمانی کاملی از تصاویر ماهواره‌ای نیاز است.

مقادیر بالاتر ET در بخش‌های میانی و پائینی دشت شهرکرد قابل مشاهده هستند در حالی که در بخش‌های شمالی دارای تبخیر و تعرق کمتری هستند (شکل ۳).

مقادیر بالاتر ET مربوط به اراضی تحت کشت آبی بوده که در بخش پائینی و میانی دشت از تراکم بیشتری برخوردار است در حالی که مقادیر پائین ET مربوط به خاک لخت و فاقد پوشش گیاهی و یا نواحی مسکونی و صنعتی می‌باشد. در مطالعات ثنائی نژاد و همکاران (۲۱) و ژانگ‌پینگ و همکاران (۲۸) نیز به نتایج مشابه اشاره شده است.

نتیجه‌گیری کلی

در تحقیق حاضر کوشش به عمل آمده تا با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ و سنچسگر ETM+ که دارای قدرت تفکیک مکانی خوب و دوره تکرار ۱۶ روزه است برای برآورد تبخیر و تعرق در مقیاس منطقه‌ای و در مقایسه با داده‌های لایسیمیتر و مدل هارگریوز-



شکل ۳- پهنه‌بندی ET روزانه با روش SEBAL در دو تاریخ گذر ماهواره
Figure 3- Daily ET mapping by SEBAL in two satellite path-time

منابع

- 1- Abdoli H., Eslamian S.S., and Abedi Koohpaei J. 2011. The use of Landsat7 satellite images and MODIS for estimating evapotranspiration through remote sensing in irrigation management. 3rd Irrigation and Drainage Network Management National Conference (IDNC201). Faculty of Irrigation Engineering, Shahid Chamran University.(In Persian)
- 2- Akbari M., Toomanian N., Droogers P., Bastiaanssen W.G.M., and Gieske A. 2007. Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran, using NOAA satellite imagery. *Agricultural water management*, 88, 99–109.
- 3- Allen R.G., Morse A., Tasumi M., Bastiaanssen W.G.M., Kramber W., and Anderson H. 2001. Evapotranspiration from Landsat (SEBAL) for water rights management and compliance with multi-state water compacts. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, (2), 830-833.
- 4- Allen R.G., Pereira L.D., Raes D., and Smith M. 1998. *Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements*, FAO Irrigation and Drainage Paper 5627-65.
- 5- Allen R. G., Tasumi, M., and Trezza R. 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 133, 380-394.
- 6- Anderson M. C., Allen R. G., Morse A., and Kustas W. P. 2012. Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources: *Remote Sensing of Environment*. Vol. 122, 50-65.
- 7- Bastiaanssen W.G.M. Ahmad M. D. and Chemin Y. 2002. Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. *Water Resource Research*, 38 (12), 1273.
- 8- Bastiaanssen W.G.M. and Chandrapala L. 2003. Water balance variability across Sri Lanka for assessing agricultural and environmental water use. *Agric. Water Manage*, 58(2), 171–192.
- 9- Bastiaanssen W.G.M., and Bandara K.M.P.S. 2001. Evaporative depletion assessments for irrigated watersheds in Sri Lanka. *Irrigation Science*, 21, 1–15.
- 10- Bastiaanssen W.G.M., Noordman E.J.M., Pelgrum H., Davids G., Thoreson B.P., and Allen R.G. 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 131, 85-93.
- 11- French A.N., Jacob M.C., Anderson W.P., Kustas W., Timmermans A., Gieske Z., Su M.F., McCabe F., Li J., and Brunzell N. 2005. Surface energy balance fluxes with the Advanced Spaceborn Thermal Emmission and Reflection radiometer (ASTER) at the Iowa 2002 SMACEX site (USA). *Remote sensing Environ*. 99(1-2): 55-65.
- 12- Jia Z., Liu S., Xu Z., Chen Y., and Zhu M. 2012. Validation of remotely sensed evapotranspiration over the Hai River Basin, China, *Journal of Geophysical Research*, 117, D13113.
- 13- Mahdavi A., Nouri Emamzadei M. R., Mahdavi Najafabadi R., and Tabatabaei S. H. 2011. Identification of Artificial Recharge Sites Using Fuzzy Logic in Shahrekord Basin. *Journal of Water and Soil Science- Isfahan University of Technology*, 15, 63-78. (In Persian)
- 14- Melesse A.M., Abtew W., and Dessalegne T. 2009. Evaporation Estimation of Rift Valley Lakes: Comparison of Models. *Sensors*, 9, 9603-9615.
- 15- Mobasheri M.R., Khavarian H., and Moussaoui H. 2006. Error estimates of ET from Sensible Heat in the SEBAL. National Conference on Irrigation and Drainage network management, Shahid Chamran University, Department of Water Engineering. (In Persian)
- 16- Mohamed Y., Bastiaanssen W.G.M., and Savenije H.H.G. 2004. Spatial variability of evaporation and moisture storage in the swamps of the upper Nile studied by remote sensing techniques. *Journal of Hydrology*, 277, 116–124.
- 17- Mohseni Saravi M., Ahmadi H., and Nosrati K. 2010. Estimation of evapotranspiration in Taleghan Basin using SEBAL. The First International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling. International center for science, high technology, environmental sciences. Shahid Bahonar University of Kerman.(In Persian)
- 18- Mokhtari M.H. 2005. Agricultural drought impact using remote sensing. Ms. C. Diss., ITC. The Netherlands.
- 19- Morshedi A. 2013. Estimation and mapping actual evapotranspiration using remote sensing data in Shahrekord plain. Ph.D. Thesis. Shahrekord University, Shahrekord, IRAN. (In Persian)
- 20- Noori S., Sanaei-Nejad H., and Hasheminia M. 2010. Estimation of evapotranspiration with SEBAL model using MODIS images in regional scale. The First International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling. International center for science, high technology, environmental sciences. Shahid Bahonar University of Kerman. (In Persian)
- 21- Sanaei Nejad S.H., Noori S., and Hasheminia S.M. 2011. Estimation of Evapotranspiration Using Satellite Image Data in Mashhad area. *Journal of Water and Soil*, vol. 25, No.3, 540-547. (In Persian)
- 22- Seif Z., Akbari A., and Zareabyaneh H. 2010. Review of the energy balance algorithm at ground level and its relationship to determine evapotranspiration in irrigation networks. The First International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling. International center for science, high technology, environmental sciences. Shahid Bahonar University of Kerman. (In Persian)

- 23- Singh R.K., Irmak A., Irmak S., and Martin D.L. 2008. Application of SEBAL Model for mapping Evapotranspiration and Estimating Surface Energy Fluxes in South- Central Nebraska. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*.134: 273-285.
- 24- Tasumi M., Allen R.G., Trezza R., and Wright J. L. 2005. Satellite-based energy balance to assess within-population variance of crop coefficient curves. *American Society of Civil Engineers, Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131(1): 94–109.
- 25- Wang J., Sammis, T. W., Gutschick V. P., Gebremichael M., and Miller D. R. 2009. Sensitivity Analysis of the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). *American Society of Agriculture and Biological Engineering*. Vol. 52 (3):801-811.
- 26- Weiqiang Ma., Hafeez M., Rabbani U., Ishikawa H., and Ma Y. 2012. Retrieved actual ET using SEBS model from Landsat- 5T Mdata for irrigation area of Australia. *Atmospheric Environment* 59, 408-414.
- 27- Zareabayneh H., Bayat Varkeshi M., Sabziparvar A. A., Marofi S., and Ghasemi A. 2011. Evaluation of Different Reference Evapotranspiration Methods and their Zonings in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 42(4), 95-109.(In Persian)
- 28- Zhongping S., Wei Sub W., Shen W., Wang C., You D., and Liu Z. 2012. Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. *Mathematical and Computer Modelling* 54, 1086–1092.

Verification SEBAL and Hargreaves –Samani Models to Estimate Evapotranspiration by Lysimeter Data

A. Morshedi^{1*} - S.H. Tabatabaei² – M. Naderi³

Received: 26-10-2014

Accepted: 14-06-2015

Introduction: Evapotranspiration (ET) is an important component of the hydrological cycle, energy equations at the surface and water balance. ET estimation is needed in various fields of science, such as hydrology, agriculture, forestry and pasture, and water resources management. Conventional methods used to estimate evapotranspiration from point measurements. Remote sensing models have the capability to estimate ET using surface albedo, surface temperature and vegetation indices in larger scales. Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) estimate ET at the moment of satellite path as a residual of energy balance equation for each pixel. In this study Hargreaves-Samani (HS) and SEBAL models ET compared to an alfalfa lysimeter data's, located in Shahrekord plain within the Karun basin. Satellite imageries were based on Landsat 7 ETM+ sensor data's in seven satellite passes for path 164 and row 38 in the World Reference System, similar to lysimeter sampling data period, from April to October 2011. SEBAL uses the energy balance equation to estimate evapotranspiration. Equation No. 1 shows the energy balance equation for an evaporative surface:

$$ET = R_n - G - H \quad [1]$$

In this equation R_n , H , G and ET represent the net radiation flux input to the surface (W/m^2), Sensible heat flux (W/m^2), soil heat flux (W/m^2), and latent heat of vaporization (W/m^2), respectively. In this equation the vertical flux considered and the horizontal fluxes of energy are neglected. The above equation must be used for large surfaces and uniformly full cover plant area. SEBAL is provided for estimating ET, using the minimum data measured by ground equipment. This model is applied and tested in more than 30 countries with an accuracy of about 85% at field scale, and 95 percent in the daily and seasonal scales. In Borkhar watershed (East of Isfahan, IRAN) ASTER and MODIS satellite imageries were used for SEBAL to compare Penman-Monteith model. Results showed that estimated ET of SEBAL were about 20% less than sugar beet ET and about 15% more for maize ET by Penman-Monteith. He concluded the differences may be due to the limited number of satellite imageries which extrapolated ET through the entire growth period and the data obtained from the weather station far from 24 km in the studied area. In another study at Zayanderud Basin, the different irrigation networks were examined using Landsat 7 imageries to increase the spatial resolution of NOAA satellite to determine the energy balance components and actual evapotranspiration. In this study, data from a lysimeter to a depth of 2.5 m and a diameter of 3 meters planted with alfalfa in the Chahar-Takhteh agricultural research station (Agricultural and natural resources research center of Shahrekord, IRAN) was used. The lysimeter (LYS_REF) located in the middle of 25×40 m (1000 square meter) alfalfa cultivated farm, surrounded by other planted area. The lysimeter used to measure the reference evapotranspiration (ET_r) and around alfalfa was used as cold pixels.

Materials and Methods: This study was conducted to evaluate SEBAL and Hargreaves-Samani estimated ET models against evapotranspiration measured by lysimeter within the Shahrekord plain. Meteorological data required for a period of 185 days (according to the lysimeter data period) includes minimum and maximum relative humidity (RH_{max} and RH_{min}), maximum and minimum air temperature (T_{max} and T_{min}), wind speed at two meters (U_2), precipitation, evaporation rate, sunshine hours, air pressure and dew point temperature obtained from a weather station nearby lysimeter. In order to assess reference evapotranspiration (ET_r) models, statistical indices such as the coefficient of determination (R^2), mean absolute error (MAE), mean bias error (MBE), root mean square error (RMSE) and index of agreement (d) were used.

Results and Discussion: The results showed that RMSE, MAE and MBE for SEBAL model over the lysimeter data were 1.782, 1.275 and -0.272 mm/day and 0.700 for the d index, respectively. Similar indices for the Hargreaves-Samani model were 1.003, 0.580 and 0.290 mm/day and 0.917 for the d index. For HS model results show that RMSE, MAE and MBE values were 0.813, 0.477 and 0.206 mm/day, and 0.930 for the index of d, during the entire growing period (185 days).

Conclusion: However, results showed that the efficiency and reliability of the SEBAL model by processing

1- Assistant Professor, Department of Soil and Water Research. Agricultural and Natural Resources Center of Shahrekord (*- Corresponding Author Email: a.morshedi@areo.ir)

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University

3- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University

satellite visible, near infrared and thermal infrared bands. The need for irrigation water requirements and ET estimation are noteworthy, during the growth of various plants, which vary and thus the complete time series of satellite imageries is required to estimate the total and annual evapotranspiration.

Keywords: Alfalfa, Energy Equation, Landsat, Shahrekord Plain