

## بررسی قابلیت شاخص‌های بیوفیزیک ماهواره‌ای اجزای تعادل انرژی و تبخیر و تعرق واقعی در ارزیابی تغییرات رطوبتی خاک

فاطمه بومه<sup>۱</sup>، محمد حسین مختاری<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
  ۲. استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- \* نویسنده مسئول: [mh.mokhtari@yazd.ac.ir](mailto:mh.mokhtari@yazd.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۱

### چکیده

رطوبت خاک سطحی یکی از متغیرهای مهم در فرآیندهای هیدرولوژیک است که بر تبادل جریان آب و انرژی بین سطح زمین و جو تأثیر می‌گذارد. برآورد دقیق تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک برای بررسی‌های مختلف محیطی بسیار مهم است. پیشرفت‌های اخیر فناوری در سنجش از دور ماهواره‌ای نشان داده است که رطوبت خاک با انواع روش‌های سنجش از دور قابل اندازه‌گیری است. هدف از پژوهش حاضر، برآورد شاخص‌های بیوفیزیک و تبخیر و تعرق با استفاده از خوارزمیک سبال (SEBAL) و ارائه شاخص رطوبت خاک با استفاده از روش رگرسیون مولفه اصلی در اراضی شرق دریاچه بختگان، استان فارس است. به همین منظور پنج تصویر ماهواره لندست ۸ مربوط به ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر سال ۱۳۹۶ شمسی انتخاب و تصحیح‌های اولیه بر روی تصاویر، انجام شد. برای اجرای خوارزمیک سبال از داده‌های هواشناسی ایستگاه همدیدی مرودشت استفاده شد. با بهره‌گیری از شاخص‌های بیوفیزیک همانند آلبدو، شار تابش خالص، شار گرمای خاک، تبخیر و تعرق، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی و دمای سطح زمین به روش رگرسیون مولفه اصلی شاخص رطوبت خاک، مدل‌سازی شد. برای صحت-سنجی مدل از شاخص TVDI استفاده شد. ضریب  $R^2$  و شاخص F مدل برابر با ۰/۹۶۶ و ۱۶۵۱۵۸۱/۹ است که نشان دهنده دقت زیاد مدل برای برآورد شاخص رطوبت خاک در هر پیکسل در مناطق مختلف با شرایط مختلف و پوشش گیاهی متنوع است. نتایج نشان داد که برای برآورد دقیق‌تر مقدار رطوبت خاک افزون بر دما و پوشش گیاهی، دیگر شاخص‌های بیوفیزیک موثر بر مقدار رطوبت خاک سطحی می‌بایست در نظر گرفته شود.

**واژگان کلیدی:** رگرسیون مولفه اصلی؛ سبال؛ شاخص پوشش گیاهی؛ شاخص خشکی خاک

## ■ مقدمه

رطوبت خاک، به ویژه رطوبت خاک سطحی نقش بسیار مهمی در مدیریت منابع آب و خاک دارد. رطوبت خاک، همچنین نقش مهمی در چرخه آبی طبیعت، به ویژه در توزیع مکانی بارش-رواناب و نفوذ، که فرآیند مهمی در هیدرولوژی و ژئومورفولوژی است، ایفا می‌کند (۲۵). تغییرات عواملی همچون بافت خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های آبیاری موجب تغییرپذیری زمانی- مکانی رطوبت خاک می‌شود (۳۰، ۴۶). روش‌های متعددی برای تعیین رطوبت خاک در سطح وسیع، با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور و بدون نمونه‌گیری مستقیم از خاک وجود دارد. از آن جمله می‌توان به استفاده از ابزارهای سنجش با کمک امواج نوری (۲۸، ۳۷، ۴۵)، ماکروویو (۱۴) و الکترومغناطیس رادیویی (۴۷) اشاره کرد. روش‌های سنجش از دور مبتنی بر امواج میکروویو روش‌هایی موثر برای برآورد رطوبت خاک هستند و در تمامی ساعات شبانه روز قابلیت گسترده‌ای در سنجش آب و هوا دارد، ولی محدودیت‌هایی را نسبت به سنجنده اسپکترورادیومتر دارد (۲۹). با توجه به اینکه بیشترین مقدار هدر رفت آب از طریق تبخیر و تعرق پوشش گیاهی، زمین‌های کشاورزی و سطح آب است (۲۳)؛ تبخیر و تعرق و دیگر شاخص‌های بیوفیزیک وابسته به تبخیر و تعرق حائز اهمیت است و به کارگیری خوارزمیک سبال<sup>۱</sup> می‌تواند نقش مهمی را در تصمیم‌گیری‌های منابع آب ایفا کند (۱۳). روش‌های سنجش از راه دور برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی، در مقیاس شبکه‌ای (پیکسل به پیکسل) برای دوره‌های کوتاه مدت در منطقه بزرگ استفاده می‌شود (۳، ۷، ۱۰، ۱۹، ۲۶، ۲۷، ۴۲). محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با خوارزمیک‌های متعددی همچون سامانه بیلان انرژی (SEBS) (۴۲)، بیلان انرژی در سطح زمین (SEBAL) (۷)، (۳۵) SEBI<sup>۳</sup> و (۴) METRIC<sup>۴</sup> امکان‌پذیر است. بیشتر این روش‌ها به طور کامل یا جزئی بر پایه رابطه بیلان انرژی و تابش خالص به عنوان پارامتر اصلی است

(۲۴)، که موجب برآورد تبخیر و تعرق با دقت بالا شده است. خوارزمیک انرژی سطح برای زمین (۷)، روش تخمینی تبخیر و تعرق واقعی، بر پایه تعادل انرژی و یک روش سنجش از دور ماهواره‌ای است. خوارزمیک سبال تحت شرایط و مناطق مختلف در جهان از جمله اسپانیا، ایتالیا، ترکیه، پاکستان، هند، سریلانکا، مصر، نیجریه، چین و ایالات متحده تایید شده است، بسیاری از تحقیقات در این کشورها، کارایی خوارزمیک سبال را با استفاده از نتایج آزمایشگاهی تایید می‌کند، (۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۳۱، ۴۳، ۴۴). علاوه بر این برای ارزیابی مقدار تبخیر و تعرق با استفاده از سنسورهای مختلف ماهواره‌ای یا ترکیبی از تصاویر ماهواره‌ای با دقت مکانی و زمانی زیاد مانند Landsat7 ETM+/ASTER با NOAA AVHRR/MODIS مطالعات مختلف انجام شده است (۱، ۶، ۱۱، ۲۰). با استفاده از خوارزمیک سبال، سری‌های زمانی ۸ ماهه تبخیر و تعرق محاسبه و در واسنجی کردن مدل SWAT به کار برده شده است که نتایج حاکی از بیشترین مقدار هدر رفت آب در این حوضه از طریق تبخیر و تعرق است (۲۳). بیشترین روشی که برای ارزیابی رطوبت خاک مورد استفاده قرار گرفته، ترکیب شاخص پوشش گیاهی و دمای سطحی زمین است (۱۵، ۱۶، ۱۸). بر اساس شاخص‌های مشتق شده از سنجش از راه دور، مدل مثلثی (۳۸) و نمودار دمای سطح زمین-پوشش گیاهی (۳۶) شاخص رطوبت خاک محاسبه می‌شود. شیب رابطه پوشش گیاهی نرمال شده و دمای سطح زمین در مدل‌های ترکیبی، رطوبت سطح زمین را نشان می‌دهد (۳۶). با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS<sup>۵</sup> و شاخص‌های ماهواره‌ای همانند LST<sup>۶</sup>، NDVI<sup>۷</sup> و TVDI<sup>۸</sup>، رطوبت خاک در دلتای مکنونگ ویتنام بررسی و نتایج حاکی از دقت قابل قبول بکارگیری شاخص‌های منتخب برای تخمین رطوبت سطح خاک، است (۱۱). مقدار TVDI با رطوبت خاک در عمق ۰/۱- صفر m، ۰/۲- ۰/۱ m، ۰/۳- ۰/۲ m همبستگی دارد (۲۲). نتایج بیشتر پژوهش‌ها بیانگر این است که استفاده از شاخص TVDI می‌تواند در بررسی رطوبت لایه سطحی

5. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer  
6. Land Surface Temperature  
7. Normalized difference vegetation index  
8. Temperature Vegetation Dryness Index

1. Surface Energy Balance System  
2. Surface Energy Balance System  
3. Surface Energy Balance Index  
4. Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration

خاک و بحث خشکسالی، بسیار موثر باشد (۳۶). برای نمونه با استفاده از شاخص TVDI وضعیت و تغییر روزانه رطوبت سطحی خاک در غرب آفریقا بررسی و کارایی این شاخص گزارش شده است (۴۱). همچنین وضعیت رطوبت سطحی خاک در کوهستان‌های چانگ بایی در چین نشان داد که شاخص TVDI، یک شاخص موثر برای بررسی وضعیت رطوبت تشخیص داده شده است (۲۱).

هدف از پژوهش حاضر، بررسی قابلیت اجزای بالانس انرژی و تبخیر و تعرق در تخمین رطوبت خاک است. در بررسی‌های قبلی برای برآورد رطوبت خاک فقط از دو شاخص (پوشش گیاهی و دمای سطح زمین) استفاده شده. ولی در این پژوهش علاوه بر دو شاخص یاد شده از شاخص‌های بیوفیزیک متعلق به بخش اجزای توازن انرژی و تبخیر تعرق استفاده شده است.

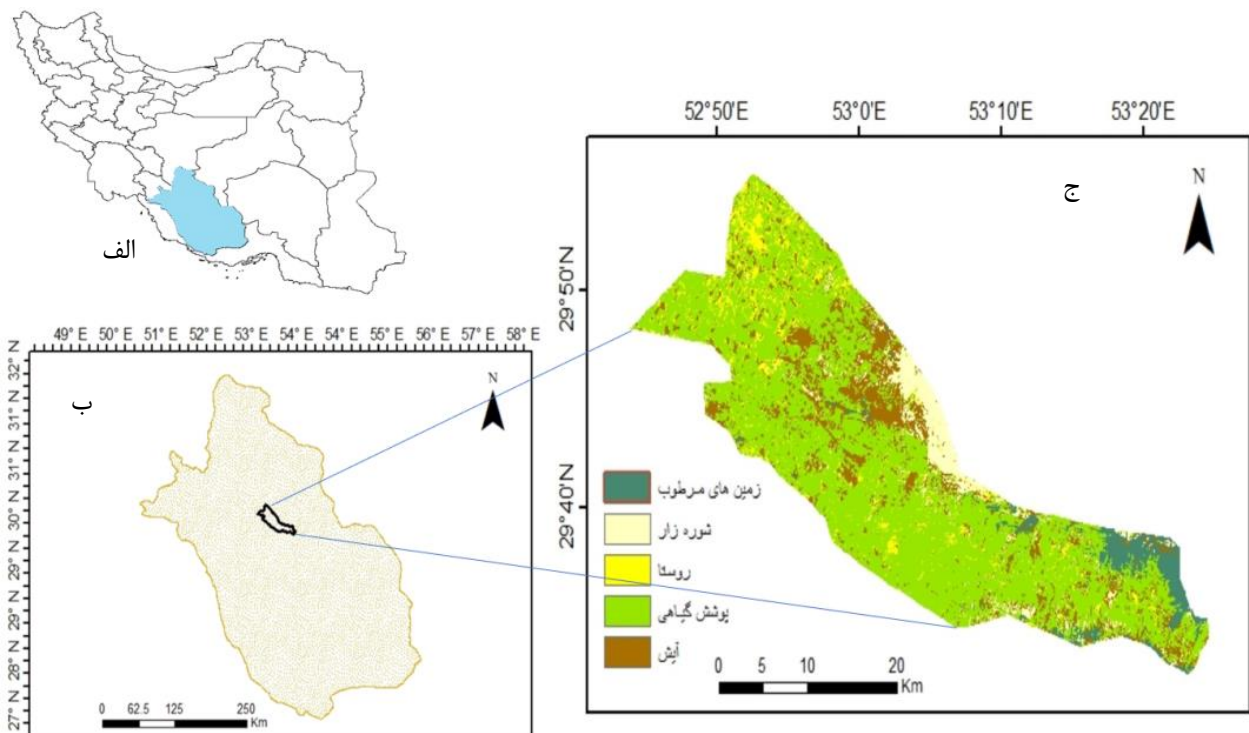
#### داده‌های مورد استفاده

برای انجام پژوهش حاضر از پنج تصویر بدون ابر، ماهواره‌ای سنجنده OLI از Landsat 8 با ویژگی‌های نشان داده شده در جدول ۱ استفاده شد. بر روی تصاویر تصحیح رادیومتریک، که طی آن DN به رادیانس و در پایان به Reflectance سطح زمین تبدیل شد و تصحیح اتمسفری به روش FLAASH در نرم افزار ENVI انجام شد. از داده‌های زمینی شامل دمای نقطه شبنم، فشار، سرعت باد و دمای هوای اندازه‌گیری شده در طول روز تصویربرداری در ایستگاه همدیدی مرودشت در تاریخ‌های ذکر شده، استفاده شد. رطوبت خاک ۱۵ نقطه در زمان گذر ماهواره از منطقه مورد مطالعه به روش وزنی محاسبه شد.

#### ■ مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در شرق دریاچه بختگان و بین  $29^{\circ} 33'$  تا  $29^{\circ} 48'$  عرض شمالی و  $52^{\circ} 43'$  تا  $53^{\circ} 23'$  طول جغرافیایی قرار دارد. وسعت منطقه  $53 \text{ km}^2$



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد بررسی در ایران، استان فارس و نقشه کاربری اراضی به ترتیب در اشکال الف، ب و ج

جدول ۱. مشخصات تصاویر Landsat 8 سنجنده OLI

ردیف	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	زمان محلی	گذر/ردیف
۱	۲۰۱۷/۰۳/۲۱	۱۳۹۶/۱/۱	۱۰:۳۰	۳۹/۱۶۲
۲	۲۰۱۷/۰۴/۰۶	۱۳۹۶/۱/۱۷	۱۰:۳۰	۳۹/۱۶۲
۳	۲۰۱۷/۰۴/۲۲	۱۳۹۶/۲/۲	۱۰:۳۰	۳۹/۱۶۲
۴	۲۰۱۷/۰۵/۲۴	۱۳۹۶/۳/۳	۱۰:۳۰	۳۹/۱۶۲
۵	۲۰۱۷/۰۶/۲۵	۱۳۹۶/۴/۴	۱۰:۳۰	۳۹/۱۶۲

## اجزای توازن انرژی

خوارزمیک توازن انرژی سطحی برای زمین (SEBAL) شارهای انرژی را در مقیاس منطقه‌ای پیش‌بینی می‌کند. در این خوارزمیک شاخص‌های آلبیدوی سطح، دمای سطحی و شاخص پوشش گیاهی از مولفه‌های حساس و تاثیرگذار هستند (۲)، که به وسیله داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی به دست آمد و با بکارگیری اطلاعات هواشناسی مانند درجه حرارت، ساعت آفتابی، سرعت باد، فشار بخار اشباع و رطوبت خاک شارهای انرژی محاسبه و در آخر تبخیر و تعرق منطقه تعیین شد. در واقع در این روش شار گرمای نهان که به مصرف تبخیر و تعرق می‌رسد، بر اساس مقدار باقی‌مانده انرژی از معادله (۱) محاسبه شد (۲).

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

در رابطه ۱ واحد هر چهار عامل  $W/m^2$  است.  $\lambda ET$  شار گرمای نهان،  $R_n$  شار تابش خالص در سطح زمین،  $G$  شار گرمای خاک و  $H$  شار گرمای محسوس است.

شار تابش خالص سطحی ( $R_n$ )

محاسبه شار تابش خالص سطحی ( $R_n$ ) با استفاده از شارهای تابش ورودی و خروجی است (۶) که از طریق معادله ۲ محاسبه شد:

$$R_n = (1 - \alpha)R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (2)$$

$R_{S\downarrow}$  تابش موج کوتاه ورودی ( $W/m^2$ )،  $R_{L\downarrow}$  تابش موج بلند ورودی ( $W/m^2$ )،  $R_{L\uparrow}$  تابش موج بلند خروجی ( $W/m^2$ )،  $\alpha$  آلبیدوی سطحی و  $\epsilon_0$  توان تشعشعی سطحی عریض باند است.

## شار گرمای خاک (G)

با استفاده از روش سبال نسبت  $G/R_n$  در نیمه روز، با استفاده از معادله تجربی ارائه شده توسط باستیانس (۹) با معادله ۳ محاسبه شد (۲).

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (3)$$

$T_s$  دمای سطحی ( $^{\circ}C$ ) و  $\alpha$  آلبیدوی سطحی است. مقدار  $G$  با ضرب کردن نسبت فوق در  $R_n$  محاسبه شده است. چنانچه مقدار  $NDVI$  کمتر از صفر باشد، سطح مذکور آب تلقی شده و نسبت  $G/R_n$  برای آن برابر با  $0/5$  در نظر گرفته شد. مناطق دارای مقدار  $T_s$  کمتر از  $^{\circ}C$  ۴ و  $\alpha$  بیشتر از  $0/45$ ، مناطق پوشیده از برف منظور شد و نسبت  $G/R_n$  برای این مناطق نیز  $0/5$  لحاظ شده است.

## شار گرمای محسوس (H)

شار گرمای محسوس، مقدار هدر رفت گرما به هوا، از طریق همرفت و هدایت مولکولی به علت وجود اختلاف دما است که با استفاده از معادله (۴) محاسبه شد (۲).

$$H = \frac{\rho \cdot C_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad (4)$$

$\rho$  چگالی هوا ( $kg/m^3$ )،  $C_p$  گرمای ویژه هوا ( $1004 J/Kg/K$ )،  $dT$  اختلاف دما ( $T_1 - T_2$ ) بین دو ارتفاع ( $z_1 - z_2$ ) بر حسب درجه کلوین ( $K$ ) و  $r_{ah}$  مقاومت آیرودینامیکی در برابر انتقال گرماست ( $s/m$ ). شار گرمای محسوس تابعی از گرادیان دما، زبری سطح و سرعت باد است.

## شار گرمای نهان و تبخیر- تعرق لحظه‌ای

شار گرمای نهان  $\lambda ET$  که میزان هدر رفت گرما از سطح به علت فرآیند تبخیر- تعرق است به کمک معادله

گیاهی مشاهده شده،  $a$  و  $b$  پارامترهای لبه خشک را تعریف کردند که با استفاده از برازش یک خط رگرسیونی به داده‌ها محاسبه گردید (۳۹).

### رگرسیون مولفه اصلی<sup>۱</sup>

از رگرسیون مولفه‌های اصلی به منظور مشخص کردن شاخص‌های بیوفیزیک که بیشترین تاثیرگذاری را در تعیین رطوبت خاک منطقه دارد و مدل‌سازی استفاده شد. پس از برآورد شاخص‌های بیوفیزیک تصاویر تبدیل به فایل نقطه‌ای شد که هر نقطه نماینده یک چهارگوش (پیکسل) در تصویر است و در انتها به روش زیر رگرسیون مولفه‌های اصلی محاسبه شد. شاخص‌های بیوفیزیک به عنوان متغیر مستقل و رطوبت خاک به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد.

(۱) رگرسیونی گام به گام (stepwise) با متغیر وابسته  $Y$  و  $P$  تا متغیر مستقل  $X$  در سطح معناداری ۰/۹۵ ( $P < 0.05$ ) و هم‌خطی بودن متغیرهای مستقل با یکدیگر بررسی گردید.

(۲) برای تبدیل مجموعه‌ای از متغیرهای همبسته به مجموعه‌ای از مولفه‌های اصلی غیرهمبسته و نشان دادن مقادیر اطلاعاتی مجموعه‌های مختلف از مولفه‌های اصلی، تجزیه و تحلیل مولفه اصلی را با متغیرهای  $P$  مستقل محاسبه گردید. مولفه‌هایی که دارای ارزش ویژه مساوی یا بزرگ‌تر از یک داشتند به عنوان مولفه اصلی انتخاب شد (۳۴).

(۳) محاسبه متغیر وابسته استاندارد: متغیرهای  $P$  مستقل استاندارد و مقادیر مولفه‌های اصلی  $P$  به ترتیب با توجه به معادلات محاسبه شد. معادلات ۸ تا ۱۰ برای تهیه و آماده‌سازی معادلات رگرسیون مولفه‌های اصلی استاندارد شده است.

$$Y' = (Y - \bar{Y}) / S_Y \quad (۸)$$

$$X'_i = (X_i - \bar{X}_i) / S_{X_i} \quad (i=1, \dots, p) \quad (۹)$$

$$C_i = a_{i1}X'_1 + a_{i2}X'_2 + \dots + a_{ip}X'_p \quad (i=1, \dots, p) \quad (۱۰)$$

(۱) برآورد شده است. از آنجا که مقادیر شار تابش خالص ( $R_n$ )، شار گرمای محسوس ( $H$ ) و شار گرمای خاک ( $G$ ) که تا کنون به دست آمده مقادیر لحظه‌ای و برای زمان گذر ماهواره هستند، مقدار شار گرمای نهان ( $\lambda ET$ ) نیز به صورت لحظه‌ای است.  $\lambda ET$  مقداری است که توسط تصاویر ماهواره‌های محاسبه شده، بنابراین مقدار عددی  $\lambda$  باید محاسبه شود تا با تقسیم عدد مربوط در هر پیکسل، مقدار  $ET$  به دست آمد.

با بهره‌گیری از شار گرمای نهان لحظه‌ای، مقدار  $ET$  لحظه‌ای از معادله (۵) محاسبه شد (۲).

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

$ET_{inst}$  مقدار تبخیر-تعرق لحظه‌ای ( $mm/hr$ )،  $\lambda$  گرمای نهان تبخیر ( $J/Kg$ ) و عدد ۳۶۰۰ برای تبدیل زمان از ثانیه به ساعت است. مقدار  $\lambda$  از معادله (۶) محاسبه شد (۲).

$$\lambda = [2.501 - 0.00236(T_s - 273.15)] \times 10^6 \quad (۶)$$

در این رابطه  $T_s$  دمای سطحی ( $^{\circ}C$ ) است.

### شاخص خشکی خاک (TVDI)

در این روش فرض شد که شکل نمودار پراکندگی NDVI-LST نزدیک به مثلث است و در نتیجه شاخص TVDI با استفاده از لبه‌های خشک و مرطوب رابطه این دو متغیر برآورد شد (۲۱).

شاخص TVDI کمیتی بین ۱ در لبه خشک با دسترسی محدود به آب؛ و صفر در لبه مرطوب دارد، که حداکثر تبخیر-تعرق با دسترسی به آب نامحدود منظور گردید و از معادله (۷) محاسبه شد (۳۸).

$$TVDI = (T_s - T_{smin}) / (a + b * NDVI - T_{smin}) \quad (۷)$$

$$T_{smax} = a + b * NDVI$$

$T_{smin}$  کمترین مقدار دمای سطح زمین در مثلث بود که لبه مرطوب را تعریف کرد،  $T_s$  دمای سطحی مشاهده شده در هر پیکسل، NDVI شاخص تفاضل نرمال شده

$$\hat{y}' = \sum b'_i X_i \quad (i=1, \dots, K \leq p) \quad (12)$$

$\hat{y}'$  برآورد استاندارد شده رگرسیون خطی،  $b'_i$  -امین ضریب رگرسیون جزئی استاندارد شده رگرسیون خطی استاندارد شده.

۶) ضرایب رگرسیون جزئی و ثابت با معادلات (۱۳) و (۱۴) محاسبه شده و در پایان معادله رگرسیون خطی استاندارد شده به معادله رگرسیونی خطی تعمیم یافته تبدیل شد معادله (۱۵).

$$b_i = b'_i (L_{yy} / L_{X_i X_i})^{1/2} \quad (i=1, \dots, K \leq p) \quad (13)$$

$$b_0 = \bar{Y} - \sum b_i \bar{X}_i \quad (i=1, \dots, K \leq p) \quad (14)$$

$$\hat{y} = b_0 + \sum b_i X_i \quad (i=1, \dots, K \leq p) \quad (15)$$

$b_i$  -امین ضریب رگرسیون جزئی رگرسیون خطی تعمیم یافته،  $L_{yy}$  مجموع مربعات متغیر وابسته  $Y$ ،  $L_{X_i X_i}$  مجموع مربعات -امین متغیر مستقل  $X_i$ ،  $b_0$  مقدار ثابت رگرسیون خطی تعمیم یافته.

یکی از راه‌های تشخیص مناسبت مدل استفاده از آماره  $F$  است به این معنا که اگر در جدول آنالیز واریانس مقدار  $F$  بدست آمده از  $F_{\alpha}(1, n-2)$  بیشتر باشد مدل خطی مناسب است. مراحل انجام پژوهش در شکل (۲) به صورت خلاصه آورده شد.

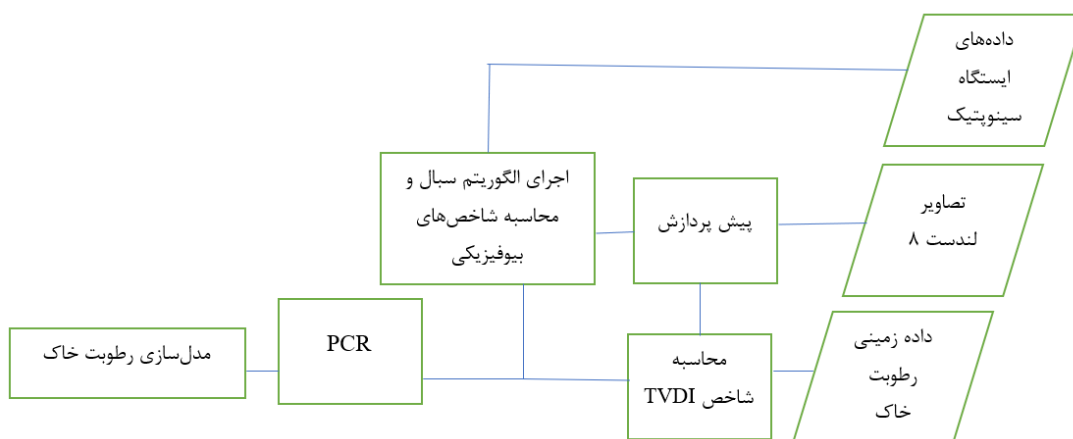
$Y'$  متغیر وابسته استاندارد،  $Y$  متغیر وابسته،  $S_Y$  انحراف استاندارد متغیر وابسته،  $\bar{Y}$  میانگین متغیر وابسته،  $X'_i$  متغیر مستقل استاندارد،  $X_i$  متغیر مستقل،  $\bar{X}_i$  میانگین متغیر مستقل،  $S_{X_i}$  انحراف استاندارد متغیر مستقل،  $C_i$  مولفه اصلی،  $a_{ij}$  ضریب ماتریس مولفه اصلی (ماتریس متشکل از  $C_i$  و  $X_i$ ).

۴) معادله رگرسیون مولفه اصلی استاندارد شده را با اولین مولفه اصلی ساخته، سپس مولفه اصلی یک به یک اضافه شد تا معادلات رگرسیون مولفه اصلی استاندارد شده (معادله ۱۱) به دست آمد، در عین حال بررسی شد که آیا همه مولفه‌های اصلی از یکدیگر مستقل هستند یا خیر؟، سپس بهترین معادله رگرسیونی مولفه اصلی استاندارد شده در معادله ۱۱ تعیین شد، بر اساس بیشینه  $R^2$  و حداقل خطای استاندارد برآورد با مقایسه  $R^2$  و برآورد خطای استاندارد هر معادله رگرسیونی مولفه اصلی استاندارد شد.

$$\hat{y}'_j = \sum B'_i C_i \quad (j=1, \dots, m \leq p; \quad i=1, \dots, K \leq p) \quad (11)$$

$\hat{y}'_j$  برآورد  $j$  -امین رگرسیون مولفه اصلی استاندارد شده،  $B'_i$  -امین ضریب رگرسیون جزئی استاندارد شده رگرسیون مولفه‌های اصلی استاندارد شده.

۵) بهترین رگرسیون مولفه‌های اصلی استاندارد شده، بازده رگرسیون خطی استاندارد شده پس از مرتب‌سازی در معادله (۱۲) است که در معادله زیر نشان داده شده است.



شکل ۲. مراحل انجام پژوهش

## نتایج و بحث

مقادیر سپیدایی (آلبیدو) با افزایش رطوبت خاک، کاهش می‌یابد. بیشترین مقادیر سپیدایی سطحی مربوط به شوره‌زار، زمین‌های آیش و اراضی که کمترین میزان NDVI دارد و کمترین مقدار آن مربوط به زمین‌های کشاورزی و منابع آبی است. سپیدایی سطحی با توجه به معادلات مربوط محاسبه شده است.

نقشه پهنه‌بندی سپیدایی سطحی در شکل (۳ تا ۷) در تاریخ‌های مختلف نشان داده شده است. مقدار NDVI برای آب منفی و برای گیاه متراکم ۰/۹۰ بدست آمده است و با توجه به اینکه مقدار NDVI در منطقه بین این دو مقدار بود، می‌توان نتیجه گرفت که تراکم گیاهی در این منطقه در حد متوسط است. عدم همگن بودن کاربری اراضی و وجود روستاها و جاده‌ها و دیگر عوارض در منطقه، میزان NDVI و دمای سطحی را تحت تاثیر قرار داد. بیشتر قریب به اتفاق این عوارض موجب زیاد شدن دمای محیط شده و همچنین تبخیر - تعرق گیاه را هم تحت شعاع قرار داده است و در تاریخ ۱۳۹۶/۰۱/۱۷ شاهد بیشترین میزان پوشش گیاهی در منطقه بوده‌ایم. دمای سطح زمین به شدت وابسته به بافت زمین بوده و با تغییر پوشش زمین و نوع خاک تغییرات چشمگیری از خود نشان داد.

نقشه‌های پوشش گیاهی (NDVI)، دمای سطح زمین (LST)، تبخیر و تعرق (ET)، شاخص (TVDI)، سپیدایی و شار تابش خالص (RN) مربوط به تاریخ ۱۳۹۶/۰۱/۰۱، ۱۳۹۶/۰۱/۱۷، ۱۳۹۶/۰۲/۰۲، ۱۳۹۶/۰۳/۰۳ و ۱۳۹۶/۰۴/۰۴ برآورد شد (شکل‌های ۳ تا ۷). در نقاطی که میزان پوشش گیاهی بیشتر است سپیدایی سطحی به دلیل رنگ تیره‌تر این نقاط نسبت به زمین‌های بایر کمتر است همبستگی سپیدایی و شاخص پوشش گیاهی ۰/۸۲۰ است که نشان دهنده رابطه غیر مستقیم این دو شاخص دارد و در نقاطی که پوشش گیاهی متراکم‌تر است، دمای سطح زمین کمتر است و همبستگی ۰/۵۸۳- نشان از رابطه عکس این دو شاخص است. تابش خالص، با سپیدایی سطحی رابطه عکس داشت و همبستگی این دو شاخص ۰/۹۵۵- است. این

موضوع با معکوس شدن مقادیر حداقل و حداکثر در نقشه‌های دو پارامتر کاملاً مشخص است.

نقشه پهنه بندی تبخیر و تعرق واقعی روزانه برای ماه‌های اسفند تا خرداد در (شکل‌های ۳ تا ۷) نشان داده شده است. مقدار تبخیر و تعرق به دست آمده در پژوهش حاضر همانند نتایج دیگر پژوهش‌ها به دمای سطح، رطوبت و شاخص گیاهی مرتبط است مقادیر همبستگی شاخص‌های بیوفیزیکی با شاخص‌های TVDI، تبخیر و تعرق در جدول (۲) آمده است. ضریب تعیین ۰/۷۵ در رابطه خطی بین مقدار تبخیر و تعرق با دمای سطحی و NDVI به دست آمده است (۱۲). پژوهشی در دشت بزرگ جنوب غرب آمریکا، ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۶۰ را در ارتباط بین تبخیر و تعرق با دمای سطحی و NDVI نشان می‌دهد (۱۰). که نتایج پژوهش حاضر با بررسی‌های نام برده شده همخوانی دارد. در هندوستان ضریب همبستگی بین رابطه خطی تبخیر و تعرق با دمای سطحی و NDVI، به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۷۴ به دست آمده است (۳۲). در این پژوهش براساس نتایج همبستگی تبخیر و تعرق با شاخص دمای سطح و پوشش گیاهی به ترتیب جدول (۲) به دست آمده است که نشان‌دهنده ارتباط خطی بین تبخیر و تعرق با دمای سطح و شاخص گیاهی دیده می‌شود. با وجود همبستگی معنی‌دار به دست آمده بین متغیرهای مختلف خوارزمیک سبال شامل سپیدایی سطح، شار گرمایی خاک، تابش خالص و دمای سطحی با شاخص رطوبت خاک، تبخیر و تعرق حاصل از خوارزمیک سبال و شاخص‌های بیوفیزیک متغیر مناسبی در برآورد رطوبت سطح خاک تشخیص داده شد که با نتایج پژوهش بررسی قابلیت توازن انرژی سطح و متغیرهای بیوفیزیک حاصل از داده‌های ماهواره‌ای در تخمین رطوبت خاک در مناطق خشک (۴۰)، مطابقت دارد. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که رطوبت خاک در مقیاس بزرگ را می‌توان با استفاده از روش بالانس انرژی محاسبه کرد (۱۷). استفاده ترکیبی از داده‌های سنجش از دور و مدل بیلان انرژی سطح می‌تواند برای مدل‌سازی رطوبت خاک در سطح وسیع مورد استفاده قرار گیرد (۳۳).

## نتایج حاصل از رگرسیون مولفه اصلی (PCR)

همبستگی میان داده‌ها در جدول شماره (۲) مشخص شده است. ارتباط هم‌خطی بین متغیرهای مستقل در جدول شماره (۳) نشان داده شده است. شاخص Tolerance بالا و VIF کمتر از ۱۰ نشان دهنده هم‌خطی نبودن متغیرهای X است. که در اینجا فقط شاخص G هم‌خطی با سایر شاخص‌ها ندارد. برای از بین بردن ارتباط هم‌خطی از استانداردسازی متغیرها استفاده شده است. نزدیک صفر بودن یکی یا بیش از یکی از مقادیر ویژه به معنی وجود هم‌خطی بین متغیرها است، شکل (۸). نزدیک صفر بودن یکی از مقادیر ویژه موجب کاهش دقت برآورد ضرایب رگرسیونی می‌شود.

با توجه به شکل (۸) از سه متغیر استفاده شد که خود شامل ارتباط خطی با سایر متغیرها است و در واقع مقدار ویژه مولفه‌های اصلی را نشان می‌دهد. با توجه به ماتریس چرخش داده شده مولفه‌ها، متغیر اولیه شامل سه شاخص سپیدایی، شار تابش خالص و تبخیر و تعرق،

متغیر دوم شامل شاخص‌های دمای سطح زمین، شار گرمای خاک و متغیر سوم شامل شاخص پوشش گیاهی نرمال شده است، جدول (۴).

در پایان معادله تخمین رطوبت خاک با توجه به جدول (۵) تعریف می‌شود. که شاخص Tolerance بالا و VIF کمتر از ۱۰ را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده عدم وجود هم‌خطی است. n تعداد شاخص‌ها (n=6)، که مقدار  $F_{\alpha}$  در نرم‌افزار R محاسبه و مقدار آن 0.00427376 است و مقدار F از جدول آنالیز واریانس ۱۶۵۱۵۸۱/۹۴۲ است که نشان‌دهنده مناسب مدل است.  $R^2$  (ضریب تبیین) درصد تبیین داده‌ها توسط خط رگرسیونی را بیان می‌کند که در جدول تحلیل واریانس مقدار آن نزدیک به یک و برابر با ۱/۹۶۶ است که نشان می‌دهد درصد قابل توجهی از داده‌ها توسط مدل جدید تبیین می‌شود و مدل مناسبی برای برآورد رطوبت خاک است.

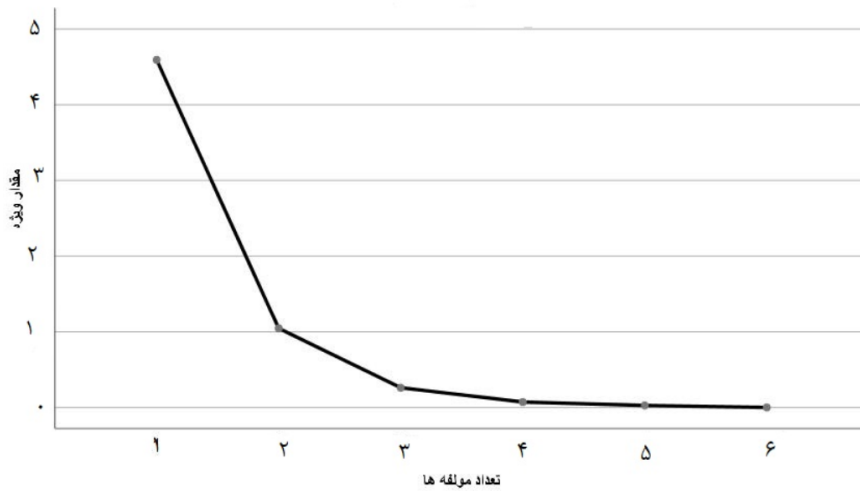
جدول ۲. ماتریس همبستگی بین پارامترهای بیوفیزیکی و شاخص TVDI

TVDI	R <sub>n</sub>	LST	G	Albedo	NDVI	ET	
-۰/۳۱۸	۰/۹۶۶	-۰/۶۸۳	-۰/۶۴۶	-۰/۸۸۱	۰/۸۲۶	۱	ET
۰/۰۷۰	۰/۸۶۶	-۰/۵۸۳	-۰/۷۱۰	-۰/۸۲۰	۱		NDVI
۰/۱۰۱	-۰/۹۵۵	۰/۳۳۵	۰/۳۶۵	۱			Albedo
۰/۶۰۹	-۰/۵۷۵	۰/۸۶۲	۱				G
۰/۸۳۵	-۰/۵۹۸	۱					LST
-۰/۱۸۶	۱						R <sub>n</sub>
۱							TVDI

جدول ۳. شاخص هم‌خطی

VIF	Tolerance	
۲۲/۲۰۱	۰/۰۴۵	ET
۱۷/۸۴۹	۰/۰۵۶	NDVI
۱۳۵۷/۸۳۸	۰/۰۰۱	Albedo
۸/۰۸۰	۰/۱۲۴	G
۱۷۶/۷۵۶	۰/۰۰۶	LST
۱۷۰۶/۱۱۰	۰/۰۰۱	Rn





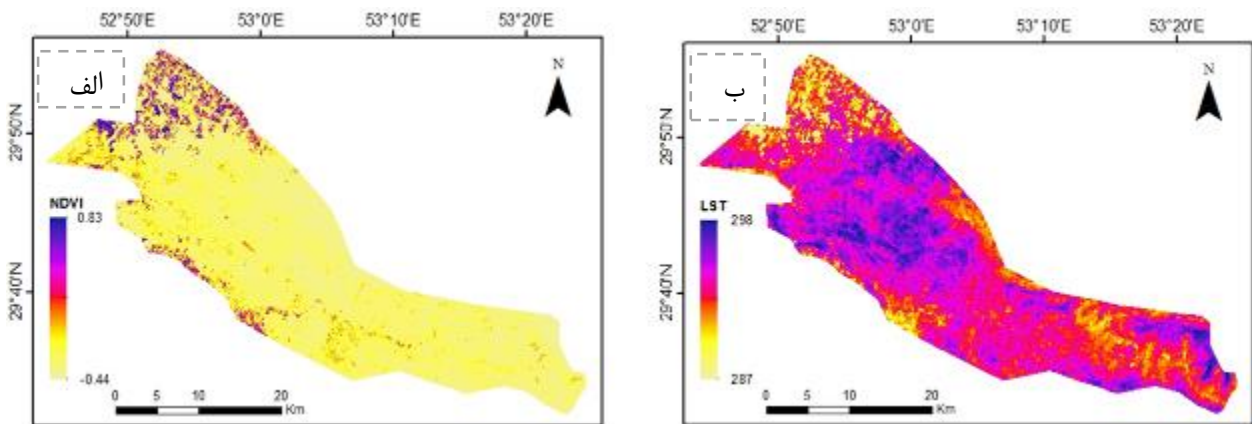
شکل ۸. نمودار بازویی

جدول ۴. ماتریس چرخش داده شده مولفه‌ها

	۳	۲	۱	
	-۰/۲۰۰	۰/۰۷۰	-۰/۹۷۵	Albedo
	۰/۱۴۶	-۰/۳۵۹	۰/۹۱۹	Rn
	۰/۰۷۱	-۰/۴۸۳	۰/۱۸۶۰	ET
	۰/۵۷۹	-۰/۳۸۹	۰/۷۰۲	NDVI
	-۰/۰۰۳	۰/۹۵۱	-۰/۲۷۷	LST
	-۰/۴۲۱	۰/۱۸۶۴	-۰/۲۱۹	G

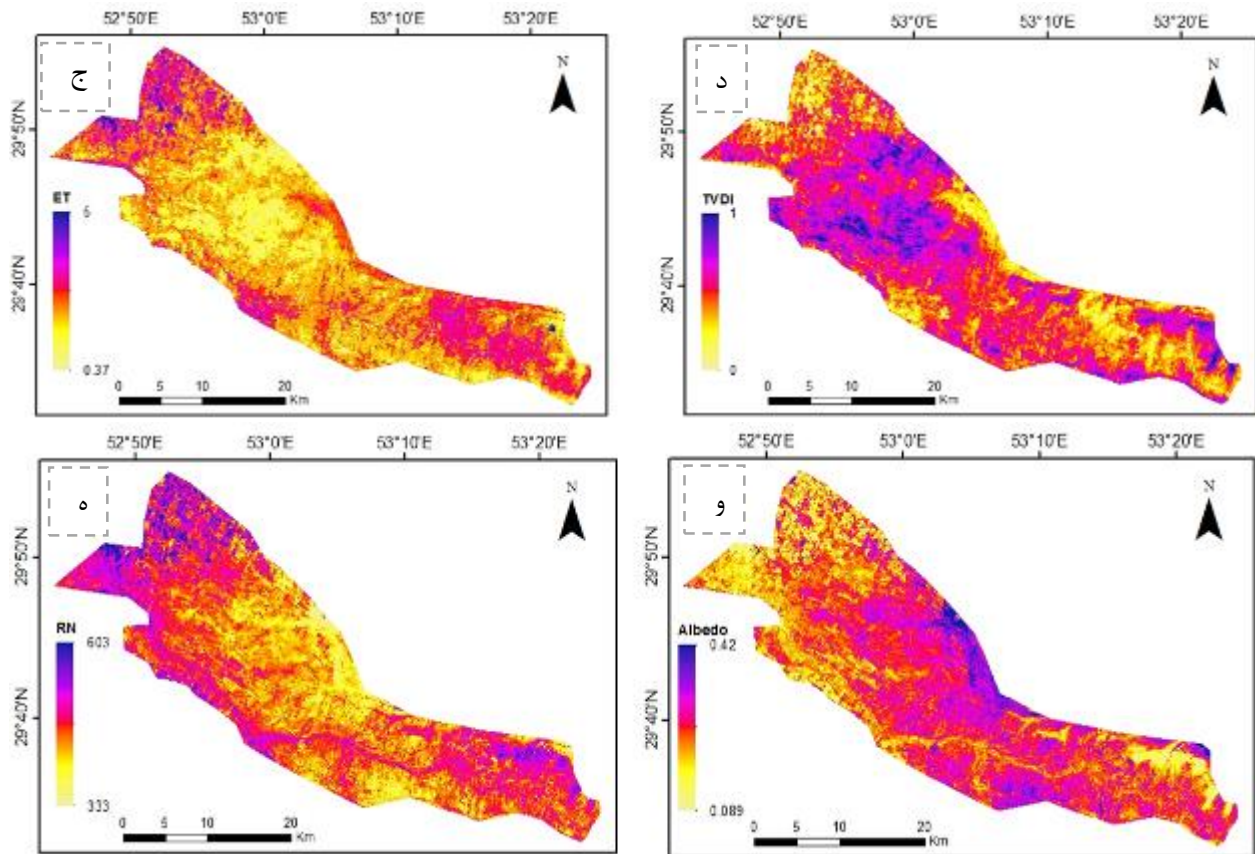
جدول ۵. مولفه‌های اصلی

	VIF	Tolerance	B	
	۳/۹۴۴	۰/۲۵۴	-۰/۶۴۴	C1
	۱/۳۵۵	۰/۷۳۸	۰/۸۰۰	C2
	۳/۶۷۳	۰/۲۷۲	۱/۲۱۲	C3

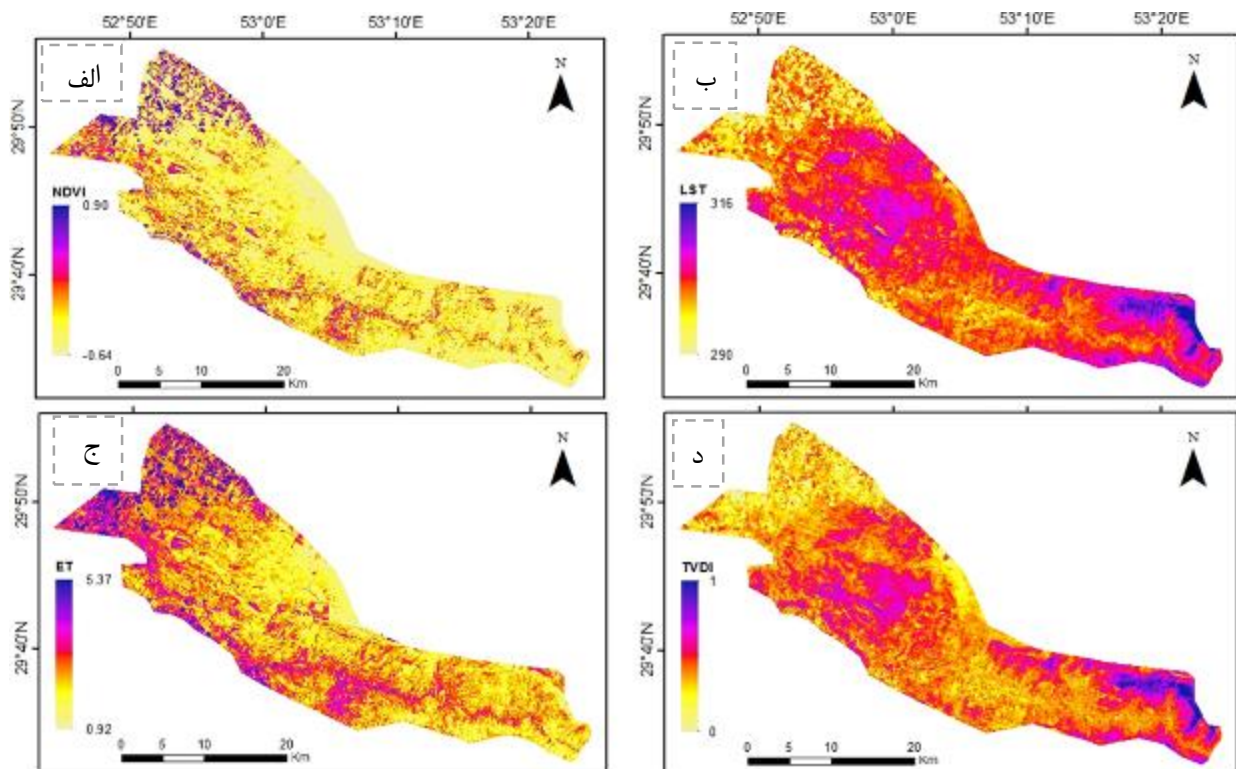


شکل ۳. الف: نقشه‌های پوشش گیاهی (NDVI)، ب: دمای سطح زمین (LST)، ج: تبخیر و تعرق (ET)، د: شاخص (TVDI)، ه: شار

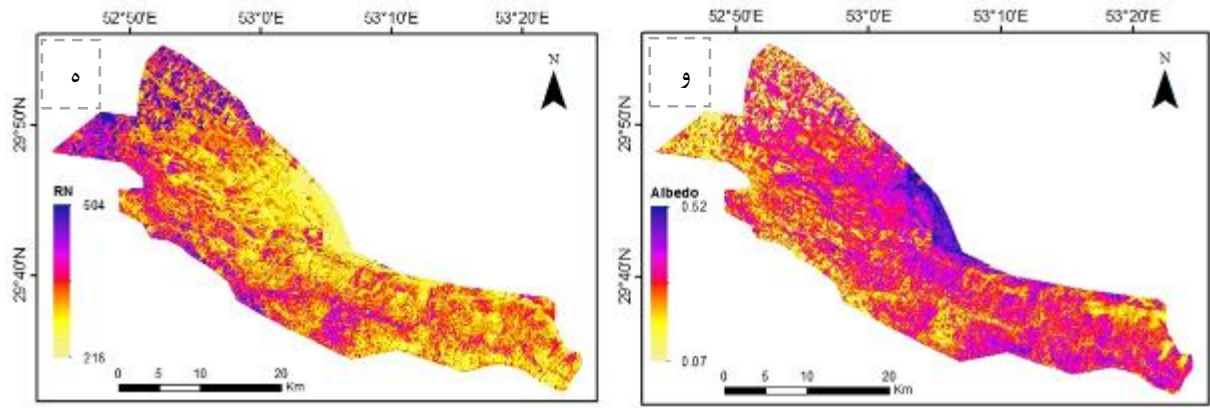
تابش خالص (RN)، و: سپیدایی مربوط به تاریخ ۱۳۹۶/۰۱/۰۱



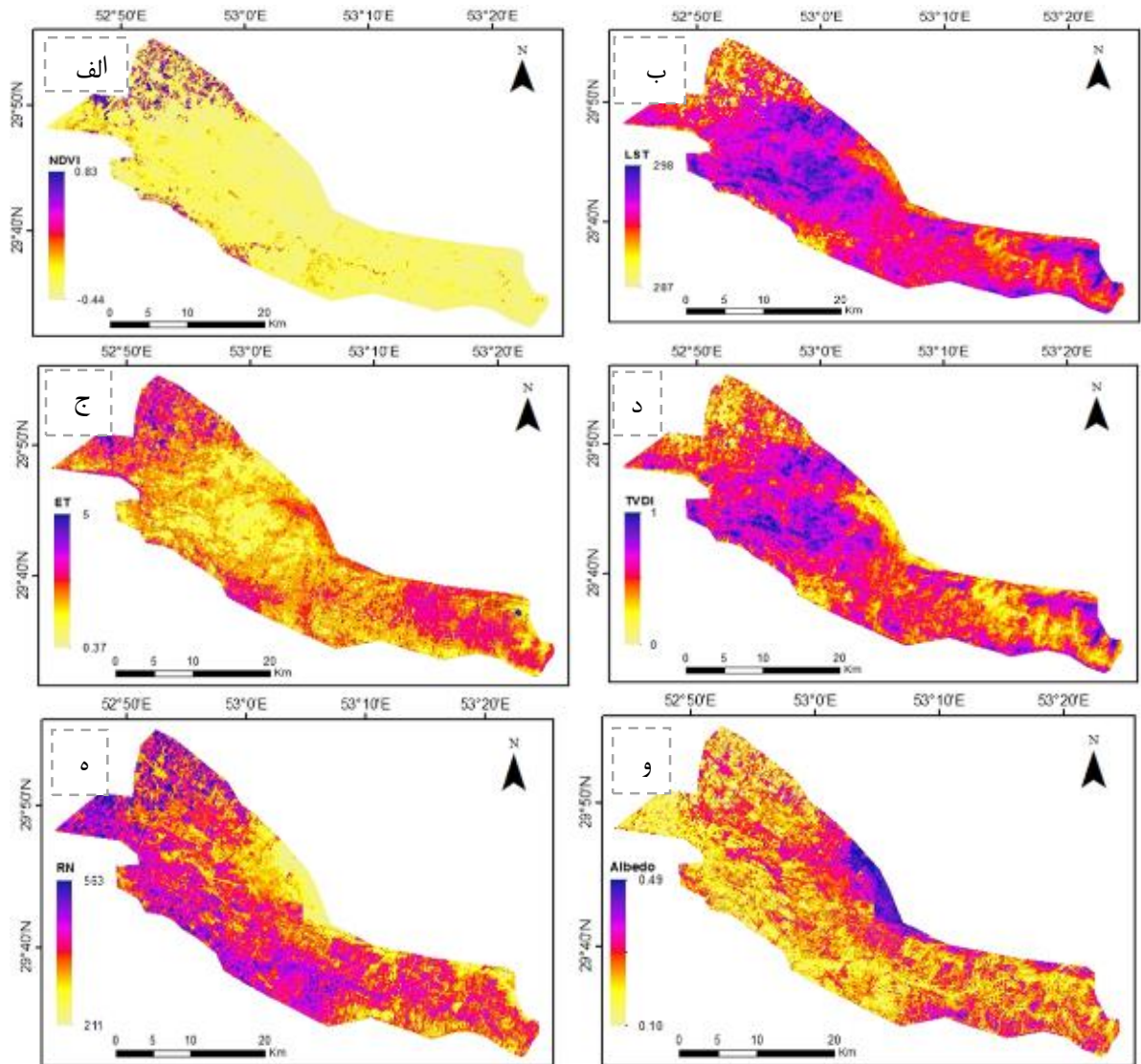
ادامه شکل ۳. الف: نقشه‌های پوشش گیاهی (NDVI)، ب: دمای سطح زمین (LST)، ج: تبخیر و تعرق (ET)، د: شاخص (TVDI)، ه: شار تابش خالص (RN)، و: سپیدایی مربوط به تاریخ ۱۳۹۶/۰۱/۰۱



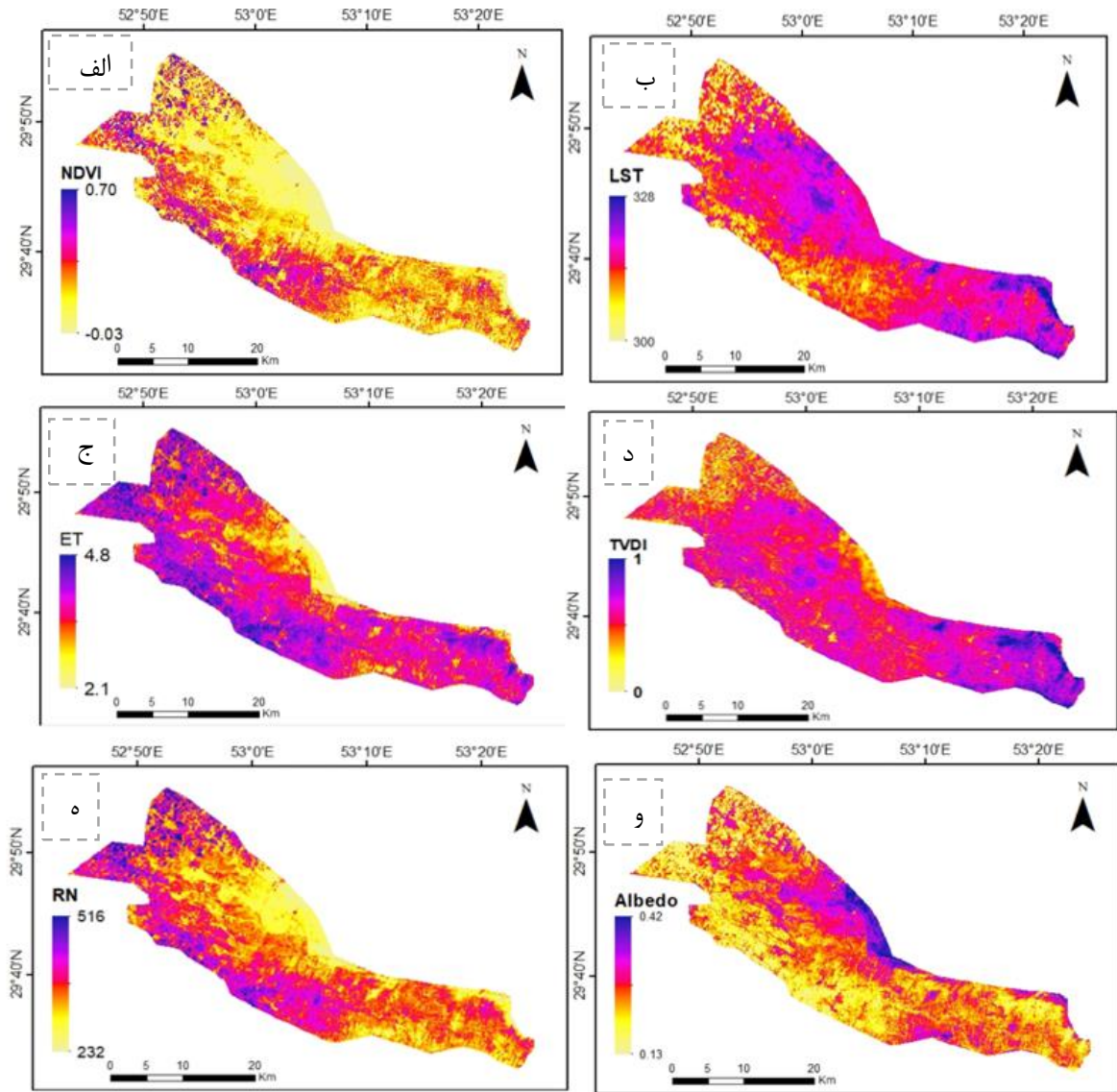
شکل ۴. الف: نقشه‌های پوشش گیاهی (NDVI)، ب: دمای سطح زمین (LST)، ج: تبخیر و تعرق (ET)، د: شاخص (TVDI)، ه: شار تابش خالص (RN)، و: سپیدایی مربوط به تاریخ ۱۳۹۶/۰۱/۱۷



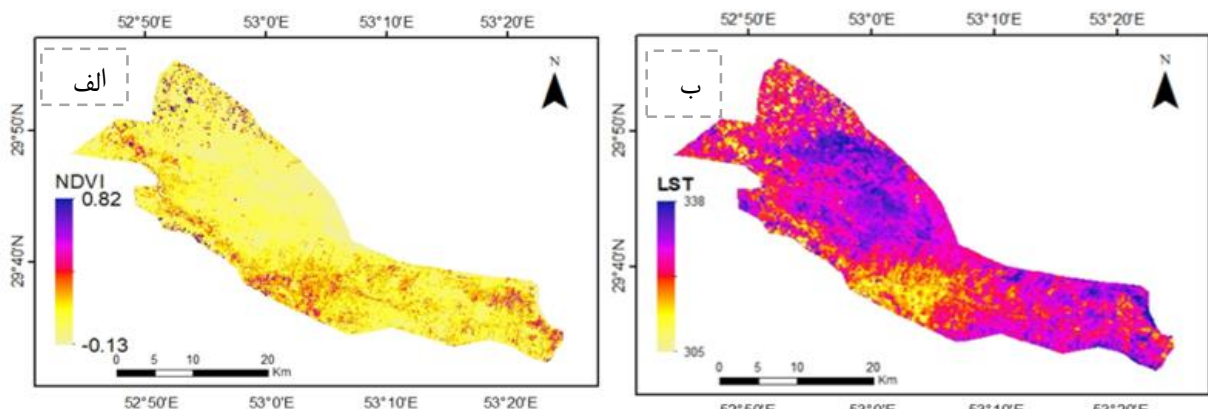
ادامه شکل ۴. الف: نقشه‌های پوشش گیاهی (NDVI)، ب: دمای سطح زمین (LST)، ج: تبخیر و تعرق (ET)، د: شاخص (TVDI)، ه: شار تابش خالص (RN) و: سپیدایی مربوط به تاریخ ۱۳۹۶/۰۱/۱۷



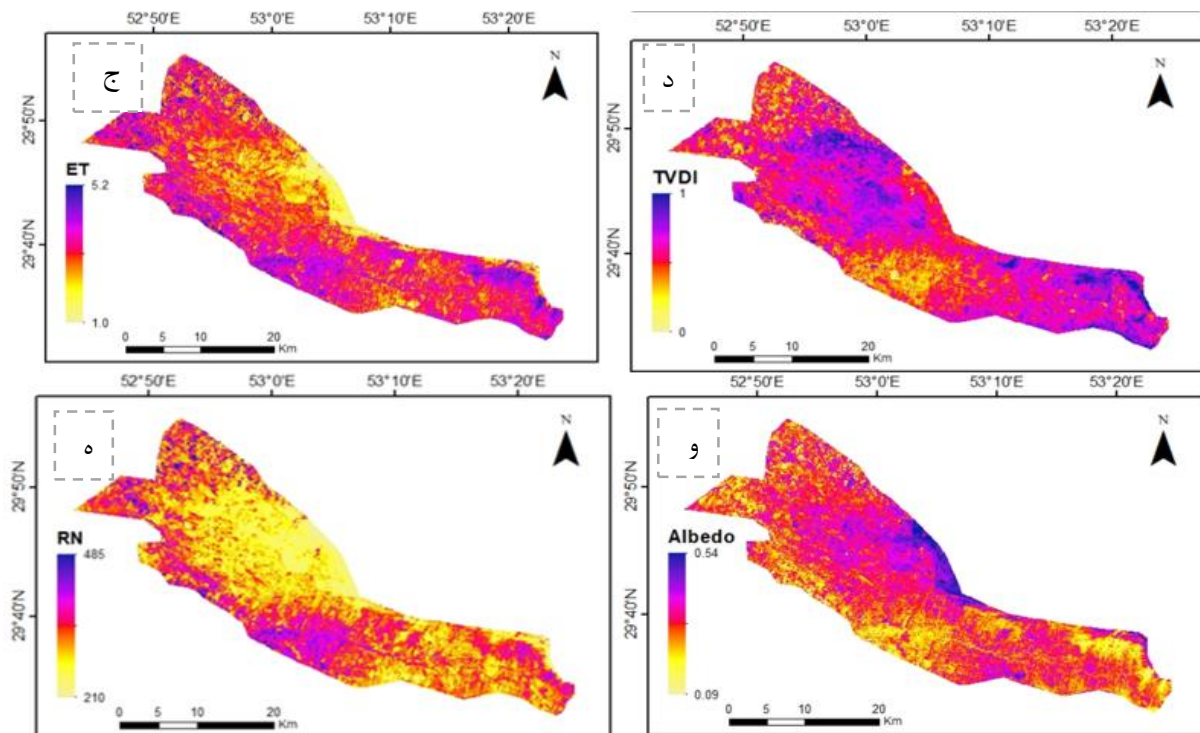
شکل ۵. الف: نقشه‌های پوشش گیاهی (NDVI)، ب: دمای سطح زمین (LST)، ج: تبخیر و تعرق (ET)، د: شاخص (TVDI)، ه: شار تابش خالص (RN) و: سپیدایی مربوط به تاریخ ۱۳۹۶/۰۲/۰۲



شکل ۶. الف: نقشه‌های پوشش گیاهی (NDVI)، ب: دمای سطح زمین (LST)، ج: تبخیر و تعرق (ET)، د: شاخص (TVDI)، ه: شار تابش خالص (RN)، و: سپیدایی مربوط به تاریخ ۱۳۹۶/۰۳/۰۳



شکل ۷. الف: نقشه‌های پوشش گیاهی (NDVI)، ب: دمای سطح زمین (LST)، ج: تبخیر و تعرق (ET)، د: شاخص (TVDI)، ه: شار تابش خالص (RN)، و: سپیدایی مربوط به تاریخ ۱۳۹۶/۰۴/۰۴



ادامه شکل ۷. الف: نقشه‌های پوشش گیاهی (NDVI)، ب: دمای سطح زمین (LST)، ج: تبخیر و تعرق (ET)، د: شاخص (TVDI)، ه: شار تابش خالص (RN)، و: سپیدایی مربوط به تاریخ ۱۳۹۶/۰۴/۰۴

لازم جهت بدست آوردن شاخص رطوبت خاک را دارد. با استفاده از این روش می‌توان رطوبت خاک را برای هر پیکسل در مناطق مختلف با شرایط مختلف و پوشش گیاهی متنوع بدست آورد که علاوه بر دما و پوشش گیاهی دیگر شاخص‌های بیوفیزیکی منطقه را که در میزان رطوبت خاک موثر است نیز در نظر بگیرد. در مطالعات بعدی می‌توان شاخص رطوبت خاک را با داده زمینی رطوبت خاک صحت سنجی کرد و مدل را بهبود بخشید.

#### نتیجه‌گیری

امروزه با گسترش فن‌آوری‌های سنجش از دور، امکان پهنه‌بندی تبخیر برای کل منطقه مطالعاتی و به‌طور مجزا برای هر پیکسل، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و خوارزمیک‌های بیان انرژی همچون SEBAL امکان‌پذیر شده است. نتایج نشان داد که خوارزمیک SEBAL برای تبخیر - تعرق واقعی و شاخص‌های بیوفیزیکی برای مدل‌سازی شاخص رطوبت خاک به روش رگرسیون مولفه اصلی مناسب است. با توجه به  $R^2$  و  $F$  مدل، مدل کارایی

#### References

- Ahmad, M.D., Biggs, T., Turrall, H. & Scott, C.A. (2006). Application of SEBAL approach and MODIS time-series to map vegetation water use patterns in the data scarce Krishna river basin of India. *Water Science and Technology*, 53(10), 83-90.
- Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R. & Bastiaanssen, W. (2002). SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). *Advanced Training and Users Manual*.
- Allen, R.G., Tasumi, M., Morse, A. & Trezza, R. (2005). A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. *Irrigation and Drainage systems*, 19(3-4), 251-268.

4. Allen, R.G., Tasumi, M. & Trezza, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 133(4), 380-394.
5. Bastiaanssen, W., Noordman, E., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B. & Allen, R. (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.
6. Bastiaanssen, W.G. & Bos, M. (1999). Irrigation performance indicators based on remotely sensed data: a review of literature. *Irrigation and drainage systems*, 13(4), 291-311.
7. Bastiaanssen, W.G., Pelgrum, H. Wang, J., Ma, Y., Moreno, J., Roerink, G. & Van der Wal, T. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of hydrology*, 212, 198-212.
8. Bastiaanssen, W.G., Ahmad, M. D. & Chemin, Y. (2002). Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. *Water Resources Research*, 38(12), 9-1-9-9.
9. Bastiaanssen, W.G. (2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of hydrology*, 229(1-2), 87-100.
10. Batra, N., Islam, S., Venturini, V., Bisht, G. & Jiang, L. (2006). Estimation and comparison of evapotranspiration from MODIS and AVHRR sensors for clear sky days over the Southern Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, 103(1), 1-15.
11. Chemin, Y. & Alexandridis, T. (2001). Improving spatial resolution of ET seasonal for irrigated rice in Zhanghe, China. *Paper presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing*, 5(1), 3-11.
12. Di Bella, C., Rebella, C. & Paruelo, J.M. (2000). Evapotranspiration estimates using NOAA AVHRR imagery in the Pampa region of Argentina. *International Journal of Remote Sensing*, 21(4), 791-797.
13. Du, J., Song, K., Wang, Z., Zhang, B. & Liu, D. (2013). Evapotranspiration estimation based on MODIS products and surface energy balance algorithms for land (SEBAL) model in Sanjiang Plain, Northeast China. *Chinese geographical science*, 23(1), 73-91.
14. Fatras, C., Frappart, F., Mougin, E., Grippa, M. & Hiernaux, P. (2012). Estimating surface soil moisture over Sahel using ENVISAT radar altimetry. *Remote sensing of environment*, 1(23), 496-507.
15. Gillies, R.R. & Carlson, T.N. (1995). Thermal remote sensing of surface soil water content with partial vegetation cover for incorporation into climate models. *Journal of Applied Meteorology*, 34(4), 745-756.
16. Goetz, S. (1997). Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland site. *International Journal of remote sensing*, 18(1), 71-94.
17. Gokmen, M., Vekerdy, Z., Verhoef, A., Verhoef, W., Batelaan, O. & Van der Tol, C. (2012). Integration of soil moisture in SEBS for improving evapotranspiration estimation under water stress conditions. *Remote Sensing of Environment*, 121, 261-274.

18. Goward, S.N., Xue, Y. & Czajkowski, K.P. (2002). Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurements: An exploration with the simplified simple biosphere model. *Remote sensing of environment*, 79(2-3), 225-242.
19. Granger, R. (2010). A feedback Approach for the estimate of evapotranspiration using remotely-sensed data. in Second International Workshop on Application of Remote Sensing in Hydrology.
20. Hafeez, M., Chemin, Y., Van De Giesen, N. & Bouman, B. (2002). Field evapotranspiration estimation in central luzon, philippines using different sensors: Landsat 7 etm+, terra modis and aster. in *ISPRS/CIG conference July Citeseer*.
21. Han, Y., Wang, Y. & Zhao, Y. (2010). Estimating soil moisture conditions of the greater Changbai Mountains by land surface temperature and NDVI. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(6), 2509-2515.
22. Holidi, H., Armanto, M.E., Damiri, N. & Putranto, D.A. (2019). Characteristics of Selected Peatland uses and Soil Moisture Based on TVDI. *Journal of Ecological Engineering*, 20(4), 194-200.
23. Immerzeel, W., Gaur, A. & Zwart, S.J. (2008). Integrating remote sensing and a process-based hydrological model to evaluate water use and productivity in a south Indian catchment. *Agricultural Water Management*, 95(1), 11-24.
24. Jabloun, M.d. & Sahli, A. (2008). Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data: Application to Tunisia. *Agricultural water management*, 95(6), 707-715.
25. Khanmohammadi, F., Homae, M. & Noroozi, A.A. (2015). Soil moisture estimating with NDVI and land surface temperature and normalized moisture index using MODIS images. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 4(2), 37-45. (in Farsi)
26. Kustas, W.P. & Norman, J.M. (1999). Evaluation of soil and vegetation heat flux predictions using a simple two-source model with radiometric temperatures for partial canopy cover. *Agricultural and Forest Meteorology*, 94(1), 13-29.
27. Kustas, W.P., Choudhury, B.J., Moran, M.S., Reginato, R.J., Jackson, R.D., Gay, L.W. & Weaver, H.L. (1989). Determination of sensible heat flux over sparse canopy using thermal infrared data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 44(3-4), 197-216.
28. Lievens, H. & Verhoest, N.E. (2012). Spatial and temporal soil moisture estimation from RADARSAT-2 imagery over Flevoland, The Netherlands. *Journal of hydrology*, 456, 44-56.
29. Lu, H., Koike, T., Yang, K., Hu, Z., Xu, X., Rasmy, M., Kuria, D. & Tamagawa, K. (2012). Improving land surface soil moisture and energy flux simulations over the Tibetan plateau by the assimilation of the microwave remote sensing data and the GCM output into a land surface model. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 17, 43-54.
30. Lunt, I., Hubbard, S. & Rubin, Y. (2005). Soil moisture content estimation using ground-penetrating radar reflection data. *Journal of hydrology*, 307(1-4), 254-269.

31. Ma, Y.m., Menenti, M., Tsukamoto, O., Ishikawa, H., Wang, J.m. & Gao, Q.z. (2004). Remote sensing parameterization of regional land surface heat fluxes over arid area in northwestern China. *Journal of arid environments*, 57(2), 257-273.
32. Mallick, K., Bhattacharya, B., Chaurasia, S., Dutta, S., Nigam, R., Mukherjee, J., Banerjee, S., Kar, G., Rao, V. & Gadgil, A. (2007). Evapotranspiration using MODIS data and limited ground observations over selected agroecosystems in India. *International Journal of Remote Sensing*, 28(10), 2091-2110.
33. Mehrabi, m., Hamzeh, S., Alavipanah, S. K., Kiavarz, M. & Ziaee, R. (2019). Estimating soil moisture using remotely sensed data and surface energy balance system. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), 759-770. (in Farsi)
34. Menard, S. (2002). Applied logistic regression analysis, *Sage*.
35. Menenti, M. & Choudhury, B. (1993). Parameterization of land surface evapotranspiration using a location dependent potential evapotranspiration and surface temperature range. *Exchange processes at the land surface for a range of space and time scales*, 212, 561-568.
36. Moosavi, V., Talebi, A., Mokhtari, M.H. & Hadian, M.R. (2016). Estimation of spatially enhanced soil moisture combining remote sensing and artificial intelligence approaches. *International journal of remote sensing*, 37(2), 5605-5631.
37. Peters, A.J., Rundquist, D.C. & Wilhite, D.A. (1988). Satellite detection of the geographic core of the 1988 Nebraska drought. *Agricultural and Forest Meteorology*, 57(1-3), 35-47.
38. Price, J.C. (1990). Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28(5), 940-948.
39. Sandholt, I., Rasmussen, K. & Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of environment*, 79(2-3), 213-224.
40. Sadeghzade Poode, R., Zare, M., Mokhtari, M.H. & Ghalibaf, M.A. (2015). Assessment of Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) model and biophysical parameters derived from remotely-sensed data in estimating of soil moisture in arid lands (Case study: Jarghoye, Isfahan). *Desert Management*, 3(6), 90-107. (in Farsi)
41. Stisen, S., Sandholt, I. & Fensholt, R. (2004). Meteosat Second Generation Data for Assessment of Surface Moisture Status. in Proceedings of the Second MSG RAO Workshop. Salzburg, Austria.
42. Su, Z. (2002). The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and earth system sciences*, 6(1), 85-100.
43. Tasumi, M., Trezza, R., Allen, R. & Wright, J. (2003). US Validation Tests on the SEBAL Model for. *Evapotranspiration via Satellite*.
44. Tasumi, M. (2000). Application of the SEBAL methodology for estimating consumptive use of water and stream flow depletion in the Bear River Basin of Idaho through remote sensing. *Appendix C: a step-by-step guide to running SEBAL*.



45. Wang, X., Xie, H., Guan, H. & Zhou X. (2007) Different responses of MODIS-derived NDVI to root-zone soil moisture in semi-arid and humid regions. *Journal of hydrology*, 340(1-2), 12-24.
46. Western, A.W. & Grayson, R.B. (1998). The Tarrawarra data set: Soil moisture patterns, soil characteristics, and hydrological flux measurements. *Water Resources Research*, 34(10), 2765-2768.
47. Yin, Z., Lei, T., Yan, Q., Chen, Z. & Dong, Y. (2013). A near-infrared reflectance sensor for soil surface moisture measurement. *Computers and electronics in agriculture*, 99(1), 101-107.



## **Review of Iran's Climatic Zoning Based On Some Climate Variables Investigating the Capability of Satellite-Based Biophysical Indexes of Energy Balance Components and Evapotranspiration in Evaluating Soil Moisture Changes**

F. Boomeh<sup>1</sup>, M. H. Mokhtari<sup>2\*</sup>

1. Ph.D. Candidate, Combating Desertification, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University, Yazd, Iran.
2. Assistant Professor of Department of Arid Lands and Desert Management, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University, Yazd, Iran.

\* Corresponding Author: mh.mokhtari@yazd.ac.ir

Received date: 19/12/2020

Accepted date: 10/01/2021

### **Abstract**

Surface soil moisture is one of the important variables in hydrological processes that affects the exchange of water and energy flow in relationship between land surface and atmosphere. Precise assessment of spatial and temporal variations in soil moisture is crucial for numerous environmental studies. Recent technological advances in satellite remote sensing indicates that the soil moisture can be measured using remote sensing methods. The purpose of this study is to estimate biophysical indices and evapotranspiration using SEBAL algorithm and to present soil moisture index using principal component regression method in the east of Bakhtegan Lake, Fars province. For this purpose, five Landsat 8 satellite images for March, April, May and June 2017 were selected and initially corrected. Meteorological data of Marvdasht synoptic station was used to execute SEBAL algorithm. Soil moisture index was modeled using biophysical indices such as albedo, net radiation flux, soil heat flux, evapotranspiration, and etc. by using principal component regression. TVDI index was used to validate the model. The coefficient of determination ( $R^2$ ) and F index are equal to 0.966 and 1651581.9, respectively, which indicates the high efficiency of the model to obtain soil moisture index for each pixel in different areas with different conditions and diverse vegetation. In addition to temperature and vegetation, other biophysical indicators of the region that affect the soil moisture should be taken into account.

**Keywords:** Principal Component Regression; SEBAL; Normalized Difference Vegetation Index; Temperature Vegetation Dryness Index